

Karlsen Fagereng, Eirik  
Lukkassen, Einar-Johan  
Moritz Fure Lillebø, Adrian

## Kan maritim pulsbasert radar erstattes?

Bacheloroppgave i Nautikk  
Veileder: Hallgeir Giske  
Juni 2023



Karlsen Fagereng, Eirik  
Lukkassen, Einar-Johan  
Moritz Fure Lillebø, Adrian

# **Kan maritim pulsbasert radar erstattes?**

Bacheloroppgave i Nautikk  
Veileder: Hallgeir Giske  
Juni 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for havromsoperasjoner og byggteknikk



Kunnskap for en bedre verden



## **Forord**

Denne bacheloroppgaven er skrevet som avsluttende hovedoppgave ved studieretningen Nautikk ved Institutt for havromsoperasjoner og byggteknikk på NTNU Ålesund. Oppgavens problemstilling er fremstilt av gruppens medlemmer i samarbeid med veileder Hallgeir Giske, prosjektleder ved Instituttet.

Gruppen valgte problemstillingen på bakgrunn av interesse og nysgjerrighet rundt radarens virkemåte i tillegg til en oppfatning om at radarens virkemåte har vært tilnærmet uendret siden den ble vanlig å bruke i navigasjon. Gruppen ønsket å undersøke hvilke typer radar som finnes og å se på forskjellene mellom dem. Dette for å finne ut om det finnes bedre teknologi enn det man bruker i dag.

Gruppen har snakket med et utvalg eksperter på tema og produsenter av radar i tillegg til litteraturstudie for å besvare oppgaven. Kommunikasjon og innhenting av informasjon foregikk ved intervju og på e-post. Store deler av teorien rundt tema er hentet fra Norvald Kjerstad sin bok «Elektroniske og Akustiske navigasjonssystemer», men er også supplert med informasjon fra andre digitale kilder og bøker.

En stor takk rettes mot alle som har hjulpet oss å besvare oppgaven:

- Vår veileder Hallgeir Giske
- Dosent, Norvald Kjerstad
- Furuno Norge
- Redningsselskapet
- Sea Hawk A/S
- Volstad Maritime

## **Terminologi**

AIS	Automatic Identification System
BT	Brutto tonn
CW Radar	Continuous wave radar
DRS	Doppler Radar System
EBL	Electronic Bearing Line
FMCW-Radar	Frequency modulated continuous wave radar
Frekvensmodellering	Variasjon av frekvens i en bærebølge
GNSS	Global Navigational Satellite System
GPS	Global Positioning System
IMO	International maritime organisation
Lidar	Light Detection and Ranging (Laser radar)
MPS	Multi Pulse Sweep
PPI	Polar plan indicator
Racon	Radar Beacon
Slotted Wave Guide	Antennen som sender ut de elektromagnetiske bølgene
SOLAS	Safety of life at sea
VRM	Variable Range Marker

# Innhold

<b>Figurliste .....</b>	<b>IV</b>
<b>Tabelliste .....</b>	<b>V</b>
<b>1 Innledning .....</b>	<b>1</b>
1.1 Om Gruppen .....	1
1.2 Hvorfor vi valgte denne problemstillingen.....	1
1.3 Bakgrunn .....	1
1.4 Problemstilling .....	2
<b>2 Teoretisk grunnlag .....</b>	<b>3</b>
2.1 Radarens Historie .....	3
2.2 Begrepsforklaringer .....	4
2.3 Bruksområde .....	5
2.4 Pulsradarprinsippet .....	7
2.5 Magnetron Radar .....	8
2.6 Solid State Radar .....	9
2.7 Høyttelse-radar .....	10
2.8 Array radar .....	12
2.9 FMCW Radar .....	13
2.10 Pulskompresjon .....	14
2.11 Lidar .....	14
2.12 Begrensninger.....	15
2.13 Filtering .....	16
2.14 Regelverk.....	18
2.15 Annen teknologi .....	21
<b>3 Metode .....</b>	<b>22</b>
3.1 Forkunnskap og litteraturstudie.....	22
3.2 Intervju og testing .....	22
3.3 Tilleggs informasjon.....	24
3.4 Testing av bredbåndsradar.....	24
3.5 Feilkilder .....	24
<b>4 Resultat fra intervju .....</b>	<b>26</b>
4.1 Intervju nr.1 .....	26
4.2 Intervju nr.2 .....	28
4.3 Intervju nr.3 .....	29
<b>5 Drøfting .....</b>	<b>30</b>
5.1 Behovet for ny radarteknologi.....	31
5.2 Hva gjør en radar god? .....	31
5.3 Behov for bedre opplæring (STCW) .....	37
5.4 Vanskeligheter med regelverk (IMO) .....	39
5.5 SAR .....	39
5.6 Implementering av annen teknologi .....	40
5.7 Oppsummering .....	40
<b>6 Konklusjon .....</b>	<b>42</b>
<b>Kildeliste .....</b>	<b>VII</b>

## Figurliste

Figur 1 - Skisse av en utsendt puls (Illustrasjon: eget) .....	7
Figur 2 – Sammenligning mellom Sea Hawk bilde og satellittbilde i Suez-kanalen (SeaHawk AS, 2023).....	11
Figur 3 – Sammenligning av vanlig radarbilde (venstre) og Sea Hawk radarbilde (høyre) under isnavigasjon (SeaHawk AS, 2023). .....	11
Figur 4 – Innseilingen til Tromsø vist på Sea Hawk radarbilde (Strønen, 2018). .....	11
Figur 5 – Skisse over hvordan økende antall antenner gir smalere stråle og hvordan faseforskyvningen bestemmer retning (Matlab, 2022) .....	12
Figur 6 – Bildet viser et array radar-modul (SPY-6) montert på et militært fartøy. (U.S. Naval Institute, 2022).....	13
Figur 7 – Forskjellige typer frekvensmodellering (Omeatron, 2022). .....	13
Figur 8 – Illustrasjon av frekvensmodellert puls på JRC radar (Pronav AS, 2020).....	14
Figur 9 – Illustrasjon av hvilken output man kan få av å bruke et Lidar-system i fine forhold. (Coastal & Hydraulics Laboratory, 2012) .....	14
Figur 10 – Skisse av blindsoner (Illustrasjon: eget) .....	16
Figur 11 – Hvordan echo average blir fremvist på non-IMO radar (Furuno, u.d.).....	17
Figur 12 – Echo analytics t.v, doppler analytics, regnmodus i doppler analytics t.h (Furuno, u.d.). .....	18
Figur 13 – Illustrasjon av kamera-modul og tilhørende skjerm (Flir, 2023) .....	21



## Tabelliste

Tabell 1 - Oversikt av ulike radarbånd (Kjerstad, 2019). .....	8
Tabell 2 – Tabell som viser pulslengder på forskjellige avstander på Furuno radar. (Furuno, u.d.) .....	9
Tabell 3 – Krav til radarutrustning basert på byggeår (Lovdata, 2018).....	18
Tabell 4 – Krav til radarutrustning på skip (Lovdata, 2018).....	19
Tabell 5 – Krav til deteksjon for X og S bånd under støyfrie forhold (IMO, 2004).....	19

# 1 Innledning

Siden radaren ble vanlig etter andre verdenskrig, har radaren vært et av navigatørens viktigste hjelpemidler. Dette grunnet dens evne til å se og presentere omgivelsene, nesten uavhengig av siktforhold. Mangelfull bruk av radar og dårlig ytelse på radar har vært medvirkende årsak til mange ulykker på sjøen. Den er likevel et essensielt hjelpemiddel for posisjonering og detektering av trafikk og objekter. Virkemåten til tradisjonell navigasjonsradar har endret seg lite siden andre verdenskrig, det finnes derimot teknologier med annen virkemåte som kan anvendes til navigasjon.

## 1.1 Om Gruppen

Vi er tre studenter med lik interesse innenfor det maritime. To av oss kommer fra et Y-veiløp med fagbrev som matros, og en gjennom studiespesialisering med militær bakgrunn. Dette gjør at vi som gruppe har et godt og bredt utgangspunkt på bakgrunn av tidligere erfaringer og egenskaper.

## 1.2 Hvorfor vi valgte denne problemstillingen

Etter å ha hatt undervisning om navigasjonsinstrument, spurte vi hverandre om hvorfor radarprinsippet ikke hadde utviklet seg på samme måte som andre navigasjonsverktøy. Når vi leste om radar i pensumboken *Elektroniske og akustiske navigasjonssystemer* av Norvald Kjerstad, ble vi spesielt interessert i det han skriver om «ny teknologi – uten magnetron» på side. 2-55.

Det var også viktig for oss at problemstillingen omhandlet noe som kunne være relevant for fremtidig arbeidsliv. Radaren vil være et av de viktigste, om ikke det viktigste navigasjonshjelpemidlet vi har når vi kommer ut i arbeidslivet, så derfor valgte vi denne problemstillingen.

## 1.3 Bakgrunn

Gjennom erfaring fra læretid og studietid har vi sett viktigheten av å ha navigasjonsverktøy man stoler på. Radaren er et grunnleggende og viktig verktøy i moderne navigasjon ettersom den muliggjør deteksjon av omgivelser og objekter som navigatørene ikke ser med det blotte øye. Radaren kan få problemer om den støter på ugunstige værforhold, som for eksempel kraftige snø, hagl eller regnbyger. Disse forholdene vil påvirke radarens evne til å presentere

pålitelig informasjon og vil føre til at man i større grad må stole på andre navigasjonshjelpemidler, som elektronisk kartvisning og informasjonssystem (ECDIS) eller visuell navigasjon.

## **1.4 Problemstilling**

Problemstillingen i denne oppgaven er å finne ut hvilke radarteknologier som finnes på markedet, og å se på om disse kan erstatte eller komplementere tradisjonell pulsbasert radar med de kravene IMO stiller i dag.

For å besvare oppgaven må gruppen vurdere følgende forskningsspørsmål:

- Hva er en god radar?
- Hva brukes en radar til?
- Hvilke krav setter IMO?
- Hvilke teknologier finnes på markedet?

## 2 Teoretisk grunnlag

Før andre verdenskrig navigerte navigatørene ombord i fartøy hovedsakelig ved hjelp av visuelle observasjoner og ved bestikkregning. Det fantes ikke verktøy for å kartlegge omgivelsene rundt seg under dårlige siktforhold eller om natten. Som følge av dette var risikoen for grunnstøting eller å kolliderer med andre fartøy vesentlig større enn den er i dag. Implementeringen av radar om bord på fartøy har gitt navigatørene et verktøy som kan gjengi omgivelsene under de mest krevende forhold. Ingen andre verktøy om bord kan gi et like godt og pålitelig situasjonsbilde som radaren. Den har derfor blitt avgjørende for å navigere på en trygg og effektiv måte.

I denne oppgaven er en betydelig del av faktaopplysningene om radarens virkemåte og bruksområde hentet fra «Elektroniske og Akustiske Navigasjonssystemer» skrevet av Norvald Kjerstad.

### 2.1 Radarens Historie

Allerede i 1860-årene kom den britiske James Maxwell og den tyske Heinrich Hertz frem med teorier og bevis for elektromagnetiske bølgesignaler. Det var likevel ikke før i 1903 at tyskeren Christian Hulsmeyer tok i bruk forskningen og gjorde første vellykkede eksperiment med CW-radar. Etter dette stoppet forskningen på denne teknologien opp, og ble ikke tatt opp igjen før i 1925 da amerikanerne Gregory Berit og Merle Tuve gjorde målinger av ionosfærehøyden med bruk av pulsbasert radar. Dette var første gang noen gjorde nytte av radarens virkemåte. (Kjerstad, 2019)

På 1930-tallet ble radartechnologien videreutviklet i all hemmelighet på forskjellige lokasjoner. I 1934 startet det tyske selskapet GEMA opp produksjon av CW radar med magnetron som kunne detektere skip på opptil 12 nautiske mil. To år senere ble det første kommersielle radarsystemet installert på det franske passasjerskipet *Normandie*. Dette var en CW radar. I 1939 ble denne derimot byttet ut med en forbedret pulsradar. (Kjerstad, 2019)

Under 2. verdenskrig var det flere og flere skip som fikk pulsbasert radar med mekanisk roterende antenne installert. Før dette måtte man fysisk vri på antennen eller svinge skipet for å bestemme hvilken retning man ville ha radardekning i. Det var ikke før i 1943 at den roterende antennen vi kjenner i dag ble utviklet. Der informasjonen fra antennen ble presentert på et modifisert katodestrålerør som ble kalt Polar Plan Indicator (PPI). Det første skipet som fikk montert dette radaranlegget var HMS Saltbrun i april 1943. I 1945 hadde

tyskerne også tilsvarende teknologi på deres ubåter og skip, og i samme år fikk også det første norske sivile hurtigruteskipet *Sigurd Jarl* tilsvarende radaranlegg installert om bord. (Kjerstad, 2019)

Årene etter 2. verdenskrig gikk utviklingen innenfor den pulsbaserte magnetron radaren hurtig. Innenfor handelsflåten og fiskefartøyer ble det vanlig med radar om bord. (Kjerstad, 2019)

Radarene som IMO stiller krav til i dag, er prinsipielt veldig like de som ble brukt i tiden etter 2. verdenskrig. Den store forskjellen på radarene i dag er ytelsen og brukervennligheten, og ikke minst måten vi presenterer informasjonen på. (Kjerstad, 2019)

## 2.2 Begrepsforklaringer

For å forstå hvordan radaren fungerer er det relevant å ta høyde for en del begreper. Disse begrepene blir brukt underveis i oppgaven, og det er derfor viktig å ha en forståelse av hva de betyr.

**Radarfyr eller Racon** (Radar Beacon) som det ofte forkortes til er et system som brukes til å identifisere fyr eller andre installasjoner ved hjelp av morsekode. Systemet fungerer ved at skipets radarpulser treffer et Racon, deretter returneres et signal som radaren viser som en morsekode. Racon er allerede et viktig hjelpemiddel for sikker navigasjon, men det undersøkes om systemet også kan utvides til å inkludere posisjonering uavhengig av GNSS (Kjerstad, 2019)

**Pulslengde** er den tiden radaren aktivt sender ut elektromagnetiske bølger. Pulslengden til en maritim radar kan være forskjellig, men typisk fra 0,1–0,2  $\mu$ s på magnetron radar. Den sier også noe om hvor nærme radaren kan detektere et objekt, på grunn av at mottageren er blokkert når radaren sender ut de elektromagnetiske bølgene. Radaren kan teoretisk ikke detektere et objekt nærmere enn  $\frac{1}{2}$  pulslengde. (Kjerstad, 2019)

**Skilleevnen** eller oppløsningen til en radar handler om hvor god den er på å skille objekt fra hverandre. Altså hvor god den er til å se objekter i nærheten av hverandre som frittstående enkelte mål. En kort pulslengde vil gi en høyere skilleevne, og er ofte brukt på kortere avstander for å få bedre oppløsning på det som skjer rundt skipet. En lang pulslengde vil gi en lavere skilleevne, og blir brukt på lengre avstander. Smal horisontal strålebredde er også viktig for å få god oppløsning, da en stor horisontal strålebredde kan resultere i at flere objekter blir oppfattet i samme puls. (Kjerstad, 2019)

**Pulsbredde** deles inn i vertikal og horisontal pulsbredde og beskriver vinkelområdet pulsen dekker. (Kjerstad, 2019)

**Repetisjonsperiode** er tiden mellom hver utsendelse av en puls. (Kjerstad, 2019)

**Pulsrepetisjonsfrekvens** forteller om hvor mange pulser som sendes i løpet av et sekund. (Kjerstad, 2019)

**Pulseffekt** er styrken på signalet radaren sender ut målt i Watt. Denne vil typisk ligge på mellom 2 kW – 75 kW på en maritim magnetron radar. (Kjerstad, 2019)

**Gjennomsnittseffekt** er effekten som omsettes i radarutsending over tid. (Kjerstad, 2019)

**Ytelsesforhold** gir uttrykk for forholdet mellom repetisjon-perioden og pulslengden. (Kjerstad, 2019)

**Båndbredde** er det frekvensområdet på hver side av radarens sender-effekt hvor mottageren kan operere. (Kjerstad, 2019)

**Amplitude** er et mål på hvor sterk en svingning er. (Kjerstad, 2019)

**Frekvens** antall svingninger i sekundet. (Kjerstad, 2019)

**Minimumsavstand** er den korteste horisontale avstanden fra antennen en radar kan detektere mål. (Kjerstad, 2019)

**Doppler målinger** er ett fenomen hvor frekvensen til radarbølgene endrer seg dersom målet kommer imot eller går ifra mottakeren. (Holtebekk, 2023)

## 2.3 Bruksområde

Det er i dag krav om å installere maritim radar ombord på et hvert passasjerfartøy og laststeskip med en bruttotonnasje på over 300 tonn. Dette kravet skyldes at radarens bruk er avgjørende for sikker navigasjon. Radaren brukes i hovedsak til å kartlegge landskapet rundt skipet, for å detektere andre skip i nærheten, gi navigatøren best mulig situasjonsforståelse, og for å verifisere posisjon. (Kjerstad, 2019)

### 2.3.1 Posisjonering med radar

For å med sikkerhet kunne vite sin egen posisjon må man til enhver tid ha gode kilder på den informasjonen man innhenter. Radaren er et hjelpemiddel som sammen med andre

verktøy kan gi navigatøren gode posisjonsdata om den brukes riktig. I kystnavigasjon er det for eksempel vanlig å bruke både peiling og avstand til objekt for å bekrefte posisjonen, samtidig som man bruker informasjon fra satellitt gjennom ECDIS. Når man bruker radar i samarbeid med kartdata, vil dette kunne gi en veldig sikker posisjon. I tråd med godt sjømannskap bør man bruke radar for å bekrefte GPS posisjon. (Kjerstad, 2019)

Et problem man kan støte på ved bruk av radar er støy, dette forekommer oftest når de meteorologiske forholdene er utfordrende. Det vil si ved eksempelvis regn, snø og sludd. Erfaringen til brukeren har vært viktig for å overkomme problemer med støy. I dag finnes det derimot flere automatiske funksjoner som stiller inn radaren for deg. (Kjerstad, 2019)

### **2.3.2 Deteksjon av trafikk**

For å få et fullstendig situasjonsbilde som navigatør er det viktig å være klar over hvilken trafikk som er i området. Radaren er et av de beste og mest pålitelige hjelpemidlene for å detektere trafikk. Dette er på grunn av at radaren er et uavhengig system som sender og mottar egne signaler og ikke trenger oppkobling mot internett eller satellitt for å fungere. Derfor kan en generelt være svært sikker på at det radaren viser er korrekt. Et eksempel på et system der man ikke kan være helt sikker på kvaliteten av informasjonen er AIS, som sender skipets posisjon til andre fartøy over VHF-båndet. Dette vil si at en er avhengig av at de skipene som sender AIS data har korrekt og fungerende input fra GNSS og gyrokompass. (Kjerstad, 2019)

Dagens radar kan gjøre forskjell på statiske og dynamiske mål. Dette kan deretter presenteres på skjermen eksempelvis ved at de bevegelige målene får en annen farge. Dette er bare en av måtene man kan presentere bevegelige mål på. En annen populær måte er å gi bevegelige mål en «skygge» etter seg, såkalte «trails». (Kjerstad, 2019)

Når en ser et fartøy på radaren, er det viktig å finne ut om man er på kollisjonskurs med fartøyet. Dette kan gjøres både manuelt og automatisk på radaren. Manuelt kan det gjøres ved plotting av fartøyets posisjon over tid ved hjelp av peilelinje (EBL) og avstand (VRM). Automatisk gjøres det ved at radaren plotter fartøyet over tid og automatisk regner ut fart og kurs (ARPA). (Kjerstad, 2019)

### **2.3.3 SAR**

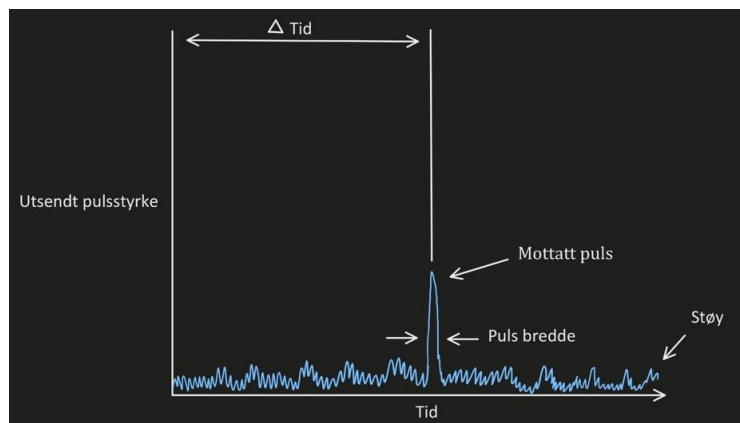
Radaren har også bruksområde utenfor navigasjon, siden den er viktig i søk og redningsoperasjoner. Spesielt 3-cm radar også kalt X-bånd radar, da denne opererer i

frekvensområdet som aktiverer radar SART. Dette er en innretning som brukes for deteksjon av nødstedte og indikeres som 12 eller 24 prikker etter hverandre på radar når den er blitt aktivert. Radaren brukes også i søkeoperasjoner uten radar SART. Eksempelvis ved søk etter flåte med radarreflektor. (Kjerstad, 2019)

## 2.4 Pulsradarprinsippet

En vanlig IMO godkjent maritim radar opererer i dag på pulsradarprinsippet. Dette er en måte å måle avstand til et fysisk objekt. Enkelt forklart sender radaren ut en puls med elektromagnetiske bølger gjennom en direktiv antenne (retningsantenne). Pulsen brer seg så gjennom luften og treffer et objekt før det reflekteres tilbake til mottager og forsterkes. Dette vil fungere på samme måte som et ekko, der man roper mot en vegg og lyden reflekteres tilbake og kan høres av våre egne ører. (Kjerstad, 2019)

Formelen for å finne avstand er  $\text{avstand} = \text{fart} * \text{tid}$ . Siden de elektromagnetiske bølger brer seg med en fart tilnærmet lysets hastighet på rundt  $300 * 10^6$  m/s, er farten alltid kjent. Tiden vil også være kjent, grunnet måling av tidsrommet mellom sending og mottak. Når man kjenner til disse to faktorene vil man kunne kalkulere avstanden til objektet. (Kjerstad, 2019)



Figur 1 - Skisse av en utsendt puls (Illustrasjon: eget).

### 2.4.1 De vanligste frekvensområdene

#### X-bånd

X-bånd radar er den mest vanlige radaren brukt på skip. Denne radaren sender med en bølgelengde på 3 cm, og er påbudt av IMO på stort sett alle skip, grunnet at SART aktiveres og sender på 9GHz bandet. Radaren er relativt god på rekkevidde, men har sin styrke på kortere avstander grunnet dens gode skilleevne. Den leverer også god oppløsning med små antenner. Utfordringen til dette frekvensområdet er at det er ømfintlig for støy. (Kjerstad, 2019)

#### S-bånd

10 cm radar bruker en lavere frekvens med en bølgelengde på 10 cm, og oppnår med dette en større rekkevidde. S-bånd radarens høye effekt og lave frekvens gjør at den leverer



bedre ytelser enn X-bånd radar i dårlig vær, altså den er mer motstandsdyktig mot støy. Radaren har ofte litt dårligere peilenøyaktighet enn X-bånd radar på grunn av kompromiss mellom plass, vekt og antennestørrelsen på S-bånd radaren. (Kjerstad, 2019)

Tabell 1 - Oversikt av ulike radarbånd (Kjerstad, 2019).

Frekvens (MHz)	Bånd	Bølgelengde (cm)
1000 – 2000	L	30 – 15
2000 – 4000	S	15 – 7,5
4000 – 8000	C	7,5 – 3,75
8000 – 12400	X	3,75 – 2,42

## 2.5 Magnetron Radar

Den tradisjonelle og mest brukte typen IMO godkjent radar er basert på magnetron. Generelt sett består den av en roterende antenne, med en transceiver som danner elektromagnetiske bølger og leser innkommende bølger. Videre har systemet også en prosesserings-unit som tolker bølgene transceiveren har mottatt og gjør dem om til gjenkjennbare elektriske signaler som kan leses av på displayet.

Magnetronen lager pulsene som sendes ut ved å bruke sterke magnetfelt, en katode, og anode for å skape høyfrekvente pulser. Deretter går bølgene via en bølgeleder (x-bånd) eller koaksialkabel (s-bånd) til en «slotted wave guide» antenne som sender ut pulsen. Magnetron radar kan ikke endre utsendt frekvens noe særlig på grunn av at frekvensen er gitt av anodens fysiske utforming. (Kjerstad, 2019)

Vanlig magnetron radar bruker vanligvis høy pulsrepetisjonsfrekvens (PRF) og korte pulslengder på korte avstander siden evnen til å skille objekter ifra hverandre er gitt av  $\frac{1}{2}$  pulslengde. Når avstandene øker må radaren ofre skilleevnen ved å øke pulslengden for å forbedre deteksjons-sannsynligheten, i tillegg til å senke PRF for at pulsene skal få tid til å reflektere tilbake til mottaker. I tillegg til å redusere nøyaktigheten vil lengre pulser øke den minste avstanden ekko kan sees på, fordi mottakeren er blokkert i den tiden pulsen sendes ut.

Siden denne typen radar bruker magnetron for å skape pulsene har den noe dårlig kontroll over amplitude og frekvens. Når man illustrerer en pulsbasert radarbølge tegner man den ofte som en fin og uniform sinusbølge. I virkeligheten vil frekvensen og amplituden vandre og variere i hver puls som sendes. (Bole, et al., 2013)

Dette kan forbedres ved å ta i bruk metoder som pulskompresjon eller frekvensmodulering. Man må da benytte solid state radar, ettersom magnetron radaren ikke kan modulere eller endre frekvens. (Kjerstad, 2019)

## 2.6 Solid State Radar

Etter oppdatering av ytelseskravene til S-bånd radar, har IMO åpnet opp for nye alternative grunnteknologier. Solid state senderen benytter ikke magnetron eller tilhørende høyspenningskretser i senderen.

Solid state radar sender med mye lavere «peak» effekt enn en magnetron radar, 250 – 600 W, sammenlignet med magnetron som sender med 12kW – 30kW. (Furuno, u.d.) Dermed må solid state radarene kompensere for den lave effekten ved å sende lengre modulerte pulser for å få tilnærmet lik utsendt effekt. Ett eksempel på dette er Furuno sin IMO godkjente NXT-serie som sender en kort umodulert puls med god skilleevne og lav minimumsavstand for å lage bildet nærmere fartøyet på radaren. Korte pulser med solid state sender inneholder derimot lite energi. Derfor følger Furuno sin radar opp den korte pulsen med en lengre modulert puls med mer energi, for å lage bildet som er lenger unna fartøyet for så å kombinere retursignalene elektronisk for å konstruere radarbilde. (Furuno, u.d.)

Furuno har seks forskjellige pulslengder som de bruker på sine solid state radarer. Disse er S 1/2, M 1/2/3, og L der S står for Short, M for Medium, og L for Long.

Tabell 2 – Tabell som viser pulslengder på forskjellige avstander på Furuno radar. (Furuno, u.d.)

Solid state radar: Pulselength of P0N/Q0N

Range	PRR (Hz approx.)	Range scale (NM)																					
		0.125	0.25	0.5	0.75	1	1.5	2	3	4	6	8	12	16	24	32	48	72	96	120			
S1	2400*	0.07/5.0 μs																					
S2	2000*			0.18/7.5 μs																			
M1	1500				0.3/12.5 μs																		
M2	1060					0.5/17.5 μs																	
M3	1000						0.7/18.3 μs																
L	600									1.2/18.3 μs													

Ser vi nærmere på M1 innstillingen så ser vi at den sender en kort puls på 0,3 mikrosekund, før den følger opp med en lenger modulert puls på 12,5 mikrosekund. Dersom en kun skulle sendt pulsen på 12,5 mikrosekund ville minsteavstanden blitt cirka en nautisk mil

$$\frac{12,5\mu s \times 300m/\mu s}{2} = 1875m.$$

## **2.7 Høyytelse-radar**

### **2.7.1 Multi Pulse Sweep**

En relativt ny teknologi er MPS, som er tenkt for hurtiggående fartøy. MPS står for Multi Pulse Sweep, og er en teknikk som baserer seg på en modifikasjon av den konvensjonelle pulserende skipsradaren. Denne modifikasjonen bruker en hurtigroterende antenne som benytter en mindre vertikal strålebredde, og bruker to magnetroner som sender annen hver gang, altså at magnetronene veksler mellom hver sendepuls. (Kjerstad, 2019)

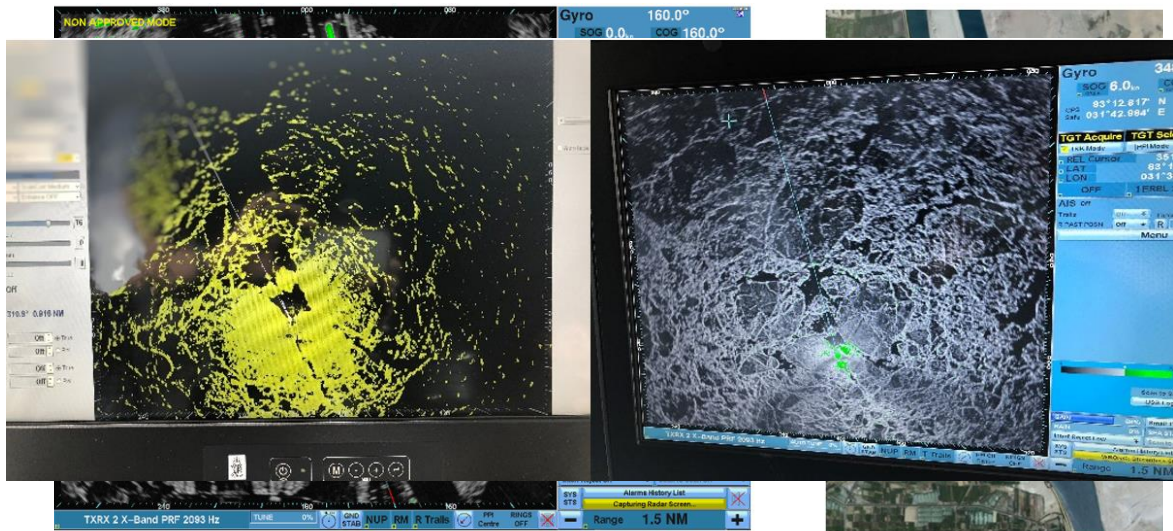
Fordelene med dette systemet er at den oppnår bedre deteksjonssannsynlighet i alle værforhold, samtidig som den oppdaterer radarbildet hurtigere og følger ARPA målene bedre. Prisen på dette systemet ligger på over det dobbelte av prisen til en vanlig IMO godkjent magnetron radar. Systemet bruker en mindre vertikal strålebredde enn IMO systemer. (Kjerstad, 2019)

### **2.7.2 Polarimetric Radar**

Polarimetric radar er en type radar som benytter seg av både horisontal og vertikal polarisasjon. Normalt sender en pulsradar kun horisontale pulser, men Sea Hawk sitt konsept bruker to magnetroner og differensierer svingningene mellom horisontal og vertikal retning. Det returnerte signalet blir deretter matet gjennom avansert signalbehandling for å få et radarbilde som kan minne om et satellittbilde. (Kjerstad, 2019) Dette oppnår de fordi den vertikale polariseringen gjør at radaren kan oppdage og tegne det en vanlig horisontalt polarisert radar vil oppdage som støy. Dette danner grunnlaget for bakgrunnsbildet på Sea

Hawk radarene. Som vist på bildene under ifra Suez kanalen ser en at dette gir ett svært detaljert radarbilde som både viser fartøy og landskap i stor detalj.

Tidligere leverte Sea Hawk IMO godkjente radarsystemer, men de sluttet med det på grunn av begrensningene som følger med IMO godkjenning. I dag er systemet mest brukt der det stilles høye krav til oppløsningen på radar, eksempelvis overvåking, SAR, is navigasjon og seismikk.

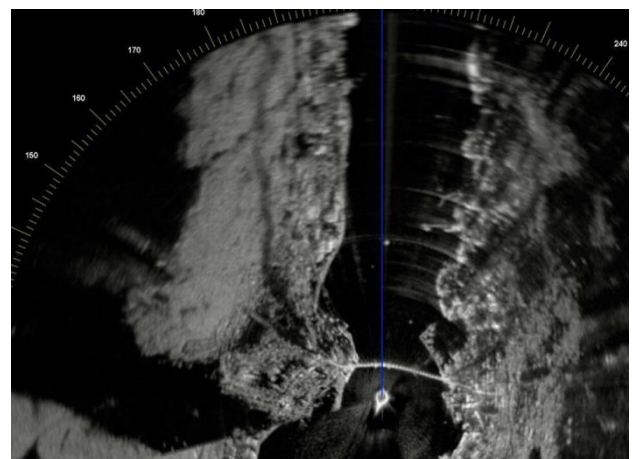


Figur 2 – Sammenligning mellom Sea Hawk bilde og satellittbilde i Suez-kanalen (SeaHawk AS, 2023).

Figur 3 – Sammenligning av vanlig radarbilde (venstre) og Sea Hawk radarbilde (høyre) under isnavigasjon (SeaHawk AS, 2023).

I tillegg opplyser de at enkelte luksusyachter bruker det for sikkerhet, men for vanlig navigasjon er de for dyre. Skille-evnen på radarene er oppgitt til 15 meter ved kort puls, og ved 12 fots antenne er strålebredden 0,7 grader. (SeaHawk AS, 2023)

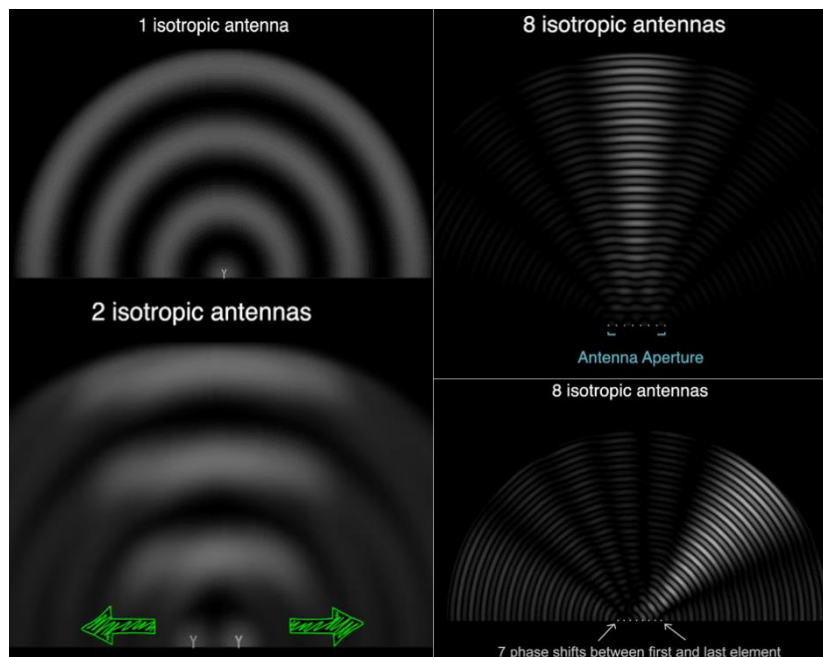
En test av dette systemet ble foretatt på hurtigruten MS Nordlys. Der ble det gjennomført seilas på Norskekysten. Testingen av radaren ga gode prøveresultater. Dette vises godt på figur 4, der man detaljert kan se innseilingen til Tromsø. (Strønen, 2018)



Figur 4 – Innseilingen til Tromsø vist på Sea Hawk radarbilde (Strønen, 2018).

## 2.8 Array radar

Array radar er et radarsystem der en bruker micro-strip antenne for å danne radarstrålen helt uten bevegelige deler. Det er sammenlignbart med DP referansesystemet XPR som Kongsberg produserer. Systemet fungerer ved å sette flere antenner sammen i en gruppe der antennene sitter en gitt avstand fra hverandre. Dette gjør at bølgene Ifra hver antenne demper hverandre i side-retningene for å forme en rettet stråle som vist på bildene.

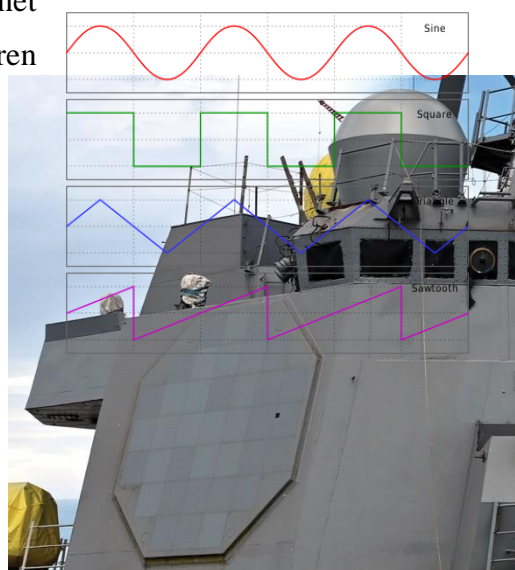


Figur 5 – Skisse over hvordan økende antall antenner gir smalere stråle og hvordan faseforskyvningen bestemmer retning (Matlab, 2022)

Systemet har ingen bevegelige deler og styres helt automatisk. Dette gjør at vedlikeholdskostnadene er lave, og at det vil være mulig å gjøre svært raske scann på 10-50 scann pr sekund. Strålebredden på en array radar vil være gitt av antall antenner som er satt sammen i arrayet, der flere antenner gir smalere stråle.

I tillegg vil den kunne legge inn avanserte former for scanning der radaren fokuserer på enkelte områder mer enn andre. Grunnet faseforskyvningen som styrer strålen vil ikke radaren ha 180 graders scannings rekkevidde, da strålen blir forvrengt når en nærmer seg 0 og 180 grader. Dette kan løses ved å sette flere array sammen og kombinere radarbildet elektronisk før det vises på radarskjermen. (What are Phased Arrays?, 2022)

Hovedgrunnen til at denne teknologien ikke er vanlig er at IMO sitt regelverk er tilpasset roterende magnetron radar, som gjør det vanskelig å godkjenne alternative system. (Kjerstad, 2019)



Figur 6 – Bildet viser et array radar-modul (SPY-6) montert på et militært fartøy. (U.S. Naval Institute, 2022)

## 2.9 FMCW Radar

I motsetning til en pulsbasert radar, så sender en CW-radar kontinuerlig ut elektromagnetiske bølger med lavere effekt. En konvensjonell CW-radar vil derfor ikke kunne måle avstand til et objekt fordi man ikke kan måle tiden fra sending til mottak. Dette kan ikke gjøres på grunn av at mottakssignalet ikke er tidsstemplet. Den kan derimot måle raten avstanden til objekt endrer seg ved hjelp av dopplereffekt, altså kan den måle fart.

For at en CW radar skal kunne måle avstand må man benytte seg av modulering. Av dette kommer navnet FMCW radar. Det vil si at bærebølgen markeres med en variasjon i frekvens med faste tidsintervall. Altså blir den tidsstemplet. Varigheten på frekvensvariasjonen bestemmer avstanden radaren kan operere på, mens båndbredden på frekvensvariasjonen bestemmer radarens oppløsning. (Wolff, Ukjent)

Avstanden måles ved at frekvensen på utsendt signal sammenlignes med frekvensen på mottatt signal. Tidsdifferansen mellom de to frekvensene brukes deretter for å beregne avstanden.

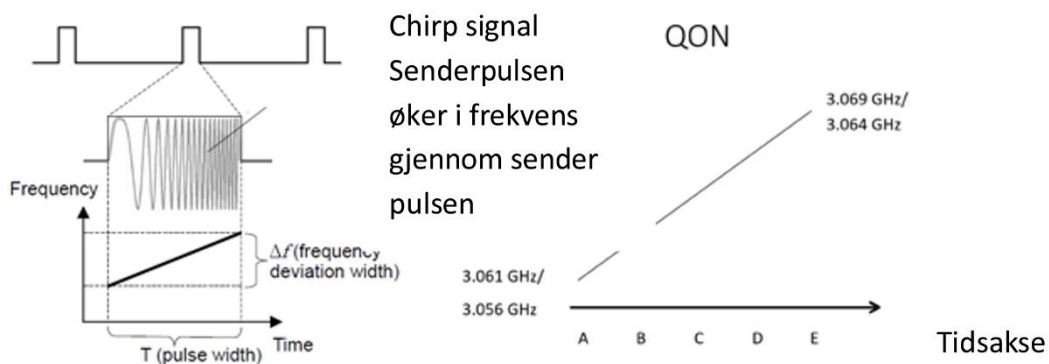
På figur til høyre ser man noen forskjellige typer frekvensmodellering. På FMCW radar er det vanlig å bruke «sagtann» modellering, altså den nederste grafen i figuren. Med denne modelleringen er den lengden på hver «sagtann» som bestemmer radarens rekkevidde. (Wolff, u.d.)

Figur 7 – Forskjellige typer frekvensmodellering (Omegatron, 2022).

FMCW radar brukes i størst grad om bord på fritidsbåter eller som ekstra radar om bord på kommersielle skip ettersom Racon og SART ikke er laget for å trigges av FMCW radar, noe som hindrer FMCW radaren i å bli IMO godkjent.

## 2.10 Pulskompresjon

Solid state radarer benytter pulskompresjon for å øke deteksjonssannsynligheten på lange avstander uten å få dårlig skilleevne. Dette gjøres ved å modulere eller endre frekvensen ved utsendelse. Figuren under er en illustrasjon av hvordan JRC sin pulskompresjon for S-bånd radarer fungerer. Radarene deres begynner utsendelse på lav frekvens og øker frekvensen lineært med 8-9 GHz over pulsens lengde. (Pronav AS, 2020) Denne metoden kalles lineær pulskompresjon og er også brukt i Furuno sine solid state radarer. (Furuno, u.d.)

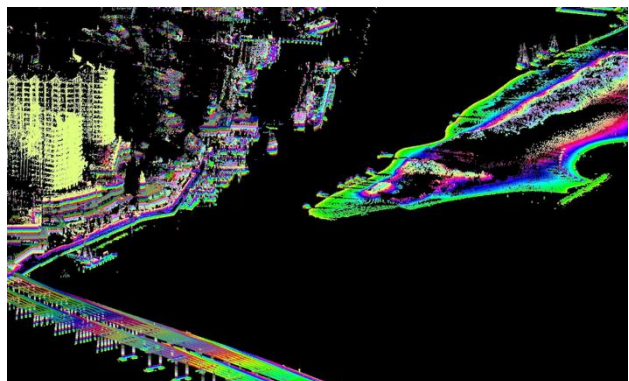


Figur 8 – Illustrasjon av frekvensmodellert puls på JRC radar (Pronav AS, 2020).

Det er vanlig å først sende en kort puls med høy skilleevne for så å sende en lengre frekvensmodulert puls for å dekke større avstandsområder. Pulsmodulering gir fordelene med lange pulser, men bevarer mye av skilleevnen til kortere pulser fordi det er mulig å finne ekkoet igjen i pulsen i motsetning til vanlig radar uten pulskompresjon.

## 2.11 Lidar

Lidar kan fungere både ved å sende pulser av lys og kontinuerlig sending. I motsetning til konvensjonell maritim radar, opererer den imidlertid på en betydelig høyere frekvens og med høyere effekt. Lidar kan være svært nøyaktig på grunn av høy grad av direktivitet og høy ytelse, og er derfor mye brukt som referansesystem innen Dynamisk Posisjonering. Problemet med



laser-baserte systemer er at de er veldig ømfintlige for nedsatt sikt og nedbør. (Kjerstad, 2019)

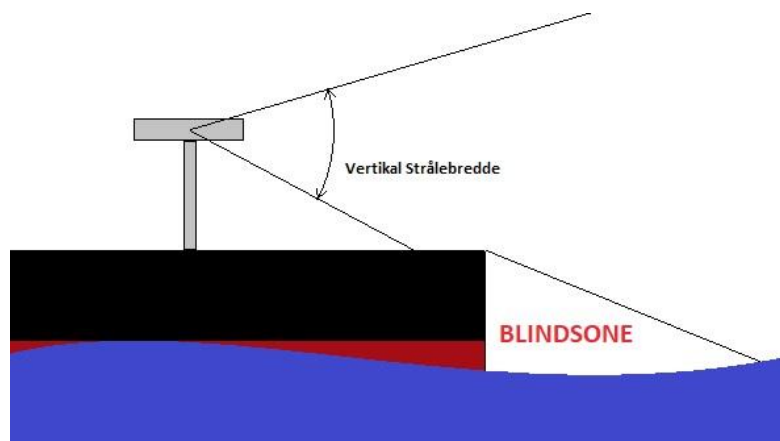
## **2.12 Begrensninger**

Skilleevne er radarens evne til å tydelig differensiere mål på samme peiling fra hverandre. Dette kan være en begrensning fordi skilleevnen sterkt avhenger av pulslengden. Kortere pulslengde gir bedre skilleevne, men dårligere rekkevidde, mens lengre pulslengde gir bedre rekkevidde og dårligere skilleevne. (Kjerstad, 2019) (Austrheim, et al., 2020)

Minimum/maksimum Range er en annen begrensning hos maritim pulsbasert radar, fordi range avhenger av flere faktorer. Pulslengden er en viktig faktor da minimumsavstanden aldri kan være mindre enn en halv pulslengde. Dette er på grunn av at da ville signalet kommet tilbake til transceiveren før den åpner opp for mottak. Dette skaper videre problemer da maksimal range krever lengre pulslengde på bakgrunn av at en lengre pulslengde har mer energi og tåler mer forstyrrelser. Altså kan man vanligvis ikke få optimal ytelse på lange og korte avstander samtidig. (Kjerstad, 2019)

Videre har antennehøyde og vertikal strålebredde også mye å si for maksimal og minimum rekkevidde. En radar med smal vertikal strålebredde vil være dårligere på å detektere mål nært fartøyet. Dette er på grunn av selve geometrien på pulsen i forhold til skipet. En lavt montert antenne vil få samme problemet uavhengig av strålebredde, da skipets skrog vil komme i veien for signalet. Altså plukkes ikke mål nærme skipet opp. Dette er illustrert i figuren under. (Austrheim, et al., 2020)





Figur 10 – Skisse av blindsoner (Illustrasjon: eget)

Nøyaktighet på avstand og peiling er viktig for posisjonsbestemmelse med radar. IMO krever at en godkjent peilelinje på radar ikke skal ha mer enn 1 grad feil ved ytterkanten av displayet. For avstand er det gjeldende kravet at nøyaktigheten skal være innenfor 1 prosent av range som er i bruk. (IMO, 2004)

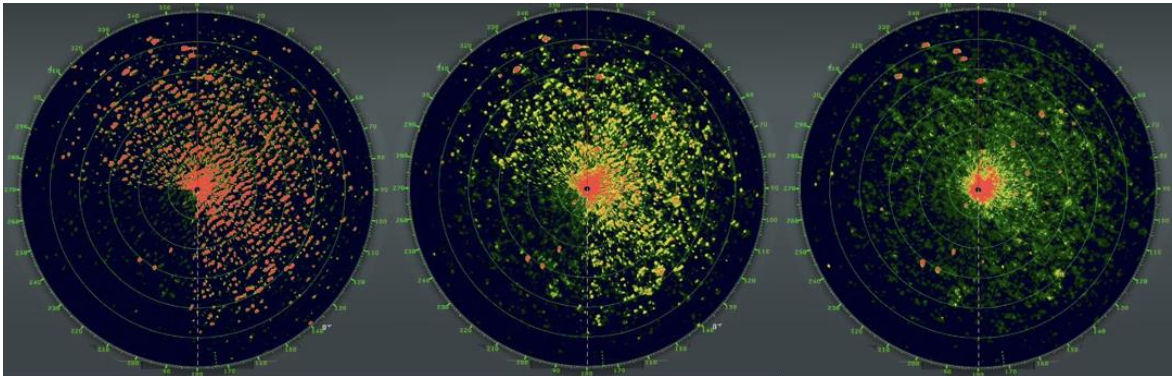
Nøyaktigheten på en godkjent IMO radar er altså generelt sett god, men det kan forekomme noen problemer. Eksempelvis kan avstandsmåling på nært hold føre til utfordringer. På korte avstander vil nemlig antennehøyden ha mye å si og man kan risikere at avstanden som blir målt er avstanden fra antennen og vertikalt «ned» til målet, i stedet for avstanden horisontalt langs jordas overflate. (Kjerstad, 2019)

## 2.13 Filtering

For å opprettholde en sikker seilas er det viktig å ha ett konstant overblikk på situasjonsbildet rundt sitt eget skip til enhver tid. Furuno har derfor utviklet flere forskjellige filtreringsteknologier til sine radarer, for hjelpe radaroperatørene av deres radarer til å opprettholde sikker seilas. (Furuno, u.d.)

### 2.13.1 Echo Average

Echo average er en type signal prosessering, utviklet av radarprodusent Furuno. Den fremhever skip samtidig som den reduserer støy, og fremviser dette på radarskjermen med bruk av ulike farger. Når radaren skrur på, vil alle ekkoer bli røde og etter fem sveip vil signal prosesseringen dempe alle refleksjoner som ikke er faste. Altså refleksjoner fra bølger eller andre uønskede ekkoer som kommer av støy, mens skip vil forbli røde. (Furuno, u.d.)



Figur 11 – Hvordan echo average blir fremvist på non-IMO radar (Furuno, u.d.)

### 2.13.2 Target Analyzer

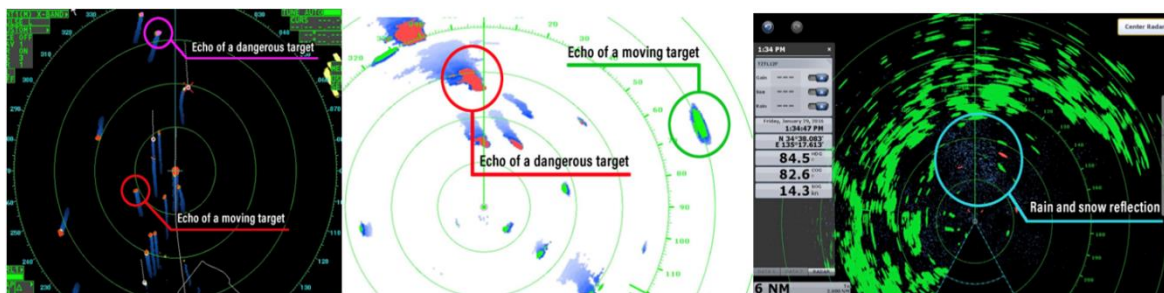
#### Doppler Analysis

Furuno's target analyzer er en funksjon som kan benyttes på deres DRS-radarer, slik som NXT-serien som er solid state-radarer. Denne funksjonen bruker doppler effekten til å analysere risikoen for kollisjon mot skip og flyttbare innretninger i bevegelse, der alvorlighetsgraden i situasjonen vil speile fargene brukt på objektene. Ved hjelp av doppler analysis vil stasjonære mål fremvises i grønt, farlige mål i rødt og når radaren er i «regnmodus», vil regn vises i blått. (Furuno, u.d.)

#### Echo Analysis

Target analyzer kan også brukes på Furuno's magnetron radarer, som FAR-serien. I disse tilfellene benyttes echo analysis, som bare trenger ett par sveip for å bestemme om et mål er i faresonen for eget skip. Med echo analysis vil det også til fordel være mulig å plote enda flere mål i forhold til doppler analysis. På samme måte som ved doppler analysis, vil det ved bruk av echo analysis være samme fargekoder på de ulike typene mål. (Furuno, u.d.)

Ved å benytte denne filtreringen vil man ved et kjapt blick på radarskjermen kunne skaffe seg ett overblikk over trafikkbildet, og skille ut hvilke skip som kan være en trussel mot sikker navigasjon. (Furuno, u.d.)



Figur 12 – Echo analytics t.v, doppler analytics, regnmodus i doppler analytics t.h (Furuno, u.d.).

## 2.14 Regelverk

IMO res. MSC.192(79) beskriver «performance standard» for både x- og s-bånd radar. FMCW radar er ikke nevnt i regelverket, og er dermed heller ikke godkjent av IMO.

### 2.14.1 Krav til utrustning

Det er SOLAS som setter minstekravet for radarutstyr ombord på skip. Sikkerhetskonsvensjonen sier følgende om skip bygget før 1. juli 2002. Ref. Vedlegg 1.

Tabell 3 – Krav til radarutrustning basert på byggeår (Lovdata, 2018)

9 GHz (3 cm) radar	
– passasjerskip på internasjonal reise	Alle
– skip som ikke er passasjerskip på internasjonal reise	≥ 300
– skip bygget 1. september 1984 eller senere som ikke er på internasjonal reise	≥ 500
– skip bygget før 1. september 1984 som ikke er på internasjonal reise	≥ 1600
Ekstra radar i tillegg til 9 GHz (3 cm) radar	≥ 10 000
Automatisk radarplotteanlegg (ARPA)	
– skip bygget 1. september 1984 eller senere	≥ 10 000
– tankskip bygget før 1. september 1984	≥ 10 000
– skip som ikke er tankskip bygget før 1. september 1984	≥ 15 000

Passasjerskip bygget etter 1. juli. 2002 har andre krav enn vist ovenfor etter «Forskrift om navigasjon og navigasjonshjelpemidler for skip og flyttbare innretninger», kapittel 4, §15 Navigasjonshjelpemidler. I paragrafen settes det krav om X-bånd radar uansett størrelse og S-bånd fra og med 3000 BT. Mens lasteskip og flyttbare innretninger har krav om X-bånd fra og med 300 BT, og S-bånd fra og med 3000 BT. (Lovdata, 2018)

Tabell 4 – Krav til radarutrustning på skip (Lovdata, 2018)

	Bruttotonnasje	
	Passasjerskip	Lasteskip og flyttbare innretninger
9 GHz (3 cm) radar	Alle	≥ 300
Elektronisk plottehjelp (EPA), automatisk plottehjelp (ATA) eller automatisk radar plottehjelp (ARPA)	< 500	≥ 300, < 500
ATA eller ARPA	≥ 500, < 3000	≥ 500, < 3000
3 GHz (10 cm) radar	≥ 3000	≥ 3000
To uavhengige hjelpemidler med ATA eller ARPA. På skip med bruttotonnasje 10 000 eller mer og flyttbare innretninger skal ett av disse være ARPA	≥ 3000	≥ 3000

### 2.14.2 Deteksjon

Regelverket setter krav til minimum avstand for deteksjon av mål i støyfrie forhold, ved antenne høyde 15 meter over havet. Kravene er noe forskjellige for X- og S-Band, spesielt på korte avstander. Tabellen under viser kravene for deteksjon av forskjellige objekt og terreng.

Tabell 5 – Krav til deteksjon for X og S bånd under støyfrie forhold (IMO, 2004).

Target Description	Target Feature	Detection Range in NM <sup>6</sup>	
		X-Band NM	S-Band NM
Target description <sup>5</sup>	Height above sea level in metres		
Shorelines	Rising to 60	20	20
Shorelines	Rising to 6	8	8
Shorelines	Rising to 3	6	6
SOLAS ships (>5,000 gross tonnage)	10	11	11
SOLAS ships (>500 gross tonnage)	5.0	8	8
Small vessel with radar reflector meeting IMO Performance Standards <sup>1</sup>	4.0	5.0	3.7
Navigation buoy with corner reflector <sup>2</sup>	3.5	4.9	3.6
Typical Navigation buoy <sup>3</sup>	3.5	4.6	3.0
Small vessel of length 10 m with no radar reflector <sup>4</sup>	2.0	3.4	3.0

Videre er det egne krav for deteksjon på korte avstander. Radaren skal ifølge reglene kunne detektere samme bøye som i tabellen over på en avstand fra 40 meter til 1 nautisk mil fra antenneposisjonen. (IMO, 2004)

### 2.14.3 Skilleevne

Alle IMO godkjente radarer skal kunne skille objekt fra hverandre og vise dem som egne distinkte mål på skjermen, dersom avstanden mellom dem er 40 meter eller mer. (IMO, 2004)

#### **2.14.4 Sart og RACON - IMO Performance standard**

X-bånd radar skal ifølge IMO sin performance standard kunne detektere og vise både SART og radar Beacon i 9 GHz båndet. S-bånd radar har ikke lenger krav om å kunne detektere Racon ettersom IMO kom med oppdatert Performance Standard i 2004. (IMO, 2004)

#### **2.14.5 Krav til kompetanse**

Ifølge Lovdata Tabell A-II/1, vedlegg III, *spesifikasjon av minstenormer for kompetanse for vakthavende dekksoffiserer på skip med bruttotonnasje på 500 eller mer*, skal dekksoffiserer med utstedt sertifikat etter kolonne 2 ha ferdigheter i å betjene og tolke og analysere informasjon fra radar, herunder følgende: (Lovdata, 2018)

Funksjon, herunder:

- I. Forhold som påvirker funksjon og nøyaktighet. (Lovdata, 2018)
- II. Etablering og opprettholdelse av bilde. (Lovdata, 2018)
- III. Oppdagelse av feilaktig gjengivelse av informasjon, falske ekko, sjørefleks mv., radarfyr og radartranspondere. (Lovdata, 2018)

Bruk, herunder:

- I. Avstand og peiling, andre skips kurs og fart, tid og avstand til nærmeste passeringspunkt for kryssende, møtende eller innhentende skip. (Lovdata, 2018)
- II. Identifikasjon av kritiske ekko, oppdagelse av andre skips kurs- og fartsendringer, virkning av endringer av eget skips kurs eller fart, eller begge deler. (Lovdata, 2018)
- III. Anvendelse av De internasjonale regler til forebygging av sammenstøt på sjøen, 1972, med endringer. (Lovdata, 2018)
- IV. Plotteteknikker og begrepene relativ og sann bevegelse. (Lovdata, 2018)
- V. Parallell indeksering. (Lovdata, 2018)

Ferdighet i å betjene og å tolke og analysere informasjon fra ARPA, herunder: (Lovdata, 2018)

- I. Systemets funksjon og nøyaktighet, plottetegenskaper og begrensninger, og forsinkelser i informasjonsbehandlingen. (Lovdata, 2018)

- II. Bruk av operasjonell varslings og systemtester (Lovdata, 2018)
- III. Metoder for målangivelse og deres begrensninger (Lovdata, 2018)
- IV. Sanne og relative vektorer, grafisk framstilling av målinformasjon og fareområder. (Lovdata, 2018)
- V. Avlede og analysere informasjon, kritiske ekko, radarskala for ulike rekkevidde og forsøksmanøver. (Lovdata, 2018)

## 2.15 Annen teknologi

### 2.15.1 Flir M364C LR

Flir M364C LR er et varmesøkende kamera utviklet for å assistere navigatører med navigasjon i dårlige lysforhold. Det opererer med infrarøde stråler og er dermed ikke avhengig av lys for å «se». Systemet presenterer et livebilde på en skjerm på bro og kan integreres med radar på den måte at om du følger et mål på radar vil kamera automatisk snu seg og fokusere på objektet. Dermed kan du eliminere usikkerheten av hva det er du faktisk ser på radar. (Teledyne Flir, 2023) Systemet er allerede montert på blant annet katamaranfergen Express 5 som går mellom Rønne og Ystad i Danmark. (Bornholmslinjen, 2023) Kameraet kommer med en prislapp på omtrent 350 000 kr i dagens kurs (17.04.2023).



Figur 13 – Illustrasjon av kamera-modul og tilhørende skjerm (Flir, 2023)

### **3 Metode**

I denne delen av oppgaven blir metoden som ble brukt til å besvare problemstillingen presentert. Oppgaven omhandler ny teknologi som muligens kan brukes til å erstatte den pulsbaserte radaren. Informasjon brukt i besvarelsen er hentet fra litteratur og fra intervju med fagpersonell. Vi har gjennomført kvalitative intervjuer, der vi fokuserte på positive og negative sider ved ulike aktuelle teknologier, samt diskuterte behovet og mulighetene for nye løsninger.

#### **3.1 Forkunnskap og litteraturstudie**

Gruppens tidligere kunnskaper om temaet som diskuteres i oppgaven kommer i stor grad fra emnet "Navigasjon 2 - Navigasjonssystemer (TN101709)", hvor bruken av navigasjonssystemer på skip, inkludert radar, ble grundig gjennomgått. Videre har emnet "Posisjon og Survey Systemer (TN302112)" gitt oss dypere teknisk kompetanse om posisjonssystemer på skip. Forelesere i fagene har vært henholdsvis Arnt Norleif Myrheim-Holm og Øyvind Kåre Kjerstad. Pensumbok i begge emnene er Norvald Kjerstad sin bok «Elektroniske og Akustiske navigasjonssystemer (2019)».

Det ble også gjort en grundig litteraturstudie der alle gruppe-medlemmene leste tidligere litteratur om radar og bruken av radar, slik at alle involverte fikk en dypere forståelse av radarprinsippet og fikk en oversikt over de forskjellige akronymene rundt tema. Det mest relevante for besvarelsen ble gjengitt i teorien med egne ord slik at det kan bli brakt videre i drøftingen. Litteratur fant gruppen både på nett og på biblioteket. I tillegg fikk gruppen tilsendt tidligere hovedoppgaver fra intervjuobjekt og relevante aktører.

#### **3.2 Intervju og testing**

##### **3.2.1 Intervjuform**

Gruppen har valgt å benytte kvalitativ metode fremfor kvantitativ. Dette ble gjort fordi vi ønsket å ha samtaler med rom for nye ideer og problemstillinger, i stedet for å utarbeide en kvantitativ spørreundersøkelse med forhåndsbestemte svar.

Kvalitative forskningsintervju handler om å få innsyn i intervjuobjektets egen forståelse eller opplevelse av en situasjon eller et tema. Dalland skriver om Kvale og Brinkmann sine tolv aspekter ved kvalitative intervju. Gruppen trekker frem noen aspekter med kvalitative intervju som sto sentralt i vårt valg av metode; Mening, kvalitativt og bevisst naivitet.

Aspektet «mening» innebærer å «tolke meningen med sentrale temaer i intervjupersonens livsverden». (Dalland, 2017) Altså ønsket gruppen å høre og tolke ekspertenes mening om problemstillingen. Kvalitativt betyr at intervjuet forsøker å nyansere det som blir diskutert og at man utfordrer intervjuobjektet til å svare grundig og reflektert på spørsmålene. Kanskje stiller man oppfølgingsspørsmål. Til slutt trekker gruppen frem aspektet «bevisst naivitet» som kanskje er den største bidragsyteren til at vi valgte kvalitativt intervju. «*Intervjueren viser åpenhet overfor nye og uventede fenomener, og unngår ferdigoppsatte kategorier og tolkningsskjemaer*». (Dalland, 2017) Bevisst naivitet betyr altså at man tar imot nye aspekter man selv ikke har tenkt på med åpne armer, som var akkurat det gruppen så på som viktig for å besvare problemstillingen.

Gruppen kunne kanskje også valgt kvantitativ metode og utarbeidet en spørreundersøkelse. Vi valgte derimot heller å utføre kvalitative intervju. Dette på grunn av at vi gjennom problemstillingen ønsker å utforske om det finnes nye og bedre alternative teknologier til tradisjonell maritim radar. Det kunne blitt vanskelig å lage en god spørreundersøkelse der spørsmålene ikke ville krevd oppfølgingsspørsmål for å få gode og pålitelige resultat. Vi valgte derfor å lage kvalitative intervju, tilpasset personene vi snakker med, slik at vi kunne stille oppfølgingsspørsmål og danne oss en dypere forståelse rundt tema som ble diskutert.

### **3.2.2 Valg av intervjuobjekt**

Dalland anbefaler at man starter med et lite antall intervju når man skriver en oppgave, så kan man heller øke antallet om innsamlet informasjon er for spinkel. «*Gode samtaler med en, to eller tre personer kan gi mye stoff til en oppgave*». (Dalland, 2017)

Med tanke på hvem gruppen ønsket å intervju tenkte vi gjennom hvem som kunne ha mest kunnskap om temaet. Vi diskuterte at den gjennomsnittlige navigatøren sannsynligvis ikke har særlig inngående kunnskap om radarens funksjon på et teknisk nivå, eller kunnskap om andre lignende teknologier. Vi måtte derfor se etter intervjuobjekt som jobbet tettere med radar på et mer teknisk nivå. Etter litt diskusjon konkluderte gruppen med å kontakte radarprodusenter og forhandlere av radar, da vi tenkte de satt med inngående kunnskap både om dagens teknologi, og andre radarer.

Letingen etter relevante intervjuobjekt foregikk på nett, med oppsøking av forskjellige selskap som kunne være interessante. Vi sendte e-post til noen utvalgte selskap og fikk raskt svar og avtalt intervju.



### **3.2.3 Forhåndsarbeid**

I forkant av intervjuet forberedte gruppen en intervjuguide med spørsmål vi tenkte ville være relevante for å hjelpe oss med å svare på problemstillingen. Siden vi valgte kvalitativt intervju prøvde vi å lage guiden med så åpne spørsmål som mulig, slik at spørsmålene kunne åpne opp for videre samtale om tema.

### **3.3 Tilleggs informasjon**

I etterkant av intervjuene ble det sendt noen e-poster for oppklaring av enkelte saker fra intervjuene. Dette var til stor hjelp for å unngå misforståelser og for å utdype kunnskapen til gruppen. Blant annet var vi i kontakt med rederiet Volstad som fortalte om deres erfaringer med Sea Hawk systemet.

### **3.4 Testing av bredbåndsradar**

I tillegg til intervju av fagpersonell ønsket gruppen å se på bruken av radar. Dette tenkte vi kunne være konstruktivt for å få innsyn i hvordan aktører bruker radaren og hvilke funksjoner de er avhengig av. Spesielt interessant hadde vært å se på et fartøy med flere forskjellige radartyper.

Gruppen kontaktet redningsselskapet og avtalte å være med ut på tokt med redningsskøyta DNV 2. Der er det montert både pulsbasert 3-cm radar og FMCW radar. Dessverre ble ikke toktet noe av da FMCW radaren var ute av drift i tidsrommet det var snakk om. Gruppen så dermed ikke hensikten i å være med ut på tokt da grunnlaget for toktet ble borte.

### **3.5 Feilkilder**

#### **3.5.1 Objektivitet**

Å være objektiv eller upartisk betyr at man ikke skal la personlig oppfatning og meninger påvirke resultatet. Allerede i utarbeidelsen av problemstillingen hadde gruppen dannet seg en viss anelse om hva konklusjonen kom til å være. Altså kan man si at gruppen ikke var helt upartisk. Ifølge Dalland er ikke dette nødvendigvis et problem, så lenge forskerne holder seg objektive. (Dalland, 2017) Det var spesielt utfordrende å holde seg objektiv i intervjuene, da gruppen av og til ønsket andre svar en de fikk, dette kan ha vært med på å påvirke intervjuobjektets svar. På den andre side kan det også ha gitt intervjuobjektene anledning til å reflektere mer over egne svar.

### **3.5.2 Pålitelighet**

I et intervju kan det forekomme feilkilder i kommunikasjonen. Intervjuobjekt kan misforstå spørsmålene og svarene kan noteres eller tolkes feil. Ved lydopptak kan kvaliteten på lyden være dårlig, og transkriberingen kan derfor bli vanskelig. Det er altså flere fallgruver når man samler inn data, og det er viktig at man tenker over disse tingene slik at data blir samlet inn på en pålitelig måte. (Dalland, 2017) At noe er pålitelig betyr at det er til å stole på. (ORDBOK, 2023) For gruppens del har vi gjort vårt beste for å samle inn mest mulig pålitelig data. Det kan likevel ha oppstått feilkilder, spesielt i transkriberingen da ikke alle intervjuobjektene ønsket å være med på lydopptak. Altså var gruppen avhengig av å ta gode notater, noe som kan være vanskelig å utføre mens man fører en samtale.

### **3.5.3 Tidsramme**

Gruppen hadde begrenset tid på å ferdigstille oppgaven og måtte derfor prioritere og planlegge hvordan oppgaven skulle besvares slik at det var gjennomførbart i den gjeldende tidsrammen. Om gruppen hadde hatt lengere tid ville det vært interessant og gjort noen tester og sammenligninger av forskjellige teknologier i praksis. Gruppen kunne også gjort flere intervjuer for å få enda mer data å skrive ut ifra. Gruppen har likevel gjort sitt beste for å besvare problemstillingen på en god måte innenfor tidsrammen.

## 4 Resultat fra intervju

For å få mer innsikt i problemstillingen valgte gruppen å intervjuer fagpersonell og eksperter med erfaring og kunnskap om radarteologi. Det ble lagd en intervjuguide med spørsmål som var relevante for utdypelse av problemstillingen. Under intervjuene ble det benyttet semistrukturert intervjuguide, som vil si at intervjuguiden ikke ble fulgt slavisk, men fungerte som et hjelpemiddel for å strukturere intervjuene. Jo mer strukturert en intervjuguide er jo enklere er den å tolke. (Dalland, 2017) Derfor valgte vi å benytte en semistrukturert intervjuguide slik at vi åpner for spørsmål utenfor guiden, samtidig som vi er forberedt på å tolke store deler av intervjuet.

Før intervjuene ble gjennomført forhørte gruppen seg om det kunne foretas lydopptak av intervjuet. Dette kom tydelig frem at var fullstendig frivillig, og at disse lydopptakene ville kun bli brukt av gruppen til å anskueliggjøre arbeidet og at lydopptaket ville bli slettet etter at bacheloroppgaven er levert.

Det ble lagt vekt på at intervjuobjektene ikke skulle føle på noe press på at det de sa var rett eller galt, men at gruppen kun var ute etter fakta og erfaring om problemstillingen. Intervjuobjektene var menn fra alder 40 – 80 år, og alle hadde lang erfaring med ulike typer radar og radarteologi.

### 4.1 Intervju nr.1

07.03.23 ble gruppens første intervju gjennomført. Intervjuobjektet hadde lang erfaring fra en ledende radarprodusent og hadde god innsikt og kunnskap om problemstillingen. Under dette intervjuet ble det stilt spørsmål fra intervjuguiden, men også oppfølgingsspørsmål. Dette skapte god kommunikasjon og gjorde at samtalen fløt lett. Vedkommende ville ikke at det skulle bli tatt opp lydopptak av intervjuet, men det ble tatt notater av gruppen fortløpende.

Intervjuet ble startet med et spørsmål om hva intervjuobjektet tenkte om at funksjonsprinsippet til den maritime radaren har vært den samme siden den først ble tatt i bruk. Dette ble besvart med; *«at selve funksjonsprinsippet fungerer veldig greit, og at mye av grunnen til dette er at videobehandlingen i radarsystemet har utviklet seg så mye som det har gjort»*. Altså behandlingen av signalene som kommer tilbake fra objektet. *«Det finnes systemer i dag som klarer å lese olje og is ut av mottakersignalene, som radaren Sea Hawk»*.

Videre ble det spurt om hva han tenkte var de største begrensningene til den pulsbaserte radaren. Der svarte intervjuobjektet som følger; *«At det alltid er de fysiske begrensningene og lovene som setter en stopper på hva man kan oppnå, men det er antennen som setter den største begrensningen»*. Videre ble det fortalt at antennen sender i en spesiell vinkel horisontalt, og derfor legger en begrensning på hva man vil kunne detektere rundt skipet. Det legges stor vekt på at navigatører i dag vil ha radarer som har god oppløsning nært skipet og at det derfor vil være viktig med riktig type antenne og plassering av antennen.

For å få en videre innføring om hva navigatører vil ha i dagens marked, ble det spurt om hva interessen rundt solid state radarer er, i forhold til magnetron basert radarer. Dette ble besvart med, *«interessen av solid state radarer er økende, og at dette mest sannsynlig skyldes at disse er mindre vedlikeholdskrevende. Men at de konvensjonelle magnetron radarene fortsatt er ledende i salget, siden de fleste rederi og navigatører vet disse fungerer og at det er et trygt valg»*.

Grunnet at radaren kun har basert seg på mikrobølger bølger siden dens opprinnelse, ble det spurt om interobjektet hadde noen formeninger eller tanker om andre teknologier. *«Autonome skip bruker lasersystem, og jeg vet dette forskers på, men er ikke særlig utbredt enda. De største problemene med spesielt lasersystem er at de er så ømfintlige mot støy»*.

Til slutt ble det spurt om intervjuobjektet hadde mer å tilføye som kunne være interessant for problemstillingen. Det som da blir nevnt er at solid state radarene de selger benytter en spesiell pulsmodulering, som er avhengig av avstanden radaren sender på. På korte avstander brukes ikke pulsmodulering, mens på lengre avstander blir dette benyttet. Han forteller at grunnen til dette er at radaren ikke skal miste skilleevne på lengre avstander.

Han nevner også filteret «echo average». Han forteller at dette er en måte radaren lagrer «gamle» ekko i minnet, slik at ekkoet skifter farge og dempes avhengig av hvor mange ganger det har blitt detektert på rad. Etter hans syn er dette det viktigste filteret på en radar. Han legger også til at de kan presentere mål med flere farger, men at en IMO godkjent radar vil være ensfarget på grunn av IMO sine krav.

## 4.2 Intervju nr.2

22.03.23 ble gruppens andre intervju gjennomført. Intervjuobjektet hadde god innsikt i problemstillingen gjennom lang erfaring med undervisning, og forskning. Noen spørsmål i intervjuguiden ble forandret i forkant av intervjuet, dette grunnet at gruppen ønsket mer fordypning innenfor visse segmenter. Intervjuobjektet var ikke interessert i at det skulle bli foretatt lydopptak av intervjuet, men det fortløpende tatt notater underveis i intervjuet.

Intervjuobjektet startet med å si at de maritime pulsbaserte radarene som er på markedet i dag fungerer veldig greit i sitt bruksområde. Grunnen til dette er fordi de fleste brukerne av radarer ikke vet om noe annet og er opplært i denne teknologien. De har gjennom erfaring opparbeidet seg egen kompetanse innenfor det å stille inn og lese radarbildet under de ulike forholdene. *«Det er litt synd at teknologien ikke har kommet lengre, men trolig er dette fordi at det er lite påtrykk av brukere og strengt regelverk av IMO».*

Intervjuobjektet legger til at om vi for eksempel ser på sonarer, så er teknologien kommet mye lengre. Fiskerieringen har alltid vært opptatt i å utvikle teknologien av sonarer, av naturlige årsaker. *«Avansert sonarutstyr får man i dagens marked kjøpt for en latterlig billig penge».*

Etterfulgt av dette spurte gruppen om hva han mener er de største begrensningene ved den vanlige pulsbaserte radaren. Dette svarer han med; *«lite hyppige pulser mot bestemte mål, og at regn og støy er et veldig utsatt problem, siden det kreves mye erfaring og kunnskap for å stille inn radaren riktig i forhold til ulike værforhold. Sleipner ulykken er et eksempel på en forferdelig ulykke som var som følge av at navigatørene ombord ikke klarte å skille ut skjæret de kolliderte med. Etter ulykken tok Norge kontakt med IMO, med ett ønske om strengere krav til radartechnologien, men dette ble mere som henlagt.*

Som oppfølgingsspørsmål til hva de største begrensningene er, ble det spurt om hva intervjuobjektet trodde kunne være alternative teknologier. Der legges det igjen til grunn at de maritime radarene som er i bruk i dag, er blitt mye bedre, men at en av teknologien militæret bruker, er veldig relevant, såkalt elektronisk skanning eller array radar.

Han legger også til; *«at den nye NXT-serien til Furuno er bra, veldig imponert over hvor bra radarbildet er, nesten som et bilde i fugleperspektiv».* Disse radarene benytter solid state teknologi, og i kombinasjon med Furuno sin target analyser og frekvensmodulerte lengre pulser blir bildet *«utrolig bra».*

Til slutt ble det spurt om hva han mente om andre teknologier som FMCW, MPS og Sea Hawk. «Disse teknologiene er gode i sitt bruksområde, FMCW har sin styrke på close range, MPS ved hurtiggående fartøy og Sea Hawk i spesielle fartøy som isbrytere og beredskapsfartøy. For å kunne benytte FMCW radar på konvensjonelle fartøy er det helt avgjørende at IMO åpner opp for endring av Racon. Og ved MPS og Sea Hawk benyttes det tilsvarende lik teknologi som en pulsbasert magnetron radar, bare at behandlingen av informasjonen er unik.

### 4.3 Intervju nr.3

Gruppens siste intervju ble foretatt 11.04.23. Intervjuobjektet har erfaring ifra opplæring av radaroperatører i Redningsselskapet, i tillegg til å ha vært borti radar i forsvaret. Intervjuguiden ble tilpasset for å passe til intervjuobjektets kunnskapsområde innenfor bruksområder og erfaringer. Det ble under dette intervjuet foretatt lydopptak, som blir slettet ved levering av oppgaven.

Intervjuet startet med at han forteller om at Redningsselskapet bruker FMCW radar også kalt 4G radar, i tillegg til 9GHz pulsbasert radar på flere av deres frivillige redningsskøyter. Dette fordi det reklameres med veldig lav minimumsrekkevidde, lav effekt på utsendt signal, og nøyaktighet på korte distanser. Det har også vært testet å bruke FMCW radar på skjoldklassen i Forsvaret, dette hovedsakelig grunnet radarens lave signatur og utsendte effekt, som imøtekommer kravene for disse skipene.

Deretter ble det spurt om FMCW radaren fungerer bedre på høyhastighets navigasjon enn de tradisjonelle pulsradarene. Her svarer intervjuobjektet at det erfaringsmessig ute blant de frivillige i redningsselskapet ikke er noen særlig forskjell på de pulsbaserte radarene og FMCW radarene de bruker. FMCW radaren har en fordel over pulsbasert er i svært trange farvann hvor minimumsavstanden kommer til nytte. Det dras frem at de er ganske like ytelsesmessig, og brukes om hverandre etter den enkeltes preferanse. Problemet med FMCW radaren ligger ved SART og Racon triggering.

«Det reklameres med at FMCW har god effekt på sea clutter, men igjen sier de frivillige at erfaringsmessig er det ikke særlig forskjell på pulsbasert og FMCW, siden den pulsbaserte radaren sender mer energi som øker deteksjonssannsynligheten på små objekter. Her ligger det mer i prosesseringen av bildet som regel».

Han fikk så spørsmål om Sea Hawk sitt radarsystem, og svarer at han ikke tror det finnes noen bedre radar til for eksempel søk og redning enn det systemet. «*Det er som å se ett satellitt bilde*». Ingen av redningsskøytene har Sea Hawk radar fordi det er for kostbart. Det er for spesielt interesserte som trenger det beste som finnes innenfor radar. Den fungerer svært godt i dårlig vær og sjø når en eksempelvis skal se etter bøyer.

Deretter blir han spurt om hvor han tenker det er rom for forbedring innen radarteologi, og/eller om den er god nok som den er. «*Det er ikke så mye å gjøre med selve teknologiene, men det er blitt for avansert med for mange funksjoner og menyer, som gjør at brukeren slipper å tenke gjennom hva som egentlig skjer når radaren brukes*». Han trekker frem Furuno sitt system som har ulike moduser for kyst, hav, etc. Det som avgjør hva folk kjøper i dag er gjerne pris og ikke kvaliteten på radaren. Laser systemer som lidar nevnes, men det er ifølge han for dårlig rekkevidde og fungerer ikke bra i nedsatt sikt.

Siste spørsmål gikk på opplæring. Intervjuobjektet viser til en masteroppgave om radarbruk der det var sett på rapporter fra ulykker i England 10 år tilbake i tid, og i 73% av kollisjonene var medvirkende årsak manglende kunnskap om bruk av radar. (Marine Accident Investigation Branch, 2004) Han legger også til at dette har i senere tid blitt forsterket, grunnet at dagens navigatører legger for mye tillitt i ECDIS. Det er ikke noe poeng å sette om bord svært avanserte radarer som ingen kan å bruke.

Han drar igjen frem Furuno sine systemer der en trykker på «coast» på kysten, «far» i havet, og det er egne funksjoner for nærme «near», og bøye «buoy». Det gjør at navigatørene slipper å tenke. Det kreves en kulturendring der navigatører blir mer nysgjerrige og tenker over hva de gjør, og slår opp funksjoner de lurer på.

Til slutt sier han at selve radarbildet i dag ikke er noe særlig bedre enn det var på de gamle «analoge decca» radarene med tanke på bilde kvalitet og oppløsning. Og at datafiltreringen i dag kan være skummel om brukeren benytter seg av auto-funksjoner, som tar seg av alt av innstillinger.

## **5 Drøfting**

I dette kapitlet vil gruppen drøfte hvorvidt det finnes bedre eller nyere teknologi som kan erstatte eller komplementere konvensjonell maritim pulsbasert radar.

## **5.1 Behovet for ny radartechnologi**

Da vi utviklet problemstillingen vår visualiserte vi at det kunne finnes en radar med en teknologi som kunne løse alle kjente problem med dagens radar, og utkonkurrere den på alle måter. Gjennom gruppens litteraturstudie og intervjuer har vi beveget oss vekk fra den tankegangen, da vi har tilegnet oss mye ny informasjon siden problemstillingen ble satt.

Behovet for ny radartechnologi er nemlig omdiskutert. Gjennom vårt arbeid, og da spesielt gjennom intervjuene har gruppen derfor fått et annet synspunkt på saken, nemlig at mange brukere mener radaren er god nok slik som den er. De mener heller at det er brukeren av radaren som ikke har tilstrekkelig kunnskap til å stille inn radaren og skaffe seg en god situasjonsforståelse. Dette er noe som er verdt å diskutere da det er vanskelig med innovasjon om det ikke er behov for det. Om bedre opplæring kunne løst halvparten av utfordringene brukerne har med radaren i dag ville det vært bekvemt og ikke minst arbeidsbesparende.

Selv om gruppen har blitt oppmerksom på at opplæringen kan ha forbedringspotensialer, kan man likevel ikke se helt vekk fra at det er rom for forbedringer på selve utstyret. I litteraturstudien har gruppen lært om, og blitt oppmerksom på flere andre radartyper som har egenskaper og karakteristikk som teoretisk er å foretrekke ovenfor tradisjonell pulsbasert radar. Og når teknologien allerede finnes bør man se på om den kan implementeres i daglig bruk.

Gruppen har ikke gjort noen direkte undersøkelser om behovet for ny radartechnologi. Likevel mener vi ut ifra våre funn at det finnes nok grunnlag til å videreutvikle og eller se på nye teknologier som kan erstatte eller komplementere radaren. Fra intervju 3 kommer det frem at det i overkant av 70 prosent av alle ulykker som ble undersøkt av Marine Accident Investigation Branch, skyldes utilstrekkelig radarbruk eller dårlig ytelse. På bakgrunn av dette vil det være naturlig å se på mulige forbedringer på radaren så vel som nye teknologier.

## **5.2 Hva gjør en radar god?**

Radaren har vært et essensielt hjelpemiddel i navigasjonen helt siden den ble tatt i bruk. Skal den erstattes eller forbedres er det viktig å identifisere hvilke aspekter og eller funksjoner man ønsker skal være gode. Gjennom intervju har gruppen kommet frem til at brukergruppen stiller strenge krav til radarens oppløsning, nøyaktighet, range og brukervennlighet. For å kunne løse problemstillingen blir det derfor et poeng å se hvilken teknologi som presterer best på disse punktene.



### 5.2.1 Oppløsning

Radarens oppløsning er som nevnt ovenfor spesielt viktig. Med oppløsning menes evne til å skille objekter fra hverandre. God oppløsning på radaren er ønskelig fra navigatørens side for å enkelt kunne identifisere enestående objekt. Eksempelvis er det viktig at radaren har god oppløsning om en skal navigere i en smal mudret renne markert med staker på hver side. Har radaren dårlig avstandsopløsning vil staker som står nærme hverandre kunne vises som et enkelt ekko på radaren istedenfor separate staker som viser hvor du skal seile. Da vil radarbildet kunne forvirre navigatøren og sette mannskap og skip i fare.

For å få god oppløsning på radaren er man tradisjonelt sett avhengig av korte pulser. Det er som nevnt i teorien på grunn av at en pulsradar har skilleevne med teoretisk minimumsavstand lik halvparten av pulslengden. Derfor er altså pulslengden på magnetron pulsradarer en av tingene som må stilles på for å bestemme hvor god oppløsningen skal være. Da kan man spørre seg hvorfor ikke alle radarer sender med kortest mulig pulslengde. Svaret vil da være at med kortere pulslengde ofrer man rekkevidde fordi pulsen inneholder mindre energi. Dette forsterkes særlig på solid state pulsradarer hvor sende effekten er så lav, at dersom den skulle sendt pulser med tilsvarende lengde som magnetron radar hadde rekkevidden blitt svært lav.

Solid state radarene må derfor sende lengre pulser for å få nok gjennomsnittlig utsendt effekt til å ha god deteksjons-sannsynlighet. Problemet med dette er at skilleevnen er direkte avhengig av pulslengden, dermed ville en ha fått dårlig skilleevne om en skulle sendt svært lange pulser. Dette kan løses ved å modulere de utstedte pulsene på solid state radarene slik at en kan prosessere signalet til å få tilsvarende god, eller bedre skilleevne enn magnetron radar med korte pulser. Lengre pulser inneholder mer energi og vil derfor gi sterkere refleksjoner og større sannsynlighet for deteksjon på lengre avstander. Her har man altså en konflikt mellom oppløsning og rekkevidde. Det vil derfor være opp til navigatøren hva han vil vektlegge mest, da man som regel har mulighet til å stille på pulslengden.

En av de største fordelene med solid state radar er den overlegne kontrollen du får over amplitude og frekvensmodellering. I motsetning til de varierende egenskapene i de elektromagnetiske bølgene som sendes fra en magnetron, vil bølgene fra en solid state sender være langt mer uniforme og presise. Dette fører til at en bølge fra en solid state sender vil kunne være tilnærmet lik en sinuskurve, med forutsigbare amplituder og frekvens. Disse egenskapene gjør at man med solid state kan foreta mer avansert signalbehandling som

dopplermålinger, i motsetning til en tradisjonell magnetronradar som har en rotete og ujevn sinuskurve på det utstedte signal.

En annen radarteknologi som fungerer på lignende prinsipp, er FMCW radarer. De sender og mottar derimot kontinuerlig istedenfor i pulser, og det er båndbredden i mottakeren og på utstedt signal som er avgjørende for hvor god skilleevne en oppnår. Erfaringer med FMCW radar i retningsveselskapet viser derimot at oppløsning mellom FMCW og solid state radarer ikke er merkbart forskjellige, bortsett ifra på svært korte avstander som er FMCW sin definitive fordel over pulsbaserte alternativer. Dette er fordi FMCW radarer har veldig kort minimumsavstand. Ett annet magnetronbasert system er MPS som bruker en mindre vertikal strålebredde som gjør at ikke systemet godkjennes som en IMO-radar.

Horisontal strålebredde er også en faktor for hvor god skilleevnen og oppløsningen blir. Dette må man derimot ha tenkt på allerede før radaren monteres, da strålebredden er avhengig av utformingen av antennen. Lengre antenne betyr generelt sett smalere strålebredde og bedre nøyaktighet, og her stiller IMO krav til at den ikke skal være bredere enn en grad noe eksempelvis både Furuno og Sea Hawk klarer på sine radarer. Her vil en array radar også kunne få smal stråle dersom det er mange nok antenner som vist i Figur 5 om array radar.

Et annet system som vil kunne oppnå svært god skilleevne er lidar. Dette er på grunn av den høye graden av direktivitet man kan oppnå, i tillegg til at man kan sende med høy effekt og få god deteksjons-sannsynlighet. Dessverre presterer den dårlig under dårlig værforhold emd mye støy når navigatøren trenger det mest.

Videre må man se på Polarimetric radar slik som Sea Hawk, der avanserte antenner og avansert signalbehandling klarer å utnytte polariseringen av signalene slik at radaren kan detektere objekter som vanlig radar vanligvis ville «oversett». Dermed kan den presentere ett radarbilde som ofte sammenlignes med å se på satellittbilder. I intervjuene kom det derimot frem at Sea Hawk radarene er vanskelige å bruke, og at den krever kontinuerlig justering for å fungere som reklamert. Dette kombinert med at den er svært dyr og ikke IMO godkjent gjør at det stort sett er spesialfartøy som bruker denne typen radar. På en annen side viser Sea Hawk sitt radarsystem at det er mulig å oppnå imponerende radarbilder med magnetron teknologi, dersom en slipper å følge alle kravene til IMO. Furuno reklamerer med 26 meter skilleevne på sine solid state radarer, noe som er godt under IMO kravet på 40 meter og Sea Hawk oppgir enda bedre skilleevne på kun 15 meter selv om de ikke er IMO godkjent. En ideell radar bør altså ha veldig god oppløsning eller skilleevne, men bør

derimot ikke oppnå dette på bekostning av range eller deteksjons-sannsynlighet. Det finnes radarsystemer som klarer dette bedre enn magnetronradar slik som Sea Hawk, men siden den ikke er typegodkjent er den ikke særlig relevant for bruk i navigasjon.

### 5.2.2 Range

Å kunne se hva som befinner seg utenfor synsrekkevidde i navigasjon til sjøs er svært viktig for at navigatøren skal kunne «ligge foran» i seilassen, som vil si å planlegge frem i tid så en ikke får seg noen overraskelser. Det er derfor avgjørende at en radar kan operere på flere forskjellige rekkevidder og ikke bare rett rundt skipet.

For at en radar skal kunne se noe som er langt unna er man avhengig av at signalet den sender ut har nok energi til å reise gjennom luften, treffe objektet og reflektere tilbake til radarantennen. På en magnetronradar oppnås dette med høy sendereffekt, lengre pulser på lengre avstander. Her får vi derimot samme problemstilling som når vi diskuterer oppløsning, på grunn av at oppløsning og range vanligvis er avhengig av hverandre. Lengre range kommer som sagt på bekostning av oppløsning. Det vil derfor være vanskelig å skille mindre objekt fra hverandre på lange avstander.

En løsning på disse problemene som en tradisjonell radar har, kan være å bruke mer avansert signalbehandling og utsendt signal. En FMCW radar med konstant utsending av tidsstempelt radarbølge vil kunne være en løsning. Sett at man klarer å oppnå høy nok utsendt effekt slik at pulsen ikke forsvinner før den får returnert til radarantennen.

Videre har vi solid state systemene som åpner for avansert signalbehandling, og doppler prosessering som ikke er mulig med magnetron radar. Solid state pulsradar teknologien bruker som nevnt modulering (pulskompresjon) av de lange pulsene for å bedre skilleevne uten at det påvirker rangen direkte. Dette kan sammenlignes med hvordan en FMCW radar bruker modulering for å kunne skille objekter fra hverandre. Til forskjell fra en FMCW radar vil derimot en solid state pulsradar kunne detektere SART og Racon med akseptabel deteksjons-sannsynlighet, som igjen gjør at den er IMO godkjent mens FMCW ikke er det.

Ser vi på de litt mer uvanlige radarene som MPS radar med to magnetroner er det nærliggende å tenke at flere magnetroner vil gi fordeler for både range og oppløsning. Kanskje kan den ene magnetronen sende korte pulser og den andre kan sende lengre. Om dette kan gjøres vil det bli som å ha to radarer i en og man vil få best mulig ytelse på både lang og kort range. Dessverre virker det ikke som dette er hensikten med MPS radar, men det hadde vært interessant om noen fikk det til. Polarmetric radar slik som Sea Hawk sine

radarer med svært avanserte antenner og signalbehandling som gjør at de kan presentere et radarbilde som er ganske ulikt en tradisjonell IMO radar. Fra det gruppen fant ut om Sea Hawk har den range opp til 48 nautiske mil, som tilsvarer en normal IMO radar.

Gjennom gruppens litteraturstudie og fra gjennomførte intervju erfarer vi at rekkevidden på radarene stort sett er god. De fleste radarene oppgir en maks rekkevidde på 48 – 96 nautisk mil, noe som er tilstrekkelig i de aller fleste tilfeller ved vanlig navigasjon. Vanskeligheten ligger heller i balansen mellom rekkevidde og oppløsning, slik som diskutert ovenfor.

### **5.2.3 Brukervennlighet**

I vårt intervju med en representant fra en radarprodusent fikk vi høre at brukere setter stor pris på brukervennlighet. Det er altså et ønske at en radar skal være enkel å bruke slik at man ikke trenger særlig omfattende opplæring for å bruke den. God brukervennlighet er nok mulig å oppnå for de fleste radarteologier, da det ikke avhenger av de forskjellige radartypene, men heller oppsett av kontrollstasjon og gode forhåndsinnstillinger fra produsenten. Man kan likevel tenke seg at en mer avansert radar som FMCW og Polarimetric radar har flere variable parameter enn en tradisjonell pulsradar. Med dette kommer også flere innstillbare innstillinger, som både kan være positivt og negativt.

Man ønsker altså at en radar uavhengig av funksjonsprinsipp skal være enkel å bruke, men samtidig ønsker man å beholde mulighetene for finjustering. Man kan tenke seg at en radar der man kun kan justere gain, regn og sjø - støy vil være veldig enkel å bruke. På den andre siden forsvinner det mange innstillinger og muligheter for den som virkelig kan å bruke radaren.

Gjennom intervjuene har gruppen fått forståelse av at de fleste IMO godkjente radarer har havnet på en slags gyllen middelveg der både brukervennlighet og funksjonalitet er tatt i betraktning. Ofte har radarene flere forhåndsinnstillinger man kan velge mellom i enhver situasjon, men så har man også undermenyer der den som er mer kunnskapsrik kan gå inn å finjustere. Altså er det mulig for enkel og avansert betjening av radaren.

Siden magnetronbasert pulsradar har vært dominant i markedet over så lang tid starter vi med å ta for oss den. Pulsradaren baserer seg som nevnt i teorien på gammel, men grundig testet teknologi. Den har fungert godt og trygget navigeringen i flere titalls år, og fortsetter å gjøre det den dag i dag. Man kan tenke seg at det som gjør pulsradaren så attraktiv er akkurat dette. Rederiene velger den fordi den er basert på kjent teknologi som fungerer, og er relativt enkel å operere. I tillegg til at den hos de fleste produsenter har fått en rekke

forhåndsinnstillinger og automatiske funksjoner som skal hjelpe navigatørene med navigasjonen.

Med tanke på brukervennlighet har den pulsbaserte magnetronradaren en stor fordel med at den har eksistert i markedet i så mange år. Produsentene har hatt tid til å finjustere brukergrensesnittet til kundenes behov og gjort den så intuitiv å bruke som de kan. Likevel er det nok mange som vil si det er rom for forbedringer. Dette fikk vi bekreftet i intervju med radarprodusent der han fortalte at det største ønske fra kundene var mer automatikk. Altså er kanskje ikke den IMO godkjente radaren så brukervennlig som ønskelig.

Ser vi eksempelvis på en Polarimetric radar fra Sea Hawk har gruppen fått et inntrykk av at den er betydelig vanskeligere å bruke. I samtale med Volstad fikk vi høre at radaren de har montert om bord krever at en person står og aktivt justerer radarbildet hele tiden. Det erfares altså at den er vanskeligere å bruke enn en vanlig radar. Riktignok er radaren som Volstad snakker om snart 10 år gammel, noe som er verdt å ta i betraktning. Sammenligner vi en IMO godkjent radar med en høy-ytelses radar må vi se på balansegangen mellom ytelse og hva som kreves av offiseren. Kanskje er ikke den ekstra ytelsen verdt det hvis offiseren må rette all sin oppmerksomhet mot å justere radarbildet. På den andre siden kan det være hensiktsmessig i andre situasjoner enn kystnavigasjon. Eksempelvis for Volstad sin del så er høy-ytelse radaren montert på et seismisk skip, der det vil være viktig for navigatørene å kunne se «streamerene» de sleper bak seg, noe som kan være vanskelig på en vanlig radar. Altså må man hele tiden vurdere situasjonen opp mot hvilken radar som er hensiktsmessig.

Hvor mye vedlikehold man må påregne hver enkel radar tenker gruppen også går under brukervennlighet. I intervjuene kom det frem at solid state radarene ikke er så vedlikeholdsfrie som først antatt og som det reklameres med, og at de har en viss slitasje i likhet med magnetronradaren som må skifte magnetron etter ett par tusen timer. Likevel vil nok en magnetronfri radar kreve mindre vedlikehold med tanke på skiftning av sender. Man kommer på den andre side ikke unna vedlikehold på den roterende antennen og bevegelige deler.

#### **5.2.4 Filtrering**

I intervju nr.1 ble filteret echo avarage nevnt, som intervjuobjektet mente var radarens viktigste filter. Det er mange grunner for at dette kan være tilfellet, men spesielt fordi at det viktigste for en radaroperatør er å lese radarbildet rett. Dette vil si at man har evnen til å skille ut hva som er hva i forhold til virkeligheten. Det er akkurat dette echo avarage skal

hjelpe med, da filteret har evnen til å skille ut støy og bevare de ekkoene som er virkelige. Det faktum at fargene endrer seg, vil også bidra til å tydeliggjøre situasjonen for radaroperatøren, dette vil ikke være tilfellet ved IMO-godkjente system forholdsvis, da disse benytter ensfarget koding.

Det som kan være skummelt med slike filter som echo average, er at man legger for stor tillitt i dem. I alle system finnes det alltid en viss grad av feilmargin, som kan inntreffe når som helst. Om radaroperatøren ikke til enhver tid dobbeltsjekker hva som vises på radaren opp mot det visuelle og ECDIS, vil slike filter kunne føre til uønskede hendelser. I forhold med dårlig sikt vil man bli fratatt muligheten til å dobbeltsjekke med det visuelle, og må derfor legge sin tillitt til radar og ECDIS. I slike tilfeller kan det være fordelaktig å benytte rå-data fra radar, slik at filteret ikke filtrerer vekk verdifull informasjon.

Et annet filter som ble tatt opp under intervjuene var target analyser. Intervjuobjektet hadde erfaring med at dette filteret fungerte godt med NXT-serien til Furuno. Dette filteret vil i motsetning til echo average ikke skille ut informasjon, men markere det i forhold til hvilken kategori det faller under. Dette filteret fjerner altså ikke informasjonen slik at alle detaljer kommer med. Filteret finnes også på FAR-serien til Furuno, som er magnetron radarer. Fordelene med dette filteret er at det på lik måte som echo average hjelper navigatøren med å skape overblikk under situasjonsbilder med masse trafikk. Det negative er at target analyser ikke er godkjent på IMO radarer, og kan derfor bare brukes på non-IMO modeller av NXT- og FAR serien.

### **5.3 Behov for bedre opplæring (STCW)**

En studie ifra MAIB (Marine Accident Investigation Branch) viser til at i 73% av de ulykkene som ble sett på var feil eller dårlig bruk av radaren medvirkende årsak. (Marine Accident Investigation Branch, 2004) En viktig faktor for at radaren skal kunne fungere best mulig er at brukeren har fått tilstrekkelig opplæring og kan å bruke radaren. Gjennom ett av intervjuene kom det frem at det er ikke noe poeng i å utvikle avanserte radarsystemer som har fantastisk range og skilleevne dersom brukeren ikke innehar kompetansen til å utnytte den.

Dette tilsier altså at dekksoffiserer muligens ikke har nok kunnskap om bruken og funksjonsprinsippet til radar. En løsning kan da være mer opplæring på område, eller at radaren blir mer intuitiv og enkel å bruke. I intervjuet med radarprodusent kom det frem at noe av det som er mest etterspurt er mer automasjon i bruken av radar. Dette viser at dersom

det skal komme en ny radar som skal erstatte pulsbasert radar er den nødt til å kunne fungere uten særlig behov for spesialkompetanse, eller svært inngående kunnskap om hvordan en skal få et godt radarbilde.

På en måte kan man se på mer automasjon som en god utvikling, da offiseren kan rette oppmerksomheten sin til andre ting enn å stille inn radaren. På den andre siden kan automasjonen kanskje gjøre at offiserer mister grunnforståelse av hvordan radaren fungerer og ikke vil være i stand til å operere radaren manuelt dersom automasjonen skulle svikte. Også fra de andre intervjuene ble det spesifikt uttrykt bekymring angående økt automatikk ved at det fjerner behovet for at brukeren tilegner seg grunnforståelsen om hva som foregår bak radarbildet.

Gruppen har lite erfaring med hvordan opplæringen på radar foregår i praksis, men fra Redningsselskapet fikk vi høre at samme opplæring blir gitt til de frivillige på Redningsskøytene uavhengig om de skal bruke FMCW radar eller pulsbasert radar.

## 5.4 Vanskeligheter med regelverk (IMO)

IMO sitt regelverk er i stor grad bygget opp rundt pulsbasert magnetron radar. Dette gjelder både kravene i performance standarden som sier at radaren skal være en antenne med 360 graders dekningsområde, og hvordan SART og Racon trigges. En slik lovtekst kan tenkes å hindre nye typer av radar som array radar å bli utviklet til navigasjonsradar for skip. Denne typen radar er utbredt i militære sammenhenger og er også brukt i referansesystemet XRP til Kongsberg DP. I intervju nr. 2 kom det frem at en kan tenke seg at array radarer vil kunne scanne svært raskt ved hjelp av elektronisk stråleforming. De vil også kunne prioritere enkelte risikoområder mer enn andre områder i scanningen og dermed gi mer oppdatert informasjon der det er viktigst. I tillegg kan en få svært smal radarstråle om en har nok antenner i gruppe. Et slikt system kunne dekket 360 grader rundt fartøyet ved å ha flere slike array radarer i ulike retninger og sette sammen bildene elektronisk, noe som allerede gjøres i dag dersom en har roterende antenner forskjellige steder på skipet. Problemet med regelverket er at det krever at hver antenne skal fungere uavhengig av hverandre, noe array radar ikke gjør. En annen mulig fordel ovenfor andre radartyper ville vært at det ikke er noen bevegelige deler, dermed ville vedlikeholdskostnadene kunne blitt lave.

Andre teknologiske fremskritt verdt å nevne som ikke finnes på IMO radarer er muligheten til å vise flere ulike avstander på samme tid, så en kan ha ett nærbilde og ett bilde som viser lengre avstander. Radarer kan ved hjelp av doppler målinger og databehandling vise fartøy på kollisjonskurs i rød farge, og regnstøy i blått. Dette gjør at det blir enkelt for navigatøren å se hvilken trafikk som krever mest oppmerksomhet. Radarantennene som roterer i ulik hastighet mellom 24-48 rpm basert på hvilke range som er valgt. IMO sitt regelverk hindrer også FMCW radaren i å bli godkjent siden den ikke vil kan trigge Racon og SART. I tillegg er det heller ikke noe særlig etterspørsel etter andre radartyper til navigasjon blant kundene ifølge intervju. Da er det ikke noe insentiv for IMO til å se på regelverket. Sea Hawk er ett eksempel på en ikke godkjent polarimetric radar som er mye brukt der kravet til radarene er spesielt høye. De hadde tidligere godkjente radarer, men videreførte ikke dette fordi IMO kravene setter begrensinger for hva de får gjøre med radarene sine. Dette har ført til at Sea Hawk sine radarer nå er mest vanlig til overvåking, SAR, og spesielle offshore operasjoner.

## 5.5 SAR

Når det kommer til bruk av radar i sammenheng med søk og redning kan en god radar være forskjellen på liv og død. Man vil derfor kunne tenke seg at det er noe som bør bli tatt i



betraktning når man velger hva slags radar man skal ha om bord. Når vi snakker om radar i en SAR-sammenheng er det spesielt to bruksområder som er viktige; deteksjon av radar-sart og deteksjon av personer eller objekt i sjøen. Når det kommer til radar-sart vet vi at den fungerer på prinsipielt samme måte som Racon. Den må trigges av 3 cm radar-signal med tilstrekkelig effekt for å bli aktivert. Her dukker det altså allerede opp et problem for ny radarteologi, nemlig at andre radartyper ikke nødvendigvis sender i samme frekvensbånd eller har nok utsendt effekt. De første radarene med solid state sender hadde som nevnt i teorien og i intervju ikke tilstrekkelig effekt for å trigge SART og Racon på en stabil og pålitelig måte.

For at en radar skal være god i SAR sammenheng er det altså viktig med god oppløsning og skilleevne for å kunne oppdage små objekt i sjø, som eksempelvis personer. I tillegg må radaren være i stand til å trigge radar transponder. Det kan også være flere faktorer i bilde, som utsendt effekt, som er med på å bestemme sannsynligheten for deteksjon.

I SAR situasjoner kan en se for seg at en Polarimetric radar slik Sea Hawk leverer ville prestert svært bra og utkonkurrert IMO godkjente alternativer siden den er så god til å detektere små objekter på overflaten selv i dårlig vær. Det kan også tenkes at Array radar med raske scanninger og mulighetene for svært smal horisontal strålebredde kunne vært god i SAR situasjoner.

## **5.6 Implementering av annen teknologi**

Gjennom litteraturstudien har gruppen funnet få teknologier som er ulike den tradisjonelle radaren. En teknologi stikker seg likevel ut. Flir Navigasjonskamera er allerede tatt i bruk på en hurtiggående ferge i Danmark og assisterer brobesetningen i med navigasjonen. (Bornholmslinjen, 2023) Kamera kan nok ikke erstatte radar direkte, men kan trolig være en god komplementerende teknologi. Det åpner for muligheter til å identifisere objekt du ser på radaren når det er mørkt ute, noe som kan være umulig med standard bro-utrustning. Det kunne vært interessant å se mer på lignende teknologier som ikke nødvendigvis kan erstatte radaren slik vi kjenner den i dag, men heller utfylle og komplementere den.

## **5.7 Oppsummering**

I denne oppgaven skulle vi se på om pulsradaren som har vært den eneste typegodkjente navigasjonsradaren kunne erstattes av annen, nyere, og eventuelt bedre teknologi. En navigasjonsradar sin viktigste oppgave er å kunne detektere land, trafikk, og andre objekter

som kan være til fare for navigasjonen. Dette må kunne presenteres på en god og forståelig måte til navigatøren i form av god oppløsning, nøyaktighet og brukervennlighet. Pulsradar er velutviklet kjent teknologi som fungerer greit til sitt bruk. Den er relativt enkel å bruke i tillegg til at ny solid state teknologi gjør mer avansert signalbehandling mulig gjennom nye filter og hjelpemidler som eksempelvis echo average og target analyser. Disse kan være med å hjelpe navigatøren med situasjonsforståelsen.

Det finnes andre teknologier på markedet som kan utkonkurrere de godkjente navigasjonsradarene på ytelse, men dette er fordi de ikke trenger å følge IMO kravene. Sea Hawk sine radarer er ett eksempel på hvordan en kan skape radarbilder som er svært detaljerte med magnetron teknologi, men de sluttet å produsere IMO godkjente radarer på grunn av begrensningene det medførte. I tillegg har vi sett på radarer med helt andre funksjonsprinsipp slik som FMCW radaren. Denne radaren var populær i fritidsbåtmarkedet, har svært lav minimumsrange, avgir lite stråling og er i bruk på mange frivillige redningsskøyter. Våre funn viser derimot at denne radaren i praksis har samme ytelse som en solid state pulsradar, i tillegg til at den ikke kan detektere Sart og Racon. Derfor kan ikke denne radartypen bli typegodkjent av IMO.

Det er nettopp IMO kravene som setter en stopper for at andre teknologier ikke er i bruk. Dette er fordi kravene er bygd opp rundt virkemåten til den pulsbaserte radaren, eksempelvis med tanke på kravet til 360 graders scanning i retning med klokken, og hvordan SART og Racon trigges. Hvis IMO hadde åpnet regelverket ville kanskje andre teknologier som Array radarer med elektronisk stråleforming kunne blitt vanlig til navigasjonsformål. Disse radarene er allerede mye brukt i militære sammenhenger og referansesystem til dynamisk posisjonering.

Intervjuene har også avdekket at det ikke er noe særlig etterspørsel etter andre teknologier ifra kundene, de ønsker seg heller mer automasjon i radarene. Noe som er til ettertanke når fagfolkene vi snakket med uttrykte bekymring rundt den økende automasjonen, fordi navigatørene mister forståelsen av hvordan radaren fungerer. Det er også andre tilgjengelige teknologier som lidar og kamerateknologi på markedet, men disse er såpass sikt avhengige at det kun vil fungere som ett supplement til eksisterende radarteknologi.

## **6 Konklusjon**

Gruppen konkluderer med at maritim pulsbasert radar ikke kan erstattes slik kravene fra IMO foreligger i dag. Det er derimot klart at det finnes teknologier med stort potensial for anvendelse til navigasjon, men de avhenger sterkt av endring i regelverk om de skal kunne implementeres og utvikles. Det er likevel ingenting i veien for å bruke ikke-godkjente radarer, men om en skal ta dem i bruk må det være som et sekundært system.

Gruppen vil også sette lys på problemet med opplæring som vi har blitt oppmerksom på. Bedre opplæring og kunnskap om radar er sannsynligvis en enklere og raskere metode for å bedre bruk av radar og ytelse. Å se på hvordan den økende graden av automatikk påvirker navigatører sin forståelse og kompetanse vedrørende bruk av radar kan være et interessant tema for en fremtidig bacheloroppgave.

## Kildeliste

- Austrheim, T. I., Drønen, R. & Gravdal, T., 2020. *K39 Maritim Radar*. 1. utgave red. s.l.:MARKOM 2020.
- Bole, A., Wall, A. & Norris, A., 2013. *Radar And Arpa Manual*. 3 red. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Bornholmslinjen, 2023. *Bornholmslinjen*. [Internett]  
Available at: <https://www.bornholmslinjen.dk/express-5>
- Coastal & Hydraulics Laboratory, 2012. *www.erdc.usace.army.mil*. [Internett]  
Available at: <https://www.erdc.usace.army.mil/Media/Images/igphoto/2000725194/>  
[Funnet 28 05 2023].
- Dalland, O., 2017. *Metode Og Oppgaveskriving*. 6 red. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS.
- Ellison, B., 2007. *Panbo.com*. [Internett]  
Available at: <https://panbo.com/sharpeye-radarlook-ma-no-magnetron/>  
[Funnet 30 04 2023].
- Flir, T., 2023. *Flir*. [Internett]  
Available at: <https://www.flir.eu/products/m364c-lr/?vertical=maritime&segment=solutions>  
[Funnet 24 Mai 2023].
- Furuno, u.d. *FAR-22x8/FAR-23x8 manual*. s.l.:Furuno Electric Co., LTD..
- Furuno, u.d. *Furuno Norge*. [Internett]  
Available at: <https://www.furuno.no/no/kategorier/navigasjon/radar/>
- Furuno, u.d. *www.furuno.com*. [Internett]  
Available at: <https://www.furuno.com/en/technology/radar/display/>  
[Funnet 29 april 2023].
- Furuno, u.d. *www.furuno.com*. [Internett]  
Available at: <https://www.furuno.com/en/technology/radar/target/>  
[Funnet 11 05 2023].
- Holtebekk, T., 2023. *Snl.no*. [Internett]  
Available at: <https://snl.no/dopplereffekt>  
[Funnet 12 05 2023].
- IMO, 2002. *IMO-vega*. [Internett]  
Available at:  
<https://vp.imo.org/Customer/Subscriptions/IMOVega/MemberPages/IMODocument.aspx?resultIndex=19&docId=SL020519ABA&docDate=2002-07-01>
- IMO, 2004. *IMO RESOLUTION MSC.192(79)*. s.l.:International Maritime Organisation.
- Kjerstad, N., 2010. *Navigasjon for maritime studier*. 3 red. Bergen: Vigmostad & Bjørke AS.
- Kjerstad, N., 2019. *Elektroniske og aukustiske navigasjonssystemer*. 5068 Bergen: Fagbokforlaget.
- Lovdata, 2018. *www.lovdata.no*. [Internett]  
Available at: [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2011-12-22-1523/KAPITTEL\\_14-1](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2011-12-22-1523/KAPITTEL_14-1)  
[Funnet 14 april 2023].

Marine Accident Investigation Branch, 2004. *Bridge Watchkeeping Safety Study*, Southampton: MAIB.

Matlab, 2022. *What Are Phased Arrays?*. [Internett]  
Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=9WxWun0E-PM>  
[Funnet 02 05 2023].

O'Dwyer, R., 2019. *Smartmaritimenetwork.com*. [Internett]  
Available at: <https://smartmaritimenetwork.com/2019/12/17/furuno-moves-to-solid-state-radar-technology-for-x-band-line/>  
[Funnet 30 04 2023].

Omegatron, 2022. *Wikipedia*. [Internett]  
Available at: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Waveforms.svg?uselang=nb>  
[Funnet 27 01 2023].

ORDBOK, D. N. A., 2023. *naob*. [Internett]  
Available at: <https://naob.no/ordbok/p%C3%A5litelig>  
[Funnet 25 Mai 2023].

Pronav AS, 2020. *JMR-5400 Bruker manual*. [Internett]  
Available at: <https://pronav.no/wp-content/uploads/2018/03/JMR-5400-20201203-Betjening.pdf>  
[Funnet 02 05 2023].

SeaHawk AS, 2023. *Personlig kommunikasjon*. s.l.:s.n.

Strønen, A., 2018. *Skipsrevyen*. [Internett]  
Available at: <https://www.skipsrevyen.no/aktuelt/ultralyd-radaren-testet-pa-nordlys/191965>  
[Funnet 21 03 2023].

Teledyne Flir, 2023. *Flir*. [Internett]  
Available at: <https://www.flir.com/products/m364c-lr/>

U.S. Naval Institute, 2022. *usni.org*. [Internett]  
Available at: <https://www.usni.org/magazines/proceedings/2022/december/digital-engineering-improves-spy-6-radar>  
[Funnet 28 05 2023].

*What are Phased Arrays?*. 2022. [Film] Regissert av Brian Douglas. USA: MATLAB.

Wolff, C., u.d. *Radartutorial.eu*. [Internett]  
Available at:  
<https://www.radartutorial.eu/02.basics/Frequency%20Modulated%20Continuous%20Wave%20Radar.en.html>  
[Funnet 15 05 2023].

Wolff, C., Ukjent. *Radartutorial*. [Internett]  
Available at:  
<https://www.radartutorial.eu/02.basics/Frequency%20Modulated%20Continuous%20Wave%20Radar.en.html>  
[Funnet 21 Mars 2023].

