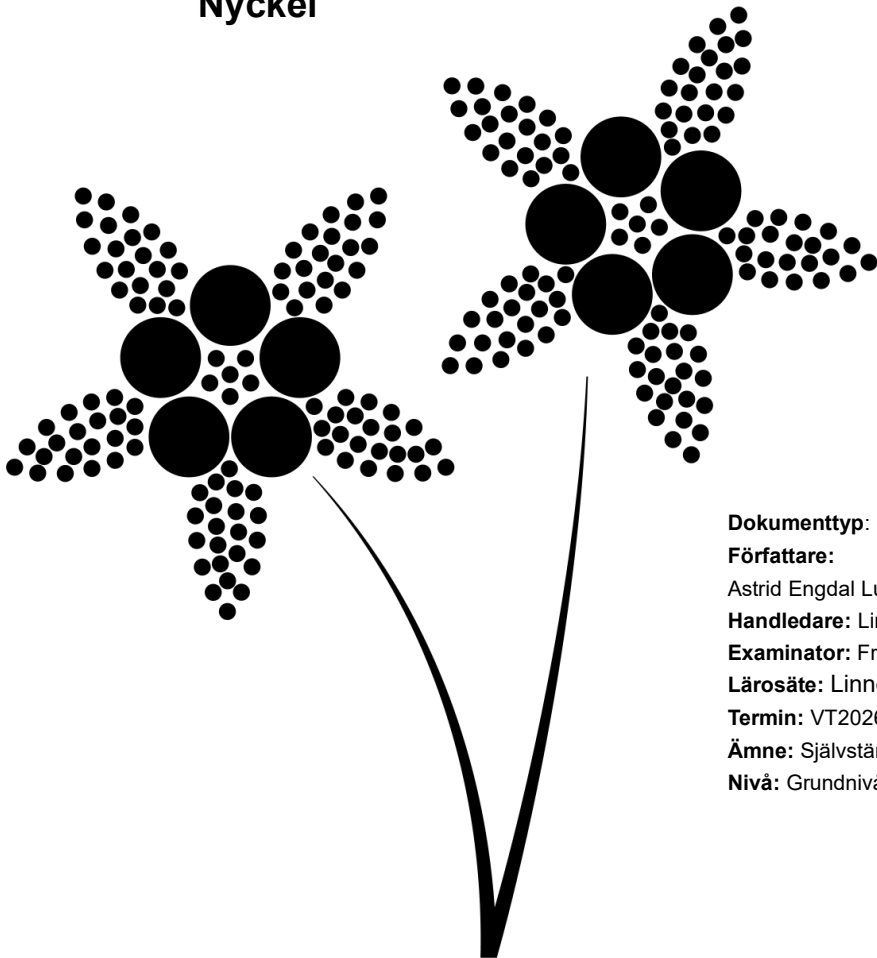


# Etablering av närvarodetektering ombord på passagerarfartyg för ökad säkerhet och krisrespons

En experimentell fältstudie om vibrationers påverkan på en sensor och dess funktion i en hytt ombord M/S Calmare  
Nyckel



**Dokumenttyp:** Kandidatuppsats

**Författare:**

Astrid Engdal Lundberg & Edwin Lagerström

**Handledare:** Linus Woxell

**Examinator:** Fredrik Hjorth

**Lärosäte:** Linnéuniversitetet

**Termin:** VT2026

**Ämne:** Självständigt arbete, 1SJ51E

**Nivå:** Grundnivå 15 hp



# **Implementation of Presence Detection Onboard for Enhanced Safety and Emergency Response**

An experimental field study of the impact of vibrations on a sensor and its performance in a cabin onboard M/S Calmare Nyckel

## Abstrakt

Denna studie undersöker hur mmWave-baserad närvarodetektering kan användas i hyttmiljöer på passagerarfartyg som stöd för snabb lokalisering av personer vid nödsituationer ombord. Bakgrunden är att manuella genomsökningar av bostadshytter är både tids- och resurskrävande. Fartygsmiljön ställer dessutom särskilda krav på tekniska system, eftersom hytter kan präglas av trånga utrymmen, reflekterande ytor och återkommande vibrationer. Syftet med studien är att undersöka hur en mmWave-baserad sensorenhet, dfRobot SEN0557 kopplad till en Arduino Uno Q, fungerar för persondetektion i hyttmiljö ombord samt att utvärdera hur vibrationer påverkar systemets prestanda.

Studien genomfördes som ett kvantitativt fältexperiment ombord på M/S Calmare Nyckel. Sensorn testades i en bostadshytt genom standardiserade scenarier med rörelse respektive minimal rörelse. Systemets prestanda bedömdes utifrån kvantitativa utfallsmått i form av detektionsgrad, tid till första detektion, bortfall och falsklarm. Vibrationer undersöktes genom en kontrollerad uppställning med vibrationsplatta. Resultaten visade att sensorn fungerade betydligt bättre utan vibrationer än vid vibrationstest, där falskekon och instabila mätvärden uppstod. Studien visar därmed att mmWave-teknik har potential som stöd för närvarodetektering i hyttmiljö, men också att vibrationer utgör en tydlig begränsning för systemets stabilitet och tillförlitlighet. Slutsatsen är att tekniken kan vara relevant som kompletterande stöd i säkerhetsarbetet ombord, men att vidare utveckling krävs innan den kan användas robust i verklig maritim drift.

## Nyckelord

Passagerarfartyg, nödevakuering, evakueringstid, mänskligt beteende vid nödsituationer, mmWave, millimetervågsradar, FMCW-radar, fartygshytt, fartygsvibrationer, vibrationsstörningar, falsklarm, närvarodetektering, persondetektering

## Abstract

This study examines how mmWave-based presence detection can be applied in cabin environments on passenger ships as a means of supporting the rapid localization of persons during onboard emergencies. The study is based on the premise that manual searches of accommodation cabins are both time- and resource-intensive. In addition, the shipboard environment imposes specific demands on technical systems, as cabins may be characterized by confined spaces, reflective surfaces, and recurring vibrations. The aim of the study is to investigate how an mmWave-based sensor unit, the DFRobot SEN0557 connected to an Arduino Uno Q, performs in detecting human presence in an onboard cabin environment, and to evaluate how vibrations affect the system's performance.

The study was conducted as a quantitative field experiment onboard M/S Calmare Nyckel. The sensor was tested in an accommodation cabin using standardized scenarios involving movement and minimal movement. System performance was assessed through quantitative outcome measures, including detection rate, time to first detection, dropouts, and false alarms. Vibrations were examined using a controlled setup with a vibration plate. The results showed that the sensor performed considerably better without vibrations than during vibration testing, where false echoes and unstable measurement values occurred. The study therefore indicates that mmWave technology has potential as a support tool for presence detection in cabin environments, while also showing that vibrations constitute a clear limitation to system stability and reliability. The conclusion is that the technology may be relevant as a complementary support tool in onboard safety work, but further development is required before it can be used robustly in real maritime operating conditions.

## Keywords

Passenger ships, emergency evacuation, evacuation time, human behaviour in emergencies, mmWave, millimeter wave radar, FMCW radar, occupancy detection, ship cabin, ship vibrations, vibration interference, false alarms, presence detection, human presence

## Förord

Det här examensarbetet har varit en intressant resa där vi lagt ner mycket tid på funderingar, tekniska problem och försök att få både sensor, Arduino och Word att samarbeta. Arbetet har samtidigt varit väldigt roligt, särskilt eftersom vi själva har byggt ihop vår sensorenhet och testat den ombord på M/S Calmare Nyckel. Det har också varit en rolig miljö att få vara i, där vi fått arbeta praktiskt ombord och se hur teori och praktik möts.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Linus Woxell för all hjälp, alla timmar som lagts ner och alla värdefulla tips längs vägen som vi har fått! Vi vill också tacka Fredrik Hjort, vår examinator, för synpunkter och vägledning under arbetets gång.

Kalmar, 2026

Astrid Engdal Lundberg och Edwin Lagerström

## Förkortningar och definitioner

Svensk term	Engelsk term	Definition
Rörelsedetektor	Motion detector	Sensor som registrerar rörelse inom ett definierat område, ofta för att upptäcka mänsklig närvaro.
PIR-sensor	Passive Infrared (PIR) sensor	Passiv infraröd sensor som detekterar förändringar i värmestrålning från människor eller objekt.
Närvarodetektering	Occupancy detection	Metod för att avgöra om en person befinner sig i ett utrymme, även när personen inte rör sig tydligt.
Maritim inomhusmiljö	Maritime indoor environment	Inre fartygsmiljö med särskilda förhållanden såsom vibrationer, metalliska ytor, trånga utrymmen och fast inredning.
Krisrespons	Emergency response	Organiserade åtgärder för att hantera nödsituationer såsom brand, personbortfall eller annan allvarlig händelse.
Millimetervåg	Millimeter wave (mmWave)	Elektromagnetiska vågor med mycket kort våglängd som kan användas i sensorer för att registrera närvaro, rörelse och mikrorörelser.
Bortfall	Dropouts	Tillfällen då sensorn tillfälligt slutar registrera en person trots att personen fortfarande befinner sig i mätområdet.
Falsklarm	False alarms	Felaktiga registreringar där sensorn indikerar närvaro trots att ingen person finns i utrymmet.
Detektionsgrad	Detection rate	Andel av testtillfällena där sensorn korrekt registrerar närvaro när en person faktiskt befinner sig i utrymmet.
Mikrorörelser	Micro-movements	Mycket små kroppsrörelser, exempelvis andning eller små lägesförändringar, som kan registreras av känsliga sensorer.
Sensorfusion	Sensor fusion	Kombination av data från flera sensorer eller system för att ge en mer tillförlitlig bedömning av närvaro, position eller rörelse.

<b>Svensk term</b>	<b>Engelsk term</b>	<b>Definition</b>
FMCW-radar	Frequency-Modulated Continuous Wave (FMCW) radar	Radarprincip där en kontinuerligt sänd signal med varierande frekvens används för att uppskatta avstånd och registrera rörelse.
Mönstringslista	Muster list	Lista som anger vilka uppgifter olika besättningsmedlemmar har vid nödsituationer, exempelvis brand, man över bord eller evakuering.

## Innehållsförteckning

<b>Inledning</b> .....	<b>1</b>
1.1 Bakgrund .....	1
1.2 Syfte och frågeställningar.....	3
1.2.1 Syfte .....	3
1.2.2 Frågeställningar.....	3
1.3 Avgränsningar.....	3
1.4 Tidigare forskning .....	4
1.4.1 Inomhusdetektering och närvarodetektering.....	4
1.4.2 MmWave som teknik för kontaktlös närvarodetektering.....	5
1.4.3 PIR-baserad rörelsedetektering som jämförelsepunkt .....	6
1.4.4 Utrustningsfri detektion och integritetsaspekter .....	7
1.4.5 Sensorplacering och maritim miljö .....	7
1.4.6 Vibrationer som störfaktor.....	9
1.4.7 Sammanfattning av forskningsläget och kunskapslucka .....	9
<b>Metod</b> .....	<b>10</b>
2.1 Pilotstudie och genomförande.....	10
2.1.1 Pilotstudie och justeringar.....	10
2.1.2 Delmoment 1: Test utan vibrationer .....	11
2.1.3 Delmoment 2: Vibrationstest .....	13
2.2 Programmering.....	13
2.3 Utrustning och installation .....	14
2.4 Trovärdighet och avgränsningar.....	17
2.5 Forskningsetik .....	17
2.5.1 Riskbedömning .....	18
2.6 Litteratursökning .....	19
2.7 Användning av AI-stöd .....	20
2.8 Arbetsfördelning mellan författarna.....	20
<b>Resultat</b> .....	<b>20</b>
3.1 Resultat av fältexperiment.....	20
3.2 Resultat utan vibrationer .....	21
3.3 Resultat vid vibrationstest .....	25
3.4 Sammanfattning av huvudsakliga resultat.....	26
<b>Analys</b> .....	<b>27</b>
<b>Diskussion</b> .....	<b>29</b>
5.1 Resultatet i relation till tidigare forskning.....	30
5.2 Metoddiskussion.....	31
5.3 Förslag till fortsatt forskning.....	33
<b>Slutsats</b> .....	<b>34</b>
<b>Referenser</b> .....	<b>37</b>

## Inledning

### 1.1 Bakgrund

Vid nödsituationer ombord på passagerarfartyg är det avgörande att snabbt kunna klarlägga var individer befinner sig ombord. Passagerarfartyg är av betydelse i detta sammanhang eftersom de utgör en viktig del av den maritima transportsektorn och transporterar stora passagerarvolymen varje år. Kryssningssegmentet som utgör en del av passagerarsjöfarten kan illustrera omfattningen av personflöden. Under 2024 uppgick den globala passagerarvolymen inom detta segment till upp mot 35 miljoner (CLIA, 2025). Samtidigt utgör passagerarfartyg en heterogen fartygskategori, från fartyg som transporterar fler än 12 passagerare till stora kryssningsfartyg med tusentals personer ombord (IMO, u.å-c; IMO, u.å-a). Ett exempel är Star of the Seas, som vid full kapacitet kan ha mer än 9600 personer ombord totalt (Cruisedeckplans, u.å; Cruisespotlight, u.å). Det stora antalet människor ombord innebär att en nödsituation snabbt kan bli komplex och att höga krav ställs på säkerhetsorganisation, lägesbild och snabb lokalisering av personer. Olyckor som Estonia (1994), Scandinavian Star (1990) och Costa Concordia (2012), med många omkomna, visar att nödsituationer på passagerarfartyg kan få mycket allvarliga konsekvenser (Blix et al., 2023; Mastrogiorgio et al., 2026; Statens haverikommission, 2025). Även om olyckorna skiljde sig åt i både orsak och händelseförlopp illustrerar de betydelsen av att snabbt kunna identifiera om personer fortfarande befinner sig kvar i fartygets utrymmen. Detta motiverar studiens fokus på ett tekniskt stöd för närvarodetektering, särskilt i avgränsade utrymmen där manuell lokalisering kan vara tidskrävande.

Det är besättningen som ansvarar för insatsen ombord och som under tidspress behöver skapa en korrekt lägesbild (Österman et al., 2020). Besättningens förmåga att genomföra en sådan insats bygger inte enbart på praktisk erfarenhet utan också på formella krav och återkommande övningar vilket regleras av STCW (Österman et al., 2020; IMO, u.å-b). På fartyg är besättningens uppgifter vid nödsituationer dessutom fastställda i mönstringslistan. Om en passagerare saknas behöver denne lokaliseras av besättningen, samtidigt som säkerhetsorganisationens övriga funktioner fortsatt måste upprätthållas.

Snabb information om var personer befinner sig ombord kan därför vara av betydelse för både prioritering av insats och fördelning av besättningens resurser.

I föreliggande studie riktas fokus mot hyttmiljöer, eftersom de utgör en särskilt tidskritisk zon vid nödsituationer. I en tidigare studie visar Brown (2016) att responstider i hyttområden skiljde sig från responstider i publika utrymmen med en fördröjning upp mot 2,8 gånger. På större passagerarfartyg kan antalet hytter dessutom uppgå till flera hundra eller tusentals. Star of the Seas har exempelvis omkring 2 800 hytter ombord (Cruisedeckplans, u.å). Detta illustrerar att manuell genomsökning av hytter snabbt kan bli både tids- och resurskrävande, eftersom varje hytt utgör ett separat utrymme som behöver kontrolleras av besättning. Tidsåtgången kan dessutom öka om hytt dörrar är låsta eller om personer inte själva reagerar på larm och instruktioner. En ytterligare svårighet är att personer i en nödsituation inte nödvändigtvis rör sig tydligt. Under stress kan människor bli passiva, desorienterade, reagera med förnekelse eller uppvisa frysningsbeteende (Andreadakis & Dalaklis, 2022; Leach, 2004). Detta kan försvåra upptäckt vid en manuell sökinsats, särskilt om personen befinner sig i en hytt och inte själv lämnar utrymmet. Besättningen behöver samtidigt skapa en korrekt lägesbild och upprätthålla säkerhetsorganisationens övriga funktioner (Österman et al., 2020). Därför är det relevant att undersöka tekniska lösningar som kan indikera om en person finns kvar i hyttmiljö vid mycket begränsad rörelse. Detta leder vidare till studiens tekniska fokus: att undersöka hur väl en mmWave-sensor detekterar närvaro vid rörelse respektive minimal rörelse, samt under vilka förutsättningar falsklarm, bortfall och andra begränsningar uppstår.

I detta sammanhang har realtidsövervakning och sensorer lyfts fram som betydelsefulla för att stärka säkerheten vid nödsituationer ombord (Andreadakis & Dalaklis, 2022). Sensorer kan fungera som stöd för mönstringskontroll, positionsuppföljning och besättningens genomsökning av fartyget. För hyttmiljöer krävs dock teknik som inte enbart reagerar på tydlig rörelse, utan även kan indikera närvaro vid mycket begränsad rörelse, exempelvis när en person ligger stilla. En sådan teknik är millimetervåg, mmWave, som i tidigare forskning har visat potential för närvarodetektering vid små rörelser (Garcia, 2018). MmWave är en kontaktlös sensorteknik som använder högfrekventa radiovågor för att registrera förändringar i reflekterande signaler (Zhang et al., 2023). Därigenom kan tekniken användas för att detektera närvaro även vid mikrorörelser såsom andetag.

Samtidigt skiljer sig fartygsmiljöer från landbaserade miljöer, eftersom fartyg utgör både metalliska och rörliga strukturer (Brown, 2016). Vibrationer är en naturlig del av fartygsmiljön och kan påverka tekniska system som är känsliga för små rörelser. För en sensor som bygger på att registrera små rörelser kan detta vara särskilt relevant, eftersom vibrationer kan skapa signalvariationer som inte nödvändigtvis beror på mänsklig närvaro. Det är därför otillräckligt att enbart undersöka om mmWave kan detektera närvaro i en hytt under stabila förhållanden; det behöver också undersökas hur sensorns prestanda påverkas när mekaniska störningar tillförs. En central fråga i studien är därför om mmWave kan detektera närvaro tillförlitligt i hyttmiljö vid både rörelse och minimal rörelse, samt hur vibrationer påverkar detektionsgrad, tid till detektion, bortfall och falsklarm.

## **1.2 Syfte och frågeställningar**

### **1.2.1 Syfte**

Syftet med studien är att undersöka hur mmWave-baserad närvarodetektering kan användas i maritima inomhusmiljöer ombord på passagerarfartyg för att stödja snabb lokalisering av passagerare och besättningsmedlemmar vid nödsituationer, med särskilt fokus på hur vibrationer påverkar sensorernas funktion och prestanda.

### **1.2.2 Frågeställningar**

Hur väl detekterar mmWave-sensor närvaro i hyttmiljö vid rörelse respektive minimal rörelse, mätt som detektionsgrad, tid till detektion och falsklarm?

Hur påverkas sensorprestandan (detectionsgrad, tid till detektion, bortfall och falsklarm) av vibrationer?

I vilka scenarier eller förutsättningar uppstår de vanligaste begränsningarna för detektion?

## **1.3 Avgränsningar**

Studien avgränsas till ett fältexperiment ombord M/S Calmare Nyckel och genomförs i en bostadshytt som testmiljö. Endast en sensorconfiguration utvärderas: DFRobot SEN0557 (24 GHz) mmWave sensor kopplad till Arduino Uno Q. Sensorn placerades på en vibrationsplatta (Jinguang vibration plate) för att kunna tillföra kontrollerade vibrationsnivåer under mätningarna.

Undersökningen fokuserar på två rörelsetillstånd: rörelse samt minimal rörelse i liggande position samt in och ut passage i hytten. Vibrationer studeras genom vibrationsplatta i en kontrollerad uppställning. Studien omfattar inte andra miljöer ombord (ex maskinrum, korridorer eller öppna däck), inte heller andra sensortyper (ex PIR, kamera eller ultraljud) eller sensorfusion.

Datainsamlingen begränsas till kvantitativa utfallsmått (detektionsgrad, tid till detektion och falsklarm). M/S Calmare Nyckel är ett passagerarfartyg och hyttmiljön uppfyller tillämpliga krav enligt Transportstyrelsens författningssamling 2013:68. Resultaten avser dock den testade konfigurationen i den undersökta hytten och bör därför tolkas som kontextspecifika.

## **1.4 Tidigare forskning**

### **1.4.1 Inomhusdetektering och närvarodetektering**

I forskning om inomhusdetektion används sensorer för att registrera förändringar i omgivningen. Dessa förändringar kan omvandlas till information som kan ligga till grund för övervakning, styrning eller beslutsstöd. Olika sensortekniker bygger samtidigt på olika typer av signaler och fångar därför olika aspekter av mänsklig närvaro. I en systematisk översikt sammanställer Comai et al. (2025) tidigare forskning om mindre integritetskänsliga tekniker för att detektera, räkna och identifiera människor i inomhusmiljöer. Översikten visar att teknikerna kan delas in efter vilken typ av information de bygger på, exempelvis akustiska, biometriska, kroppsegenskapsbaserade, gångbaserade, infraröda och data från smarta enheter. Därmed tydliggörs att olika sensortekniker lämpar sig för olika ändamål, såsom närvarodetektering, personräkning eller individidentifiering. I föreliggande studie är detta relevant eftersom syftet inte är att identifiera personer eller räkna antal individer, utan att undersöka om kvarvarande närvaro kan indikeras i ett avgränsat utrymme även vid låg rörelse.

En central distinktion i denna studie är skillnaden mellan rörelsedetektering och närvarodetektering. Rörelsedetektering avser system som reagerar på tydliga förändringar inom sensorns detektionsområde, medan närvarodetektering avser system som kan indikera kvarvarande närvaro även vid låg aktivitet. Eftersom studien fokuserar på personer som kan befinna sig stilla i en hytt blir denna skillnad viktig för valet av sensorteknik.

### 1.4.2 MmWave som teknik för kontaktlös närvarodetektering

Mot bakgrund av skillnaden mellan rörelsedetektering och närvarodetektering blir radarbaserad sensorteknik relevant. Radar kan ge ett mer informationsrikt underlag än ett enkelt binärt utslag på aktivitet, eftersom signalen kan användas för att analysera exempelvis rörelse, avstånd och förändringar över tid. Zhang et al. (2023) behandlar mer specifikt mmWave-baserad detektering som ett växande forskningsfält. Centralt för tekniken är att förändringar i signalens fas, amplitud och frekvens kan användas för att analysera mänsklig aktivitet, position och fysiologiska rörelser. I översikten delas mmWave-forskningen in i flera tillämpningar, bland annat spårning och lokalisering av människor, rörelseigenkänning, biometrisk mätning och avbildning. Det innebär att mmWave inte enbart behandlas som en teknik för att registrera tydlig rörelse, utan också som en sensorteknik där små variationer i den reflekterade signalen kan vara betydelsefulla.

Forskning om radarbaserad mänsklig detektion visar dessutom att radartechnik kan användas för att registrera mycket små kroppsrörelser. Buyukakkaslar et al. (2024) beskriver exempelvis hur micro-Doppler-radar används för att analysera mänsklig rörelse, där även andning och hjärtfrekvens ingår som möjliga tillämpningar. Detta visar att radarbaserad detektion inte enbart är begränsad till tydliga rörelser, utan även kan omfatta rörelser som uppstår vid exempelvis andning. Därmed blir mmWave relevant i en studie där just låg rörelse och kvarvarande närvaro står i centrum.

MmWave-teknik baseras på högfrekventa radiovågor med kort våglängd. Begreppet används vanligtvis för elektromagnetiska vågor inom millimeterområdet, ofta angivet som 30–300 GHz. Den sensor som används i föreliggande studie avviker dock från detta intervall genom att den arbetar inom frekvensområdet 24–24,25 GHz, men benämns av tillverkaren som en 24 GHz mmWave-sensor (DFRobot, u.å). Enligt Zhang et al. (2023) ger hög frekvens och bandbredd goda förutsättningar för känslighet och upplösning vid mänsklig detektion. Samma översikt beskriver även att kort våglängd möjliggör tät antennintegration och beamforming, det vill säga riktad signalformning. Den aktuella sensorn bygger på FMCW-teknik och har enligt tillverkaren en svepbandbredd på 250 MHz (DFRobot, u.å). FMCW, *Frequency-Modulated Continuous Wave*, är en radarprincip där en kontinuerligt utsänd signal varierar i frekvens över tid. Genom att jämföra den utsända signalen med den reflekterade signal som återvänder till sensorn kan systemet uppskatta avstånd till detekterade objekt och registrera förändringar i

mätområdet. Garcia (2018) beskriver på motsvarande sätt hur mmWave-sensorer kan registrera avstånd, hastighet och vinkel. Det innebär att radarn inte enbart reagerar på att rörelse förekommer, utan också kan ge information om avstånd och förändringar i mätområdet. Detta är relevant för föreliggande studie, eftersom forskningsfrågan behandlar om närvaro kan registreras i en hytt även när personen uppvisar låg eller mycket begränsad rörelse.

Det inomhusnära forskningsläget visar också att mmWave-radar kan användas för mer än passagekontroll eller enkel rörelseregistrering. Huang et al. (2021) visar att mmWave kan användas för att detektera och följa personer i realtid i inomhusmiljöer. I deras arbete reduceras den statistiska bakgrunden först, varefter återstående signalmönster används för att identifiera mänsklig närvaro och följa rörelser över tid. Tillsammans med Zhang et al. (2023) visar detta att mmWave i forskningslitteraturen behandlas som en teknik där mänsklig närvaro kan analyseras mer detaljerat än i enklare rörelsesystem. Detta gäller särskilt i sammanhang där små variationer i hållning, position eller aktivitetsnivå har betydelse. Därmed knyts mmWave närmare närvarodetektering än enbart rörelsedetektering, även om den praktiska stabiliteten fortfarande beror på miljö, installation och signalbehandling.

### **1.4.3 PIR-baserad rörelsedetektering som jämförelsepunkt**

Passiv infraröd sensorteknik, PIR, är en vanlig sensorteknik för rörelsedetektering. Tekniken registrerar förändringar i värmestrålning inom sensorns detektionsområde och är därför beroende av att en person rör sig på ett sätt som skapar en tydlig förändring i signalen. Shokrollahi et al. (2024) beskriver PIR som en vanligt använd teknik för närvaroinformation, bland annat eftersom den är kostnadseffektiv och mindre integritetskänslig än kamerabaserade system. Samtidigt visar översikten att PIR-sensorers användbarhet påverkas av sensorplacering, spatial upplösning och om sensorn är binär eller signalbaserad. I föreliggande studie används PIR som en jämförelsepunkt för att tydliggöra skillnaden mellan rörelsedetektering och närvarodetektering.

Yun och Lee (2014) visar att PIR-signalens utslag påverkas av bland annat avstånd till sensorn, rörelseriktning och rörelsehastighet. Raykov et al. (2016) visar att en enskild PIR-sensor kan användas för närvarouppskattning i ett rum genom att rörelsemönster extraheras ur sensordata och tolkas statistiskt. Sammantaget innebär detta att PIR kan användas för rörelsedetektering och viss närvarouppskattning, men att tekniken

fortfarande är nära kopplad till rörelseförändringar i miljön. I föreliggande studie används PIR därför främst som en jämförelsepunkt för att tydliggöra varför mmWave är mer relevant när syftet är att undersöka kvarvarande närvaro vid låg eller mycket begränsad rörelse.

#### **1.4.4 Utrustningsfri detektion och integritetsaspekter**

En central aspekt i forskningsläget är vilken typ av information olika sensortekniker samlar in. Detta påverkar hur tekniken kan bedömas ur ett integritetsperspektiv, särskilt i privata eller känsliga miljöer. MmWave kan ge information om avstånd, rörelse och riktning utan att använda konventionell bildinsamling (Garcia, 2018). Tekniken skiljer sig därmed från kamerabaserade system, där personer och privata miljöer kan bli identifierbara. Wang et al. (2024) framhåller att kamerabaserade lösningar kan innebära intrång i personlig integritet, medan mmWave-radar kan användas för detektion i avgränsade utrymmen och samtidigt registrera små rörelser. Samtidigt bör mmWave inte betraktas som helt integritetsneutral. Även utan bildmaterial kan radarbaserad detektering möjliggöra detaljerad analys av mänskliga aktiviteter, exempelvis gester, talrelaterade vibrationer och vitalparametrar (Liu et al., 2023). Även platsintegritet har lyfts som en central fråga, eftersom signalbehandling i mmWave-system kan användas för mycket precis lokalisering (Checa & Tomasin, 2020). I bostadshytter blir detta särskilt relevant, eftersom tekniken inte visar vem personen är, men fortfarande kan ge information om närvaro och position. Integritetsaspekten är inte huvudfokus i föreliggande studie, men den är relevant för att förstå varför mmWave kan vara ett alternativ i privata inomhusmiljöer. Även forskningsfältet kring utrustningsfri närvarodetektering anknuter till denna problematik, eftersom närvaro kan registreras utan att individen behöver bära exempelvis en tagg, telefon eller sändare.

#### **1.4.5 Sensorplacering och maritim miljö**

Sensorers funktion avgörs inte enbart av den tekniska sensorprincipen, utan även av hur sensorn placeras och hur den samverkar med den fysiska miljön. Azizi et al. (2021) visar att sensorplacering påverkar tillförlitligheten vid närvarodetektering. Faktorer som höjd, riktning, förhållande till fasta objekt och rummets utformning kan därför ha betydelse för detektionsförmågan. Även om deras studie inte är inriktad på mmWave specifikt, blir principen relevant även här. Sensorplacering behöver förstås som en del av själva systemet och inte som en separat praktisk detalj. I föreliggande studie blir detta särskilt viktigt eftersom en fartygshytt kännetecknas av korta avstånd, fast inredning, väggar i

nära anslutning till sensorn och en geometri som skiljer sig från öppnare inomhusrum. Därmed blir även den fysiska kontexten en del av den teoretiska ramen kring hur närvarodetektering ska förstås.

När denna typ av sensorteknik förs in i en fartygskontext förändras förutsättningarna ytterligare. Brown (2016) visar att hyttområden skiljer sig från publika utrymmen i evakueringssammanhang och därmed inte bör förstås som en neutral inomhusmiljö. I en hytt samverkar begränsade ytor, fasta hinder och avskärmade vinklar på ett sätt som påverkar både mänskligt beteende och tekniska systems förutsättningar. Tidigare forskning om maritim säkerhet visar också att realtidsbaserad lokalisering och tekniskt beslutsstöd redan utgör ett etablerat utvecklingsområde. SafePASS är ett europeiskt forsknings- och innovationsprojekt som syftar till att utveckla nästa generations livräddningssystem och beslutsstöd för passagerarfartyg (SafePASS, u.å). Stefanidis et al. (2023) beskriver SafePASS som ett integrerat system för realtidslokalisering, dynamiska utrymningsvägar och gemensam operativ lägesbild. Även Zhang et al. (2025) visar att datadrivna metoder kan användas för att analysera evakueringsförlopp på passagerarfartyg genom prediktion av evakueringstid. Detta visar att tekniskt och dataunderstött beslutsstöd redan är en del av forsknings- och utvecklingsfältet inom passagerarsäkerhet. I relation till föreliggande studie innebär det att kontaktlös närvarodetektering i små privata utrymmen utgör en mer avgränsad del av samma säkerhetsutmaning.

Den maritima miljön skiljer sig dessutom från stationära byggnader genom att själva plattformen rör sig och att signalmiljön förändras under drift. Liu et al. (2022) behandlar spårning av mänsklig rörelse i mobila fartygsmiljöer och visar att signalutbredning ombord påverkas av komplexa metallstrukturer, miljöer med många reflektionsvägar och dynamiska deformationer eller rörelser som uppstår genom maskineri, vågor och lastpåverkan. I deras studie gäller detta WiFi-baserad spårning, men den maritima poängen är tydlig även i en bredare sensorteknisk mening: fartyg utgör inte bara vanliga byggnader med korridorer och väggar, utan miljöer där material, reflektionsvägar och plattformens rörelser direkt påverkar förutsättningarna för sensormätning. Därmed behöver närvarodetektering ombord förstås i relation till den fysiska och tekniska fartygsmiljön, inte bara i relation till sensorprincipen i sig.

#### **1.4.6 Vibrationer som störfaktor**

Vibrationer är en återkommande del av fartygsmiljön och kan därmed utgöra en relevant störfaktor vid sensorbaserad närvarodetektering. Wu et al. (2024) visar att vibration och buller är centrala faktorer ombord på stora kryssningsfartyg. Även om deras studie inte behandlar persondetektion är den relevant, eftersom den tydliggör att mekaniska störningar är en naturlig del av fartygsmiljön. För radarbaserad närvarodetektering är detta särskilt betydelsefullt, eftersom tekniken bygger på att registrera små förändringar i reflekterade signaler. Xiong et al. (2018) visar att FMCW-radar kan användas för vibrationsmätning genom att följa fasförändringar i den reflekterade signalen. Vibrationer kan därför inte enbart förstås som en yttre miljöfaktor, utan även som en rörelseform som kan påverka de signalvariationer som radarsystemet registrerar. Den känslighet som gör det möjligt att detektera låg aktivitet kan därmed också innebära att mekaniska rörelser i sensorns omgivning påverkar mätningen. I en fartygskontext, där vibrationer är en del av det normala driftförhållandet, blir närvarodetektering därför även en fråga om störningskänslighet och signalbehandling.

#### **1.4.7 Sammanfattning av forskningsläget och kunskapslucka**

Tidigare forskning visar att sensorer för inomhusdetektion inte bör bedömas enbart utifrån den tekniska sensorprincipen. Deras funktion behöver också förstås i relation till vilken typ av närvaro de registrerar och vilka miljömässiga förutsättningar som påverkar mätningen. PIR framstår främst som relevant i system där aktivitet, passage och rörelseförändringar står i centrum. MmWave beskrivs däremot i litteraturen som en kontaktlös sensorteknik med potential att registrera även små rörelser och kvarvarande närvaro. Samtidigt visar forskningen att sensorns praktiska användbarhet inte enbart avgörs av sensorprincipen, utan också av installationsmiljö, signalpåverkan och driftförhållanden ombord. Det som däremot framstår som mindre undersökt är hur mmWave-baserad närvarodetektering fungerar i små fartygshytter där personen kan vara nästan stilla och där vibration samtidigt utgör en återkommande störfaktor. Det är i detta gränssnitt mellan sensorteknik, närvarodetektering och fartygsmiljö som studien är placerad.

## Metod

Studien genomfördes som ett fältexperiment med kvantitativ ansats ombord på M/S Calmare Nyckel, Sjöfartshögskolans skolfartyg i Kalmar. Den kvantitativa ansatsen valdes eftersom datainsamlingen byggde på mätbara observationer av sensors funktion, i form av detektion, tid till första detektion, bortfall och falsklarm. Patel och Davidson (2019) beskriver kvantitativ forskning som inriktad på mätning och analys av variabler, vilket överensstämde med denna studies upplägg. Studien utformades samtidigt som ett fältexperiment, där vibration och rörelsetillstånd utgjorde oberoende variabler och sensors prestanda utgjorde beroende variabler. Enligt Patel och Davidson (2019) innebär ett experiment att forskaren systematiskt varierar en eller flera oberoende variabler och undersöker effekten på beroende variabler, samtidigt som ovidkommande faktorer, såsom hyttlayout, möblering och sensorplacering, kontrolleras så långt som möjligt. I denna studie standardiserades därför procedur, sensorplacering och scenarier, samtidigt som kontextfaktorer dokumenterades för att stärka studiens tillförlitlighet i fältmiljö.

Vibrationsnivåerna operationaliserades med utgångspunkt i ISO 20283-5:2016, tabell 1, som anger frekvensvägda RMS-riktvärden (1–80 Hz) för olika utrymmesklasser ombord. För hytter, klass B/crew accommodation, användes  $\leq 3$  mm/s RMS som låg nivå, 3–6 mm/s RMS som medelnivå och 6 mm/s RMS som högsta testnivå. Värdena användes som tekniska referensvärden i studien, inte som ett antagande om att motsvarande vibrationer förekommer kontinuerligt på alla fartyg.

Fältstudien genomfördes i en bostadshytt ombord på M/S Calmare Nyckel. Fartygets största längd är cirka 38,6 meter, vilket innebär att enkelhytter ska ha minst 5 m<sup>2</sup> golvyta, hygienutrymme oräknat, enligt Transportstyrelsens författningssamling 2013:68, 3 kap. 24 §.

### 2.1 Pilotstudie och genomförande

#### 2.1.1 Pilotstudie och justeringar

I denna studie genomfördes en pilotstudie för att pröva datainsamlingsmetod och testupplägg i liten skala före huvudexperimentet. Pilotstudien genomfördes i linje med Patel och Davidsons (2019) beskrivning av pilotstudier som ett sätt att testa teknik och upplägg i en miljö som motsvarar den egentliga undersökningen. Den genomfördes i

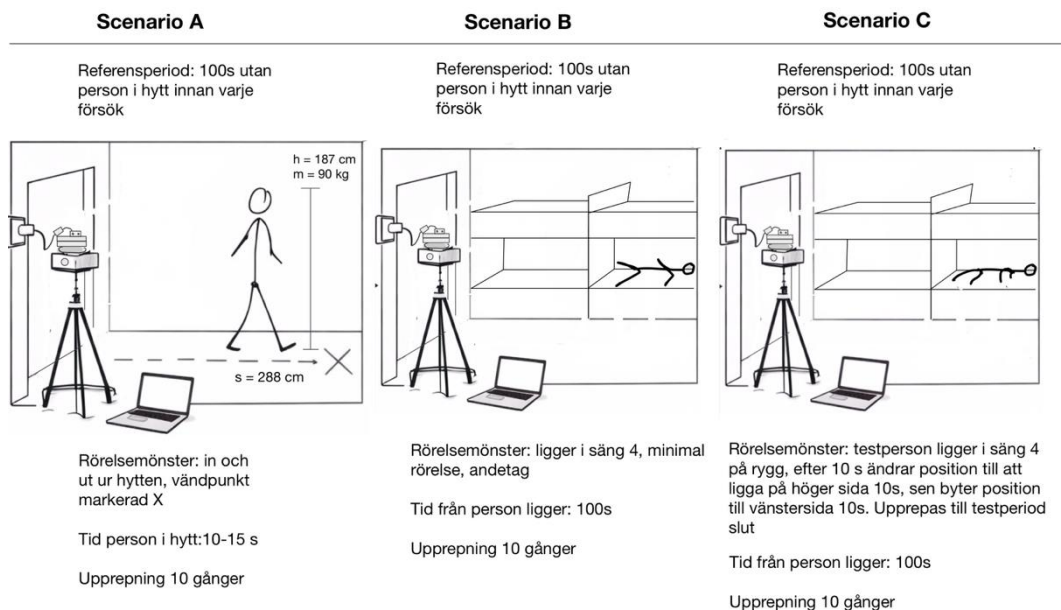
bostadshytt nr 4 på huvuddäck och omfattade en förenklad version av huvudstudien. Eftersom de fyra hytterna ombord på M/S Calmare Nyckel i huvudsak var identiska avseende layout och inredning bedömdes en enskild hytt vara tillräcklig för att testa datainsamlingsmetod, loggning och scenarioupplägg inför huvudmätningarna. Syftet var att verifiera att sensorenheten (SEN0557 kopplad till Arduino Uno Q) gav stabila utslag med och utan vibrationer. Pilotstudien användes även för att fastställa praktiska parametrar såsom testtider för respektive scenario, pauser mellan repetitioner och avståndsmätningar. Under dessa tester observerades att sensorn påverkades kraftigt av vibrationerna. Sensorn registrerade kontinuerligt falska ekon på korta avstånd och kunde därför inte på ett tillförlitligt sätt detektera en person i rummet. För att minska påverkan från vibrationerna genomfördes flera justeringar. Först monterades sensorn och Arduino-enheten på två lager plastfoam i syfte att dämpa vibrationerna från plattan. Denna lösning minskade dock inte problemet i tillräcklig utsträckning och sensorn fortsatte att registrera falska detektioner. Därefter testades en justering i programkoden där filtrering infördes för att försöka sortera bort ekon på mycket korta avstånd, eftersom dessa antogs vara orsakade av vibrationerna. Trots denna justering kvarstod problemet och sensorn gav fortfarande instabila mätvärden. Pilotstudien visade därmed att vibrationer kan ha en betydande påverkan på sensorns funktion och att ytterligare åtgärder eller alternativa lösningar kan krävas för att uppnå stabil detektion i en vibrerande miljö.

## 2.1.2 Delmoment 1: Test utan vibrationer

Delmoment 1 genomfördes i hytt 4 ombord på fartyget M/S Calmare Nyckel (se figur 2). Syftet med delmomentet var att undersöka sensorns grundläggande funktion i en fartygsmiljö utan tillförda vibrationer och att skapa ett referensvärde för jämförelse med vibrationstesterna. MmWave-sensorn placerades inne i hytten nära dörröppningen på ett stativ med höjden 151 cm (se figur 4). Sensorn var inkopplad till en laptop via Arduino-enheten för kontinuerlig registrering av sensorvärden under försöket.

Testerna bestod av scenario A, B och C. Scenario A avsåg rörelse i hytten, scenario B avsåg liggande position med minimal rörelse och scenario C avsåg liggande position med rörelse (se figur 1). Varje scenario upprepades tio gånger. Inför varje testomgång användes en referensperiod på 100 sekunder då ingen person befann sig i hytten. Denna period användes för att registrera sensorns bakgrundsvärden och för att minska risken att tidigare detektioner påverkade nästa mätning. Efter denna referensperiod påbörjades testet. Testpersonen befann sig därefter i hytten under totalt 100 sekunder. När dessa 100

sekunder hade passerat reste sig testpersonen eller började röra sig mot utgången och lämnade därefter hytten. Testpersonen var 187 cm och vägde 90 kg.



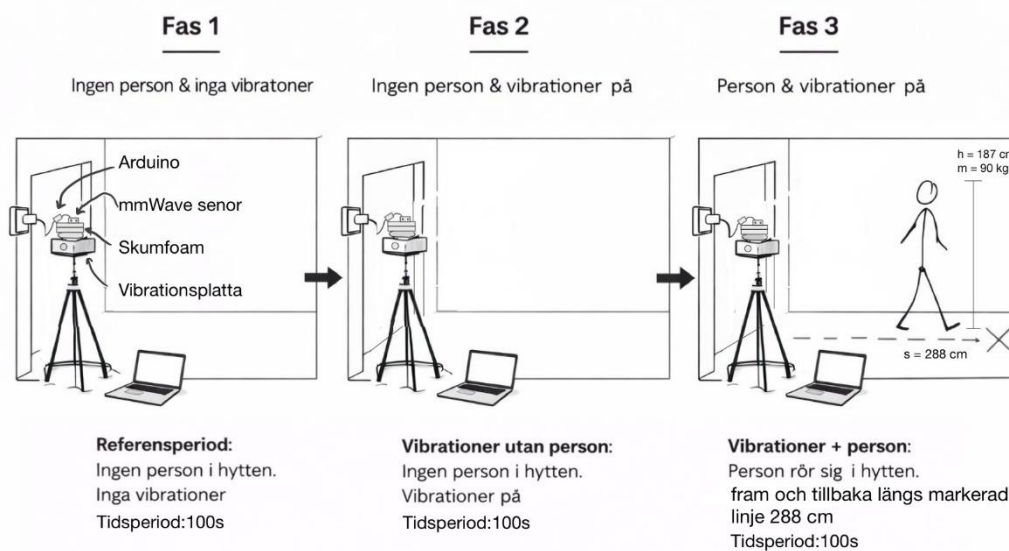
**Figur 1.** Figuren visar testupplägget i delmoment 1 med tre scenarier (A–C). Samtliga tester inleddes med en referensperiod på 100 sekunder utan person i hytten. Scenario A avser rörelse in och ut ur hytten, scenario B liggande position med minimal rörelse och scenario C liggande position med återkommande små rörelser. Varje scenario upprepades tio gånger.



**Figur 2.** Planritning över huvuddäck ombord M/S Calmare Nyckel. Den gulmarkerade hytten (hytt

4) representerar det utrymme där den experimentella mätupställningen installerades och testerna genomfördes

### 2.1.3 Delmoment 2: Vibrationstest



**Figur 3.** Testupställning för delmoment 2 med vibrationsplatta monterad på stativ. Testet genomfördes i tre faser om 100 sekunder vardera: utan person och utan vibrationer, utan person med vibrationer samt med person och vibrationer. Sensordata registrerades via Arduino till Arduino IDE på dator.

## 2.2 Programmering

Arduino IDE användes för att skriva koden, ladda upp den till Arduino-enheten och läsa av sensorns utskrifter under försöken. Valet av denna lösning gjordes för att få en enkel och tydlig datainsamling där sensorns utskrifter kunde följas i realtid och sparas för senare analys.

Koden byggdes upp för att kontinuerligt läsa sensorns seriedata och skriva ut tre centrala delar: om sensorn bedömde att en person fanns i utrymmet, uppskattat avstånd till detekterad person samt om personen bedömdes röra sig eller vara stilla. Utskrift gjordes var 400:e millisekund, vilket gav tillräckligt tät loggning för att följa när detektion uppstod, föll bort eller växlade under respektive scenario.

För att minska mängden felaktiga utslag användes flera enklare filter i koden. Först begränsades giltigt avstånd till 30–900 cm, vilket gjorde att värden utanför det avsedda mätområdet sorterades bort. Därefter användes ett medianfilter över fem mätvärden för att minska enstaka spikar, följt av en utjämning med exponentiellt glidande medelvärde för att göra avståndsserien stabilare. Koden innehöll även en spärr mot alltför stora plötsliga hopp i avstånd, detta för att undvika att enstaka avvikande värden direkt slog igenom i utskriften.

Programmet byggdes också upp kring en enkel bakgrundsinlärning. När miljön bedömdes som tom lärde koden in ett basvärde för den tomma scenen och beräknade samtidigt ett toleransband kring denna nivå. Om ett nytt mätvärde låg nära basvärdet och ingen tydlig rörelse fanns sänktes sannolikheten för att utslaget skulle tolkas som faktisk närvaro. Om mätvärdet däremot avvek från baslinjen eller uppvisade rörelseökning stärktes i stället närvaroindikeringen.

Under programmeringsarbetet testades även att filtrera bort ekon på längre avstånd för att minska felregistreringar nära sensorn. Detta löste dock inte grundproblemet. I stället flyttades detektionen bara till den punkt där filtreringen slutade, vilket innebar att sensorn fortfarande registrerade närvaro men längre ut i mätområdet. Filtringen tog därmed inte bort störningen från vibrationerna utan försköt bara var den uppstod. Detta blev särskilt tydligt i vibrationstesterna, där enklare filtrering inte räckte för att skilja vibration från faktisk mänsklig närvaro.

## 2.3 Utrustning och installation

Datainsamlingen genomfördes med en Arduino Uno Q som kopplades till en mmWave-sensor av typen DFRobot 24 GHz Human Presence Sensing Module, modell SEN0557. Utrustningen kompletterades med dator för avläsning av loggdata, tripodstativ för reproducerbar placering och vibrationsplatta med skumfoam för vibrationstesterna.

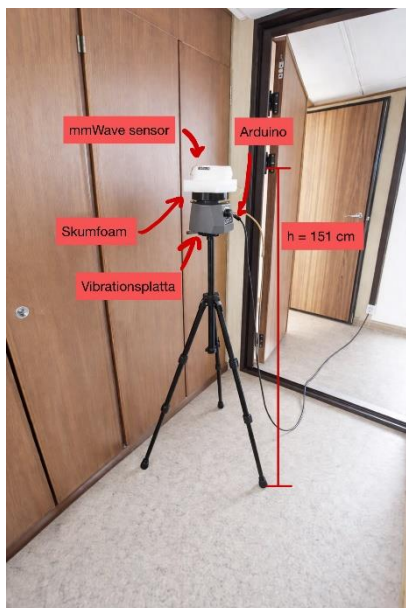
Valet av sensortyp grundades i studiens syfte. Studien skulle inte enbart undersöka tydlig rörelse i hytten, utan även om en person kunde detekteras när personen låg stilla eller endast gjorde mycket små rörelser, samt om sensorn kunde hantera vibrationer som uppstår ombord på fartyg. För det ändamålet bedömdes mmWave vara mer relevant än PIR. PIR-sensorer används i stor utsträckning för rörelsedetektion, men är i högre grad beroende av att en person rör sig genom sensorns synfält. Detta framgår av Raykov et al. (2016), där PIR används för rörelsedetektion och närvaroskattning utifrån

beteendemönster. För denna studie var det däremot viktigt att kunna undersöka om även mycket små rörelser, till exempel andning eller små lägesförändringar, kunde ge utslag i en hyttmiljö.

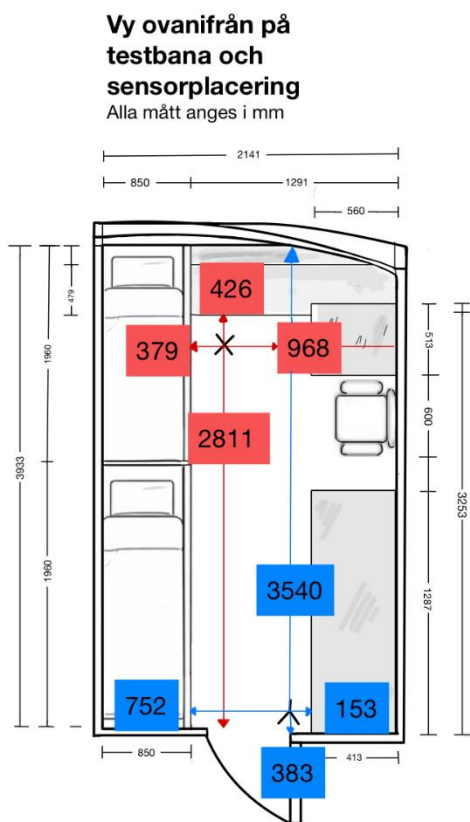
MmWave valdes också eftersom tekniken inte bygger på förändringar i värmestrålning på samma sätt som PIR. Det gjorde sensortypen mer relevant i en maritim säkerhetskontext där brandrök, mörker eller nedsatt sikt kan förekomma. Enligt Texas Instruments (2019) kan mmWave användas i miljöer med begränsad sikt och i mer reflekterande inomhusmiljöer, samtidigt som tekniken ger information om avstånd, rörelse och riktning. Huang et al. (2021) visar dessutom att mmWave kan användas för att detektera och följa personer inomhus i realtid, även när personer står eller sitter stilla. Det låg nära studiens eget behov, eftersom testpersonen i flera scenarier inte rörde sig tydligt.

Den specifika sensor som användes valdes eftersom den är framtagen för närvarodetektering inomhus och enligt Loh Electronics AB (u.å) kan registrera både rörelse, mikrorörelse och avstånd. Sensorn använder FMCW-teknik och har stöd för seriell kommunikation, vilket gjorde den praktiskt lämplig för studien. Enligt Loh Electronics AB (u.å) kan sensorn dessutom användas i olika inbyggda lösningar och är mindre beroende av temperatur, ljus och andra omgivningsfaktorer än värmebaserade sensorer. Detta gjorde den lämplig som testobjekt i en studie där både stillaliggande närvaro och påverkan från vibrationer skulle undersökas.

Sensorenheten monterades på ett tripodstativ där vibrationsplattan är fäst, för att möjliggöra kontrollerad vibration och samtidigt säkerställa en stabil installation utan att påverka hyttens ytor. Tripoden placerades i hytten så att sensorn hade fri sikt mot det definierade testområdet. Installationshöjd hölls 1,51 m vilket var inom 1,5–2,0 m i enlighet med tillverkarens rekommendationer. Placering och riktning dokumenterades med fotografi samt mått från golv och närliggande objekt, där samtliga avstånd mäts med en Hilti PD 42 laserdistansmätare. Laserdistansmätaren är fabrikskalibrerad. Inför mätningarna genomförs en enkel funktionskontroll mot en känd referenssträcka och korrekt referenspunkt tas fram. Möbler och fasta hinder såsom säng, bord, skott och dörrpartier som kan påverka detektionen noteras i protokollet.



Figur 4. Sensoruppställning visar hur de olika komponenterna var placerade



Figur 5. Planritning över testmiljön i hytt. Den blå markeringen visar sensorns placering och uppmätta avstånd i hytten. Den röda markeringen visar den punkt testpersonen gick till, det svartmarkerade X:et, visar den exakta punkt som testpersonen vände vid.

## 2.4 Trovärdighet och avgränsningar

För att stärka studiens tillförlitlighet användes standardiserade scenarier, fast observationsprotokoll och upprepade tester. Sensorplacering och inställningar hölls konstanta och avvikelser dokumenterades direkt. Pauser mellan mätningar och upprepningar minskade risken att enstaka händelser påverkade slutsatserna.

Samtidigt var studien avgränsad till ett experiment ombord på ett fartyg, i en begränsad hyttmiljö och med en specifik sensorenhet. Resultaten visar därför den praktiska funktionen i den testade konfigurationen och bör inte utan vidare generaliseras till andra fartygstyper, andra hyttmiljöer eller andra sensormodeller utan ytterligare tester.

## 2.5 Forskningsetik

Vid planering och genomförande av studien har etisk medvetenhet beaktats i enlighet med grundläggande forskningsetiska principer såsom informationskravet, samtyckeskravet, konfidentialitetskravet och nyttjandekravet (Patel & Davidson, 2019). Fältexperimentet genomfördes ombord på M/S Calmare Nyckel, där en mmWave-sensor testades för att undersöka sensorns förmåga att detektera mänsklig närvaro i en fartygshytt.

Eftersom studien innefattade en person i testmiljön var det viktigt att säkerställa att undersökningen inte utsatte någon individ för fysisk eller psykisk skada eller annan negativ påverkan. I Denscombe (2018) framgår det att inom forskningsetik ska ingen deltagare utsättas för skada till följd av att delta i forskning, vilket innebär att författarna behöver förutse och bedöma eventuella risker redan i planeringsfasen. Utifrån detta genomfördes en riskbedömning inför fältexperimentet för att säkerställa att försöken kunde genomföras under säkra och kontrollerade former (se 2.5.1 Riskbedömning nedan).

En av författarna deltog själv som testperson i experimentet, vilket innebar att inga externa deltagare behövde involveras. Testpersonen var därför fullt informerad om studiens syfte och hur försöken skulle genomföras och deltagandet var frivilligt. Studien fokuserade enbart på sensorns tekniska funktion: detektionstid, avstånd och sensorns respons under olika testförhållanden. Inga personuppgifter eller känsliga uppgifter samlades in. Den insamlade informationen användes enbart inom ramen för detta examensarbete och för studiens forskningsändamål. Därav uppfylldes de fyra kraven i enlighet med Patel och Davidson.

### 2.5.1 Riskbedömning

En riskbedömning genomfördes inför testet för att identifiera möjliga risker för testpersonen i hytten. Riskerna bedömdes utifrån sannolikhet och konsekvens på en femgradig skala, där riskvärdet beräknades som produkten av sannolikhet och konsekvens ( $S \times K$ ). Resultatet visar att samtliga identifierade risker hamnade inom det gröna området i riskmatrisen, vilket innebär att försöket kunde genomföras.

Riskbedömningen utformades i enlighet med Möller et al. (2018) och ISO 31000:2018.

För att minska riskerna vid genomförandet hölls gångytorna i hytten fria från onödiga hinder och sensorn samt stativet placerades så att de i så liten utsträckning som möjligt skulle påverka testpersonens rörelse i utrymmet. Testpersonen informerades i förväg om försöksupplägget och kunde när som helst avbryta sitt deltagande. Ingen känslig persondata samlades in och resultatet redovisades utan uppgifter som kunde kopplas till individen. Sammantaget bedömdes försöket därför kunna genomföras utan att utsätta testpersonen för någon betydande fysisk eller integritetsrelaterad risk.

Fara	Sannolikhet [S]	Konsekvens [K]	Risk
	(1 - 5)	(1 - 5)	$S \times K$
Fall / Snubbelrisk	1	2	2
Slå i säng / möbler	2	2	4
Kollision med sensor / tripod	2	1	2
Klämrisk i hytt dörr	1	3	3
Integritetsrisk	1	2	2

**Figur 6.** Riskbedömning för testpersonen i hytten. Figuren visar identifierade risker samt hur dessa har värderats utifrån sannolikhet och konsekvens på en femgradig skala, där riskvärdet beräknats som  $S \times K$ .

	1	2	3	4	5
1	1	2	3	4	5
2	2	4	6	8	10
3	3	6	9	12	15
4	4	8	12	16	20
5	5	10	15	20	25

**Figur 7.** Riskmatris för bedömning av identifierade risker inför genomförandet av experimentet. Matrisen visar hur risknivån har värderats utifrån sannolikhet och konsekvens, där grönt område motsvarar låg risk, gult område medelhög risk och rött område hög risk.

	Arbetet kan påbörjas
	Arbetet kan påbörjas efter åtgärd
	Arbetet får ej påbörjas

**Figur 8.** Förklaring av riskmatrisens färgkodning. Grönt område anger att arbetet kan påbörjas, gult område att arbetet kan påbörjas efter åtgärd och rött område att arbetet inte får påbörjas.

## 2.6 Litteratursökning

En strukturerad litteratursökning genomfördes för att identifiera tidigare forskning om evakuering på passagerarfartyg, närvarodetektering i inomhusmiljöer samt mmWave-baserad sensorteknik. Sökningen genomfördes främst i Google Scholar, DiVA, ScienceDirect, Scopus och IEEE Xplore. ResearchGate användes i vissa fall som komplement för att få tillgång till fulltext av redan identifierade publikationer, men inte som huvudsaklig vetenskaplig databas.

Sökningarna avgränsades i första hand till publikationer från 2022 och framåt för att fånga den senaste utvecklingen inom sensorteknik, närvarodetektering och maritim säkerhet. Äldre källor inkluderades när de bedömdes vara centrala för studiens teoretiska eller kontextuella grund, exempelvis inom evakuering på passagerarfartyg, fartygsmiljö, vibrationer eller grundläggande beskrivningar av mmWave-teknik. Urvalet avgränsades vidare till publikationer på engelska och svenska samt till studier med tydlig relevans för passagerarfartyg, maritima inomhusmiljöer, radarburen närvarodetektering eller sensorteknik i komplexa inomhusmiljöer.

Exempel på använda sökord var passenger ships, emergency evacuation, passenger ship safety, mmWave, millimeter wave radar, occupancy detection, human presence detection, device-free detection, FMCW radar, ship vibration, vibration interference, sensor robustness, radar interference, ship cabin detection och situational awareness onboard.

## **2.7 Användning av AI-stöd**

Google Scholars AI-funktion användes som stöd vid litteratursökningen för att formulera och förfina sökfrågor samt identifiera relevanta nyckelord och synonymer. AI-stödet användes enbart för sökstrategin; urval av källor, kvalitetsgranskning och tolkning av innehåll genomfördes av författarna. Sökresultaten bedömdes utifrån relevans för studiens syfte och koppling till mmWave-teknik, närvarodetektering, fartygsmiljö, vibrationer och sensorteknik i inomhusmiljöer.

ChatGPT användes även som stöd i arbetet med att ta fram och utveckla den kod som användes för att läsa av sensordata. AI-stödet användes för att generera kodförslag, justera struktur och testa möjliga lösningar för filtrering och utskrift av data. Den slutliga koden granskades, anpassades och testades av författarna utifrån studiens syfte och den utrustning som användes. ChatGPT användes därmed som ett tekniskt hjälpmedel i programmeringsarbetet, medan val av funktioner, bedömning av kodens lämplighet och tolkning av resultaten genomfördes av författarna.

## **2.8 Arbetsfördelning mellan författarna**

Författarna har gemensamt planerat upplägg och genomfört fältstudien ombord M/S Calmare Nyckel samt gemensamt sammanställt och tolkat resultaten. Astrid Engdal Lundberg har haft huvudansvar för bakgrund och metod och Edwin Lagerström har haft huvudansvar för teori, programmering, resultat. Båda har reviderat samtliga delar och ansvarar gemensamt för rapportens innehåll.

# **Resultat**

## **3.1 Resultat av fältexperiment**

Resultaten redovisas här utifrån fältexperimentets tre huvudscenarier: in- och utpassage i hytten, liggande minimal rörelse utan vibration, liggande minimal rörelse med återkommande rörelse samt vibrationstest. Redovisningen bygger på sensorloggarna från

Arduino/mmWave-systemet i kombination med manuellt noterade tidpunkter för när testpersonen gick in i hytten, lade sig ned, ändrade position respektive lämnade rummet.

För att göra loggarna jämförbara har fokus lagts på tre utfall: om sensorn registrerade person eller inte, hur stabil registreringen var över tid samt vilka avstånd som rapporterades under respektive scenario. I resultaten används begreppet bortfall för perioder där sensorn tillfälligt övergår till ”ingen person” trots att testpersonen fortfarande befinner sig i hytten, och falsklarm för perioder där sensorn registrerar person trots att rummet enligt observationsprotokollet är tomt.

### 3.2 Resultat utan vibrationer

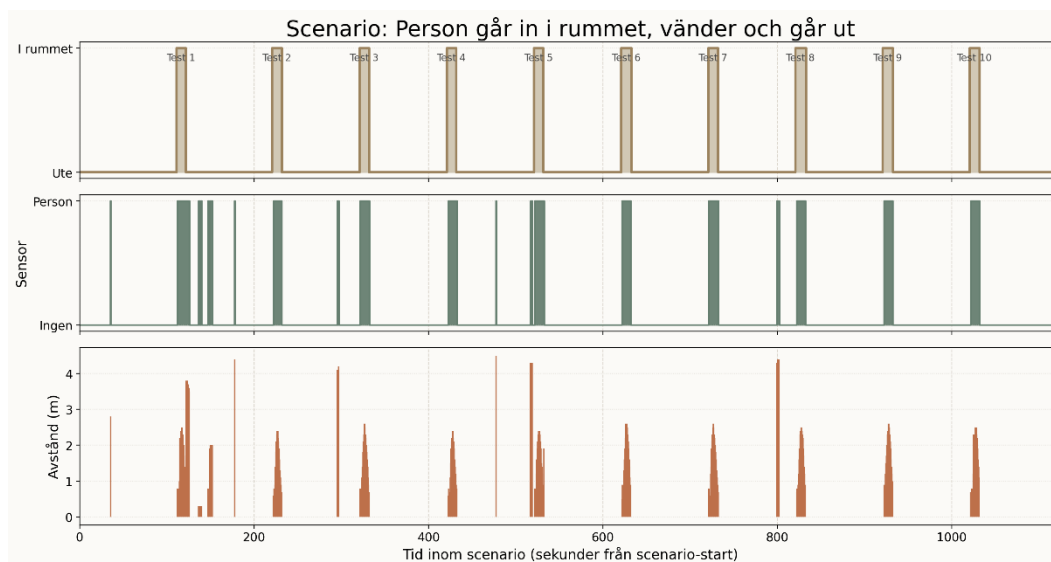
Vid scenariot där testpersonen gick in i hytten, vände i rummet och därefter gick ut igen registrerade sensorn i huvudsak förändringen mellan tomt rum och närvaro. De manuellt noterade passagera visar att varje vistelse i rummet var kort och upprepades tio gånger. I detta scenario bestod testomgången av ett sammanhängande förlopp där testpersonen gick in i hytten, rörde sig en bit in i rummet, vände och därefter lämnade hytten.

Variabel	Resultat
Antal testomgångar	10
Förlopp inom testomgången	Inpassage, rörelse i rummet, vändning och utpassage i ett sammanhängande förlopp
Median registrerat avstånd vid personindikering	1,9 m
Variationsbredd registrerat avstånd	0,3–4,5 m
Övergripande registreringsmönster	Korta, sammanhängande personindikeringar i anslutning till in- och utpassage
Särskilda iakttagelser	Registreringarna i början och slutet av förloppet sammanföll huvudsakligen med inpassage respektive utpassage

**Tabell 1.** Sammanfattning av resultat för scenario A: in- och utpassage i hytten

I loggarna framgår att systemet under flera av testomgångarna växlade från ”ingen person” till ”person” i nära anslutning till att testpersonen gick in i rummet och därefter tillbaka till ”ingen person” när personen lämnat hytten. De registreringar som låg i början

och slutet av respektive testomgång sammanföll därmed med inpassage respektive utpassage inom samma förlopp.



**Figur 9.** Sensorregistrering under scenariot där testpersonen går in i hytten, vänder i rummet och därefter går ut igen.

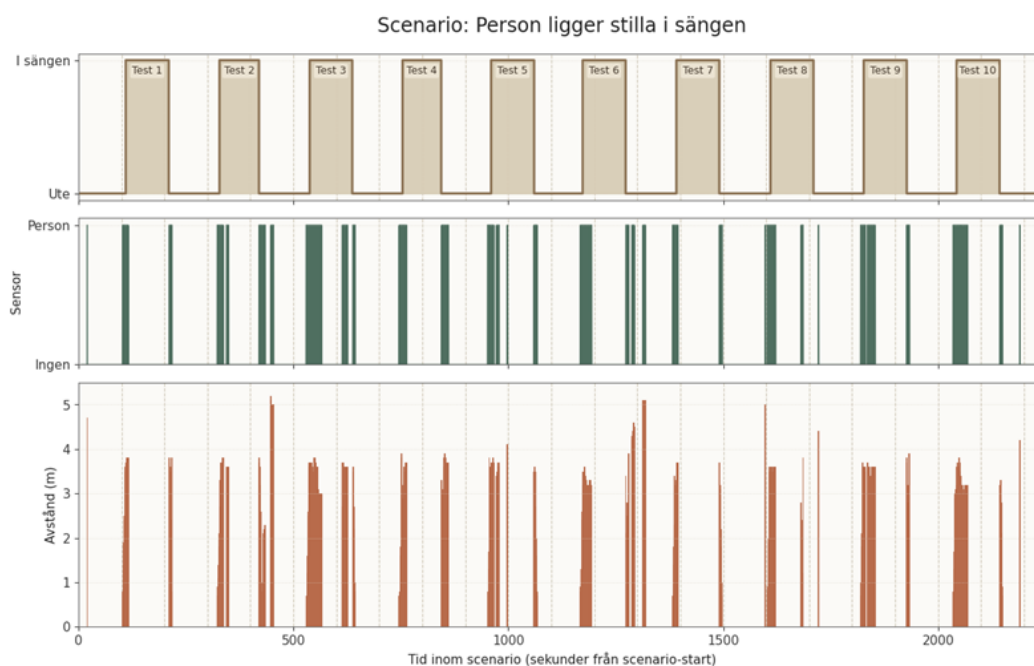
När testpersonen låg stilla i sängen kunde sensorn registrera närvaro, men registreringen var inte stabil under hela mätperioderna. I de manuellt noterade testomgångarna ingick ett sammanhängande förlopp där testpersonen gick in i hytten, lade sig i sängen, låg kvar under testperioden och därefter lämnade rummet. I loggarna framkom flera kortare avbrott där systemet tillfälligt återgick till ”ingen person” trots att testpersonen enligt observationsprotokollet fortfarande befann sig i hytten.

Variabel	Resultat
Antal testomgångar	10
Förlopp inom testomgången	Inpassage, nedläggning i sängen, liggande stilla och utpassage i ett sammanhängande förlopp
Median registrerat avstånd vid personindikering	3,4 m
Variationsbredd registrerat avstånd	0,3–5,2 m

Övergripande registreringsmönster	Fragmenterad detektion med återkommande bortfall under liggfasen
Särskilda iakttagelser	Registrering förekom efter inpassage och nedläggning i sängen men avbröts återkommande innan utpassage

**Tabell 2.** Sammanfattning av resultat för scenario B: liggande stilla i sängen

Figur 10 visar att sensordetektionen i flera testomgångar bestod av kortare serier av registrerade utslag, avbrutna av perioder där sensorn inte registrerade person trots att testpersonen låg kvar i hytten. Under perioden som testpersonen låg i sängen förekom alltså flera avbrott i personindikeringen. Avståndsvärdena låg huvudsakligen omkring 3–4 meter under de perioder då sensorn registrerade närvaro, vilket överensstämmer relativt väl med det uppmätta avståndet mellan sensorn och sängen. Samtidigt förekom enstaka toppar upp mot cirka 5 meter samt kortare perioder utan registrerat avstånd.



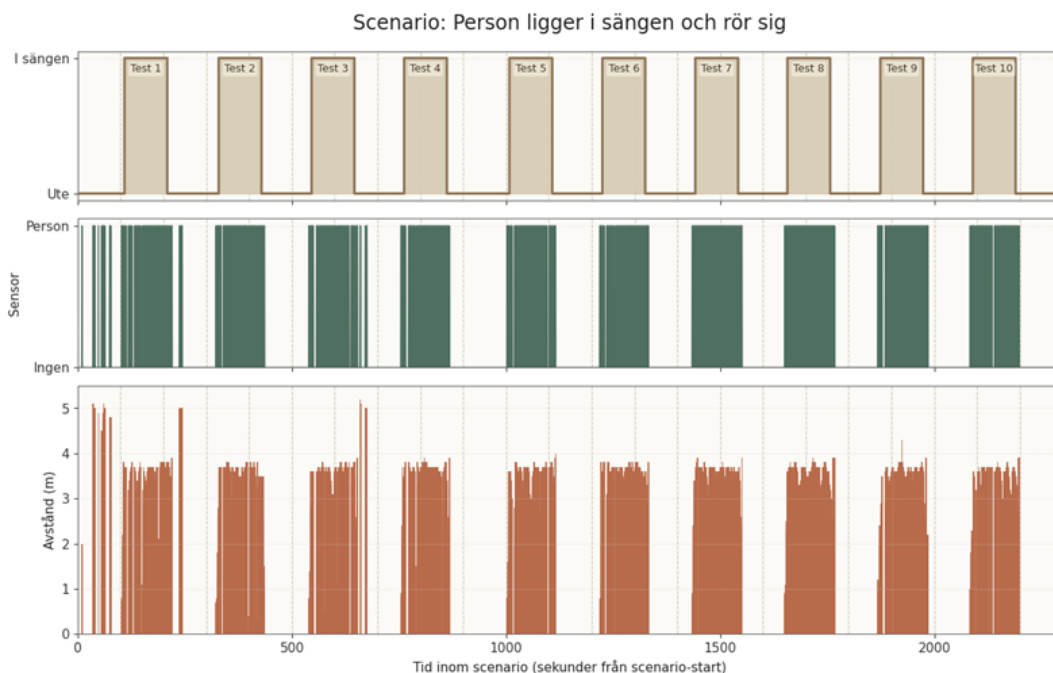
**Figur 10.** Jämförelse mellan förväntad närvaro, faktisk sensordetektion och rapporterat avstånd när testpersonen ligger stilla i sängen.

När testpersonen låg i sängen och ändrade position var tionde sekund registrerade sensorn längre sammanhängande perioder av ”person” under den tiden personen låg i sängen. Även här ingick inpassage, nedläggning i sängen, vistelse i rummet och utpassage i samma testomgång, men närvaroundikeringen låg under större delar av liggfasen kvar på ”person”, och loggarna följde de manuellt noterade testperioderna tydligare.

Variabel	Resultat
Antal testomgångar	10
Förlopp inom testomgången	Inpassage, nedläggning i sängen, återkommande rörelse under liggfasen och utpassage i ett sammanhängande förlopp
Median registrerat avstånd vid personindikering	3,6 m
Variationsbredd registrerat avstånd	0,3–5,2 m
Övergripande registreringsmönster	Mer sammanhängande registrering än vid helt stillaliggande närvaro
Särskilda iakttagelser	Personindikeringen följde liggfasen tydligare, medan kortare övergångar förekom i början och slutet av förloppet

**Tabell 3.** Sammanfattning av resultat för scenario C: liggande i sängen med återkommande rörelse

Figur 11 visar att sensorn registrerade ”person” under större delen av den period då testpersonen låg i sängen och ändrade position med återkommande intervall. Avståndsregistreringen låg huvudsakligen inom intervallet cirka 3–4 meter.



**Figur 11.** Jämförelse mellan förväntad närvaro, faktisk sensordetektering och rapporterat avstånd när testpersonen ligger i sängen och rör sig.

### 3.3 Resultat vid vibrationstest

Resultaten från vibrationstestet redovisas utifrån testets tre faser. Sammanställningen visar om person fanns i rummet, om vibration tillfördes, andel loggrader med personindikering samt registrerade avståndsvärden. Redovisningen används för att visa hur sensors utslag såg ut i respektive fas.

Fas	Varaktighet	Person i rummet	Vibration	Person-indikering	Medianavstånd	Variationsbredd
Fas 1	100 s	Nej	Nej	Sporadiska utslag förekom	-	-
Fas 2	100 s	Nej	Ja	99,5 % av loggraderna	0,5 m	0,3–0,7 m
Fas 3	100 s	Ja	Ja	99 % av loggraderna	0,5 m	0,5–0,5 m

**Tabell 4.** Sammanställning av vibrationstestets tre faser

I fas 1 förekom endast sporadiska utslag. I fas 2 registrerades personindikering i 99,5 % av loggraderna, trots att ingen person befann sig i hytten. I fas 3 registrerades

personindikering i 99 % av loggraderna när testpersonen befann sig i hytten samtidigt som vibration tillfördes. Medianavståndet var 0,5 meter i både fas 2 och fas 3.

### **3.4 Sammanfattning av huvudsakliga resultat**

I fältexperimentet registrerades olika sensorutslag beroende på scenario. Vid in- och utpassage genom hytten växlade sensorn i flera testomgångar från ”ingen person” till ”person” i anslutning till att testpersonen gick in i hytten. När testpersonen lämnade hytten växlade sensorn därefter tillbaka till ”ingen person”. De registreringar som låg i början och slutet av respektive testomgång sammanföll huvudsakligen med inpassage respektive utpassage. I detta scenario registrerades ett medianavstånd på 1,9 meter vid personindikering, med en variationsbredd på 0,3–4,5 meter.

När testpersonen låg stilla i sängen registrerade sensorn närvaro under delar av testperioderna. Registreringen var dock inte sammanhängande under hela mätperioden. I loggarna förekom återkommande perioder där sensorn växlade till ”ingen person”, trots att testpersonen enligt observationsprotokollet fortfarande befann sig i hytten. Medianavståndet vid personindikering var 3,4 meter och variationsbredden var 0,3–5,2 meter.

När testpersonen låg i sängen och ändrade position var tionde sekund registrerade sensorn flera sammanhängande perioder med indikeringen ”person”. Även här ingick inpassage, nedläggning i sängen, vistelse i rummet och utpassage i samma testomgång. Medianavståndet vid personindikering var 3,6 meter och variationsbredden var 0,3–5,2 meter. Kortare övergångar förekom i början och slutet av förloppet.

Vid vibrationstestet genomfördes tre faser. I fas 1 befann sig ingen person i hytten och ingen vibration tillfördes. Under denna fas förekom endast sporadiska utslag. I fas 2 befann sig ingen person i hytten, men vibration tillfördes. Under denna fas registrerade sensorn ”person” i 99,5 % av loggraderna. Medianavståndet var 0,5 meter och variationsbredden var 0,3–0,7 meter. I fas 3 befann sig testpersonen i hytten samtidigt som vibration tillfördes. Under denna fas registrerade sensorn ”person” i 99 % av loggraderna. Medianavståndet var 0,5 meter och variationsbredden var 0,5–0,5 meter.

Sammanfattningsvis redovisar resultaten att sensorn registrerade personindikeringar i de scenarier där testpersonen befann sig i hytten. Resultaten redovisar också att bortfall

förekom under scenariot med stillaliggande minimal rörelse, samt att personindikeringar registrerades under fas 2, där vibration tillfördes utan att någon person befann sig i hytten.

## Analys

Resultaten visar att skillnaderna mellan scenarierna i hög grad kan förstås utifrån vilken typ av rörelse sensorn hade att registrera. I scenariot med in- och utpassage genom hytten bestod närvaron av tydliga förflyttningar under en kort tidsperiod. Det gav en markant förändring mellan tomt rum och faktisk närvaro, vilket gjorde det lättare för sensorn att registrera när testpersonen kom in i rummet och när personen lämnade det. De enstaka felregistreringar som förekom i övergångarna förändrar inte huvudmönstret, utan visar snarare att systemet var som känsligast när rörelsen snabbt växlade mellan frånvaro och närvaro. Detta ligger nära det användningsområde som Huang et al. (2021) beskriver för mmWave i inomhusmiljöer, där tekniken fungerar väl när den reflekterade signalen förändras tydligt genom mänsklig rörelse. Även Garcia (2018) framhåller att mmWave lämpar sig för att registrera rörelse och förändringar i position, vilket gör det rimligt att just detta scenario gav den mest lättolkade responsen.

Ett annat mönster framträdde när testpersonen låg helt stilla i sängen. Resultaten visar att sensorn fortfarande kunde registrera närvaro, men att registreringen blev mer fragmenterad och innehöll återkommande bortfall trots att personen fortfarande befann sig kvar i hytten. Det innebär att sensorn i den aktuella uppställningen inte helt förlorade förmågan att uppfatta en stillaliggande människa, men att den hade svårt att upprätthålla en stabil närvaroundikering över hela vistelsen. Detta är en viktig analytisk iakttagelse, eftersom studiens praktiska relevans bygger på situationer där en person kan vara passiv, skadad, desorienterad eller av annan anledning inte röra sig tydligt. Garcia (2018) beskriver att mmWave i teorin kan registrera mycket små rörelser, såsom andning och andra mikrorörelser, men resultaten i denna studie visar samtidigt att en sådan teoretisk möjlighet inte automatiskt innebär stabil funktion i en verklig fartygshytt. Det uppstår därmed en tydlig skillnad mellan att sensorn vid enstaka tillfällen kan fånga upp närvaro och att den faktiskt kan följa kvarvarande närvaro robust under hela mätperioden.

När testpersonen i stället gav upphov till återkommande små rörelser blev detektionen tydligare och mer sammanhängande än vid helt stillaliggande närvaro. Sensorn följde då testupplägget bättre och bortfallen minskade, vilket talar för att även mindre, regelbundna rörelser gav ett mer användbart signalunderlag än ett nästan helt statiskt tillstånd.

Resultatet ligger i linje med hur Buyukakkaslar et al. (2024) beskriver skillnaden mellan enkel rörelsedetektering och faktisk närvarodetektering. De betonar att närvarodetektering ställer högre krav eftersom systemet måste kunna indikera att en person fortfarande finns kvar i ett utrymme även när aktiviteten är mycket låg. I den här studien tyder resultaten på att sensorn rörde sig någonstans mellan dessa två funktioner. Den kunde hantera tydlig rörelse väl och fungerade bättre när små rörelser förekom regelbundet, men den blev märkbart mindre stabil när personen låg helt stilla. Det innebär att tekniken i den testade uppställningen framstår som mer användbar för att registrera låg aktivitet än för att säkert bekräfta helt stillaliggande närvaro under längre tid.

I relation till studiens maritima kontext blir detta särskilt betydelsefullt. Som Brown (2016) visar skiljer sig hyttområden från publika utrymmen i evakueringssituationer, bland annat därför att responstiderna är längre och miljön i sig är mer avgränsad och svåröverskådlig. I en sådan miljö räcker det inte att en sensor endast fungerar väl när en person rör sig tydligt. Ur ett säkerhetsperspektiv är därför närvarodetektering den mest relevanta funktionen, eftersom besättningen behöver veta om en person kan finnas kvar i hytten även när tydlig rörelse saknas. Teknikens värde ligger snarare i om den kan bidra med information också när personen inte syns, inte svarar och inte rör sig mer än minimalt. Resultaten i denna studie tyder därför på att mmWave har en viss potential i hyttmiljö, men också att användbarheten blir begränsad just i det tillstånd som är mest säkerhetskritiskt, nämligen när en människa finns kvar i rummet utan tydlig rörelse.

Vibrationstestet är den tydligaste indikationen på att sensors utslag inte enbart påverkades av mänsklig närvaro. I fas 2 registrerade sensorn personindikeringar trots att ingen person befann sig i hytten. Detta indikerar att vibrationerna i uppställningen kunde ge utslag som liknade närvaro i sensorloggen. I fas 3 registrerade sensorn också personindikeringar när testpersonen befann sig i hytten samtidigt som vibration tillfördes. Eftersom fas 2 redan gav nästan kontinuerlig personindikering utan person i rummet blir det svårt att avgöra hur stor del av indikeringen i fas 3 som berodde på testpersonen och hur stor del som berodde på vibrationerna. Detta innebär att vibrationerna inte bara skapade falsklarm i tom hytt, utan också försvårade tolkningen av sensors utslag när en person faktiskt befann sig i rummet.

Detta resultat är också förenligt med den teoretiska utgångspunkten att mmWave bygger på att registrera mycket små förändringar i den reflekterade signalen. När sådana förändringar uppstår på grund av mekanisk vibration i installationen eller omgivningen

blir det svårare att skilja mänsklig närvaro från andra rörelser i miljön. I tidigare forskning lyfts just detta som en central osäkerhet i fartygsmiljö, eftersom strukturvibrationer, metalliska ytor och kompakt rumsutformning kan skapa störningar som inte förekommer på samma sätt i andra typer av inomhusrum. Resultaten visar därför inte bara att vibrationer påverkade sensorn, utan att de i den testade uppställningen utgjorde den tydligaste begränsningen för praktisk användbarhet. Den enklare filtrering som provades i studien var inte tillräcklig för att hantera dessa störningar, vilket innebär att problemet inte framstår som marginellt utan som grundläggande för systemets funktion i en vibrerande miljö.

Sammantaget visar analysen att sensorn fungerade bäst när testpersonen rörde sig tydligt eller gav upphov till återkommande små rörelser, medan funktionen blev mindre stabil när personen låg helt stilla. Vibrationstestet visar samtidigt att den största begränsningen inte låg i själva förmågan att registrera mänsklig närvaro i ett stillastående rum, utan i svårigheten att upprätthålla tillförlitlig detektion när systemet utsattes för störningar som är typiska för fartygsdrift. I relation till studiens frågeställningar innebär detta att mmWave-sensorn i den testade hyttmiljön kunde detektera närvaro utan vibrationer, men att prestandan varierade tydligt mellan olika rörelsetillstånd och försämrades kraftigt när vibrationer tillfördes. De vanligaste begränsningarna uppstod därmed dels vid helt stillaliggande närvaro, där bortfall förekom, dels under vibrationspåverkan, där falsklarm dominerade. Analysen pekar därför mot att tekniken har potential som stöd i hyttmiljö, men att den i den aktuella uppställningen ännu inte var tillräckligt robust för att ensam utgöra ett tillförlitligt underlag i en verklig nödsituation.

## Diskussion

Resultaten från studien tillför ett fältbaserat perspektiv på mmWave-baserad närvarodetektering i fartygshytt. Tidigare forskning har visat att mmWave-teknik kan användas för kontaktlös närvarodetektering och för att registrera små rörelser, men det finns fortfarande begränsad kunskap om hur tekniken fungerar i maritima inomhusmiljöer. Genom att undersöka sensorns funktion vid rörelse, minimal rörelse och vibrationspåverkan bidrar studien med kunskap om både teknikens praktiska möjligheter och dess begränsningar i den testade hyttmiljön. Särskilt resultaten kring bortfall och falsklarm visar vilka krav som ställs på robusthet om mmWave ska användas som tekniskt stöd för närvarodetektering ombord.

## 5.1 Resultatet i relation till tidigare forskning

Resultaten visar att sensorn uppvisade högst stabilitet vid tydlig förflyttning och återkommande positionsförändringar. Under dessa förutsättningar var registreringen mer sammanhängande och kunde tydligare kopplas till faktisk närvaro i rummet. Detta ligger delvis i linje med Huang et al. (2021), där mmWave-teknik användes för inomhusdetektion och personsparning. Deras studie visar att tekniken är användbar för att registrera rörelse- och positionsförändringar inomhus. I föreliggande studie framträder ett liknande mönster, eftersom sensorn uppvisade högst stabilitet när testpersonen rörde sig tydligt eller regelbundet ändrade position. Resultatet tyder därmed på att sensorns detektion blev mer tillförlitlig när närvaron gav upphov till tydligare förändringar i den reflekterade signalen.

Vid mycket begränsad rörelse förändrades resultatbilden. Sensorn kunde fortfarande registrera närvaro när testpersonen låg stilla, men indikeringen var mindre stabil och innehöll återkommande bortfall. Resultaten i föreliggande studie visar därmed att närvarodetektering inte enbart handlar om att registrera närvaro, utan även om att upprätthålla en stabil indikering vid mycket begränsad rörelse. Detta indikerar att den testade uppställningen var mer tillförlitlig vid förekomst av rörelse än när närvaron främst bestod av mycket små mikrorörelser. Det är betydelsefullt i relation till studiens syfte, eftersom en säkerhetskritisk situation ombord kan innebära att en person finns kvar i en hytt utan att röra sig tydligt.

Det mest avgörande resultatet framkom vid vibrationstestet. Under detta test uppstod omfattande falsklarm, trots att ingen person befann sig i rummet. Detta indikerar att vibrationerna inte enbart försämrade precisionen, utan påverkade signalen på ett sätt som gjorde sensorns närvaroindikering svår att tolka. Resultatet kan förstås i relation till Xiong et al. (2018), som visar att FMCW-radar kan användas för vibrationsmätning genom analys av fasförändringar i radarsignalen. Detta är relevant för föreliggande studie eftersom det visar att vibrationer kan ge upphov till signalvariationer som ett FMCW-baserat radarsystem kan registrera. Vibrationer kan därmed ge upphov till signalvariationer som riskerar att sammanblandas med mänsklig närvaro. Liu et al. (2022) visar att mobila fartygsmiljöer innebär särskilda utmaningar för trådlös rörelsesparning av människor, medan Wu et al. (2024) framhåller vibrationer som en central del av fartygsmiljön. Resultaten i föreliggande studie ligger i linje med detta, eftersom de visar att fartygskontexten ställer högre krav på sensorernas robusthet än mer stationära

inomhusmiljöer. Sensorns funktion under stabila förhållanden kan därmed inte utan vidare överföras till en miljö där både sensorn och omgivningen påverkas av mekaniska störningar.

Sammantaget visar detta att studien både bekräftar och nyanserar tidigare forskning. Studien bekräftar mmWave-teknikens potential för närvarodetektering i små inomhusutrymmen. Samtidigt tydliggör resultaten att fartygsspecifika störfaktorer, särskilt vibrationer, har stor betydelse för teknikens tillförlitlighet som stöd ombord. Resultaten kan även kopplas till forskning om dataunderstödd evakueringsanalys på passagerarfartyg, där tillförlitlig information om kvarvarande närvaro i hytter kan vara en viktig förutsättning för framtida beslutsstöd vid nödsituationer ombord (Zhang et al., 2025). Studiens viktigaste bidrag ligger därmed inte enbart i att visa att sensorn kunde detektera närvaro, utan också i att synliggöra vilka begränsningar som påverkar den testade uppställningens praktiska användbarhet.

## 5.2 Metoddiskussion

Valet av fältexperiment var lämpligt eftersom studien syftade till att undersöka hur sensorn fungerade i en verklig fartygsmiljö och inte i en idealiserad laboratoriemiljö. Patel och Davidson (2019) beskriver experiment som en lämplig metod när forskaren vill pröva hur en eller flera variabler påverkar ett utfall under så kontrollerade former som möjligt. I denna studie gjorde det möjligt att jämföra sensorns funktion mellan olika rörelsetillstånd samt mellan test utan vibrationer och test med vibrationer.

En styrka i upplägget var att procedur, tidsintervall, sensorplacering och loggning hölls lika mellan försöken. Delmoment 1 upprepades dessutom tio gånger per scenario, vilket gjorde det lättare att avgöra om återkommande utslag var systematiska eller tillfälliga. Zhang et al. (2022) framhåller också att utvärdering av sensorteknik kräver tydliga testförhållanden och reproducerbara upplägg, vilket gör denna typ av standardisering relevant i relation till studiens syfte. Samtidigt var resultaten bundna till den testade uppställningen. Studien omfattade en sensortyp, en huvudsaklig sensorkonfiguration och en avgränsad hyttmiljö, vilket innebär att resultaten främst visar hur just denna uppställning fungerade. Azizi et al. (2021) visar att sensorplacering påverkar tillförlitligheten i närvarodetektering, vilket gör att resultaten måste förstås i relation till hur sensorn var monterad och riktad i rummet.

Sensorplaceringen utgör därför en metodologisk faktor som kan ha påverkat resultatet. Sensorn placerades med utgångspunkt i tillverkarens rekommenderade installationshöjd på 1,5–2,0 meter. Eftersom hyttens takhöjd var cirka 2 meter fanns det begränsade möjligheter att placera sensorn högre inom det rekommenderade intervallet. Den valda höjden, 1,51 meter, låg därför inom rekommendationen och valdes för att ge så god sikt som möjligt mot testområdet, samtidigt som fasta objekt i hytten kunde undvikas i största möjliga mån. Samtidigt kan det inte uteslutas att en annan höjd, riktning eller placering i förhållande till säng, väggar och fast inredning hade kunnat påverka detektionsstabiliteten. Resultaten bör därför förstås som knutna till den testade installationen, snarare än som ett generellt mått på sensorns funktion oberoende av placering.

En ytterligare begränsning gäller vibrationstestet. Den använda uppställningen gjorde det möjligt att pröva vibration som störfaktor på ett kontrollerat sätt, men den motsvarade inte fullt ut de vibrationer som uppstår under verklig gång till sjöss. Vibrationsnivåerna operationaliserades med utgångspunkt i riktvärden enligt ISO 20283-5:2016, vilka avser bedömning av vibrationer med hänsyn till boendekomfort och när personer ombord kan börja uppleva vibrationerna som störande. Dessa nivåer ska därför inte förstås som vibrationer som alla fartyg har kontinuerligt, eller som absoluta gränsvärden för vilka vibrationer som får förekomma. I verklig drift varierar vibrationer över tid beroende på exempelvis fart, maskinbelastning, sjötillstånd, fartygstyp och var ombord mätningen görs. De användes i stället som tekniska referensnivåer för att skapa ett kontrollerat och jämförbart testförhållande.

Det är också viktigt att vibrationstestet förstås i relation till den sensortyp som användes. Som tidigare beskrivits bygger den testade sensorn på FMCW-radar, vilket gör vibrationstestet särskilt relevant för tolkningen av resultaten. Xiong et al. (2018) visar att FMCW-radar kan användas för vibrationsmätning genom att följa fasförändringar i den reflekterade signalen. Det innebär att vibrationerna inte bara fungerade som en yttre störning, utan också kan ha registrerats av sensorn som rörelse. Detta påverkar hur vibrationstestets resultat bör tolkas, eftersom den mekaniska påverkan i testuppställningen kan ha bidragit till registreringar som inte motsvarade faktisk mänsklig närvaro. Resultatet innebär därför inte nödvändigtvis att mmWave-tekniken saknar användbarhet i fartygsmiljö, utan snarare att både den fysiska installationen och signalbehandlingen behöver anpassas till en miljö där vibrationer förekommer. Mer

vibrationsdämpande montering, stabilare infästning, placering på mindre vibrationsutsatta ytor och mer avancerad filtrering är därför centrala åtgärder för att minska risken för falska detektioner.

Även den fysiska miljön i hytten har betydelse för hur vibrationstestet bör tolkas. Som tidigare framhållits visar Brown (2016) att fartygsmiljön skiljer sig från vanliga byggnader genom att den är både metallisk och rörlig, vilket kan påverka hur tekniska system fungerar. För föreliggande studie är detta särskilt relevant eftersom mmWave-sensorn bygger på reflekterade radiosignaler. I den aktuella hytten kan den begränsade utformningen och de reflekterande materialen ha skapat en mer komplex signalmiljö än i öppnare planlösning. Detta innebär att resultaten inte enbart speglar sensorns tekniska kapacitet, utan även hur den specifika fartygsmiljön påverkar sensorns möjlighet att skilja mellan människa, omgivning och mekanisk rörelse. Resultaten visar därför främst att vibration var en tydlig påverkansfaktor i den testade konfigurationen, snarare än exakt hur stor påverkan skulle vara under verklig drift.

Det finns även källkritiska aspekter som påverkar hur metoden och resultaten bör bedömas. Studien bygger främst på vetenskapliga artiklar, vilket stärker underlaget, men flera av dessa är genomförda i laboratoriemiljöer eller i landbaserade byggnader. Det begränsar hur direkt resultaten kan överföras till fartygshytter med metalliska ytor, trånga utrymmen och vibrationer. Standarder, föreskrifter och tillverkarens dokumentation har därför främst använts för att beskriva testmiljö, vibrationsnivåer och sensorns tekniska specifikationer, inte som självständiga bevis för faktisk funktion i fartygsmiljö. Sammantaget var metoden väl anpassad till studiens syfte eftersom den gjorde det möjligt att undersöka sensorns funktion i en verklighetsnära maritim miljö under standardiserade former. Samtidigt behöver resultaten tolkas med försiktighet eftersom de är knutna till en specifik sensorkonfiguration, en specifik hyttmiljö och en förenklad modell av vibrationer.

### **5.3 Förslag till fortsatt forskning**

Fortsatt forskning behöver undersöka fler installationslösningar och fler sensorkonfigurationer i liknande miljöer. Eftersom placeringen av sensorer påverkar utfallet, vilket Azizi et al. (2021) visar, finns det skäl att pröva hur höjd, riktning, monteringsätt och relationen till fasta objekt förändrar sensorns funktion i hyttmiljö. Det är också relevant att undersöka om en annan placering kan minska både bortfall vid låg

rörelse och känslighet för mekanisk påverkan. I detta sammanhang bör även olika former av vibrationsdämpande fästen eller mer fasta installationer undersökas, eftersom resultaten indikerar att vibrationer kan påverka sensorns signal och ge upphov till falska närvaroindikeringar. Sådana tester skulle kunna visa om vibrationernas påverkan främst kan minskas genom bättre mekanisk isolering av sensorn, eller om störningen också beror på rörelser i omgivande föremål och reflekterande ytor.

Det finns också ett tydligt behov av studier under verklig gång till sjöss. Först då går det att närmare bedöma hur kombinationen av vibration, plattformsrörelse och den fysiska fartygsmiljön påverkar närvarodetekteringen över tid. I nästa steg blir det även relevant att undersöka om tekniken främst lämpar sig för enkel närvaroindikering eller om den kan utvecklas vidare mot mer tillförlitlig lokalisering. Resultaten i denna studie tyder främst på potential för det första, medan det andra ställer högre krav på stabilitet än vad den testade uppställningen visade.

Comai et al. (2025) visar att olika tekniker för inomhusdetektion har olika egenskaper och begränsningar. Resultaten här pekar i samma riktning, eftersom de visar att mmWave inte bör bedömas isolerat från den miljö där tekniken ska användas. Därför framstår även kombinationer med andra datakällor som ett relevant fortsatt spår, särskilt om målet är att få fram ett mer stabilt stöd i säkerhetsarbetet ombord. Det fortsatta arbetet handlar därmed inte bara om att förbättra en sensor, utan om att undersöka vilken systemlösning som faktiskt kan fungera i en maritim och störningspåverkad miljö.

## Slutsats

Syftet med studien var att undersöka hur mmWave-baserad närvarodetektering kan användas i maritima inomhusmiljöer ombord på passagerarfartyg, med särskilt fokus på hur vibrationer påverkar sensorernas funktion och prestanda. Resultaten visar att den testade sensorn kunde registrera närvaro i hyttmiljö under vibrationsfria förhållanden, men att funktionen varierade tydligt beroende på vilket rörelsetillstånd som förekom. Sensorn fungerade bäst när testpersonen rörde sig tydligt eller gav upphov till återkommande små rörelser. När testpersonen låg helt stilla kunde närvaro fortfarande registreras, men detektionen blev mer ojämn och innehöll återkommande bortfall. Det innebär att sensorn i den testade uppställningen hade lättare att följa aktivitet än att stabilt bekräfta kvarvarande närvaro vid mycket låg rörelse.

I relation till den första frågeställningen visar studien därmed att mmWave-sensorn hade en fungerande grundförmåga för närvarodetektering i hyttmiljö, men att denna förmåga inte var lika stabil i alla scenarier. Detektionen var tydligast vid in- och utpassage samt vid återkommande små rörelser i sängen, medan helt stillaliggande närvaro gav fler bortfall och mindre sammanhängande registrering. Det innebär att tekniken i sin nuvarande form framstår som mer tillförlitlig när någon form av rörelse fortfarande förekommer än när närvaron enbart består av mycket små mikrorörelser.

I relation till den andra frågeställningen visar resultaten att vibrationer hade en mycket stor påverkan på sensorprestandan. När vibration tillfördes uppstod omfattande falsklarm, trots att ingen motsvarande förändring i faktisk närvaro skedde i rummet. Detta var studiens tydligaste resultat. Problemet handlade därför inte enbart om en mindre försämring av precisionen, utan om att sensorn i den testade konfigurationen fick svårt att skilja mellan mänsklig närvaro och mekanisk påverkan i omgivningen. Eftersom vibrationer är en naturlig del av fartygsmiljön innebär detta att teknikens praktiska användbarhet ombord i hög grad beror på hur väl denna störningskänslighet kan hanteras.

I relation till den tredje frågeställningen framträder två huvudsakliga begränsningar. Den ena uppstod när testpersonen låg helt stilla, då detektionen blev mindre stabil över tid och återkommande bortfall förekom. Den andra, och mest avgörande, uppstod under vibrationspåverkan, då falsklarm dominerade registreringen. Det betyder att den testade sensorn kunde visa potential i en stillastående fartygsmiljö, men att den ännu inte framstår som tillräckligt robust för att ensam användas som ett tillförlitligt beslutsunderlag i en verklig nödsituation ombord.

Praktiskt innebär resultaten att mmWave-baserad närvarodetektering i nuläget främst framstår som ett möjligt kompletterande stöd i situationer där rörelse fortfarande förekommer och där vibrationspåverkan på installationen är begränsad. I den testade uppställningen gällde detta framför allt vid in- och utpassage genom hytten samt vid återkommande små rörelser i sängen. Däremot bör den testade sensorn inte användas som ensamt beslutsunderlag i situationer där personer ligger helt stilla eller där vibrationer från fartygsdrift påverkar installationen. Under sådana förhållanden visade resultaten att risken för bortfall respektive falsklarm är för stor. För praktisk användning ombord krävs därför vidare utveckling, exempelvis förbättrad vibrationsdämpning, mer avancerad signalbehandling och tester i fler fartygsmiljöer.

Sammantaget visar studien att mmWave-baserad närvarodetektering har potential som tekniskt stöd i fartygshytter, men att användbarheten i den testade uppställningen var tydligt beroende av både rörelsemönster och vibrationspåverkan. Studiens viktigaste bidrag ligger därför inte i att visa att problemet är löst, utan i att tydliggöra under vilka förhållanden tekniken fungerar bättre respektive sämre i en maritim inomhusmiljö.

## Referenser

- Andreadakis, G., & Dalaklis, D. (2022). Evacuation of ships: Discovering the mishaps behind the casualties. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 6(2-3), 135-140.  
<https://doi.org/10.1080/25725084.2022.2129200>
- Azizi, S., Rabiee, R., Nair, G., & Olofsson, T. (2021). Effects of positioning of multi-sensor devices on occupancy and indoor environmental monitoring in single-occupant offices. *Energies*, 14(19), 6296.  
<https://doi.org/10.3390/en14196296>
- Blix, I., Alve Glad, K., Skogbrott Birkeland, M., Nordvoll Rustand, A., & Thoresen, S. (2023). Warning signals? An explorative study of distant recollections of the moments before a disaster. *European Journal of Psychotraumatology*, 14(1), 2180947.  
<https://doi.org/10.1080/20008066.2023.2180947>
- Brown, R. C. (2016). *Quantifying human performance during passenger ship evacuation* [Doktorsavhandling, University of Greenwich]. Greenwich Academic Literature Archive. <https://gala.gre.ac.uk/id/eprint/23606>
- Buyukakkaslar, M. T., Erturk, M. A., & Aydin, M. A. (2024). A review on radar-based human detection techniques. *Sensors*, 24(17), 5709.  
<https://doi.org/10.3390/s24175709>
- Checa, J. J., & Tomasin, S. (2020). Location-privacy-preserving technique for 5G mmWave devices. *IEEE Communications Letters*, 24(12), 2692-2695.  
<https://doi.org/10.1109/LCOMM.2020.3018165>
- CLIA. (2025, 19 maj). *State of the cruise industry report 2025*.  
<https://trade.cruising.org/resources/state-cruise-industry-report-2025>
- Comai, S., Stabile, G. M., Vavassori, E., Zerilli, M., Masciadri, A., & Salice, F. (2025). Review of methods and technologies to detect, count and identify people in indoor environments. *Internet of Things*, 29, 101466.  
<https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101466>
- Cruisedeckplans. (u.å). *Star of the Seas decks, cabins, diagrams and pics*.  
<https://www.cruisedeckplans.com/ships/Star-of-the-Seas>
- Cruisespotlight. (u.å). *All about the Royal Caribbean Star of the Seas*.  
<https://cruisespotlight.com/ship/royal-caribbean/star-of-the-seas/>
- Denscombe, M. (2018). *Forskningshandboken: För småskaliga forskningsprojekt inom samhällsvetenskaperna* (4. uppl.). Studentlitteratur.
- DFRobot. (u.å). *LD2410 24GHz human presence sensing module*.  
<https://wiki.dfrobot.com/sen0557/>

- Garcia, K. (2018). *Bringing intelligent autonomy to fine motion detection and people counting with TI mmWave sensors* (Rev. A). Texas Instruments. <https://www.ti.com/lit/wp/spry320a/spry320a.pdf>
- Huang, X., Cheena, H., Thomas, A., & Tsoi, K. P. (2021). Indoor detection and tracking of people using mmWave sensor. *Journal of Sensors*, 2021, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2021/6657709>
- International Labour Organization. (2025, 11 april). *Global register of fatalities at sea: Experimental data collection report*. <https://www.ilo.org/resource/other/global-register-fatalities-sea-experimental-data-collection-report>
- International Maritime Organization. (u.å-a). *Enhancing passenger ships' environmental performance*. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/PassengerShip-default.aspx>
- International Maritime Organization. (u.å-b). *International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1978*. <https://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement/Pages/STCW-Convention.aspx>
- International Maritime Organization. (u.å-c). *Passenger ships*. <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/PassengerShips.aspx>
- International Maritime Organization. (2016). *Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974 (MSC.404(96))*. <https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.404%2896%29.pdf>
- ISO. (2016). *ISO 20283-5:2016 Mechanical vibration - Measurement of vibration on ships - Part 5: Guidelines for measurement, evaluation and reporting of vibration with regard to habitability on passenger and merchant ships*. <https://www.iso.org/standard/68125.html>
- ISO. (2018). *ISO 31000:2018 Risk management - Guidelines*. <https://www.iso.org/standard/65694.html>
- Leach, J. (2004). Why people 'freeze' in an emergency: Temporal and cognitive constraints on survival responses. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 75(6), 539-542.
- Liu, H., Liu, X., Xie, X., Tong, X., Shi, T., & Li, K. (2023). Application-oriented privacy filter for mmWave radar. *IEEE Communications Magazine*, 61(12), 168-174. <https://doi.org/10.1109/MCOM.011.2200580>
- Liu, K., Yang, W., Chen, M., Zheng, K., Zeng, X., Zhang, S., & Liu, C. (2022). Deep-learning-based wireless human motion tracking for mobile ship

- environments. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(23), 24186-24197.  
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3189698>
- Loh Electronics AB. (u.å). *mmWave - 24GHz human presence sensing module (6 meters)*. <https://www.lohelectronics.se/en-gb/dator-and-elektronik/dator/enkortsdatorer/tillbehor-1451/mmwave-24ghz-human-presence-sensing-module-6-meters>
- Mastrogiorgio, A., Di Nauta, P., Palumbo, R., & Leccese, E. (2026). When authority biases the holder: The case of the Costa Concordia disaster. *Management Decision*, 64(3), 1149-1169. <https://doi.org/10.1108/MD-06-2024-1258>
- Möller, N., Hansson, S. O., Holmberg, J.-E., & Rollenhagen, C. (Red.). (2018). *Handbook of safety principles*. John Wiley & Sons.
- Patel, R., & Davidson, B. (2019). *Forskningsmetodikens grunder: Att planera, genomföra och rapportera en undersökning* (5. uppl.). Studentlitteratur.
- Raykov, Y. P., Ozer, E., Dasika, G., Boukouvalas, A., & Little, M. A. (2016). Predicting room occupancy with a single passive infrared (PIR) sensor through behavior extraction. I *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing* (s. 1016-1027). Association for Computing Machinery.  
<https://doi.org/10.1145/2971648.2971746>
- SafePASS. (u.å). *Next generation of life-saving appliances and systems*.  
<https://www.safepass-project.eu/>
- Shokrollahi, A., Persson, J. A., Malekian, R., Sarkheyli-Hägele, A., & Karlsson, F. (2024). Passive infrared sensor-based occupancy monitoring in smart buildings: A review of methodologies and machine learning approaches. *Sensors*, 24(5), 1533. <https://doi.org/10.3390/s24051533>
- Statens haverikommission. (2025). *Final report of preliminary assessment of new findings on MV Estonia accident*.  
[https://shk.se/download/18.4687375319b230b9ea9a7/1765884979411/S-200\\_20%20ESTONIA%20-%20MV%20ESTONIA%20Final%20Report%20-%20ONLINE2.pdf](https://shk.se/download/18.4687375319b230b9ea9a7/1765884979411/S-200_20%20ESTONIA%20-%20MV%20ESTONIA%20Final%20Report%20-%20ONLINE2.pdf)
- Stefanidis, F., Stefanou, E., Boulougouris, E., Karagiannidis, L., Sotiralis, P., Annetis, E., Balet, O., & Veltsistas, P. (2023). SafePASS: A new chapter for passenger ship evacuation and marine emergency response. *Transportation Research Procedia*, 72, 3885-3892.  
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.493>
- Transportstyrelsens föreskrifter om bostadsutrymmen ombord på fartyg som omfattas av sjöarbetskonventionen (MLC 2006) (TSFS 2013:68).  
<https://www.transportstyrelsen.se/sv/om-oss/dina-rattigheter-lagar-och->

[regler/forfattningssamling/ts-foreskrifter-i-nummerordning/2013/?RuleNumber=2013%3A68&RulePrefix=TSFS](#)

- Wang, Z., Cheng, Y., Peng, H., Zhou, H., Wang, Z., & Liu, H. (2024). In-cabin detection, localization and classification based on mmWave radar with TinyML. I *Proceedings of the 21st European Radar Conference (EuRAD)* (s. 392-395). EuMA. <https://doi.org/10.23919/EuRAD61604.2024.10734950>
- Wu, W., He, T., Hao, X., Xu, K., Zeng, J., Gu, J., & Chen, L. (2024). Machine learning based method for analyzing vibration and noise in large cruise ships. *PLOS ONE*, *19*(7), e0307835. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307835>
- Xiong, Y., Peng, Z., Xing, G., Zhang, W., & Meng, G. (2018). Accurate and robust displacement measurement for FMCW radar vibration monitoring. *IEEE Sensors Journal*, *18*(3), 1131-1139. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2017.2778294>
- Yun, J., & Lee, S.-S. (2014). Human movement detection and identification using pyroelectric infrared sensors. *Sensors*, *14*(5), 8057-8081. <https://doi.org/10.3390/s140508057>
- Zhang, J., Xi, R., He, Y., Sun, Y., Guo, X., Wang, W., Na, X., Liu, Y., Shi, Z., & Gu, T. (2023). A survey of mmWave-based human sensing: Technology, platform and applications. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2308.03149>
- Zhang, R., Kong, M., Dong, B., O'Neill, Z., Cheng, H., Hu, F., & Zhang, J. (2022). Development of testing and evaluation protocol for occupancy sensing technologies in building HVAC control: A case study of representative people counting sensors. *Building and Environment*, *208*, 108610. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108610>
- Zhang, Z., Liu, Z., Zhou, Z., Wang, X., Majumdar, A., Cao, Y., & Yang, Z. (2025). Time prediction of human evacuation from passenger ships based on machine learning methods. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *200*, 104664. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2025.104664>
- Österman, C., Hult, C., & Praetorius, G. (2020). Occupational safety and health for service crew on passenger ships. *Safety Science*, *121*, 403-413. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.09.024>