



# Sjøkrigsskolen

## Bacheloroppgave

Automatisk Radarposisjonering

– Et alternativ til GNSS –

av

Rikard Carboni og Tord Meyer-Vikaskag

Levert som en del av kravet til graden:

BACHELOR I MILITÆRE STUDIER MED FORDYPNING I LEDELSE -  
SJØMAKT OG MILITÆR NAVIGASJON

Antall ord: 7896

Innlevert: 7. juni 2022

**Godkjent for offentlig publisering 1. januar 2023**

## Publiseringsavtale

### En avtale om elektronisk publisering av bachelor

Kadettene har opphavsrett til oppgaven, inkludert rettighetene til å publisere den.

Alle oppgaver som oppfyller kravene til publisering, vil bli registrert og publisert i Bibsys Brage når kadettene har godkjent publisering.

Oppgaver som er graderte eller begrenset av en inngått avtale vil ikke bli publisert.

Vi gir herved Sjøkrigsskolen rett til å gjøre denne oppgaven tilgjengelig elektronisk, gratis og uten kostnader	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei
Finnes det en avtale om forsinket eller kun intern publisering?	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei
Hvis ja: kan oppgaven publiseres elektronisk når embargoperioden utløper? <u>01.01.2023</u>	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei

## Plagiaterklæring

Vi erklærer herved at oppgaven er vårt eget arbeid og med bruk av riktig kildehenvisning.

Vi har ikke nyttet annen hjelp enn det som er beskrevet i oppgaven. Vi er klar over at brudd på dette vil føre til avvisning av oppgaven.

Bergen, Sjøkrigsskolen, 07-06-2022



Rikard Carboni



Tord Meyer-Vikaskag

## Forord

Maritime navigasjonssystemer er i konstant utvikling, og den teknologiske utviklingen som har skjedd de siste årene har ført til store endringer. Brosystemene blir mer og mer integrerte og gir navigatøren muligheten til å utforske nye funksjonaliteter. Gjennom tre år på Sjøkrigsskolen har vi, blant mye annet, lært det å seile med kun radar tilgjengelig, og sett muligheten dette gir oss for manuell posisjonering. Vi har også blitt forelest i flere fag, for eksempel sjømakt og navigasjon, at vi er nødt til å ha et kritisk syn på GNSS-systemene da de kan være sårbare. Derfor har vi ønsket å undersøke mer rundt muligheten for å lage et automatisk radar-posisjoneringssystem.

Denne bacheloroppgaven er skrevet som en del av utdanningen i militære studier med fordypning i ledelse – Sjømakt og militær navigasjon ved Sjøkrigsskolen. Oppgaven ble utarbeidet mellom desember 2021 og juni 2022.

Vi ønsker å rette en spesiell takk veilederen vår, Orlogskaptein Stein Egil Iversen, for mange timer med gode samtaler rundt temaet og svært god veiledning gjennom hele perioden. Vi ønsker også å takke Ove Kent Hagen hos FFI for god hjelp gjennom epost-korrespondanse.

Vi vil anta at leseren av denne bacheloroppgaven vil ha kunnskap innenfor navigasjonssystemer eller at vedkommende innehar godkjente maritime dekksertifikater.

Bergen, Sjøkrigsskolen, 07-06-2022



Rikard Carboni



Tord Meyer-Vikaskag

## Sammendrag

En navigatør bør aldri stole blindt på ett system om gangen, men ha god redundans gjennom bruk av flere. GNSS er også i denne kategorien, som det primære posisjonerings- og tidssystem i dag. Men selv med en god global posisjons- og tidsnøyaktighet, er GNSS sårbart. Vi har derfor valgt å stille oss spørsmålet om «en automatisk radar-posisjoneringsfunksjonalitet kan gi nødvendig posisjonsnøyaktighet til maritim navigasjon ved bortfall av GNSS». For å besvare denne problemstillingen sammenligner vi to metoder for radarposisjonering fra FFI og Kongsberg Maritime med en litteraturstudie. Oppgaven beskriver metodene hver for seg, før vi analyserer resultatene fra tester gjennomført av FFI og en bachelorgruppe ved NTNU.

FFI har utviklet en algoritme som omgjør radarbildet til kystlinje for deretter å sette disse opp imot hverandre. Samregistreringen er basert på korrelering av den gjenkjente kystlinjen fra radar med et georeferert kart. Samregistreringen kombineres med en treghetsnavigator for retning og hastighet. Sjø-testene FFI har gjennomført av radar-samregistreringsalgoritmen ga en nøyaktighet på 35m, med en maksimal feil på 60m.

Kongsbergs Maritime sitt brosystem K-Bridge kan brukes til å ta kontinuerlige posisjoner ved hjelp av radar. Dette gjøres ved å bruke ARPA på stasjonære objekt med kjent posisjon. På seilas mellom Ålesund og Molde med «MS Polarlys» testet bachelorgruppen ut radar-posisjoneringsfunksjonaliteten til K-Bridge. Når systemet var på det optimale ga S-bånd et avvik på 16,5 meter mot X-bånds 10,4 meter.

I drøftingen setter vi funksjonaliteten til K-Bridge opp imot FFI sin løsning. Vi tar for oss behovet for radarposisjonering, samt hvilket nivå av nytteverdi navigatøren kan få av en slik funksjonalitet. Så ser vi på hva vi kan forvente av posisjonsnøyaktighet. Til slutt ser vi på brukervennlighet og kommer med en tenkt utforming om hvordan funksjonaliteten kan fungere lettest mulig på radarskjermen.

Gjennom drøftingen ser vi at dette er noe som kan fungere på sjøen, og vil kunne gi en god nok posisjonsnøyaktighet under seilas for å opprettholde sikkerheten til fartøyet. Navigatøren vil fortsette arbeidet sitt som før, med en større trygghet i overgangen mellom en GNSS-posisjon og en radarposisjon som en sekundær nød-modus.

Som videre arbeid ønsker vi at en radar-samregistreringsfunksjonalitet utvikles spesielt for bemannede fartøy. Vår anbefaling er at dette gjøres sammen med en navigatør som kan være med å påvirke utforming og brukervennlighet, samt teste det på sjøen.

# Innholdsfortegnelse

<b>Publiseringsavtale</b> .....	<b>i</b>
<b>Forord</b> .....	<b>ii</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>iii</b>
<b>Innholdsfortegnelse</b> .....	<b>iv</b>
<b>Figurer</b> .....	<b>vi</b>
<b>Forkortelser</b> .....	<b>viii</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn.....	4
1.2 Mål.....	5
1.3 Problemstilling.....	5
1.4 Avgrensninger.....	6
1.5 Struktur.....	6
<b>2 Teori</b> .....	<b>7</b>
2.1 Prinsippet til en pulsradar.....	7
2.1.1 Antenne strålingskarakteristikk.....	8
2.1.2 Pulsradar feilkilder.....	10
2.2 Forsvarets Forskningsinstitutt.....	13
2.2.1 Posisjoneringsprinsipp ved kystkorrelering.....	13
2.2.2 Kystkorrelering feilkilder.....	15
2.3 Kongsberg Maritime radarposisjonering.....	17
2.3.1 Posisjoneringsprinsipp K-Bridge.....	17
2.3.2 ARPA.....	18
2.3.3 ARPA feilkilder.....	18
2.3.4 Terrenkkorrelasjon.....	19
<b>3 Forskningsdesign</b> .....	<b>20</b>
3.1 Anvendt metode.....	20
3.2 Metodekritikk.....	20
<b>4 Resultater</b> .....	<b>21</b>
4.1 Resultater fra FFI test.....	21
4.1.1 Situasjon.....	21
4.1.2 Resultater.....	22
4.2 Resultater fra test gjort ved NTNU.....	24
4.2.1 Situasjon.....	24

---

4.2.2	Resultater .....	24
<b>5</b>	<b>Drøfting .....</b>	<b>26</b>
5.1	Behov for radarposisjonering .....	27
5.2	Nøyaktighet .....	29
5.3	Nytteverdi for navigatøren .....	32
5.3.1	Utforming .....	33
<b>6</b>	<b>Konklusjon .....</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>Avslutning .....</b>	<b>36</b>
	<b>Referanseliste .....</b>	<b>37</b>
	<b>VEDLEGG A – Nomenklatur.....</b>	<b>39</b>
	<b>VEDLEGG B – Videre arbeid .....</b>	<b>42</b>

## Figurer

Figur 1:	Kart over svartehavet, med utsnitt av GPS-posisjonen til fartøyet beskrevet over. (Midgett, 2017)	1
Figur 2:	Dokumentert tilfelle av spoofing på flere fartøy. (C4ADS, 2019, s. 15)	2
Figur 3:	Dokumentert jamming/spoofing mellom 2016-2019. (C4ADS, 2019, s. 20)	2
Figur 4:	Prinsippet til en pulsradar. (Kjerstad, 2019, s. 2-4) <sup>0</sup>	7
Figur 5:	Typisk vertikal- og horisontal strålebredde på en maritim radarantenne. (Kjerstad, 2019, s. 2-17)	8
Figur 6:	Skilleevne i avstand. (Kjerstad, 2019, s. 2-20 til 2-21)	9
Figur 7:	Horisontal strålebredde vil variere med avstand. (Kjerstad, 2019, s. 2-18)	9
Figur 8:	Fenomener som kan skape falske ekko. (Kjerstad, 2019, s. 2-22)	10
Figur 9:	Interferens fra andre radaremittere. (Kjerstad, 2019, s. 2-24)	11
Figur 10:	Radarhorisonten er som oftest lenger enn optisk horisont (Kjerstad, 2019, s. 2-15)	12
Figur 11:	Radarstrålens avbøying/refraksjon som følge av forskjellige meteorologiske forhold. (Kjerstad, 2019, s. 2-17)	12
Figur 12:	Samregistrering av radarekko (vestre) og georeferert kart (høyre). (Hagen, et al., 2021, s. 22)	13
Figur 13:	Eksempel på god konfidens (venstre) og dårlig konfidens (høyre). (Hagen, et al., 2021, s. 23)	14
Figur 14:	Rette kystkonturer gir større usikkerhet om posisjonen. (Hagen, et al., 2021, s. 24)	15
Figur 15:	Like landkonturer kan gi feil posisjon. (Hagen, et al., 2021, s. 24)	15
Figur 16:	Fartøy kan lure algoritmen. (Hagen, et al., 2021, s. 24)	16
Figur 17:	Samregistrering i flere retninger gir gode posisjoner. (Hagen, et al., 2021, s. 24)	16
Figur 18:	Forenklet skisse som viser bruken av ARPA-mål. (Nikolaisen, Prokosch, & Nilssen, 2018, s. 38)	17
Figur 19:	Korrelasjon av ECDIS og radar. (Nikolaisen, Prokosch, & Nilssen, 2018, s. 38)	19
Figur 20:	Kartutsnitt fra Google Earth. (Hagen, et al., 2021, s. 37)	21
Figur 21:	Resultatene etter FFIs testkjøring. (Hagen, et al., 2021, s. 40)	22
Figur 22:	Sammenligning av posisjonene innad i september forsøket. (Hagen, et al., 2021, s. 42)	23
Figur 23:	«MS Polarlys» seilte rute mellom Ålesund og Molde. (Nikolaisen, Prokosch, & Nilssen, 2018, s. 40)	24

---

Figur 24:	Tabellarisk oversikt over deviasjonslogg fra bachelorgruppens test av radarposisjonering om bord på «MS Polarlys». (Nikolaisen, Prokosch, & Nilssen, 2018, s. 98)	25
Figur 25:	Stikkord fra spørreundersøkelsen. (Nikolaisen, Prokosch, & Nilssen, 2018, s. 64)	27
Figur 26:	Posisjonsmenyer fra K-Bridge. (Kongsberg Maritime AS, 2017, s. 501-502)	33
Figur 27:	Oppsett av radarskjermen, sammensatt av oppgaveforfatterne. (Kongsberg Maritime AS, 2017, Radar, s. 87, 95) (Kongsberg Maritime AS, 2017, ECDIS, s. 501)	34

<sup>0</sup> *Merknad:*

*Kjerstads bok bruker både kapittel og faktiske sidetall i sidetallene. (Kjerstad, 2019, s. 2-4) betyr dermed kapittel 2, side 4 og ikke side 2 til 4.*



---

## Forkortelser

ACR	Anti Clutter Rain
ACS	Anti Clutter Sea
ARPA	Automatic Radar Plotting Aid
C4ADS	Center for Advanced Defense Studies
CPA	Closest Point of Approach
DR	Dead Reckoning
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System
EM-logg	Elektromagnetisk logg
ENC	Electronic Navigational Charts
FFI	Forsvarets Forskningsinstitutt
FHS	Forsvarets Høgskole
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMO	International Maritime Organization
MPN	Militær Praktisk Navigasjon (fagkode fra Sjøkrigsskolen: NAV3306)
NAVCEN	U.S. Coast Guard Navigation Center
NTNU	Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet
RADAR	Radio Detection And Ranging
SA	Situational Awareness
STW	Speed through water
TCPA	Time to Closest Point of Approach
TNS	Treghetsnavigasjonssystem

# 1 Innledning

I juni 2017, Nord-Øst i Svartehavet ligger et fartøy utenfor kysten av Novorossijsk (Russland) og venter på å få godkjenning for å legge til kai. Kapteinen blir oppmerksom på at GPS-posisjonen<sup>1</sup> viser at fartøyet skal være ved Gelendzjik lufthavn, like sør for Novorossijsk, og ikke 25 nautiske mil utenfor kysten. Han forstår at GPS ikke lenger viser en troverdig posisjon, og at han må oppdatere posisjonen sin så fort som mulig. Kapteinen finner den faktiske posisjonen sin ved å kombinere papirkartet med peiling/avstand fra radaren. Deretter setter han ECDIS<sup>2</sup> i *Dead Reckoning* og oppdaterer posisjonen ved hjelp av manuelle posisjonsoppdateringer med *Radar Overlay* i ECDIS. (Midgett, 2017)

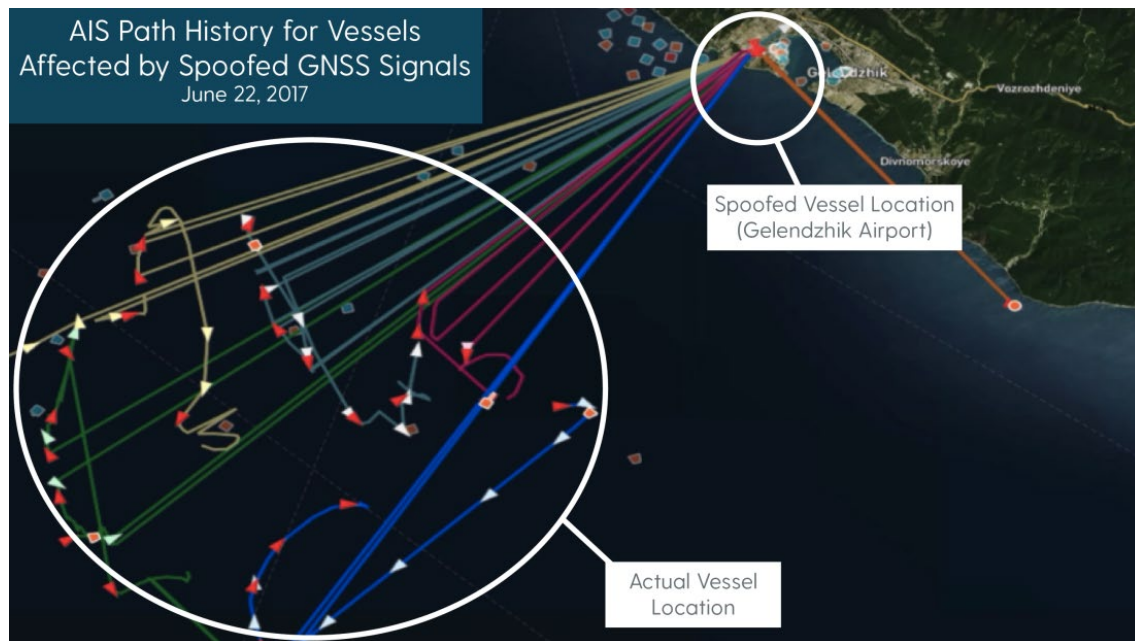


Figur 1: Kart over Svartehavet, med utsnitt av GPS-posisjonen til fartøyet beskrevet over. (Midgett, 2017)

Fartøyet får så godkjenning til å gå mot havnen. GPS viser fortsatt feil posisjon og kapteinen fortsetter å oppdatere posisjonen sin med *Radar Overlay* i ECDIS på veien innover mot kysten. Under innseilingen til havnen, benytter han Parallelindeksfunksjonen i radaren. Kapteinen setter ut en index i radar på hver side av fartøyet, med forhåndsplanlagt passeringsavstand til land. På vei inn i havnen ser han at posisjonen bekreftes på en god måte. (Midgett, 2017)

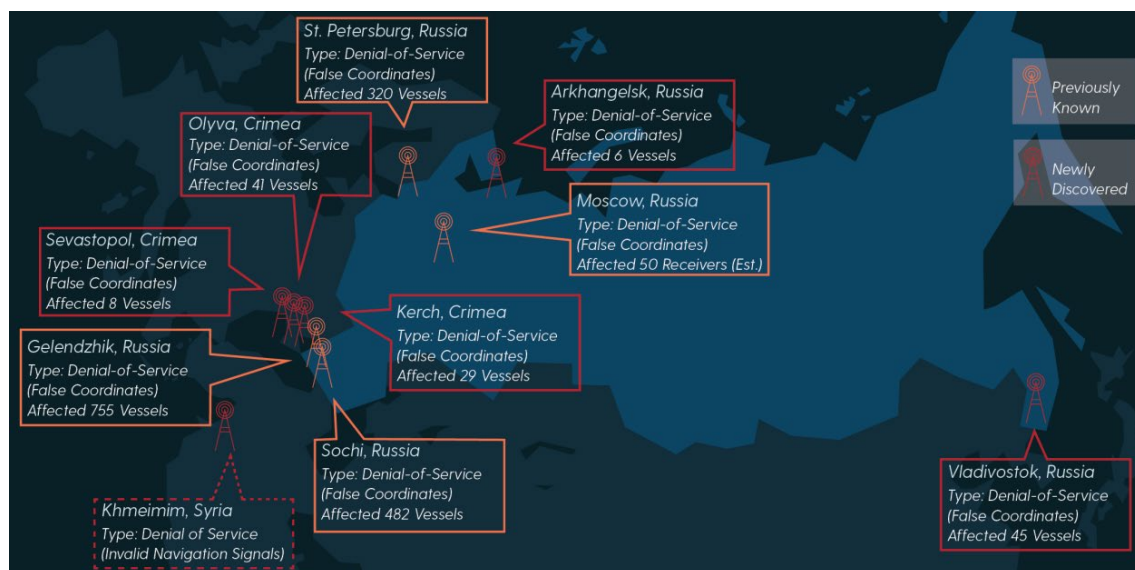
<sup>1</sup> Global Positioning System, globalt satellittnavigasjonssystem eid og drevet av USA.

<sup>2</sup> Electronic Chart Display and Information System.



Figur 2: Dokumentert tilfelle av spoofing på flere fartøy. (C4ADS, 2019, s. 15)

I perioden 2016-2019 er det dokumentert hundrevis av fartøy som har blitt jammet og spoofet (se vedlegg A) i Svartehavet. I rapporten *Above us only stars* kan den ideelle organisasjonen C4ADS (Center for Advanced Defense Studies) bekrefte tilfellet beskrevet i innledningen. Ifølge C4ADS var Russlands president Vladimir V. Putin denne dagen mest sannsynlig på besøk om bord på et fartøy utenfor Novorossijsk for å markere åpningen av en ny gassrørledning mellom Russland og Tyrkia. Det er derfor sannsynlig at det ble brukt spoofing-utstyr for å sikre hans tilstedeværelse i området ved å spoofe GNSS (Global Navigation Satellite System) i området rundt. (C4ADS, 2019, s. 23)



Figur 3: Dokumentert jamming/spoofing mellom 2016-2019. (C4ADS, 2019, s. 20)

Det har vært et større fokus i media de siste årene rundt utfordringer med GNSS-forstyrrelser. Det ble stor interesse fra media under øvelse Trident Juncture 2018, da Russland jammet GPS-signaler i både Norge og Finland (NRK, 2018). Svikt i dette systemet er lettere å se for seg i dag enn hva det var før. Svikt kan skyldes både tilsiktede handlinger av andre nasjoner og utilsiktede handlinger som menneskelige- eller tekniske feil, samt naturfenomen (Samferdselsdepartementet, 2018, s. 38). Ved bortfall av GNSS vil navigatører og styrmenn måtte jobbe på en annen måte, men med de riktige verktøyene kan man unngå store utfordringer.

I dag er GNSS det primære posisjonerings- og tidssystem. Navigatøren kan ikke stole blindt på GNSS, da det er et sårbart system. Signalene mellom satellitt og fartøy kan lett bli forstyrret av både solstormer og tilsiktede forstyrrelser laget av mennesker. Tekniske feil på satellitten påvirker også nøyaktigheten til både posisjon og tid. Viktigheten av dette understøttes av US Coast Guard som sier at «selv om GPS har vist seg å være ekstremt pålitelig, understreker NAVCEN<sup>3</sup> at det er viktig å sikre at alternative metoder og systemer er tilgjengelige, forstått og brukt» (Midgett, 2017).

Viktigheten av å ha et godt sekundært posisjoneringssystem er blitt aktualisert gjennom de senere års dokumenterte tilfeller av GPS-forstyrrelser. Forstyrrelsene har blitt sterkere i utsending, og kan være vanskelig å oppdage om bord (C4ADS, 2019). På bakgrunn av identifisert jamming er det også en overveiende sannsynlighet at det også forekommer spoofing i Norge. Dermed kan det være fordelaktig å ha et sekundært system som kan være et alternativ til manuell posisjonering.

I det beskrevne tilfellet innledningsvis, ble posisjonering av fartøyet foretatt med manuell korrelering av radar og kart. I denne oppgaven ønsker vi å belyse muligheten for en radarposisjoneringsfunksjonalitet (se vedlegg A) basert på automatisk samregistrering. Norges fjorder og skjærgård har distinkte landkonturer som gir godt grunnlag for dette.

---

<sup>3</sup> U.S. Coast Guard Navigation Center.

## 1.1 Bakgrunn

Vår interesse for oppgavens problemstilling kom etter gjennomført ARPA-kurs (Automatic Radar Plotting Aid) i fjerde semester, og økte parallelt med undervisning om GNSS sårbarhet. Det å seile uten GNSS, kun med radar tilgjengelig i Militær Praktisk Navigasjon (MPN), hjalp veldig på idemyldringen.

Sjøforsvarets skolefartøy er utrustet med integrert navigasjonssystem fra Kongsberg Maritime AS (K-Bridge). Navigasjonssystemet har funksjonalitet for posisjonering ved hjelp av radar, basert på målfølgning av stasjonære mål. Vår erfaring gjennom flere seilas er at brukervennligheten ikke er god nok i dag, mye grunnet en tidkrevende prosess. Systemet krever en stor grad av interaksjon fra brukeren og en jevnlig manuell oppdatering av nye radarmål.

Som en del av denne oppgaven vil vi sammenligne to publikasjoner. Den første publikasjonen er en bacheloroppgave gjort ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), *Robusthet på GNSS og alternative metoder for sikker navigasjon* (Nikolaisen, Prokosch, & Nilssen, 2018). Den andre publikasjonen er en rapport fra Forsvarets Forskningsinstitutt FFI, *GNSS-independent maritime navigation* (Hagen, et al., 2021). Rapporten fra FFI er i sin helhet gradert begrenset, men delkapitlene vi bruker har blitt nedgradert. I tillegg brukes både faglitteratur og leksjoner fra Sjøkrigsskolen (Kjerstad, 2019), samt flere andre rapporter og artikler. Disse belyser forskjellige alternativer for radarposisjonering som er forsket frem i utlandet.

Oppgavens problemstilling går under et tema det er skrevet veldig lite om. Det som er skrevet, tar for seg andre synsvinkler. Vi ser for oss en mer praktisk synsvinkel, mens resterende rapporter har sett mer på algoritmen bak posisjonsberegningen.

En kanadisk rapport tester det å sette ut søyler med radarreflektor og kjent posisjon, men konkluderer med at søylene blir alt for dyre å sette ut, samtidig som de ikke vil være nødvendige. Rapporten begrunner konklusjonen med at det like gjerne kan gjøres med samregistrering av kystkontur og radar, slik vi ser for oss. (Lanziner & Russel, 2014).

En rapport fra Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) sammenligner nedlastede satellittbilder fra *Google Earth* og radarbildet om bord for å få en posisjon (Ma, Smart, Ahmed, & Brown, 2019).

En tredje polsk rapport fra Maritime University of Szczecin ser på muligheten å bruke datagenererte punkter fra radaren for å sette posisjonen (Waż, 2010).

Når GNSS ikke er tilgjengelig trenger vi et alternativ for å kunne navigere nøyaktig nok, og vi ønsker derfor å se nærmere på tematikken.

## 1.2 Mål

Hovedmålet med denne bacheloroppgaven er å belyse om en radar-posisjonerings-funksjonalitet kan gi nødvendig posisjonsnøyaktighet for å kunne bruke radar som sekundær posisjonssensor.

Videre ønsker vi å se om denne funksjonaliteten kan lette oppfattelsen av omgivelsene rundt eget fartøy, slik at navigatøren kan forstå situasjoner raskere og dermed predikere fartøyets posisjon korrekt for å seile trygt.

## 1.3 Problemstilling

Etter erfaringer fra emnene MPN<sup>4</sup> og Navigasjonssystemer<sup>5</sup> ved Sjøkrigsskolen la vi merke til at det ikke finnes en godt utbredt og automatisk posisjonsmetode ved bortfall av GNSS. Dette selv om det eksisterer manuelle metoder i K-Bridge. Videre er det, som nevnt tidligere, ikke skrevet mye rundt dette temaet. På bakgrunn av alt dette har vi satt følgende problemstilling:

*Kan en automatisk radar-posisjoneringsfunksjonalitet gi nødvendig posisjonsnøyaktighet til maritim navigasjon ved bortfall av GNSS?*

---

<sup>4</sup> NAV3306. Militær Praktisk Navigasjon 3-6, i perioden 2020-22.

<sup>5</sup> NAV2303. Navigasjonssystemer 1, 2021.

## 1.4 Avgrensninger

Systemet skal være uavhengig av infrastruktur på land, og skal være lokalt om bord. Oppgaven vil ikke gå i detalj på tekniske aspekter eller matematiske beregninger forbundet med dette. Vi vil heller ikke se på det økonomiske for videreutviklingen av idéen.

## 1.5 Struktur

Oppgaven følger Sjøkrigsskolens mal for bacheloroppgaver. Første kapittel tar for seg introduksjonen til oppgaven og bakgrunnen til problemstillingen. Andre kapittel tar for seg relevant teori for lettere å forstå de grunnleggende prinsippene som har blitt brukt, både i FFIs posisjoneringsprinsipp og av dagens Kongsberg Maritime K-Bridge. Videre tar kapittel tre for seg en kort beskrivelse av litteraturstudien. Kapittel fire presenterer resultatene fra testene som har blitt utført av FFI og bachelorgruppen, før vi i kapittel fem drøfter rundt problemstillingen for å utforske behovet, nytteverdien og nøyaktigheten til en eventuell ny funksjonalitet. Avslutningsvis i sjette og syvende kapittel presenteres konklusjonen og avslutningen av oppgaven. Som vedlegg følger nomenklatur i vedlegg A, og forslag til videre arbeid i vedlegg B.

## 2 Teori

I dette kapittelet skal vi redegjøre for relevant teori for best mulig forståelse av mulighetene og begrensingene pulsradar gir oss i dag. Hovedtemaene vi skal fordype oss i er pulsradar, kystkorreleringsmetoden til FFI og K-bridge sin radar-posisjonerings-funksjonalitet.

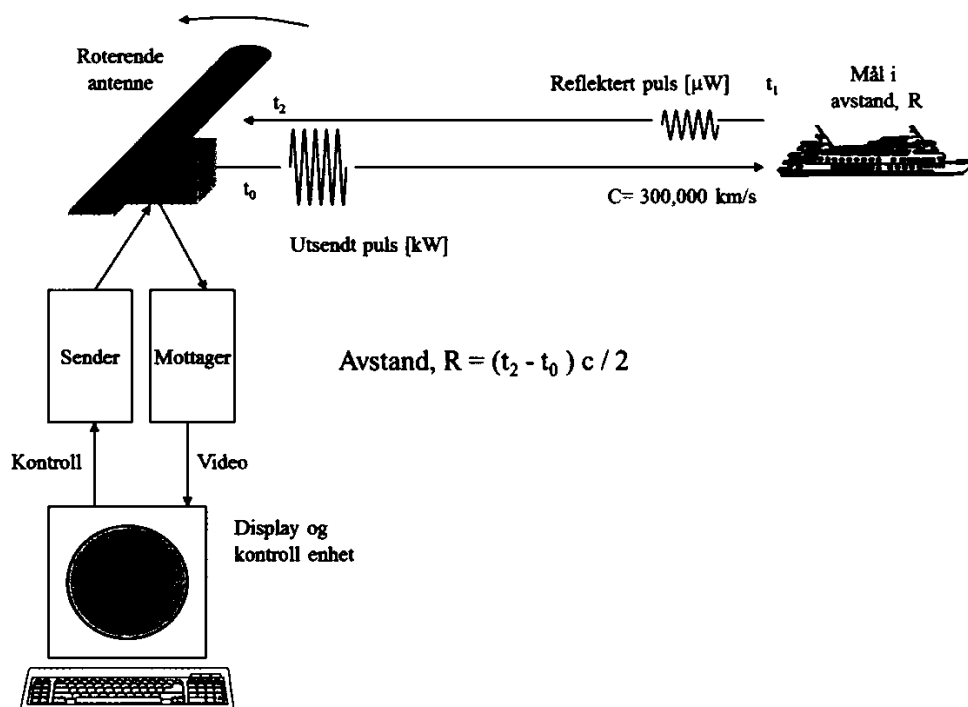
### 2.1 Prinsippet til en pulsradar

Radar er et akronym for «Radio Detection And Ranging», og er en sensor for deteksjon og avstandsbedømmelse. Radar kombinerer elektromagnetiske pulser og rotasjon for å oppnå et todimensjonalt bilde rundt fartøyet. Den elektromagnetiske pulsen blir sendt i en bestemt retning, og hvis pulsen treffer et objekt vil vi kunne få en refleksjon tilbake som blir mottatt og målt av radarantennen. Dette blir vist i figur 4. Antall pulser per omdreining avhenger av strålingskarakteristikken til radaren. (Kjerstad, 2019, s. 2-1 til 2-4)

For at radaren skal kunne beregne avstanden til et objekt, brukes formelen:

$$Avstand = \frac{c \cdot t}{2} \quad (2.1)$$

Her er  $c$  lysets hastighet (ca. 300.000.000m/s) og  $t$  tiden den elektromagnetiske pulsen bruker frem og tilbake. For å få avstanden til objektet må tiden deles på to siden signalet må reise til og fra objektet. (Kjerstad, 2019, s. 2-3 til 2-4)



Figur 4: Prinsippet til en pulsradar. (Kjerstad, 2019, s. 2-4)

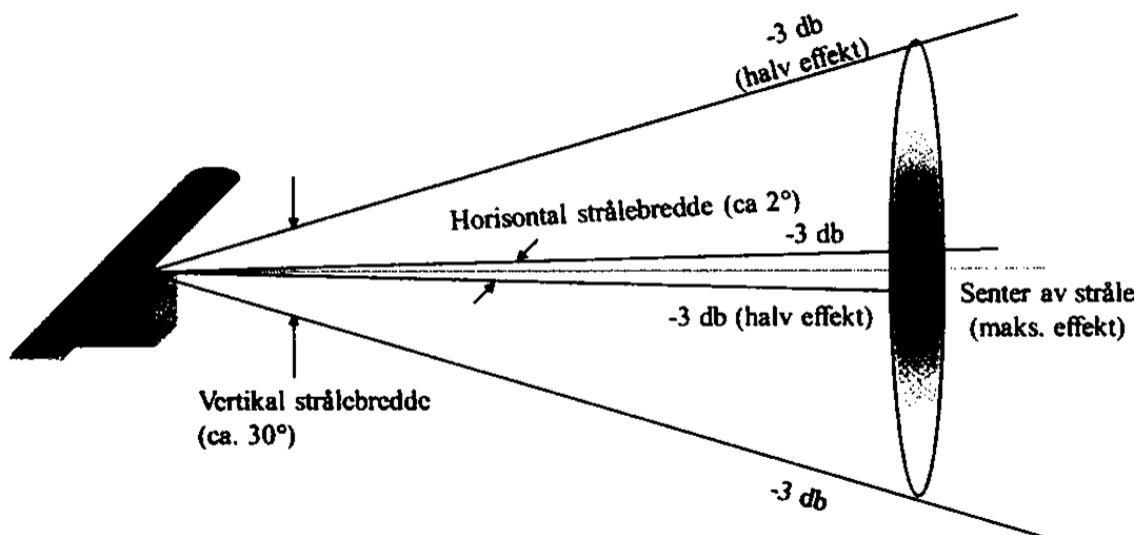


### 2.1.1 Antenne strålingskarakteristikk

Hver leverandør bygger radarer med forskjellige karakteristikker for å oppnå best mulig bruksområde for hver enkelt fartøystype. Det er viktig å sette seg inn i sin egen radars karakteristikk for å kjenne til radarens nøyaktighet og begrensinger. På sjøen er det hovedsakelig to typer radarer man bruker, S-bånd og X-bånd.

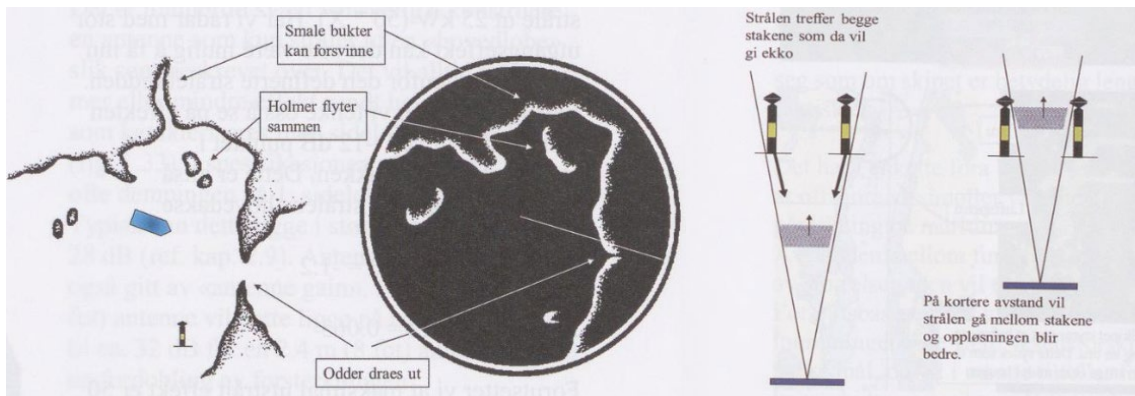
S-bånd, også kalt "10cm", sender ut radarbølger i et frekvensområde mellom 2900-3100MHz (The ITU Radiocommunication Assembly, 1997-2000, s. 2). Den typiske horisontale lobebredden ved -3dB er mellom 1 og 4 grader, mens den vertikale er mellom 24 og 30 grader (The ITU Radiocommunication Assembly, 1997-2000, s. 2). S-bånd kan potensielt ha lengre rekkevidde enn X-bånd siden den har lavere frekvens. Den blir også mindre påvirket av nedbør enn det X-bånd gjør. (Kjerstad, 2019, s. 2-8)

X-bånd, også kalt "3cm", sender ut radarbølger i et frekvensområde mellom 8850-9500MHz (The ITU Radiocommunication Assembly, 1997-2000, s. 2). Den typiske horisontale lobebredden ved -3dB er mellom 0,75 og 2,3 grader, mens den vertikale er mellom 20 og 26 grader (The ITU Radiocommunication Assembly, 1997-2000, s. 2). X-bånd radar har normalt en mindre strålebredde og høyere frekvens enn S-bånd. Dette gjør X-bånd bedre på å oppdage små objekter og øker oppløsningen på bildet. (Kjerstad, 2019, s. 2-8)



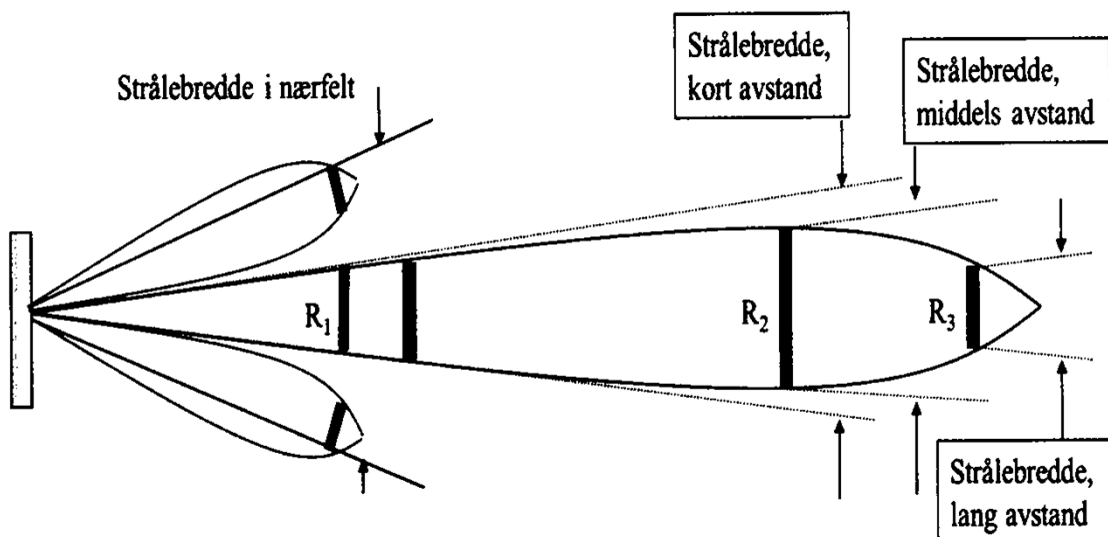
Figur 5: Typisk vertikal- og horisontal strålebredde på en maritim radarantenne. (Kjerstad, 2019, s. 2-17)

Formålet med den vertikale strålebredden er å få et radarbilde også under krenkning, men den horisontale strålebredden er i hovedsak den eneste strålingskarakteristikken som påvirker radarbildet. Smal horisontal strålebredde gir både bedre peilingsnøyaktighet og skilleevne i avstand. Figur 6 viser skilleevne i avstand, der sund og smale bukter kan fremstå som lukket, og objekter nær hverandre kan fremstå som ett ekko. (Kjerstad, 2019, s. 2-18 til 2-21)



Figur 6: Skilleevne i avstand. (Kjerstad, 2019, s. 2-20 til 2-21)

Den horisontale strålebredden endres med avstand. Vi måler bredden ved  $-3\text{dB}$ , der signalstyrken er halvert. Nærmere antennen vil strålingsbredden være noe større. I tillegg er det sideløber som stråler ut til sidene, som vist i figur 7. Sidelobene kan gi stor bredde, samt store falske ekko på kort avstand. (Kjerstad, 2019, s. 2-17)



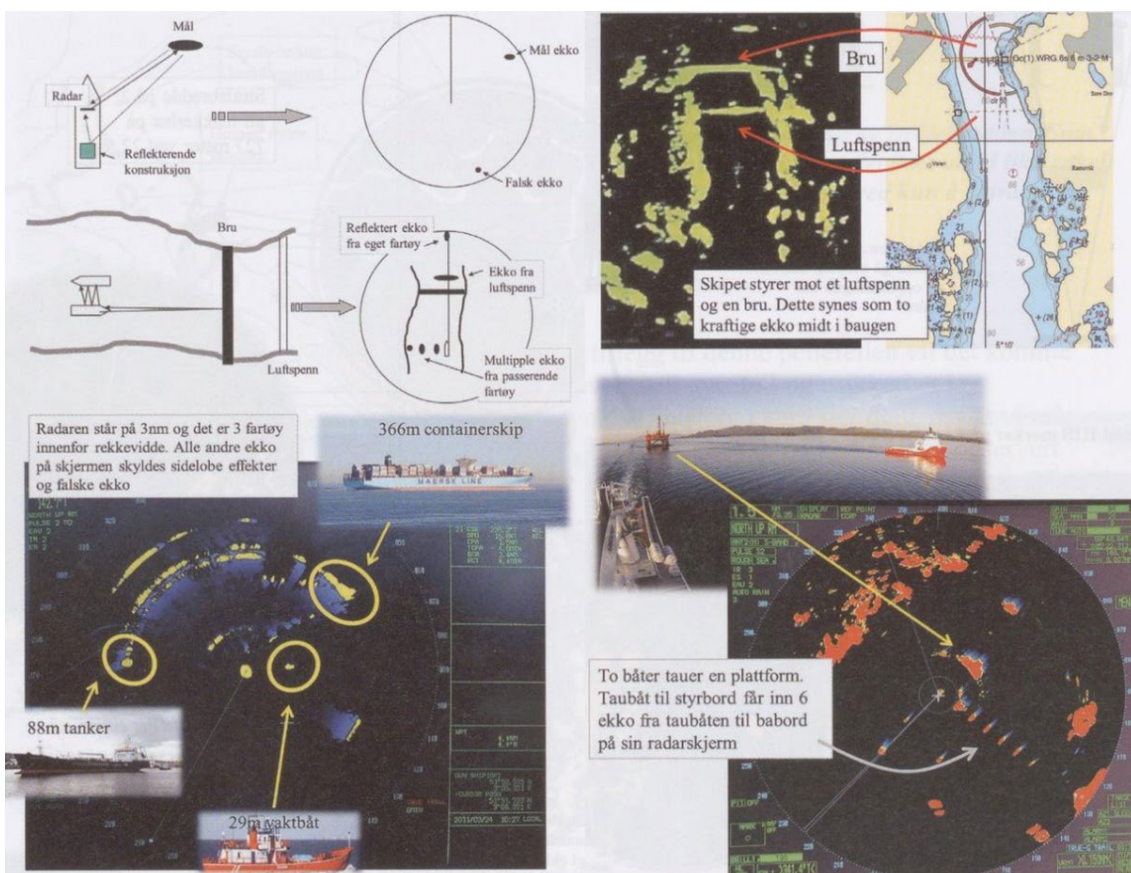
Figur 7: Horisontal strålebredde vil variere med avstand. (Kjerstad, 2019, s. 2-18)

## 2.1.2 Pulsradar feilkilder

Radarbølger kan bli påvirket av flere forhold som for eksempel elektromagnetiske forhold, antennens oppbygning, refleksjonsegenskapene til objektet eller atmosfæriske forhold.

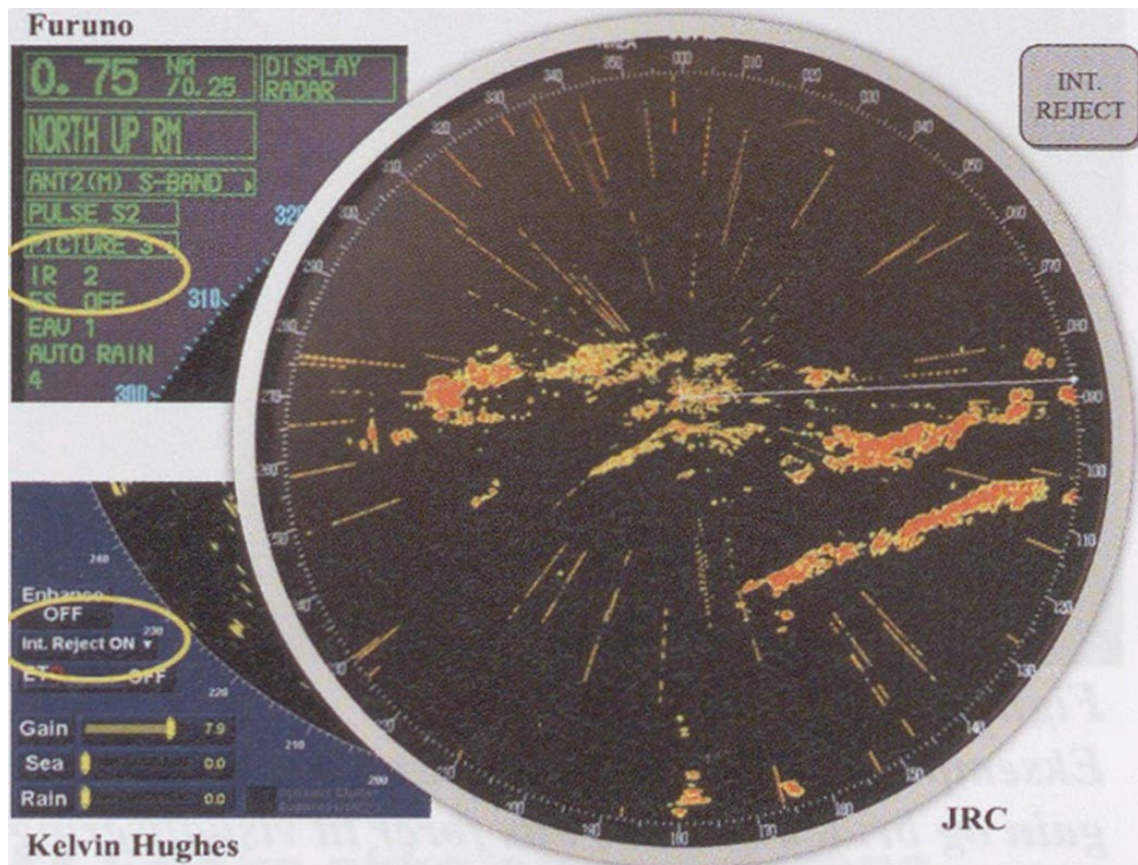
### Elektromagnetiske forhold

Seiler man i nærheten av bygninger eller broer, kan man oppleve falske ekko. Falske ekko kan oppstå fra sidelobene ved passering av store skip, og ekkoene vil strekkes ut som en bue. *Multipath* (se vedlegg A) kan også oppstå ved at pulsen blir reflektert flere ganger mellom skrogene, og man vil få ekko som blir gjentatt flere ganger på samme peiling. (Kjerstad, 2019, s. 2-22 til 2-23)



Figur 8: Fenomener som kan skape falske ekko. (Kjerstad, 2019, s. 2-22)

Interferens kan oppstå i nærheten av andre radaremitterere, som sender ut i samme frekvensområde. Som vist i figur 9 er interferens en utfordring som påvirker radarbildet. Dette fordi interferens lager mer støy i bildet, ofte med stiplede linjer ut fra skjermens sentrum. Interferensen kan også gjøre det vanskeligere å skille ekko fra hverandre. (Kjerstad, 2019, s. 2-22 til 2-24)



Figur 9: Interferens fra andre radaremittere. (Kjerstad, 2019, s. 2-24)

### Fysiske forhold

Radaren er bygget opp av flere elektriske og mekaniske komponenter. Elektronbevegelsen i komponentene vil alltid lage støy. Denne støyen kan også bli forsterket på lik linje som signaler vi mottar og skape forstyrrelser i radarbildet. Denne støyen oppleves som sus i bakgrunnen og kan skjule svake ekko. Dette kan påvirke nøyaktigheten. (Kjerstad, 2019, s. 2-13)

### Atmosfæriske forhold

Forhold som bølger og regn påvirker radarbildet. Ekko fra sjø og regn kan bli så kraftig at de kan skjule andre ekko. I radarinnstillingene finner vi *Anti Clutter Sea* (ACS) og *Anti Clutter Rain* (ACR). Disse kan brukes for å minimere støyen og dermed oppnå et bedre bilde. Det er viktig å være forsiktig, når man endrer på innstillingene, slik at man ikke fjerner andre ekko som kan være relevante for navigasjonssikkerheten. ACS/ACR kan undertrykke ekko hvis navigatøren bruker feil innstillinger. (Kjerstad, 2019, s. 2-13 til 2-14)

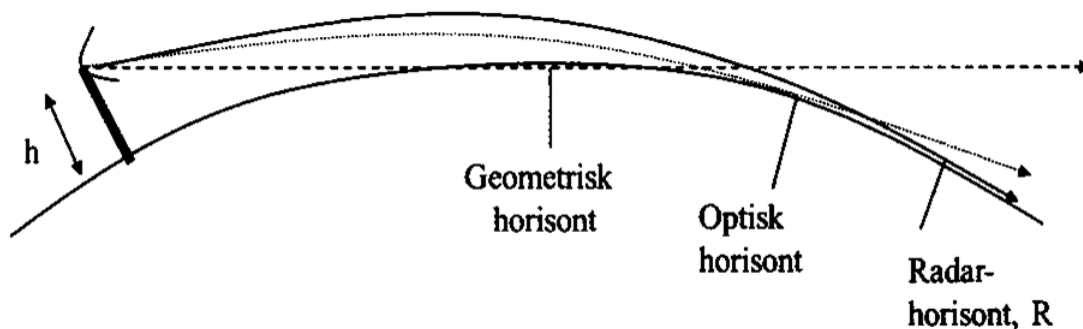
Ved samregistrering kan mye bølger og regn påvirke posisjonsnøyaktigheten. Støyen kan minimeres ved å justere radarbildet og ved kun å bruke sterke og stabile ekko. I dette tilfellet kan S-bånd være et alternativ, da den blir mindre påvirket av atmosfæriske forhold.

### Radar rekkevidde

Radarens rekkevidde under normale forhold er ca. 7-8% lengre enn optisk horisont, og er avhengig av antennes høyde over vannoverflaten, som vist i figur 10. (Kjerstad, 2019, s. 2-15). Forenklet formel for å beregne radar horisont er:

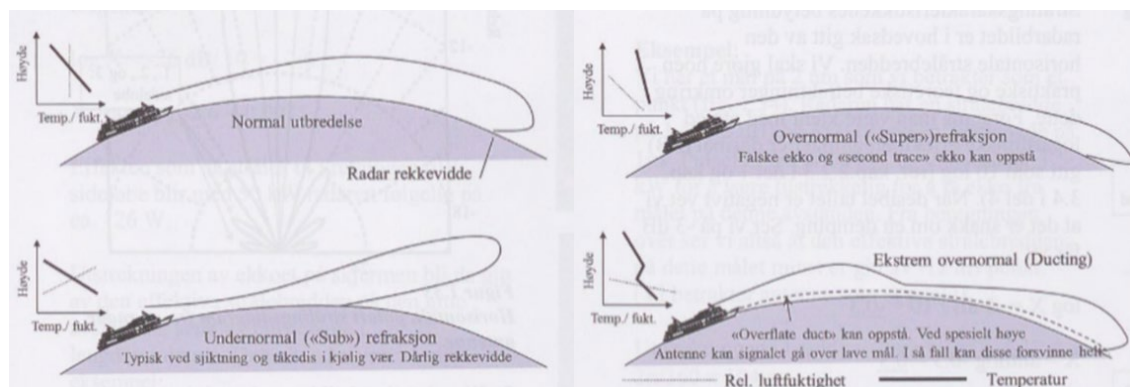
$$R_h = k * \sqrt{h} \quad (2.2)$$

Her er  $h$  antennehøyden i meter og  $k$  en konstant på 2,2. (Kjerstad, 2019, s. 2-15)



Figur 10: Radarhorisonten er som oftest lengre enn optisk horisont. (Kjerstad, 2019, s. 2-15)

Spesielle utbredelsesforhold, slik som refraksjon og demping, påvirker radarrekkevidden på lengre hold, som illustrert i figur 11 (Kjerstad, 2019, s. 2-16 til 2-17). Posisjonering ved samregistrering gjøres i kystnære områder. Over kortere distanser har disse utbredelsesforholdene lite innvirkning.



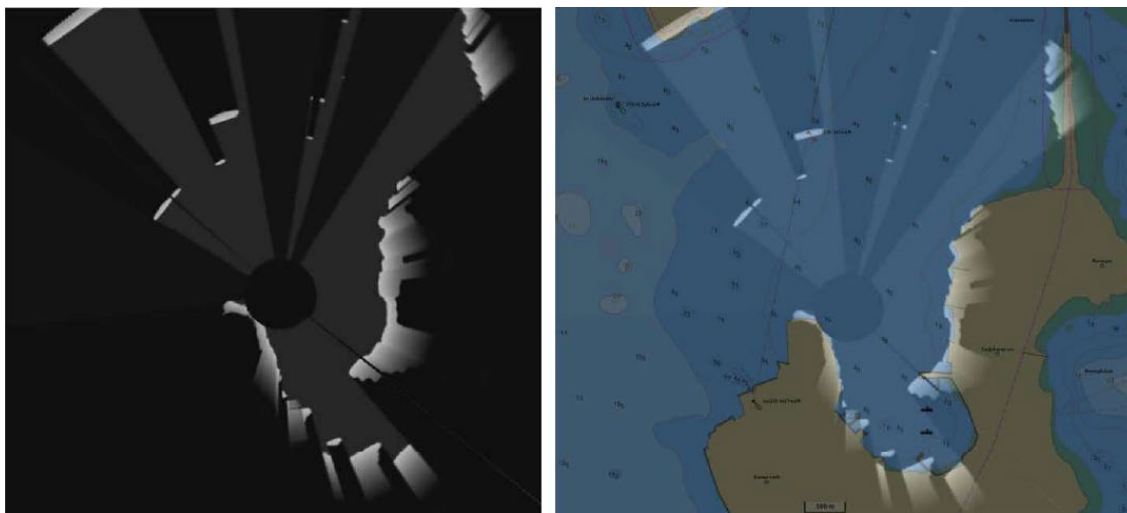
Figur 11: Radarstrålens avbøyning/refraksjon som følge av forskjellige meteorologiske forhold. (Kjerstad, 2019, s. 2-17)

## 2.2 Forsvarets Forskningsinstitutt

FFI beskriver, i sin rapport om maritim navigasjon uten GNSS (Hagen, et al., 2021, s. 21), radar som en mulig sensor for å posisjonere seg med. FFI poengterer at radar er noe som nesten alle fartøy har og at den er kapabel til å detektere objekter og land på lengre avstander, også under dårlig sikt. FFI skriver at det er mulig å samregistrere et georeferert kart og radarens bilde for å få en todimensjonal posisjon og heading.

### 2.2.1 Posisjoneringsprinsipp ved kystkorrelering

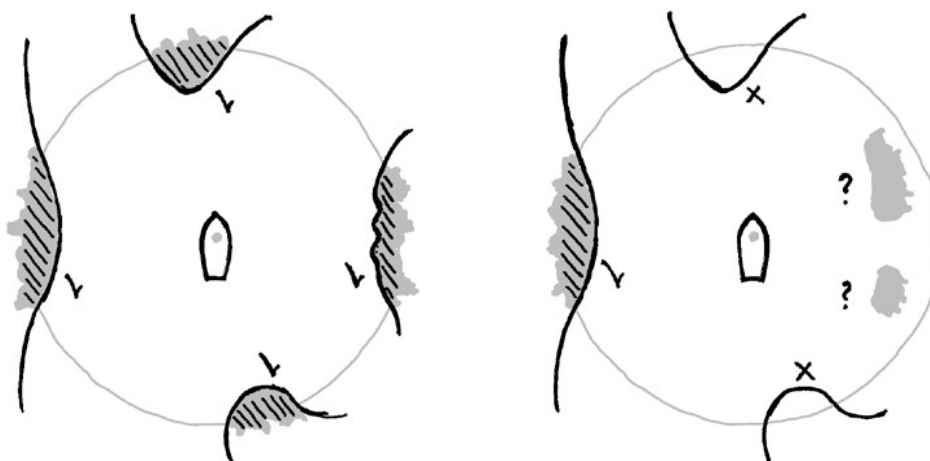
FFI har utviklet en algoritme som omgjør radarbildet til kystlinje og kan derfor samregistrere disse konturene for å kunne finne fartøyets posisjon. I figur 12 kan vi observere resultatet av en simulering fra FFI, hvor kystkorrelering gir en radarposisjon. FFI beviser at selv om radaren detekterer sjømerker og noe støy fra sjøen, klarer algoritmen å samregistrere de to bildene. (Hagen, et al., 2021, s. 21-22)



Figur 12: Samregistrering av radarekko (venstre) og georeferert kart (høyre). (Hagen, et al., 2021, s. 22)

Samregistreringen er basert på korrelering av den gjenkjente kystlinjen fra radar med et georeferert kart. Ut ifra samregistreringen vil vi få et posisjonsestimert med assosiert usikkerhet. Usikkerheten blir tallfestet med to indikatorer; konfidens- og kvalitetstall. Konfidensstallet sier noe om nøyaktigheten til sammenligningen av bildene, mens kvalitetstallet gir oss antall referansepunkt rundt fartøyet. (Hagen, et al., 2021, s. 22)

I figur 13 kan vi se sammenligningen mellom radarekkoene og land. Den store grå sirkelen indikerer rekkevidden til radaren. Radarekkoene illustreres av grå skygger, mens de skraverte områder viser der radarekko overlapper med land. Tegningen til venstre viser et eksempel på god konfidens, mens til høyre er ikke alle ekkoene korrelert med land. Her får vi en posisjon med et lavt konfidenstall. (Hagen, et al., 2021, s. 23)



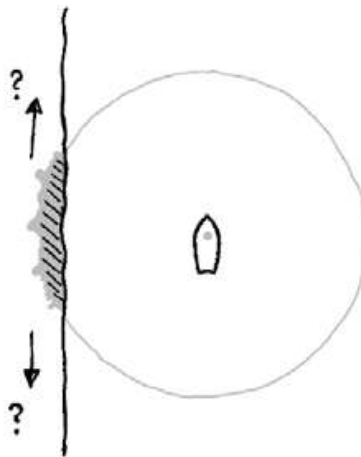
Figur 13: Eksempel på god konfidens (venstre) og dårlig konfidens (høyre). (Hagen, et al., 2021, s. 23)

FFI utnytter et treghetsnavigasjonssystem (TNS) for å orientere bildet slik at sammenligningen mellom kystkonturene skjer raskere. En TNS måler fartøyets bevegelser, akselerasjoner og heading. På denne måten hjelper TNS å finne retningen til fartøyet raskere, samt for å kunne kalibrere systemet. En treghetsnavigator vil gjøre det enklere for et system å jobbe, og dermed eliminere en del prosessorkapasitet som ellers ville vært nødvendig. Den er i teorien ikke nødvendig, men vil øke systemets robusthet ved å være en ekstra sensor. En kombinasjon av TNS og radarposisjonering vil gi mulighet til å anskaffe billigere TNS. Dette fordi man ikke behøver høy nøyaktighet over 24 timer, men som oftest kun minutter eller få timer til GNSS signalet kommer tilbake. (Hagen, et al., 2021, s. 22)

## 2.2.2 Kystkorrelering feilkilder

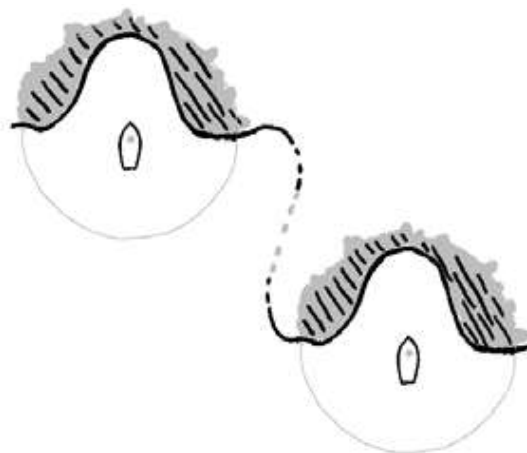
FFI har identifisert og beskrevet forhold som til tross for høy konfidens og kvalitet på samregistrering, kan føre til redusert posisjonsnøyaktighet. (Hagen, et al., 2021, s. 23)

Kystområder med færre unike konturer kan ha større utfordringer med å bruke en FFIs algoritme. Figur 14 viser problematikken ved å determinere høyden i farvannet. (Hagen, et al., 2021, s. 24)



Figur 14: Rette kystkontur gir større usikkerhet om posisjonen. (Hagen, et al., 2021, s. 24)

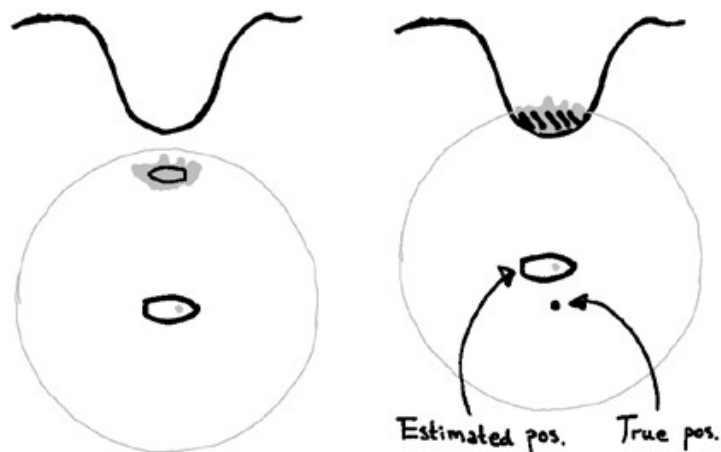
Landkonturene kan være lik flere steder langs kysten, både langs Norges kyst og globalt i verden. Figur 15 viser problemstillingen. I områder som dette, kan algoritmen bli lurt og det er fordelaktig å ha en god posisjon i utgangspunktet. (Hagen, et al., 2021, s. 24)



Figur 15: Like landkonturer kan gi feil posisjon. (Hagen, et al., 2021, s. 24)

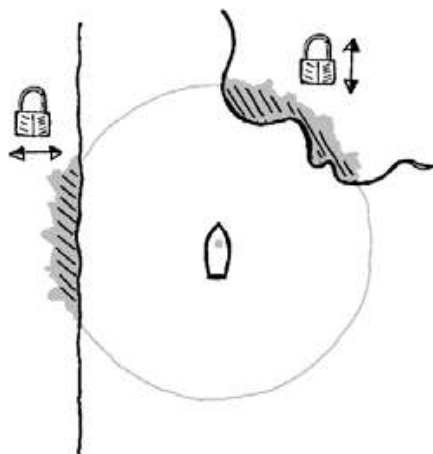


I figur 16 ser vi hvordan algoritmen kan bli lurt av objekter som ikke er i kartet. For eksempel kan et fartøy foran et nes forårsake at posisjonen gir feil avstand til land. (Hagen, et al., 2021, s. 24)



Figur 16: Fartøy kan lure algoritmen. (Hagen, et al., 2021, s. 24)

Figur 17 viser en gunstig posisjonering med radar (Hagen, et al., 2021, s. 24). Ekkoene korrelerer med land i det georefererte kartet, og algoritmen kan definere posisjonen ved hjelp av to samregistreringer vinkelrett på hverandre.



Figur 17: Samregistrering i flere retninger gir gode posisjoner. (Hagen, et al., 2021, s. 24)

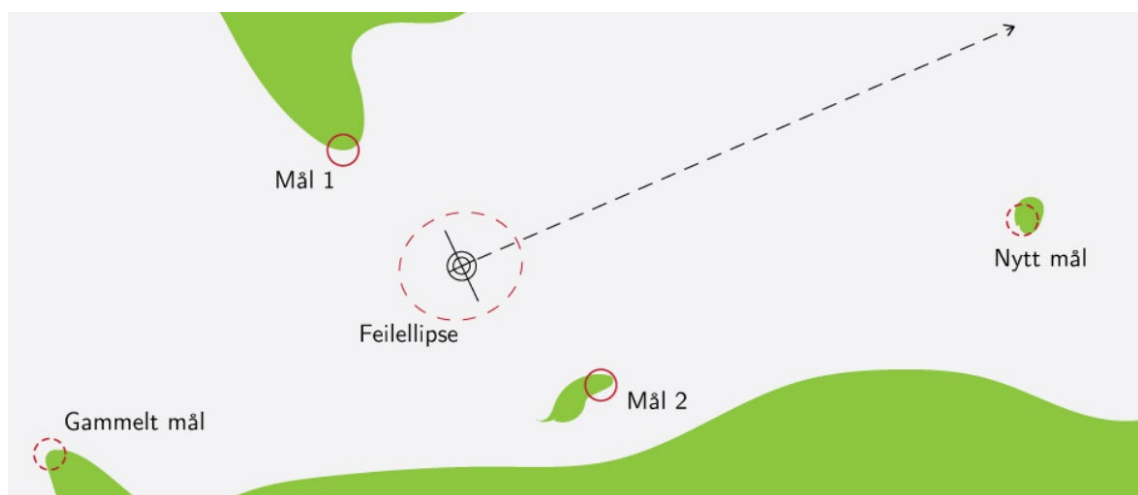
## 2.3 Kongsberg Maritime radarposisjonering

Oppgaven gjort ved NTNU i Ålesund har sin opprinnelse i den grunnleggende sårbarheten til GNSS, og omhandler dermed GNSS robusthet og alternative system for navigasjon. Alternativene det blir sett på er radarposisjoneringssystem, *Dead Reckoning* (DR), treghetsnavigasjon, terrengkorrelasjon og fem andre system som kan komplettere GNSS for en større redundans (Nikolaisen, Prokosch, & Nilssen, 2018). Denne oppgaven vil legge vekt på radarposisjonering og deres erfaringer rundt det, samt terrengkorrelasjon.

### 2.3.1 Posisjoneringsprinsipp K-Bridge

I bacheloroppgaven forklares det hvordan Kongsberg Maritimes system kan brukes til å ta kontinuerlige posisjoner ved hjelp av radar. Dette gjøres ved hjelp av ARPA på stasjonære objekt, og objektets kjente posisjon (Nikolaisen, Prokosch, & Nilssen, 2018, s. 37). Kongsberg Maritime peker på fordelene dette systemet har ved å være totalt uavhengig fra andre elektroniske posisjonssystemer utenfor skipets skrog. (Kongsberg Maritime AS, 2017, s. 120)

ARPA får målfølgning på objektet med ett tastetrykk. IMOs krav til dette er at det skal ta ett til tre minutter å få målfølgning på målet (International Maritime Organization, 1995). Er forholdene riktig, tar dette 30-60 sekunder. Systemet oppdaterer posisjonen kontinuerlig så lenge det er mulig for radar og ARPA å følge objektet. Systemet trenger minst ett av disse målene (maks fire) som det kan følge for å få en posisjon i form av peiling/avstand. Etter hvert som fartøyet seiler nord-østover i figur 18, må det finnes nye mål fremover i leia, mens gamle mål må tas ut av radar-posisjoneringsfunksjonaliteten. (Kongsberg Maritime AS, 2017, s. 120-121)



Figur 18: Forenklet skisse som viser bruken av ARPA-mål. (Nikolaisen, Prokosch, & Nilssen, 2018, s. 38)

Det blir påpekt flere ganger i Kongsberg Maritimes radarmanual at dette kun er et reservesystem, og at det aldri må bli brukt som en fullverdig erstatning for et velfungerende elektronisk posisjonssystem.

Når det kommer til systemets feilkilder, består det for det meste av feilkilder fra ARPAs målfølging og radar. Neste delkapittel vil omhandle disse feilkildene fra ARPA, mens radar feilkildene er beskrevet tidligere i kapittel 2.1.1. Radar feilkilder.

### **2.3.2 ARPA**

ARPAs hovedmål er å unngå sammenstøt mellom fartøy på sjøen. ARPA ble først introdusert i USA i 1982 for fartøy som førte farlig last over 10.000 tonn. Det ble senere implementert i Den internasjonale sjøfartsorganisasjonens (IMO) regelverk i 1984. (Kjerstad, 2019, s. 2-91)

ARPA funksjonaliteten kan gjøre beregninger på ekko fra skip og andre frittstående objekter. ARPA-track (se vedlegg A) dataen skal støtte navigatøren med informasjon for beslutningstaking i antikollisjonsmanøvrering. ARPA skal gi informasjon om peiling og avstand, nærmeste passering (CPA) og tiden til denne (TCPA), samt beregnet sann kurs og fart til målet.

### **2.3.3 ARPA feilkilder**

Det er mange forhold som påvirker ARPAs driftsnøyaktighet, og det er svært viktig å ta hensyn til disse. Det gjelder å ha tilstrekkelige sikkerhetsmarginer rundt fartøyet og gjerne sjekke opp mot manuelle peilingsmetoder underveis. Følgende forhold kan medføre redusert nøyaktighet på beregnede ARPA-verdier og dermed posisjonen.

#### **Avstandsmåling**

Ved fartsfeil i radarens avstandsmåling vil det kunne oppstå feil på vektorene. Vektorene er avhengig av avstanden, og vil gi større feil på kortere avstand. (Kjerstad, 2019, s. 2-98)

#### **Gyro**

ARPA må være koblet opp til en gyro for å gi den rettvise kursen til systemet. En gyrofeil om bord kan gi feil kurs og man kan se i flere tilfeller at utfall av GNSS kan gi store kursfeil i navigasjonssystemene da gyroen oppdateres med GNSS. (Kjerstad, 2019, s. 2-99)

## Egen manøver

ARPA-algoritmen avhenger av at heading og fart for eget fartøy er stabile over en viss tid for å kunne beregne peiling/avstand og fart til andre ekko. Av denne grunn blir ARPA unøyaktig når det gjennomføres kursendringer. (Kjerstad, 2019, s. 2-99)

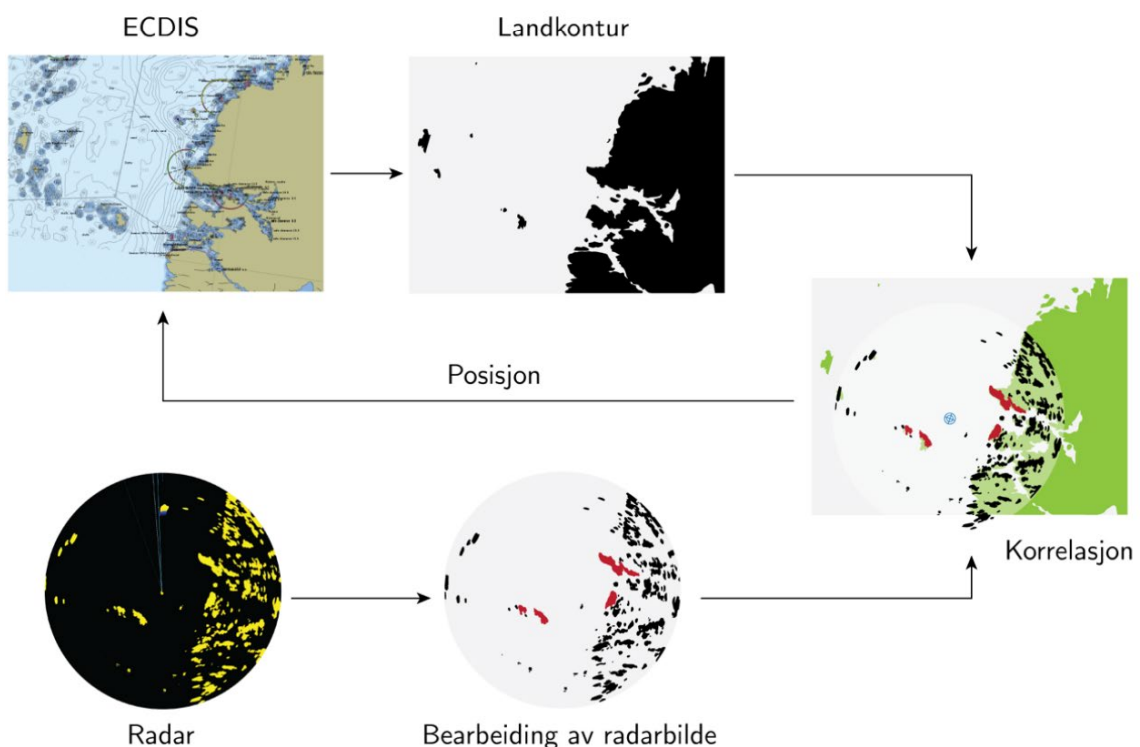
## Hopp i målfølging

Hvis to ekko kommer så nær hverandre at radar ikke klarer å skille de i avstand, vil det ofte bli et problem med målfølgingen. I disse tilfellene vil ARPA enten miste målfølgingen, eller hoppe over til det andre ekkoet. Det kan også dannes et ARPA-track som flyr vilkårlig rundt på skjermen. (Kjerstad, 2019, s. 2-100)

### 2.3.4 Terrengkorrelasjon

Nikolaisen, Prokosch og Nilssen nevner i oppgaven sin at terrengkorrelasjon kan brukes til å ta posisjon med radaren. De påpeker at det er vanskelig å få til både nøyaktig og i sanntid, men poengterer at hvis dette kan bli nøyaktig nok vil systemet være helt uavhengig av infrastruktur på land. De foreslår muligheten å bruke bildegjenkjenning for å få dette til. (Nikolaisen, Prokosch, & Nilssen, 2018, s. 60)

I figur 19 kan man se en skjematisk oversikt over bearbeidingen ECDIS og radar gjør av bildene, før de korreleres og gir en oppdatert posisjon tilbake til ECDIS.



Figur 19: Korrelasjon av ECDIS og radar. (Nikolaisen, Prokosch, & Nilssen, 2018, s. 38)

## 3 Forskningsdesign

### 3.1 Anvendt metode

Det ble tidlig bestemt at denne oppgaven skulle bli en litteraturstudie, som skulle sette radar-posisjoneringsfunksjonaliteten i K-Bridge opp imot et annet system.

Litteraturstudiet ga oss muligheten til å lese og analysere rapporter og forskning som omhandlet lignende løsninger. På denne måten fant vi frem til FFI sin metode. Både Kongsberg Maritimes K-Bridge og FFI er norske, og dermed hadde vi to norske løsninger som begge brukte radaren til å finne posisjon. Begge er også utviklet og testet i Norge, K-Bridge over flere år, mens FFI er relativt ny. Dermed kunne vi drøfte rundt hvorvidt disse konseptuelt forskjellige metodene resulterer i en nøyaktig nok posisjon.

Med et par andre rapporter, som omhandlet forskjellige former for radarposisjonering samt egne studier på Sjøkrigsskolen, fikk vi dannet grunnlaget vårt for bacheloroppgaven.

### 3.2 Metodekritikk

De rapportene vi har funnet har andre vinklinger om temaet. Eksempler her er til bruk i ubemannede farkoster eller i luftfart. At det ikke ble funnet andre studier med samme innfallsvinkel som vår problemstilling, gjorde det mer utfordrende å skrive om. Det ble også svært interessant fordi vi ser på problemstillingen med en annen synsvinkel.

Med få referanser er det en fare for at vi har for lite nyanser å sammenligne resultatene med. En annen fare er å kun velge litteratur som gjør det enkelt for oss å forstå og som støtter vår ønskede konklusjon. Dette kan eventuelt gjøre oppgaven partisk og ensidig.

Alle funn og konklusjoner kan bli farget av våre ønskede utfall og hovedkonklusjon. Vi kan ha blitt farget av egne erfaringer da vi har brukt K-Bridge systemet under hele utdanningen. Det å finne noe som bryter med vår skolering, eller hva som kan virke fornuftig, kan for eksempel være vanskelig å ta med.

Videre baserer en god del av litteraturstudiet vårt seg på forsøket til bachelorgruppen fra NTNU. Forsøket som ble gjennomført ved NTNU er etter en ikke godkjent vinterskapeelig metode. Vi så det derfor nødvendig å støtte med teori fra K-Bridge radarmanual og faglitteratur.

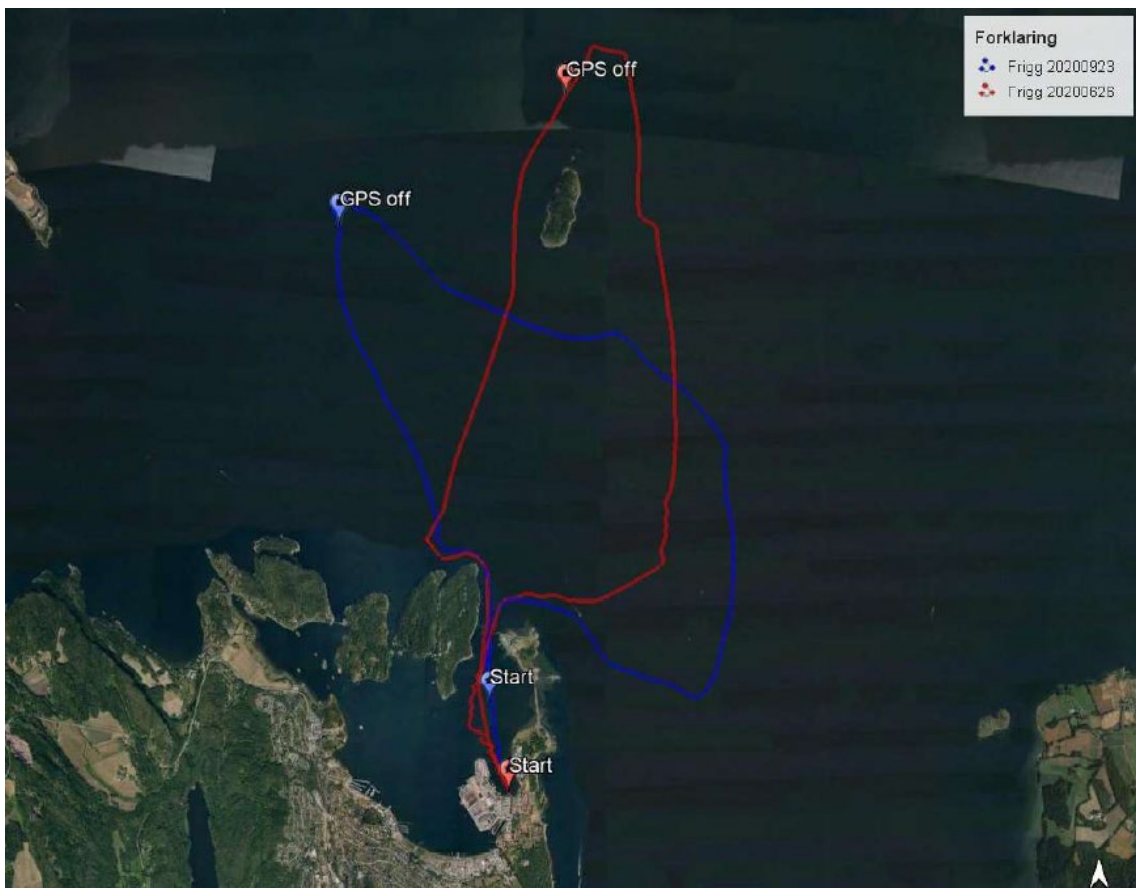
## 4 Resultater

I dette kapittelet beskrives resultatene fra FFI sine tester samt resultatene fra bachelorgruppens test om bord på Hurtigruteskipet «MS Polarlys».

### 4.1 Resultater fra FFI test

#### 4.1.1 Situasjon

I rapporten gjennomfører FFI tester av forskjellige GNSS uavhengige sensorer. For å sikre seg at kvaliteten på resultatene ble god nok, ble testkjøringen gjennomført flere ganger og med forskjellige værforhold. I rapporten ser FFI spesielt på to testkjøringer fra 2020. Den ene i juni med rolig sjø (figur 20, rød linje) og den andre i september med tynge sjø og 9m/s vind fra sør (figur 20, blå linje). Testene ble gjennomført med FFIs autonome båt «Frigg» i Oslofjorden. FFI kjørte tester med både TNS, elektromagnetisk logg (EM-logg) og radar, samt en kombinasjon av disse uten GNSS. (Hagen, et al., 2021, s. 37)



Figur 20: Kartutsnitt fra *Google Earth*. (Hagen, et al., 2021, s. 37)

Videre kommer vi til å fokusere på resultatene fra radarposisjonering med TNS integrering og sammenligne resultatene opp imot GNSS-posisjonen. Vi ser bort fra resultatene som inkluderer EM-loggdata.

#### 4.1.2 Resultater

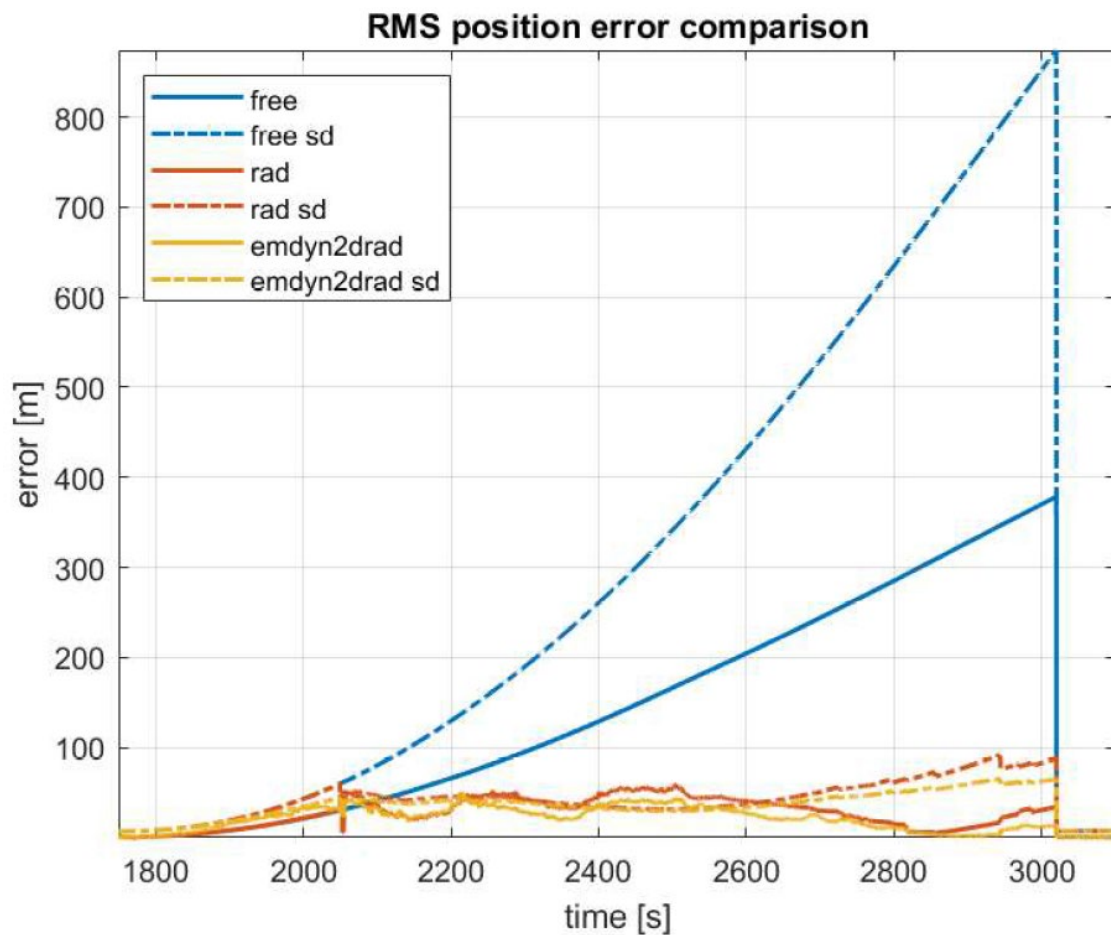
Testkjøring i september startet med alle sensorer tilgjengelig. GNSS ble deretter slått av for å simulere jamming. Da integrasjonen mellom radar og TNS ikke var optimalisert, ble videre seilas basert på posisjon fra radar understøttet av EM-logg. Dette for å ha en fartsreferanse gjennom vannet. For å simulere at land var utenfor radarens rekkevidde, ble rekkevidden begrenset til 1600m. Dette for å slippe å dra langt ut fra land, da den maksimale teoretiske rekkevidden til en radar er 48 nautiske mil. (Hagen, et al., 2021, s. 38-39)

Figur 21 viser resultatene av testkjøringen. Det georefererte kartet er vist i grønt, mens det siste sveipet med radar vises i rødt. Cyan viser vellykkede samregistrerte radarposisjoneringer, mens gul viser radarposisjoner med lavere kvalitet. Posisjoner funnet med kombinasjonen av radar og TNS vises i magenta. (Hagen, et al., 2021, s. 40)



Figur 21: Resultatene etter FFIs testkjøring. (Hagen, et al., 2021, s. 40)

I figur 22 ser vi resultatene fra radarposisjonering i heltrukket rød, samt kombinert radar og EM-logg i helgul graf. Blå graf viser økning i feil med tid av TNS (Hagen, et al., 2021, s. 42). Resultatene fra radar og EM-logg kombinert er ikke interessante for vår problemstilling. Radarposisjoneringen ga en nøyaktighet på 35m ( $\pm 88\text{m } 1\sigma$ ) til kai, mens maksimal feil ble 60m ( $\pm 32\text{m } 1\sigma$ ). (Hagen, et al., 2021, s. 42)



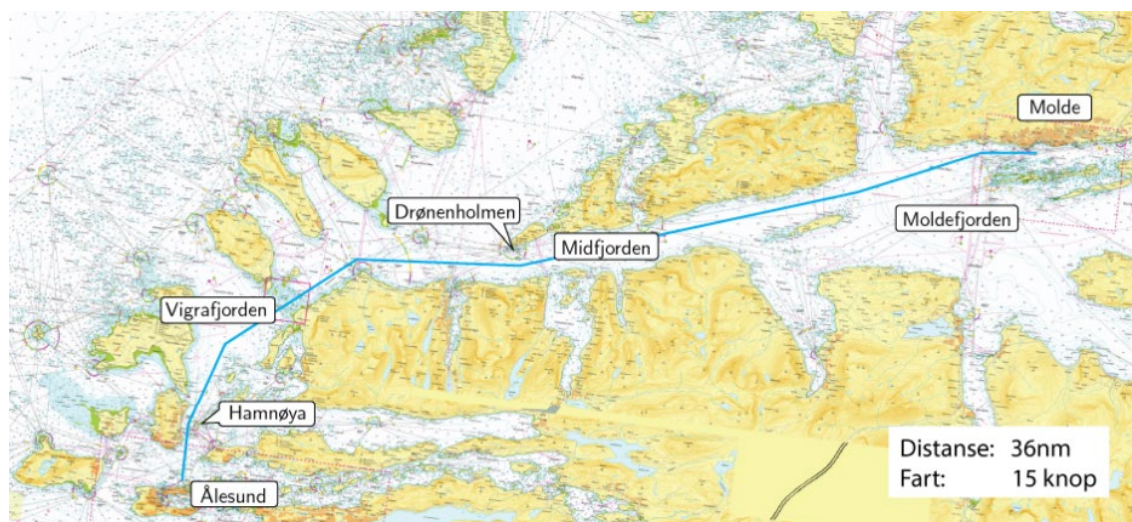
Figur 22: Sammenligning av posisjonene innad i september forsøket. (Hagen, et al., 2021, s. 42)



## 4.2 Resultater fra test gjort ved NTNU

### 4.2.1 Situasjon

Nikolaisen, Prokosch og Nilssen testet ut radar-posisjoneringsfunksjonaliteten til Kongsberg Maritime om bord på «MS Polarlys» i mars 2018. Figur 23 viser den seilte ruten mellom Ålesund og Molde. Seilasen ble delt i to faser, en statisk til kai og deretter selve seilasen nordover, med diverse bytter av radarer og posisjoneringer. Det var kun mulig å se på dette som en funksjonstest da det ble innsamlet data hvert tiende minutt, noe som er for lite. I tillegg vil testen være vanskelig å gjenskape på grunn av endring i vær og andre fartøy i området. Målet med funksjonstesten var å teste funksjonalitetens ytelse, brukervennlighet og å finne eventuelle svakheter.



Figur 23: «MS Polarlys» seilte rute mellom Ålesund og Molde. (Nikolaisen, Prokosch, & Nilssen, 2018, s. 40)

### 4.2.2 Resultater

Som brukermanualen beskriver (Kongsberg Maritime AS, 2017, s. 120-122), gir det bedre nøyaktighet å bruke flere små og nære mål, enn store objekt og odder. Dette ble bekreftet i Vigrafjorden da funksjonen mistet alle målene og kun sto igjen med en stor øy. Dette førte til en posisjonsfeil på 196 meter. Til sammenligning skjedde noe lignende lenger nord, og «MS Polarlys» stod igjen med kun en stake å ta radarposisjonen sin fra. Dette førte til en feil på kun 48 meter. (Nikolaisen, Prokosch, & Nilssen, 2018, s. 40)

Vinkelen mellom ARPA-track bør ha en relativ vinkel på mer enn 60 grader mellom hverandre. Ved bruk av mål i stevn hoppet posisjonen uregelmessig med opptil 500 meter. Ved bruk av mål med god skjæring, fikk de derimot en nøyaktighet på under 22 meter. (Nikolaisen, Prokosch, & Nilssen, 2018, s. 40-41)

ARPA-track er ustabile, og kan under flere forhold hoppe av målet de følger. Radar-skygge er en av faktorene som kan gjøre dette, og kan fort gjøre at posisjonen flytter seg større distanser. Dette filtrerer systemet imidlertid raskt bort.

Når systemet var på det optimale, ble avviket utregnet. S-bånd ga et avvik på 16,5 meter mot X-båndets 10,4 meter. De fullstendige resultatene kan sees under i figur 24, der *pos dev* er avstanden fra GPS posisjonen til radarposisjonen og (*gr*) er retningen fra GPS posisjonen til radarposisjonen. *Nøyaktigheten* viser til feilellipsens størrelse.

Tid	pos dev (m)	(gr)	Nøyaktighet (m)	
14:50	5	47	24	S-band
15:00	4	42	20	
15:10	8	192	22	
15:20	196	232	27	
15:30	8	219	25	
15:40	11	111	33	
15:50	48	30	35	
16:00	22	349	42	
16:10	37	328	22	
16:20	3	41	32	X-band
16:30	10	50	25	
16:40	14	285	27	
16:50	13	312	35	
17:00	36	228	24	
17:10	4	185	27	
17:20	2	325	26	
17:30	15	293	26	
17:40	18	302	26	
17:50		Fortøyd i Molde		

Figur 24: Tabellarisk oversikt over deviasjonslogg fra bachelorgruppens test av radarposisjonering om bord på «MS Polarlys». (Nikolaisen, Prokosch, & Nilssen, 2018, s. 98)

## 5 Drøfting

I drøftingen skal vi se på fordeler og ulemper med FFI og Kongsberg Maritimes radarposisjoneringsalgoritmer. For å ha et bredere drøftingsgrunnlag, drar vi også inn poeng fra de andre rapportene vi har tilgjengelig.

Gjennom praksis i MPN-faget har vi ikke gjennomgått noen form for automatisk radarposisjonering. Som nevnt i innledningen, prøvde vi ut radarposisjonering i K-Bridge og erfarte at dagens algoritme har sine begrensninger. For å få funksjonen opp å gå, kreves det 9 tastetrykk per mål. Det vil si at det trengs 18-36 tastetrykk for å få et posisjons-estimat opp i ECDIS. Når et ekko forsvinner ut av radarbildet, må ARPA oppdateres med et nytt mål. Dette tar også tid, alt fra ett til tre minutter. Totalt vil det da ta for lang tid å få opp en posisjon.

Fordelen med K-Bridge sin løsning er at navigatøren har full kontroll over objektene i området og hvilke ARPA-track som inngår i posisjoneringsalgoritmen. Navigatøren har mulighet til å konstant følge med på at systemet gir en bra nok posisjon. Ulempen er at det krever mange interaksjoner med radarskjermen. Risikoen er at fokuset flyttes ned for å monitorere funksjonaliteten, og at situasjonsbevissthet (SA) dermed reduseres. Derfor ser vi Kongsberg Maritime sin løsning som lite egnet som en automatisk posisjonssensor.

FFI sin metode derimot, virker mindre ressurskrevende. Rapporten viser at algoritmen virker og gir gode resultater. Fordelen er at algoritmen er utviklet for ubemannede fartøy, som betyr at navigatøren ikke trenger å gjøre noe ekstra. Ulempen med dette er at det ikke er optimalisert for navigatøren som ønsker å interagere med algoritmen. Derfor må en slik funksjonalitet tilpasses til bruk også med operatører.

## 5.1 Behov for radarposisjonering

GNSS brukes hver eneste dag i hele samfunnet. Det finnes en satellittposisjonsantenne i de aller fleste mobiltelefoner og smartklokker man bruker hver dag. Nyere teknologi gir bedre antenner og muligheter til å bruke flerkonstellasjoner av satellitter som gir bedre redundans og stabilitet. Selv om teknologien blir bedre, kan GNSS med relativt enkle midler slås ut eller forstyrres.

Vi ser på mulighet for at automatisk radarposisjonering kan bli et alternativ til GNSS for maritim navigasjon nær kysten. Fordelen med radarposisjonering er at vi kan bruke kun interne sensorer, og dermed er uavhengig av både infrastruktur på land og satellitter i bane rundt jorda. Målet er å skape sømløs redundans til GNSS og ikke erstatte det.

Bachelorgruppen ved NTNU tok også i bruk spørreundersøkelsens makt for å vise til problematikken rundt GNSS. Her fikk de svar fra hundre sivile styrmenn og militære navigatører. Mange av de sivile hadde erfaring fra rigg-operasjoner offshore. Det er spørsmålet om hva de ville gjort om GNSS falt ut, som interesserer oss mest. Her er svarene illustrert i figur 25, hvor hyppigere svar gir større ord. Størsteparten av respondentene svarte at de ville gått over til radar, og sikret seilassen videre med det. Dette viser at navigatøren stoler på radaren som hjelpemiddel. Dermed kan det være lett å innføre en ny posisjoneringsfunksjonalitet som baserer seg på radar. (Nikolaisen, Prokosch, & Nilssen, 2018)



Figur 25: Stikkord fra spørreundersøkelsen. (Nikolaisen, Prokosch, & Nilssen, 2018, s. 64)

### **Sivil anvendelse**

Alle fartøy er avhengig av GNSS, men likevel kan bruken av en radarposisjoneringsfunksjonalitet være begrenset for sivile fartøy. Risikoen ved å seile med en posisjonsmetode som ikke gir like stor nøyaktighet som GNSS, vil nok være for høy for mange. Det kan derimot være en god nød-modus, hvis fartøyet mister GNSS-signalet, for å komme seg trygt til kai eller å sikre seilassen frem til losen kommer om bord.

### **Militær anvendelse**

Militære fartøy skiller seg betraktelig fra sivile med sitt operasjonsmønster og evne til å skjule seg. Man kan si at marinen er mer utsatt for angrep hvor jamming eller spoofing blir brukt. Det vil da kunne være en stor fordel, når det lar seg gjøre, å kunne automatisk posisjonere seg med egne sensorer. Derimot er ulempen stor for militære fartøy, da man gjerne ønsker minst mulig utsending for å unngå å bli oppdaget.

### **Ubemannede fartøy**

Flere av rapportene om radarposisjonering vi har brukt i oppgaven har fokus på ubemannede fartøy. I dag er det navigatøren som er primær posisjonssensor ved bortfall av GNSS, men dette vil bli vanskelig for fartøy uten mannskap. Her vil det være kritisk å ha alternative posisjonsmetoder. Det å integrere radarposisjoneringen inn i navigasjonssystemet, kan gi et bedre bilde av hvor et fjernstyrt ubemannet fartøy er. Dette kan forbedre posisjons- og navigasjonsbevisstheten til operatøren. Siden både FFI og IEEE tar dette i betraktning, kan det tyde på at slike systemer er på vei til ubemannede fartøy. (Hagen, et al., 2021) (Ma, Smart, Ahmed, & Brown, 2019)

## 5.2 Nøyaktighet

Nøyaktighet handler ikke bare om hvor stor feil i meter har man, men også forsinkelse i tid av den visualiserte posisjonen. I dette delkapittelet skal vi drøfte rundt utfordringene til radar-posisjoneringsalgortimene og se på resultatene fra testene.

Hvis ikke samregistreringsalgoritmen blir tilpasset systemet om bord kan FFI sin algoritme raskt bruke mye prosessorkraft. Dette kan føre til forsinkelser i posisjonsestimatet. En vanlig pulsradar med 30 omdreininger per minutt, bruker to sekunder på å lage et 360-graders bilde. Dette vil si at man risikerer at posisjonen kan henge flere sekunder etter den reelle posisjonen. FFI har løst problemet ved å ta i bruk en lavkostnads TNS om bord. Treghtetsnavigatoren blir matet med posisjonene fra samregistreringsalgoritmen for å ikke drifte ut. Da fartøy på sjøen ikke er avhengig av høydedata holder FFIs algoritme seg kun i to dimensjoner. For å redusere bruken av prosessorkraft ytterligere, bruker FFI headingen fra treghtetsnavigatoren for å orientere kart- og radarbildet raskere. Radaren letter også arbeidet for prosessorene ved å ha samme skala som de elektroniske sjøkartene (ENC). Dermed slipper prosessoren å regne på størrelsesforskjellen mellom kart og virkelighet, som de er nødt til hos IEEE (Ma, Smart, Ahmed, & Brown, 2019). Her skaleres satellittbildene om for å samregistreres med radarbildet.

Hvis forsinkelsen fortsatt er for stor kan en mulig løsning være å bruke kalmanfiltrering (se vedlegg A) for bedret predikering av sanntidsposisjonen. For at en samregistreringsfunksjonalitet eventuelt skal bli tatt i bruk, må det være størst mulig nøyaktighet med kortest mulig prosesseringstid.

For å oppnå god posisjonsnøyaktighet med kort prosesseringstid er vi også avhengig av å ha en unik kystlinje synlig i radaren. I tillegg trengs det gode godkjente elektroniske sjøkart. Systemet må kunne skille kyst og hav, for at samregistreringen av radar og kart skal være mulig. Hvis man eksempelvis har et mellomstort fartøy med en antennehøyde på 15m, kan man forvente en radarrekkevidde på 8,5NM. Et ubemannet fartøy er som oftest mye mindre. Hvis det ubemannede fartøyet har en antennehøyde på 2m, vil det kun ha en rekkevidde på 3,1NM. Dette er ikke et hinder, da et mindre fartøy sjeldent vil seile lenger ut fra kysten enn 3NM. Land som Norge og Canada kan utnytte en slik funksjonalitet til det fulle. For land uten skjærgård kan det derimot være mer utfordrende å opprettholde høy nøyaktighet hele tiden. Dette løses ved å ha større sikkerhetsmarginer rundt fartøyet.

Tidevannsforskjeller kan også påvirke nøyaktigheten. Ved endring i vannstanden, vil landkonturene endre seg. Dette er ikke noe som rapportene vi har funnet tar hensyn til, men er noe vi ser for oss kan påvirke posisjonsnøyaktigheten mange steder. Ved store tidevannsforskjeller og slake landformasjoner (strand ol.) kan posisjonen flyttes proporsjonalt med vannstandens endring i horisontalretningen. Dette er noe som uansett påvirker de manuelle radarposisjonene vi tar i dag.

En utfordring K-Bridge har, er at den baserer seg på ARPA-algoritmen. ARPA bruker lang tid på å starte målfølgingen og blir fort ustabil. Dette resulterer i at man alltid må ha et øye på målfølgingen, så man ikke risikerer en feilaktig posisjon.

Manualen er uklar i forhold til hvor objektene posisjon kommer fra. Slik vi tolker manualen er posisjonen enten basert på peiling/avstand ut fra egen GNSS-posisjon, eller skrevet inn manuelt i menyen. Hvis GNSS-posisjonen er dårlig, vil man dermed kunne fortsette seilassen med et feilaktig utgangspunkt til radar-posisjonen.

Falske ekko, eller interferens, er noe annet som i stor grad kan påvirke posisjonering med radar. Ved bruk av ARPA kan støy forvrengte radarbildet slik at ARPA-målfølgingen ikke klarer å være stabil nok til å beregne posisjonen.

## Resultater

I resultatene fra testene gjort ved NTNU på K-Bridge får de bedre resultater enn de FFI får på sine tester. Om bord på «MS Polarlys» ender de opp med et standardavvik på 10,4m med X-bånd og 16,4m med S-bånd. Den gjennomsnittlige feilellipsen måles til 27,6m. Under FFI sine tester fikk de et resultat på 35m ( $\pm 88m$   $1\sigma$ ) til kai, og en maksimal feil på 60m ( $\pm 32m$   $1\sigma$ ).

Vi må være kritiske til resultatene av testen gjort av bachelorgruppen ved NTNU, ettersom disse ikke er fremkommet ved bruk av vitenskapelig metode. De gir oss uansett en god indikasjon på hva man kan forvente i nøyaktighet. I tillegg kan man forvente større utslag i nøyaktigheten når man mister radar-mål og man må oppdatere til nye mål underveis i seilassen.

I IEEE sine tester av radar-korreleringsmetoden får de gjennomsnittlig avvik på 9,77m og maksimalt avvik på 20.81m. Dette er relativt sett gode resultater i forhold til FFI. Posisjoneringsprinsippet baserer seg på det samme som FFI, med samregistrering av kystkontur og radarbilde. Forskjellen er at de bruker satellittbilder i stedet for elektroniske sjøkart. (Ma, Smart, Ahmed, & Brown, 2019)

Ingen av testene oppnår samme nøyaktighet som GNSS tilbyr. I en situasjon der GNSS ikke er tilgjengelig derimot, vil et slikt system kunne gi nødvendig nøyaktighet for å fortsette operasjonen. Dette vil medføre noen begrensninger for fartøyet, men løsningen kan for eksempel være å seile med større sikkerhetsmarginer.

Som nevnt tidligere bruker FFI en lavkost TNS på sine testfartøy. Dette er noe som kan påvirke resultatene. I Sjøforsvaret brukes mer nøyaktige og stabile treghetsnavigatorer. Dersom radaren kan gi posisjonsoppdateringer til en militær TNS kan vi forvente bedre nøyaktighet. Dette kan også oppnås på sivile fartøy med en fiberoptisk gyro med TNS funksjonalitet.

Å tilføye posisjonsoppdateringer til DR kan være en god løsning. DR beskrives som «prosessen med å determinere posisjonen til fartøyet ved å bruke kurs og fart sammen med tiden fra sist kjente posisjon» (Kongsberg Maritime AS, 2017, s. 695). Posisjonsnøyaktigheten til DR forringes over tid på grunn av sensorfeil fra STW (fart gjennom vannet) og heading. Hvis vi kan oppdatere den siste kjente posisjonen oftere kan vi oppleve en DR-modus som er mye mer stabil og nøyaktig. Det er underforstått at vi får gode posisjonsestimater fra radar-posisjoneringsalgoritmen.



### 5.3 Nytteverdi for navigatøren

Navigatørens hovedoppgave er å seile fartøyet fra A til B på en sikker måte. For å gjøre dette på en best mulig måte, er det svært viktig å ha god situasjonsbevissthet over hva som skjer rundt fartøyet. For å få best mulig SA trenger navigatøren å oppfatte og forstå for videre å predikere. Den eventuelle faren må oppfattes, navigatøren må forstå hvordan den kan påvirke fartøyet, for deretter å predikere hva den fremtidige statusen til fartøyet vil bli. (Sjøkrigsskolen, 2009, s. 65)

Under seilas uten GNSS bruker dagens navigatør mye av tiden sin på posisjonstaging og verifikasjon av den nåværende posisjonen. Med en radar som kan ta posisjonene, kan navigatøren bruke mer tid på andre ting. Dette kan gi navigatøren større overskudd til å predikere fremtidige situasjoner. Det vil også minske behovet for å ta nye posisjoner.

Når systemet mister GNSS i dag, vil fartøyet gå over i DR og en *alert* (se vedlegg A) vil gi beskjed om hendelsen. Utover dette vil ikke navigatøren få noe beskjed. Etter hvert vil posisjonen sige ut og bli mer og mer unøyaktig dersom den ikke blir oppdatert. Når radaren tar over jobben med å gi fartøyet en posisjon skal det virke sømløst, og med kun en *alert* om at posisjonssensoren er byttet ut. På denne måten skal ikke navigatøren trenge å endre seilingsmetoden.

Når posisjoneringen skjer visuelt på radarskjermen, vil det bli mer informasjon å passe på for navigatøren. Dette kan medføre at navigatøren bruker mer tid på å se ned og dermed får redusert SA ute. Samtidig må navigatøren uansett bruke både ECDIS og radar til å verifisere posisjonen sin. Derfor vil ikke informasjonen på skjermene overvelde navigatøren, da dette innarbeides i rutinen. Funksjonaliteten vil heller bidra til å gi bedre beslutningsgrunnlag.

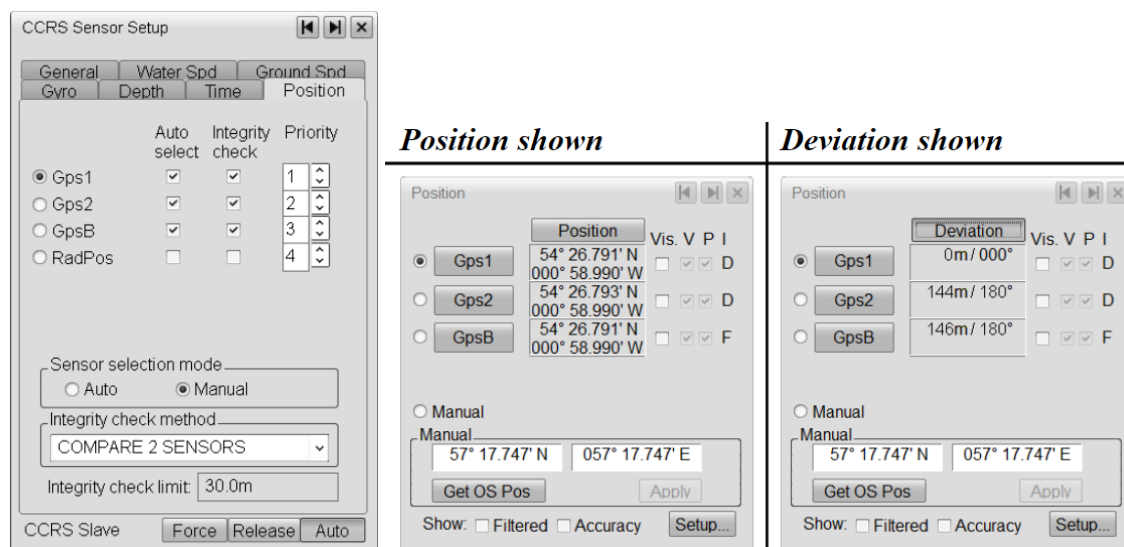
Alle fartøy over 300 tonn er lovpålagt å ha X-bånd radar installert (Nærings- og fiskeridepartementet, 2014). Dermed er radaren allerede i bruk på alle større fartøy for å sikre seilassen. Radarbildet inneholder mye informasjon, og denne informasjonen kan like gjerne mates inn i en algoritme som finner posisjonen automatisk.

Algoritmen kan dermed være aktiv hele tiden og gi systemet posisjon. Blir dette tilfellet kan algoritmen gi en posisjon med en gang man velger automatisk radarposisjonering som sensor, helt sømløst. Blir differansen mellom GNSS- og radarposisjon for stor, vil det gå en *alert* som forteller at det må bli valgt en ny posisjonssensor. Differansen mellom

GNSS og radar kan også gi en god indikasjon på om det er jamming eller spoofing i området. Dette vil gi større fleksibilitet for navigatøren og øke beslutningsgrunnlaget.

### 5.3.1 Utforming

For at en slik radar-posisjoneringsfunksjonalitet skal kunne komme i bruk, må den være like enkel å velge som GNSS-sensoren. Vi ser for oss at vi finner funksjonaliteten sammen med de andre sensorer i menyen som vist i figur 26. Disse menyene er allerede kjent for navigatøren.

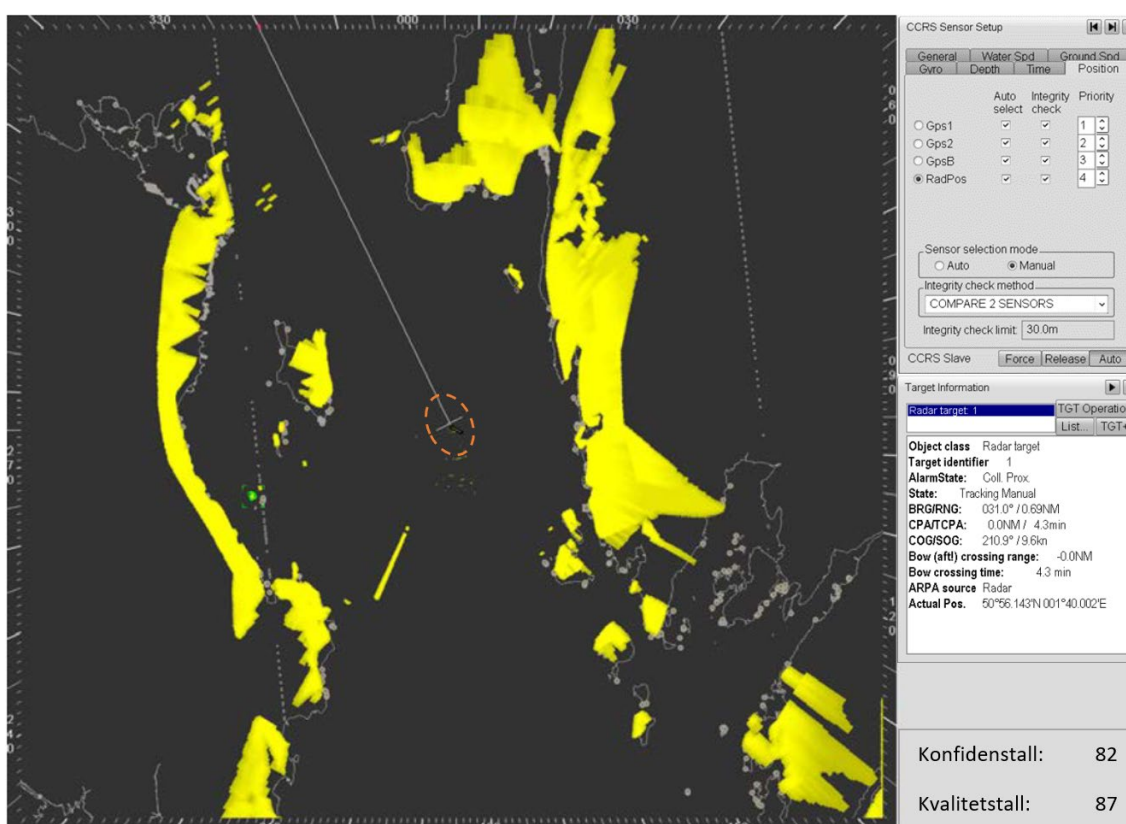


Figur 26: Posisjonsmenyer fra K-Bridge. (Kongsberg Maritime AS, 2017, ss. 501-502)

FFI har utviklet systemet sitt for bruk på et ubemannet fartøy. Her er det ikke noe tvil om at systemet kan virke uten manuell styring. Vi ønsker også at funksjonaliteten blir utviklet for bemannede fartøy. Vi må ta i betraktning at en maskin aldri vil kunne ta de samme beslutningene som en navigatør.

Det er viktig at navigatøren har mulighet til å monitorere en slik funksjonalitet. Monitoreringen skal være enkel og visuell. På radarskjermen kan ENC vises slik at navigatøren raskt kan bekrefte posisjonen sin. I tillegg skal konfidens- og kvalitetstall vises for å gi et raskt overblikk om hvordan algoritmen vurderer posisjonen. For at kartet skal vises på radarskjermen er det nødvendig at dette kan gjøres uten GNSS signal.

Figur 27 viser en bildecollage av et mulig oppsett av radarskjermen, satt sammen av oppgaveforfatterne. Øverst til høyre ser man at *RadPos* er valgt, da de to GPS-sensorene det tenkte fartøyet har ikke gir signal. *RadPos* i dette tilfellet betyr at algoritmen samkorrelerer radar og ENC. Dette resulterer i en automatisk posisjon. Under *Target information* vises informasjon om et mål som ARPA følger. Konfidenstill og kvalitetstill vises nede i høyre hjørne. Tallet gir navigatøren en indikasjon på hvor god posisjonen er. (Kongsberg Maritime AS, 2017, Radar, s. 87, 95) (Kongsberg Maritime AS, 2017, ECDIS, s. 501)



Figur 27: Oppsett av radarskjermen, sammensatt av oppgaveforfatterne. (Kongsberg Maritime AS, 2017, Radar, s. 87, 95) (Kongsberg Maritime AS, 2017, ECDIS, s. 501)

## 6 Konklusjon

I innledningen blir det referert til et fartøy i Svartehavet. Kapteinen om bord opplevde å miste sin troverdige posisjon, og måtte holde hodet kaldt for å finne ut hvor han faktisk var, og hvor han etter hvert skulle seile. Uten eksterne tilgjengelige hjelpemidler tok han i bruk papirkart og sammenlignet dette med radaren, for å oppdatere posisjonen i ECDIS. Denne samregistreringen kunne like gjerne vært automatisk, programmert av produsenten selv, som en sekundær posisjoneringsfunksjonalitet.

Oppgaven presenterer to forskjellige systemer for å svare på problemstillingen. FFIs system blir ikke brukt kommersielt enda, og trenger mest sannsynlig en del testing før det kan komme ut til navigatørene. Radar-posisjoneringsfunksjonaliteten til Kongsberg Maritime har vært tilgjengelig i en del år, men er tidkrevende å bruke.

Det vi ser er at begge systemer fungerer, gir en god nok posisjonsnøyaktighet under seilas og at radarposisjonering alt i alt er godt nok for å ivareta navigasjonssikkerheten. Sklir posisjonen ut og konfidens- og kvalitetstallene blir for lav, øker man bare sikkerhetsmarginene og seiler ut ifra dette. Som sekundær funksjonalitet skal det ikke være en erstatning for GNSS, men en sømløs overgang til en nød-modus. Den amerikanske kystvaktens navigasjonssenter presiserer viktigheten av å ha alternativer, som nevnt tidligere, at «selv om GPS har vist seg å være ekstremt pålitelig, (...) er det viktig å sikre at alternative metoder og systemer er tilgjengelige, forstått og brukt» (Midgett, 2017).

FFI sin ide fungerer godt, og med tiden vil det kunne bli et meget potent system. Å ta posisjoner ved hjelp av ARPA som Kongsberg Maritimes system gjør i dag, egner seg ikke og fungerer hverken godt nok eller slik det burde i våre øyne.

*Kan en automatisk radar-posisjoneringsfunksjonalitet gi nødvendig posisjonsnøyaktighet til maritim navigasjon ved bortfall av GNSS?*

Basert på punktene i drøftingen vår, er dette noe vi med trygghet kan si vil fungere, og absolutt er noe som kan gjøre jobben for en navigatør bedre. Funksjonaliteten slik vi ser for oss har sine begrensninger, men slik vil det være med de aller fleste alternativer. Navigatøren som sluttbruker vil kunne fortsette arbeidet sitt på samme måte som før, med en større grad av trygghet i overgangen fra å bruke en GNSS-posisjon til radarposisjoneringsfunksjonaliteten.

## 7 Avslutning

I et maritimt miljø er sikkerhet alltid høyt prioritert. For navigatører betyr dette god posisjonsnøyaktighet. For å øke sikkerheten ytterligere er det fordelaktig med flere automatiske posisjonsmetoder. For å øke robustheten skal posisjonsmetoden være konseptuelt annerledes enn virkemåten til GNSS.

Vi ser for oss at den beste løsningen på problemstillingen kan være en algoritme slik FFI har utviklet, men tilpasset for navigatøren. Vi ønsker at Kongsberg Maritime AS ser på muligheten for å utvikle en radar-samregistreringsfunksjonalitet som baserer seg på DR. Denne skal bli integrert i K-Bridge systemet og få hyppige posisjonsdata fra radar-samregistreringsalgoritmen. Funksjonaliteten vil unngå at DR drifter av.

Gjennom denne bacheloroppgaven har vi funnet både muligheter og utfordringer til en slik funksjonalitet. Forslag til videre forskning er beskrevet i vedlegg B. Under utviklingen av en ny funksjonalitet som denne, er det viktig at en navigatør er med for å tilpasse det best mulig til forbrukeren ute på sjøen.

---

## Referanseliste

- C4ADS. (2019). *Above us only stars - Exposing GPS Spoofing in Russia and Syria*. Washington: Center for Advanced Defense Studies. Hentet fra <https://www.c4reports.org/aboveusonlystars>
- Furunes, E. W., Trellevik, A., Wikan, K., & Lura, C. (2018, November 14). *NRK*. Hentet fra Frykter at Russlands GPS-jamming kan føre til ulykker: <https://www.nrk.no/tromsogfinnmark/frykter-at-russlands-gps-jamming-kan-fore-til-ulykker-1.14292013>
- Hagen, O. K., Smedstad, R., Nilssen, E. B., Opsahl, T. O., Haavardsholm, T. V., Gulbrandsen, F., . . . Sandrib, J. (2021). *GNSS-independent maritime navigation - high-speed vessels*. Kjeller: FFI. Hentet fra BEGRENSET (tilgangskontrollert i DocuLive)
- International Maritime Organization. (1995, Desember 15). Performance Standards for Automatic Radar Plotting AIDS (ARPA's). *Resolution A.823(19)*. IMO.
- International Maritime Organization. (1995, Desember 15). Performance Standards for Shipborne Global Positioning System (GPS) Receiver Equipment. *Resolution A.819(19)*. IMO.
- Kartverket. (2022, Juni 2). *Kartverket*. Hentet fra Elektroniske sjøkart (ENC): <https://www.kartverket.no/til-sjos/kart/elektroniske-sjokart-enc>
- Kjerstad, N. (2019). *Elektroniske og akustiske navigasjonssystemer* (6. utg.). Bergen: Fagbokforlaget.
- KNM T/Navigasjon kompetansesenter. (2020, August 1). Reglement for utøvelsen av navigasjon på Sjøforsvarets fartøy. Sjef Marinen.
- Kongsberg. (2022, April 14). *Kongsberg Maritime*. Hentet fra <https://www.kongsberg.com/maritime/>
- Kongsberg Maritime AS. (2017). K-Bridge ECDIS and Planning Station. *415092/C(8.0)*. Kongsberg: Kongsberg Maritime AS.
- Kongsberg Maritime AS. (2017). K-Brigde Radar. *415091/B, ver. 8.0*. Kongsberg: Kongsberg Maritime AS.

- Lanziner, H., & Russel, H. (2014). *Automatic Radar Positioning Backup to GNSS*. Vancouver, Canada: Russel Technologies Inc.
- Ma, H., Smart, E., Ahmed, A., & Brown, D. (2019, Januar 1). Radar Image-Based Positioning for USV Under GPS Denial Environment. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Midgett, A. (2017, September 21). *Coast Guard Maritime Commons*. Hentet Februar 28, 2022 fra Good navigation practices – How one vessel master managed safe navigation during a GPS outage:  
<https://mariners.coastguard.blog/2017/09/21/9212017-good-navigation-practices-how-one-vessel-master-managed-safe-navigation-during-a-gps-outage/>
- Nikolaisen, R., Prokosch, P., & Nilssen, N. J. (2018). Robusthet på GNSS og alternative metoder for sikker navigasjon. Ålesund: BSc. Oppgave NTNU.
- Nærings- og fiskeridepartementet. (2014, September 12). Forskrift om navigasjon og navigasjonshjelpemidler for skip og flyttbare innretninger. Norge. Hentet Mai 30, 2022 fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2014-09-05-1157>
- Samferdselsdepartementet. (2018). *På rett sted til rett tid - Nasjonal strategi for posisjonsbestemmelse, navigasjon og tidsbestemmelse*. Oslo: Samferdselsdepartementet.
- Sjøkrigsskolen. (2009). *Alle mann til brasene! - Sjømilitært operativt lederskap og lederutvikling* (2. utg.). Bergen: Molvik Grafisk.
- The ITU Radiocommunication Assembly. (1997-2000). Technical characteristics of maritime radionavigation radars. *Rec. ITU-R M.1313-1*. The International Telecommunication Union.
- Wąż, M. (2010). *Navigation based on characteristic points from radar images*. Scientific Journals. Szczecin: Maritime University of Szczecin.

## VEDLEGG A – Nomenklatur

Alert	Fellesbetegnelse for varsler og alarmer på ECDIS. (Kongsberg Maritime AS, 2017, s. 42)
Anti Clutter Rain	Innstilling i K-Bridge for å dempe ekko fra nedbør. Denne kan forminske alle ekko på skjermen og fjerne mindre ekko. (Kjerstad, 2019, s. 2-14)
Anti Clutter Sea	Innstilling i K-Bridge for å dempe ekko fra sjøen. Denne kan også fjerne andre ekko i nærheten av fartøyet. (Kjerstad, 2019, s. 2-13)
ARPA-track	ARPA-track indikere at ARPA algoritmen har fått tak i tyngdepunktet av ønsket ekko og markert denne med ARPA symbolet. (Kongsberg Maritime AS, 2017, s. 74)
C4ADS	Center for Advanced Defense Studies er en ideell organisasjon som tilbyr dataanalyse og rapporter om globale sikkerhets-spørsmål. (C4ADS, 2019)
Chart Overlay	Visualiserer kart over radarbildet i radarskjermen, slik at de kan sees samtidig og sammenlignes.
CPA	Nærmest passeringsavstand til et ARPA-track.
Dead Reckoning	«Proessen med å determinere posisjonen til fartøyet ved å bruke kurs og fart sammen med tiden fra siste kjente posisjon.» (Kongsberg Maritime AS, 2017, s. 695)
EM-logg	Sensor som måler fart gjennom vannet. Dette måles ved hjelp av elektromagnetiske felt i vannet.
ENC	«ENC (Electronic Navigational Charts) er den internasjonale betegnelsen for offisielle elektroniske sjøkart, og brukes til navigasjon i det elektroniske kartsystemet ECDIS.» (Kartverket, 2022)
Georeferert kart	Alle punkter i kartet er forankret til en kjent posisjon med koordinater.



---

GNSS	Verdensdekkende satellittsystem laget av flere land. Amerikanske GPS, russiske GLONASS, kinesiske Beidou og europeiske Galileo.
Heading	Kjøllinje/Midtlinje. Bauens retning.
Jamming	Jamming basere seg på å sende ut et radiosignal for å forstyrre andre signaler i sammen frekvens. Denne støyen kan forstyrre mottakere på mange km. Jamming kan skape problemer for GPS systemer. En jammer er billig å anskaffe og har stort potensiale for å gjøre skade. Den er også lett å skjule da den kan være relativt liten hvis den kun skal dekke mindre områder. (Kjerstad, 2019, s. 1-57)
Kalmanfiltrering	Kalmanfiltrering blir brukt for å kombinere flere målinger for å estimere en enda mer nøyaktig posisjon enn radaren og TNS klarer hver for seg. Kalmanfilteret sammenligner resultatene fra hvert sveip og utnytter de eventuelle avvikene mellom de matematiske modellene og måleverdier til å forbedre resultatene som blir presentert for navigatøren (Kjerstad, 2019).
Kystkorrelering	Oversatt fra FFI rapport “coastal matching”. Med dette mener vi samregistrering av kyst og radarbilde.
Multipath	Elektromagnetiske bølger som når mottakeren via flere signalbaner. Dette kan gi mottakeren feilinformasjon. (Kjerstad, 2019, s. 1-56)
Nødvendig posisjonsnøyaktighet	Med nødvendig posisjonsnøyaktighet menes det at posisjonen skal være presis nok til at det går an å seile med rimelige sikkerhetsmarginer. Sikkerhetsmarginen avhenger av farvannets beskaffenhet.
Past track	Skipets kontinuerlige logg av tidligere posisjoner. Dette kan bli visualisert på ECDIS. (Kongsberg Maritime AS, 2017, s. 305)
Posisjonerings-algoritme	Matematiske algoritmen som beregne posisjonen.

---

Posisjonerings- prinsipp	Teknikk benyttet for å posisjonere seg med informasjon fra radarbildet.
Posisjonerings- funksjonalitet	Funksjonalitet i radarapplikasjonen som viser menyen og informasjon til navigatøren. Her kan også innstillingene endres.
Posisjoneringssystem	System sammensatt av antenne, multifunksjonsskjerm med radarapplikasjon og funksjonalitet installert.
Radar Overlay	Visualiserer radarbildet over kartet i ECDIS, slik at de kan sees samtidig og sammenlignes.
Radaremittere	Antenne som kan sende ut radar-pulser/bølger.
Solid State radar	Ny radartechnologi som ikke trenger magnetron. Dette gir større fleksibilitet til å kunne modulere signalet og lage et støyfritt bilde. En Solid State radar har ca. 1/100 av pulseffekten til en magnetronradar. (Kjerstad, 2019, s. 2-55 til 2-57)
Spoofing (narring)	Spoofing er en metode for å narre GPS systemet. Spoofer vil kunne sende ut falske GPS signaler og oppgi feil posisjon til brukeren. Spoofing krever dyrere utstyr, men vil være også mer vanskelig å oppdage enn jamming, siden det kan forveksle med andre feilkilder. (Kjerstad, 2019, s. 1-59)
TCPA	Tid til nærmest passeringsavstand til et ARPA-track.

## VEDLEGG B – Videre arbeid

Vi har erfart og lært mye av å skrive denne bacheloren, og kommer til å ta med oss alle erfaringene videre. Gjennom arbeidet vårt fant vi flere ting vi gjerne skulle brukt mer tid på å sette oss inn i og arbeide videre med. Vi anbefaler dermed andre å se nærmere på følgende tema.

### Solid State radar

Solid State radar kommer mer inn i markedet med sine unike egenskaper. Foruno<sup>6</sup> har allerede lansert sine første IMO godkjente S- og X-bånd radarer. Disse skal ha bedre detaljer, mindre støy, og utnytter dopplerteknologi som kan blant annet skille mellom bevegelige og faste mål. Dermed kan fartøy i bevegelse markeres med en annen farge enn land og faste objekt. Solid State radar kan variere frekvensen og har mye lavere utsendelseeffekt sammenlignet med magnetronradar. Det kan være interessant å se på mulige militære anvendelser.

### Maskinlæring

Ny teknologi gi mulighet til å forbedre algoritmene med maskinlæring. Vi ser for oss at dette kan bli brukt i samregistreringsalgoritmen. Bemannede og ubemannede fartøy kan utnytte samme algoritmen, og «lære av hverandre», selv om brukergrensesnittet er annerledes.

### Innlemming i IMOs regelverk

IMO regelverket er stort og setter mange krav til utstyret om bord. Når nye funksjonaliteter kommer er det nødvendig å sette i gang en prosess for å se gjennom IMOs regelverk etter muligheter. Eventuelle mangler må pekes ut slik at disse kan bli revidert. Vi ønsker at posisjonsinformasjonen fra radar kan deles med andre instrumenter på broen, gitt at man har en sekundær tidsreferanse. Dette må sees nærmere på, med et juridisk perspektiv.

### Integrering av flere sensorer

Vi ser for oss at flere sensorer i tillegg til radar kan bidra til å øke nøyaktigheten. Flere utgangspunkter gir flere referanser og bredere utvalg av kvalitet. Utfordringen her er prosessorkapasitet.

## Nye standarder, nye muligheter

Den nye standarden S-100<sup>7</sup> av elektroniske sjøkart er under utvikling. Denne vil definitivt være med på å innovere fremtiden. Den nye standarden bringer nye muligheter og informasjonslag<sup>8</sup> til fremtidens systemer. Det kan være interessant å utvikle et eget informasjonslag for radarposisjonering, for å gjøre det enkelt å vise det i ECDIS. Dette kan for eksempel korreleres med satellittbilder for å registrere differansen i tidevann uten å måtte bruke tidevannstabellene.

---

<sup>6</sup> <https://www.furuno.no/no/produkter/navigasjon/radar/far-3220-nxt/>

<sup>7</sup> <https://iho.int/en/s-100-universal-hydrographic-data-model>

<sup>8</sup> Oversatt fra fagbegrepet *layers*: Lag av informasjon, som man velger om man vil vise, i ECIDS.