

De vanligaste handhavandefel av ECDIS

En kvantitativ studie om handhavandefel av ECDIS vid grundstötningar

Examensarbete inom sjökaptensprogrammet

CARL FREDRIK FRISK
OSKAR FRIBERG

INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige, 2024

De vanligaste handhavandefel av ECDIS

En kvantitativ studie om handhavandefel av ECDIS vid grundstötningar

Examensarbete inom sjökaptensprogrammet

CARL FREDRIK FRISK
OSKAR FRIBERG

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
Avdelningen för maritima studier
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige, 2024

De vanligaste handhavandefel av ECDIS

En kvantitativ studie om handhavandefel av ECDIS vid grundstötningar

CARL FREDRIK FRISK

OSKAR FRIBERG

© CARL FREDRIK FRISK, 2024

© OSKAR FRIBERG, 2024

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Omslag: En skärmbild av ECDIS (SevenCs GmbH, 2015). Återgiven med tillstånd

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper

Chalmers tekniska högskola

Göteborg, Sverige 2024

FÖRORD

Chalmers Tekniska Högskola, institutionen för mekanik och maritim vetenskap
Sjökaptensprogrammet, 180hp
MMSX11, Examensarbete för sjökaptent, 15hp

Vi skulle vilja tacka alla kollegor och personal på Chalmers som hjälp och stöttat oss, ni är uppskattade. Vi vill även ge ett speciellt tack till vår handledare Jonas Wodelius, för att i början av arbetet styrt oss i rätt riktning. Sen vill vi även tacka bibliotekets hjältar i Kuggen, ni har varit till otroligt stor hjälp gällande källkritik, referenshantering och textstruktur, speciellt tack till Liza Nordfeldt.

De vanligaste handhavandefel av ECDIS

En kvantitativ studie om handhavandefel av ECDIS vid grundstötningar

CARL FREDRIK FRISK

OSKAR FRIBERG

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper

Chalmers tekniska högskola

SAMMANDRAG

Denna studie är en kvantitativ undersökning, som undersöker och sammanställer statistik på antal och de mest frekventa handhavandefel som operatörer gör på ett *Electronic Chart Display and Information System* (ECDIS). ECDIS är ett elektroniskt navigationshjälpmedel som kan komplettera eller ersätta papperssjökort vid navigering av fartyg över hela världen.

ECDIS är ett komplext system som är till för att underlätta arbetet för navigatören och således öka navigationssäkerheten. I sin tur finns det också nya utmaningar och belastningar för operatören som ger rum för mänskliga fel. Av de åtskilliga mänskliga fel som finns, är denna studies syfte är att undersöka vilka handhavandefel av ECDIS som finns, och följaktligen uppmärksamma bristerna som orsakat felet.

Studiens frågeställning berör vilka handhavandefel som är de mest frekventa vid grundstötning, samt om det finns någon trend på hur många handhavandefel som görs. Datainsamlingen av handhavandefel är baserade på haverirapporter från 2011 till och med 2021. Haverirapporterna är från en europeisk databas som tillhandahåller ett stort antal haverirapporter.

Med ett systematiskt urval och analys av urvalsrapporterna kunde 39 handhavandefel från 12 haverirapporter identifieras. De 39 felen var av 14 olika typer och således 14 olika handhavandefel. Resultatet visar att det mest frekventa enskilda handhavar-felet är att ljudlarmet på ECDIS varit avsiktligt avstängt eller trasigt med operatörens vetskap om det. Följaktligen visar resultatet att medelantalet handhavandefel för varje grundstötning är 3 stycken. Resultatet belyser vikten av inte tysta ljudlarmet på ECDIS samt att de oftast är fler olika handhavandefel i kombination som ger en betydande risk eller resulterar i en incident.

Nyckelord: Haverirapport, ECDIS, EMCIP, grundstötning, mänskliga faktorn, handhavandefel

The most common operating errors of ECDIS

A statistical survey on ECDIS operating errors in grounding accidents

CARL FREDRIK FRISK

OSKAR FRIBERG

Department of Mechanics and Maritime Sciences
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

This report is a quantitative study that examines and compiles statistics on the number and most frequent operational errors made by operators on an Electronic Chart Display and Information System (ECDIS). ECDIS is an electronic navigation aid that can complement or substitute nautical paper charts for ship navigation worldwide.

ECDIS is a complex instrument designed to facilitate the work of the navigator and consequently enhance navigation safety. However, it also introduces new challenges and burdens for the operator, leading to human errors. Among the various human errors present, the purpose of this report is to investigate the operational errors and consequently highlight the deficiencies.

The research question of the report concerns the most frequent operational errors in grounding incidents, and whether there is any trend in the number of operational errors made. Data collection on operational errors is based on accident reports from 2011 to 2021. The accident reports are from a European database providing a large number of accident reports.

Through systematic sampling and analysis of the sample reports, 39 operational errors from 12 accident reports were identified. These 39 errors belonged to 14 different types, thus indicating 14 distinct operational errors. The result shows that the most frequent individual operational error is the intentional disabling of the ECDIS audible alarm, or a malfunctioning audible alarm known by the operator. Furthermore, the result indicates that the average number of operational errors per grounding is 3 errors. The result highlights the importance of not silencing the audible alarm on ECDIS and that it is often a combination of various operational errors that pose a significant risk or result in an incident.

This report is written in Swedish.

Keywords: Maritime accident report, ECDIS, EMCIP, grounding, human factor, operational error

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Inledning	1
1.1 Syfte	2
1.2 Frågeställning	2
1.3 Avgränsningar	2
2. Teori	3
2.1 ECDIS	3
2.1.1 ENC	4
2.1.2 ECDIS larm och varningar	6
2.2 Ruttplanering	7
2.2.1 Route check	7
2.3 Grundstötning	8
2.4 Mänskliga faktorn	8
2.4.1 Situation Awareness	8
2.4.2 Swiss Cheese Model	9
2.5 European Maritime Safety Agency	10
2.5.1 European Marine Casualty and Information Platform	10
3. Metod	11
3.1 Val av metod	11
3.2 Urval	11
3.3 Statistik	12
3.4 Etiska aspekter	12
4. Resultat	13
4.1 Inledning	13
4.2 Huvudkategorier	13
4.2.1 Resultat för huvudkategorier	14
4.3 Underkategorier	15
4.3.1 Resultat för underkategorier	16
4.4 Antal handhavandefel	17
4.5 Urval	18
5. Diskussion	19
5.1 Resultatdiskussion	19
5.1.1 De mest frekventa handhavandefelen	19
5.1.2 Trenden av antal handhavandefel	20
5.2 Metoddiskussion	21
5.2.1 Validitet	21
5.2.2 Reliabilitet	22

6. Slutsatser	23
7. Rekommendationer till fortsatt arbete	24
Källförteckning.....	25

FIGURFÖRTECKNING

Figur 1 ECDIS med Cross-track Limit, Safety Depth och Safety Contour	6
Figur 2 Swiss Cheese Model	10
Figur 3 Huvudkategorier och antal handhavandefel för respektive kategori	14
Figur 4 Underkategorier 1 – 14 (U#) och antal handhavandefel per underkategori	16
Figur 5 Antal handhavandefel för samtliga 12 haverirapporter	17

TABELLFÖRTECKNING

Tabell 1 Obligatorisk med ECDIS.....	3
Tabell 2 ENC Scale-range	5
Tabell 3 Titel och förklaringar för respektive underkategori	15
Tabell 4 Urvalet av haverirapporter.....	18

FÖRKORTNINGAR OCH BEGREPP

AIS	Automatic Identification System
ARPA	Automatic Radar Plotting Aid
DMAIB	Danish Maritime Accident Investigation Board
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System
EMCIP	European Marine Casualty Information Platform
EMSA	European Maritime Safety Agency
ENC	Electronic navigational chart
EU	Europeiska unionen
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GT	Gross tonnage/Bruttodräktighet
IHO	International Hydrographic Organization
IMO	International Maritime Organization
MAIB	Marine Accident Investigation Branch
MSC	Maritime Safety Committee
MSIU	Marine Safety Investigation Unit
SA	Situational Awareness
SCAMIN	Scale Minimum
SOLAS	Safety of Life at Sea
TAIC	Transport Accident Investigation Commission
Ufs	Underrättelser för sjöfarande
UKC	Under Keel Clearance
XTL	Cross-track Limit

1. INLEDNING

Traditionella navigationshjälpmedel såsom papperssjökort blir i dagens sjöfart succesivt utbytt mot moderna lösningar i form av elektroniska hjälpmedel, däribland ECDIS (Weinrit, 2022). Med ECDIS kommer en rad fördelar, bland annat automatiska funktioner och justerbara säkerhetsparametrar, exempelvis larm som automatiskt larmar för diverse navigationsrisker. Således minskar detta arbetsbelastningen och ökar navigationssäkerheten för navigatören (Car m.fl., 2020).

Enligt Hydro International (2010) tros konceptet av elektroniska sjökort börjat redan 1952, men tog inte fart förens 1970-talets teknologiutveckling. Vid denna tid började olika elektroniska hjälpmedel installeras ombord för att förbättra navigationssäkerheten. Så småningom på 1990-talet, tillkom det som idag är känt som ECDIS (IMO, 2023). ECDIS var länge valfritt att använda som komplettering av papperssjökort eller som substitut. Däremot under senare år har International Maritime Organization (IMO) valt att implementera olika föreskrifter och rekommendationer kring ECDIS i olika regelverk och konventioner, ett exempel är kapitel V i Safety of Life at Sea (SOLAS). Enligt SOLAS V/19 är det efter 1 juli 2012 obligatoriskt för nybyggda passagerarfartyg i internationell fart över 500 bruttodräktighet (GT, *gross tonnage*) att installera ECDIS. Detsamma gäller lastfartyg i internationell fart över 3000 GT om de är byggda efter 1 juli 2014 (IMO, 2023). Även för äldre fartyg skedde det en infasning fram till 1 juli 2018 (IMO, 2020).

Med hänsyn på föregående information är ECDIS därför högst aktuellt i dagens sjöfart. Men med relativt modern teknik som ECDIS kommer även nya belastningar för navigatören (Baric m.fl., 2023). Detta för att ECDIS är ett komplext och ständigt utvecklande system. För att hantera ECDIS effektivt krävs en nivå av teknisk förståelse, utbildning och familialisering (Car m.fl., 2021). Vid effektiv hantering tillhandahåller ECDIS mer information till operatören som stödjer beslutstagandet (Hwang m.fl., 2022). Dessutom hjälper det navigatören att snabbare identifiera navigations faror med hjälp av indikeringar, varningar och ljudlarm. Dessa aspekter av instrumentet ska underlätta och stödja beslutstagandet för navigatören, men det ökade informationsintaget kan dock resultera i en annan form av belastning. Exempelvis kan överflöd av varningar och larm leda till stress och utmattning för operatören och följaktligen öka risken för misstag.

Även med modernare teknik sker det fortfarande olyckor, eftersom en ökad informationsbelastning för operatören leder till mer rum för mänskliga fel och misstag vid hanteringen av ECDIS (Baric m.fl., 2023). Den mänskliga faktorn står som orsak för 75–90% av sjöfartsolyckor generellt, och således också en stor del av grundstötningsoolyckor (Ward & Nathan-Roberts, 2021). Grundstötningar representerar en stor del av sjöfartsincidenter och i en rapport publicerad på Cambridge University Press (Convertino & Valverde, 2018) framgår det att över 40% av sjöfartsincidenter är grundstötningsoolyckor.

Med ett klart problem i komplexiteten hos ECDIS och med hänsyn på ovanstående information kring frekvensen av grundstötningar och mänskliga fel, är denna studies mål att sammanställa

och analysera vad operatören har misslyckats med vid handhavande av ECDIS där det resulterat eller bidragit till en grundstötning. Följaktligen kan resultaten av denna undersökning bidra till att förbättra utformningen och funktionaliteten hos ECDIS, för i sin tur minska handhavandefel och därigenom förhindra liknande grundstötningar. Genom att identifiera vanliga handhavandefel av ECDIS kan exempelvis också tekniska lösningar och förbättrade användargränssnitt utvecklas.

1.1 Syfte

Syftet med denna studie är att undersöka grundstötningar under perioden 2011 till och med 2021, för att sedan kunna sammanställa och analysera statistik för antal och de mest frekventa handhavandefel av ECDIS för grundstötningar, där handhavar-felet varit en direkt eller bidragande faktor. Vidare är syftet att undersöka de bakomliggande faktorerna till handhavar-felen för i sin tur belysa bristerna som orsakat felet.

1.2 Frågeställning

1. Vilka är de mest frekventa handhavandefel av ECDIS vid grundstötningar där handhavar-felet varit en direkt eller bidragande faktor?
2. Finns det en trend på antalet handhavandefel av ECDIS vid grundstötningar där handhavar-felet varit en direkt eller bidragande faktor?

1.3 Avgränsningar

Denna studie behandlar haverirapporter om grundstötningsincidenter där handhavandefel av ECDIS varit en direkt eller bidragande faktor. Grundstötningsincidenterna baseras på haverirapporter med publicerad slutrapport från databasen *European Marine Casualty Information Platform* (EMCIP) som publiceras av *European Maritime Safety Agency* (EMSA).

Avgränsningen för vilka haverirapporter som denna studie kommer behandla motsvarar EMCIP hanteringsområde. EMCIP hanterar alla haverirapporter som EU:s medlemsstaters haverikommissioner rapporterar till dem (EMSA, 2011); detta är haverirapporter för fartyg med europeisk flagg och incidenter på europeiskt vatten. EMCIP hanterar även rapporter med incidenter utanför europiskt vatten och fartyg utan europeisk flagg, om det har en direkt påverkan på EU:s maritima intresse.

De fartygstyper och storlek som behandlas är passagerar- och handelsfartyg på minst 500 GT och som använder ECDIS som det primära navigationsmedlet. Tidsperioden på grundstötningsincidenter som behandlas är från 2011 till och med 2021. Den incidenttyp som studien berör är grundstötning med den mänskliga faktor som orsak.

2. TEORI

I detta avsnitt belyses den teoretiska bakgrunden som är aktuellt med hänsyn till studiens syfte. Teorikapitlet innehar huvudsakligen information om ECDIS och dess verktyg, samt mänskliga faktorn med avseende på grundstötningar.

2.1 ECDIS

ECDIS är ett navigationssystem som numera standard ombord och obligatoriskt för alla SOLAS klassade fartyg, detta illustreras av **Tabell 1** nedan. Ett obligatorisk införande av ECDIS motiveras av IMO resolution MSC.530(106), som beskriver att ECDIS bidrar till säkrare navigation (IMO, 2022).

Tabell 1 *Obligatorisk med ECDIS*

	Fartygstyp	Storlek	Byggda	ECDIS installerat
1	Passagerarfartyg	≥500	1 juli 2012 eller senare	vid nybyggnation
2	Tankfartyg	≥3000	1 juli 2012 eller senare	vid nybyggnation
3	Lastfartyg som inte är tankfartyg	≥10 000	1 juli 2013 eller senare	vid nybyggnation
4	Lastfartyg som inte är tankfartyg	≥3000 men <10 000	1 juli 2014 eller senare	vid nybyggnation
5	Passagerarfartyg	≥500	före 1 juli 2012	senast vid första besiktning, som inträffar den 1 juli 2014 eller senare
6	Tankfartyg	≥3000	före 1 juli 2012	senast vid första besiktning, som inträffar den 1 juli 2015 eller senare
7	Lastfartyg som inte är tankfartyg	≥50 000	före 1 juli 2013	senast vid första besiktning, som inträffar den 1 juli 2016 eller senare
8	Lastfartyg som inte är tankfartyg	≥20 000 men <50 000	före 1 juli 2013	senast vid första besiktning, som inträffar den 1 juli 2017 eller senare
9	Lastfartyg som inte är tankfartyg	≥10 000 men <20 000	före 1 juli 2013	senast vid första besiktning, som inträffar den 1 juli 2018 eller senare

Kommentar. Tabellen visar information kring när det blev obligatoriskt för ECDIS och vilka fartyg det berör. Tabell från *Underrättelser för sjöfarande, Allmänna upplysningar*, Sjöfartsverket (2022)

Inom det maritima klustret finns flera ECDIS-tillverkare. För att kunna säkerställa att alla ECDIS-tillverkare håller en standardiserad nivå på hur ECDIS-systemen ska utformas och fungera, har IMO tagit fram *Performance standard for ECDIS*, IMO resolution MSC.530(106) (IMO, 2022). För att ECDIS ska vara typgodkänd måste systemet uppfylla och följa kraven enligt IMO resolution MSC.530(106). Vidare måste fartyg som använder ECDIS som det primära navigationsmedlet även ha en backup ECDIS.

Enligt IMO resolution MSC.530(106) har ECDIS flera krav, bland annat kräver ECDIS digitala sjökortsceller, även kallat Electronic Navigational Chart (ENC). Sjökortscellerna skapar komplett sjökortstäckning på flera skalor beroende på vad de är avsedda till. IMO sätter även krav på teknisk utrustning kopplat till ECDIS. För att fungera och uppfylla sitt syfte är ECDIS

beroende av tre sensorer (IMO, 2022). Enligt resolution MSC.530(106) måste ECDIS vara ihopkopplad med fartsensor, positionssensor och *headingsensor*. ECDIS ska även kunna larma om signalen från någon av dessa sensorer förloras.

ECDIS är också ofta sammankopplat med andra sensorer, såsom *Automatic Identification System* (AIS) och *Automatic Radar Plotting Aid* (ARPA) (Furuno, u.å.). Kombinationen av dessa sensorer, samt position från *Global Navigation Satellite System* (GNSS) gör det möjligt att i realtid följa sitt eget och andras fartyg i ECDIS-displayen. Att följa eget fartygs position är en viktig arbetsuppgift för navigatören, i synnerhet för att undvika grundstötningar (Rutkowski, 2018).

Information från alla sensorer kopplade till ECDIS effektiviserar även arbetet och gör det möjligt för navigatörer att hämta all information från ett och samma ställe (United Kingdom Government, 2021). För att exempelvis lägga ut position behövde navigatören förr lämna sin plats och slutade således aktivt monitorera navigationsinstrumenten. Numera, då positionen visas på ECDIS, kan navigatören lägga ut en position och samtidigt ha navigationsinstrumenten nära till hands. Följaktligen kan navigatören därför få information och en bättre överblick över navigationen från sin plats vid ECDIS. Detta bidrar till effektiviserat arbete och navigatören kan spara tid och kan lägga mer fokus på säker navigation.

En annan viktig funktion i ECDIS generellt för att undvika grundstötningar är *safety contour* (**Figur 1**). *Safety contour* hjälper att skilja farbart vatten från ej farbart vatten, *safety contour* ställs in relativt till fartyget djupgående (Rutkowski, 2018). ECDIS visar med hjälp av *safety contour* olika vattendjup i form av olikfärgade djupkurvor, där djupt vatten oftast visas som vitt, och grunt vatten som blått. *Safety contour* i kombination med realtidsposition av GNSS underlättar navigationen och bidrar till större säkerhet, speciellt i grunda farvatten.

Safety depth likt *safety contour* är till för att visa navigatören grunt vatten i förhållande till fartygets djupgående (Rutkowski, 2020). I ECDIS skärmen visas de siffror som är lika eller ett mindre värde än vad som ställts in på *safety depth* (**Figur 1**), detta kräver att funktionen *spot sounding* är aktiverat. Om *safety depth* ställs in på 10 m markeras djup siffror som är 10 m eller grundare än 10 m. Detta precis som *safety contour* är hjälpsamt för att upptäcka grunt vatten.

2.1.1 ENC

ENC är elektroniska vektorsjökort som laddas upp i ECDIS för aktuell rutt. Produktionen av ENC är reglerade av S-57 standarden som är framtagen av International Hydrographic Organization (IHO) (IHO, 2021). Hydrografiska mätningar delas mellan hydrografiska kontor som i sin tur delar med sig till ENC-producenter. Varje land ansvarar sedan för produktionen av egna ENC för vattnet inom landets exklusiva ekonomiska zon (Sjöfartsverket, 2022).

Regional ENC Coordinating Centers (RENC) som exempelvis *PRIMAR* och *IC-ENC* distribuerar ENC till fartyg genom köp, prenumeration eller uthyrning. De distribuerade ENC laddas i sin tur ned för att kunna användas i ECDIS (Sjöfartsverket, 2022). RENC ska även

säkerställa att alla ENC ersätts med nya, när ändringar görs på de (Nyberg m.fl., 2020). Följaktligen finns krav på att använda ENC ombord; de måste de vara uppdaterade och adekvata enligt SOLAS resolution V/27 (IMO, 2022):

Nautical charts and nautical publications, such as sailing directions, lists of lights, notices to mariners, tide tables and all other nautical publications necessary for the intended voyage, shall be adequate and up to date.

Ansvar för att uppdatera nautiska publikationer och liknande ligger hos besättningen ombord. När en ny rutt görs måste de rätta ENC cellerna vara tillgängliga och uppdaterade med den senaste informationen. I Sverige utfärdas dessa uppdateringar av Sjöfartsverkets “Underrättelser för sjöfarande” (Ufs) som är Sveriges motsvarighet till Brittiska “Notices to mariners” (Sjöfartsverket, 2022).

Varje ENC-cell har ett visst navigationssyfte och skala som cellen är tänkt att användas för (Sjöfartsverket, 2022). Mer specifikt finns det 6 olika geografiska områden inom dessa skalor. Genom att zooma in och ut byter ECDIS skala, och kan då byta ENC-cell om en sådan finns tillgängligt. Varje ENC-cell har ett spann inom dessa skalor vilket är det optimala användningsområdet (**Tabell 2**). För varje ENC-cell finns även ett gränsvärde som kallas *Compliation scale*. Gränsvärdet är till för att varna om navigatören zoomat in för mycket. Om en ENC-cell har ett *Compliation scale*- gränsvärde på 1:22 000 och navigatören underskrider värdet kommer ECDIS varna navigatören i form av en *overscale warning*.

Tabell 2 ENC Scale-range

Navigational purpose	Name	Scale Range
1	Overview	< 1:1499 999
2	General	1:350 000 - 1 499 999
3	Coastal	1:90 000 - 1:349 999
4	Approach	1:22 000 - 189 999
5	Harbour	1:4 000 - 1:21 999
6	Berthing	>1:4 000

Kommentar. Tabellen illustrerar de olika skalor och geografiska användningsområden som ENC-celler är avsedda för. Data i tabellen är återgiven från Nyberg, m.fl. (2020)

En annan funktion som kan både hjälpa och begränsa navigatören är *Scale Minimum* (SCAMIN) (Rutkowski, 2018). SCAMIN är en funktion som ENC-producenter valfritt kan lägga till i varje enskild ENC-cell, och är till för att underlätta för navigatören vid in- och ut zoomning. Däremot kan ECDIS-operatören välja valfritt i ECDIS-inställningarna om SCAMIN ska användas eller inte. Vid användning av SCAMIN, är avsikten att minska mindre relevant eller överlappande information vid ut zoomning, och i stället tydligt visa den mest relevanta informationen. SCAMIN ska användas med försiktighet och förståelse då en del information som anses relevant för situationen kan filtreras bort. Således kan oförsiktig ut-zoomning

begränsa navigatören och bortfallet av viktig information som bojar och djupkurvor gör att navigatören missar väsentlig information som är betydande för fartygets säkra framdrift. För att förhindra detta måste operatören se till att rätt skala för rätt ENC-cell används (**Tabell 2**).

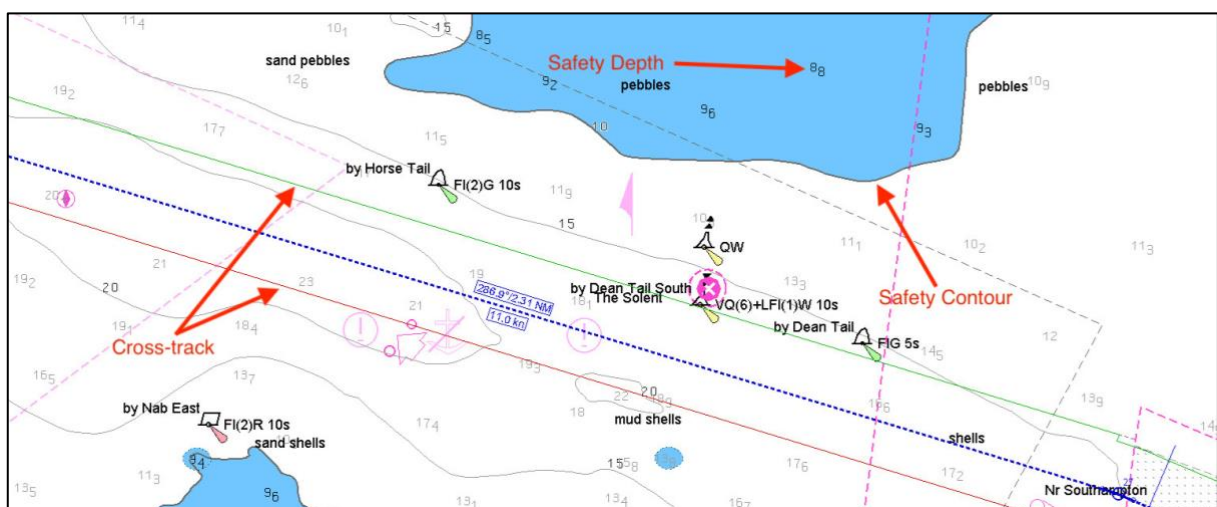
2.1.2 ECDIS larm och varningar

ECDIS har många larm och varningar, dessa är till för att varna navigatören i god tid innan fartyget hamnar i en farlig situation (Kristić m.fl., 2020). Säkerhetsparametrar för larm och varningar, exempelvis *Cross Track Limit (XTL)*, *safety depth* och *safety contour* är verktyg som navigatören måste ställa in manuellt. Navigatören måste ha förståelse hur dessa parametrar fungerar och vilka värden som ska matas in för effektiva varningar. 2017 gjordes en studie där marina olyckor kopplat till mänskliga faktorn undersökt samband ECDIS-hantering (Turna & Öztürk, 2020). Studien undersökte 21 befäl och det visade att 85% inte hade kunskapen om grundläggande larminställningar och hur larmgränserna ställdes in. Följaktligen kan larm och varningar som inte aktiveras leda till känsla av falsk trygghet hos navigatören (Rutkowski, 2018).

Safety contour ställs in manuellt av navigatören för varje ruttben vid ruttplanering eller under sjöresor (Rutkowski, 2018). Värdet bör vara proportionerligt anpassat till fartygets djupgående och vilken höjd av *Under keel clearance (UKC)* som eftersträvas. *Safety contour* markerar olika djup och djupkurvor med olika färger som låter navigatören med enkelhet se skillnad i vattendjup (**Figur 1**). Om fartyget är påväg mot grunt vatten varnar ECDIS med hjälp av ett ljudlarm.

XTL är en simulerad korridor längs den planerade ruten (**Figur 1**). Korridoren är den inställda distansen från ruttbenet som fartyget säkert kan deviera från utan att stöta på navigationsfaror (Kristić m.fl., 2020). När fartyget når korridorens gräns får navigatören en varning i ECDIS, samt ett ljudlarm. XTL syfte är att varna navigatören och således förhindra att fartyget kommer nära navigationsfaror.

Figur 1 ECDIS med *Cross-track Limit*, *Safety Depth* och *Safety Contour*



Kommentar. Figuren är en skärmbild av ECDIS i planeringsläge som visar ett ruttben (blå streckad linje). *Cross-track Limit, Safety Depth* och *Safety Contour* är ut markerat. Skärmbild från Transas ECDIS (2024).

2.2 Ruttplanering

Ruttplanering är ett väldigt omfattande område och arbete. I detta teoretiska avsnitt redovisas den mest relevanta informationen kring detta område och arbete, med hänsyn på relevans till denna studies syfte.

Ruttplanering är ett viktigt moment för att förbereda och möjliggöra en säker sjöresa, ECDIS tekniska verktyg för ruttplanering är reglerad av IMO resolution MSC. 530 (106) (IMO, 2022). Ruttplaneringen bestämmer inte enbart vilken väg sjöresan ska ta, det är även i detta arbetsmoment där parametrar för alarm som *safety contour*, *safety depth* och XTL ställs in (Rutkowski, 2018). Fartyget har också många enskilda parametrar som är fartygsspecifika relaterade till fartygets djup, bredd och typ av last. Allt detta påverkar och reglerar hur och var ruten kan planeras. Noggrannheten av ruttplaneringen avgör hur pass säker ruten är samt hur mycket kontroll navigatören har över larmen och därmed fartygets säkra framdrift. IMO har även tagit fram riktlinjer för ruttplanering, resolution A.893(21) är en guide till för att fartygen på bästa sätt ska kunna ruttplanera (IMO, 1999).

Gällande ENC i samband med ruttplanering, menar INTERTANKO (2021) att det finns ett par risker som bör uppmärksammas vid användandet av ENC. Riskerna är framtagna genom granskning av ECDIS-relaterade sjöfartsolyckor och INTERTANKOS egen riskanalys. Dessa risker är av stor vikt vid ruttplaneringsarbete med hänsyn på användandet av ENC. Risker är följande:

- *ENC not ordered*
- *No ENC coverage*
- *Not appropriate scale*
- *Overlap ENCs*
- *Withdrawn/Cancelled ENC*

För att sammanfatta ruttplanering enligt resolution A.893(21) finns det 4 steg i processen fram till en färdigställd rutt (IMO, 1999). I ordning är följande, *Appraisal*: Samla all nödvändig information till ruten, *Planning*: Planering av ruten i ECDIS, *Execution*: Planen ska utföras enligt rådande förhållanden och slutligen *Monitoring*: Fartygets framfart ska kontinuerligt övervakas och ändringar av ruten ska dokumenteras

2.2.1 Route check

Efter en rutt planerats måste den bli godkänd av befälhavaren (IMO, 1999). Godkännandet är till för att verifiera att ruten är säker och inte går över exempelvis bojar, grunt vatten eller riskfyllda områden i onödan. Enligt INTERTANKO (2021) bör *route check* utföras både visuellt och genom ECDIS automatiska *route check* funktion. Enligt resolution MSC.530(106) finnas det även krav på att ECDIS ska kunna utföra en automatisk *route check* (IMO, 2022).

Både visuell och automatisk *route check* bör enligt INTERTANKO (2021) minst utföras av det navigationsansvariga befälet samt befälhavaren.

2.3 Grundstötning

En grundstötning av ett fartyg är en typ av maritim incident där fartygets skrov stöter samman med havsbotten eller undervattensstrukturer (Galić m.fl., 2022). En grundstötning kan resultera i skador på skrovet och således leda till bland annat föroreningar och vattenintrång. De värsta följderna av grundstötningar kan bli fullständig förlust av fartyget eller dödsfall.

2.4 Mänskliga faktorn

IMO (2003) beskriver den mänskliga faktorn som ett flerdimensionellt problem som påverkar säkerheten inom alla aspekter inom sjöfarten där människan är inblandad. För att motverka problemet menar IMO att alla delar inom sjöfarten behöver samarbeta.

Enligt Sakar m.fl. (2021) står den mänskliga faktorn för 80 % av de allvarligaste sjöfartolyckorna. Besättningen ombord ställs inför många påfrestningar och krav som Hetherington m.fl. (2006) skriver. Det finns även speciella påfrestningar som besättningen inom den marina industrin utsätts för. Exempelvis trötthet på grund av onormala arbetstider samt miljöpåverkningar, stress, kommunikation, arbetsbelastning och långa perioder hemifrån. Kombinationen av dessa kan påverka människans förmåga att fatta rätt beslut i pressade situationer.

Minskningen av antalet besättningsmedlemmar har också påverkat arbetsbördan (Grech m.fl., 2008). Förr kunde ett tankerfartyg ha 40–50 besättningsmedlemmar. Idag har ett större tankfartyg ofta runt, eller färre än 20 besättningsmedlemmar. Enligt Grech m.fl. (2008) gjordes en studie av Maritime Accident Investigation Branch (MAIB) mellan 1994 – 2003, där sambandet mellan grundstötningar och kollisioner kopplat till antalet besättningsmedlemmar ombord undersöktes. Studien kom fram till att antalet vakthavande i besättning inte räckte till. Följderna av detta visar på utmattning och tidsbrist, som i sin tur leder till försämrad uppmärksamhet samt förmågan att upprätthålla en bra utkik.

I dagens sjöfart förlitar sig mer på digitala verktyg (Weintrit, 2022). Anpassningen mellan arbetssystemen och människan kan var nyckeln till säker sjöfart. Som Grech m.fl. (2008) skriver är det viktigt att anpassa den omgivande miljön till människans förmåga och inte anpassa människan till den omgivande miljön. Baserat på detta är det också viktigt att anpassa utrustning, som exempelvis EDCIS, till människans kognitiva förmåga. Grech m.fl. (2008) menar att om människan anpassas till systemet tvingas användaren att använda utrustning, verktyg och arbetssystem som egentligen kunde haft en effektivare utformning.

2.4.1 Situation Awareness

ECDIS kan som sagt vara till stor hjälp för operatören och information som visas i ECDIS är bland annat hämtad från många olika sensorer, som i sin tur har sina egna alarm. För stor informationsbelastning begränsar människans kognitiva förmåga, och ibland räcker den inte till

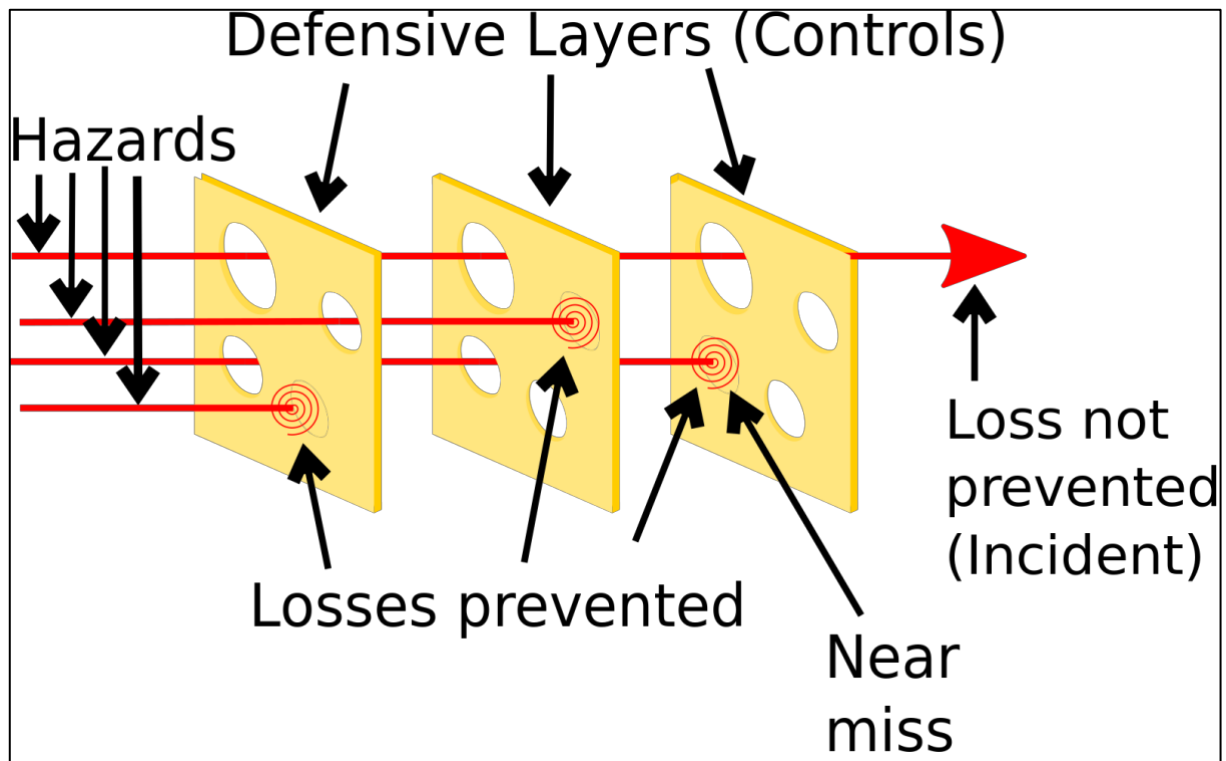
(Baric m.fl., 2023). Den kognitiva förmågan kan begränsas i exempelvis trånga farleder, hamninlopp eller andra situationer där befäl utsätts för stora påfrestningar i form av mycket information, larm, begränsat farvatten och trafik. Alla påfrestningar kan påverka befälets beslut, och när den kognitiva förmågan inte längre räcker till, är det lätt att fatta fel beslut. För att navigera säkert krävs god *Situation Awareness* (SA). För stora påfrestningar och hög informationsbelastning kan försämra befälets SA, befälet hamnar då i så kallat “*out of loop*”. Befäl som sätts i “*out of loop*” kan inte längre bearbeta all information som bland annat ECDIS visar. Följderna kan bidra till att befälet missar nödvändig information, som exempelvis larm, trafik eller grunt vatten. I värst fall leder det till incidenter såsom grundstötning eller kollision. Vidare visar en studie gjord mellan 1987 och 2001 att 71% av marina olyckor kopplade till mänskliga faktorer är på grund av SA relaterade orsaker (Sharma m.fl., 2019)

2.4.2 Swiss Cheese Model

Swiss Cheese Model är enligt Wiegmann m.fl. (2022) en teori presenterad av James Reason i boken *Human Error*. *Swiss Cheese Model* är en modell som används för riskanalys och riskhantering. Modellen innebär att incidenter inom komplexa system kan brytas ner i olika säkerhetsbarriärer, därav liknelsen till skivor av schweizisk ost. Hålen i osten representerar en lucka som ett misstag kan tränga sig igenom. I ett komplext system finns flera säkerhetsbarriärer och om alla hål i de olika barriärerna radar upp sig (**Figur 2**), har risken tagit sig igenom alla barriärer och resulterar till att incidenten uppstår.

Ett kort exempel inom sjöfarten kan exempelvis vara att ett utmattat befäl som navigerar ett fartyg; befälet somnar och har tidigare stängt av ljudlarmet på ECDIS, medan befälet sover går fartyget på grund. Således är barriärerna som blir igenomträngda följande: Första barriären är att navigatören ska vara utvilad och alert, men passerar barriären genom dålig sömn och utmattning. Andra barriären är att ljudlarmet från ECDIS kan uppmanna navigatören för fara men även den barriären förbipasseras genom ljudlarmet som var avstängt.

Figur 2 *Swiss Cheese Model*



Swiss Cheese Model. (Aveling, 2020). CC BY-SA 4.0.

2.5 European Maritime Safety Agency

European Maritime Safety Agency (EMSA) är Europeiska unionens (EU) sjösäkerhetsbyrå. Syftet med byrån är att säkerställa en hög och effektiv nivå av sjösäkerhet, förebyggande och bidra med insatser mot föroreningar orsakade av sjöfarten (EMSA, 2024b). EMSA:s uppdrag är att bestå EU:s maritima intressen för en säker, hållbar och konkurrenskraftig sjöfartssektor och fungera som en pålitlig utgångspunkt inom sjöfartssektorn. Följaktligen distribuerar EMSA databasen *European Marine Casualty Information Platform* (EMCIP), som tillhandahåller olika sjöfartsincidenter och således haverirapporter med grundstötningsincidenter.

2.5.1 European Marine Casualty and Information Platform

EMCIP är en databas, distribuerad och upprätthållen av EMSA (EMSA, 2024a). Som tidigare nämnt, tillhandahåller EMCIP sjöfartsincidenter, dessa incidenter är haverirapporter från samtliga Europiska haverikommissioner som är medlem i EU. Således fungerar EMCIP som en arkivplats för data och information relaterad till sjöolyckor, haverier och andra marina incidenter, vilka omfattar alla typer av fartyg. Databasen möjliggör också framtagning av statistik och analys av tekniska, mänskliga, miljömässiga och organisatoriska faktorer som är involverade i sjöfartsolyckor. Följaktligen lämpar sig EMCIP väldigt bra för ett brett och pålitligt urval av haverirapporter med hänsyn på studiens syfte.

3. METOD

Syftet med denna studie är att sammanställa och analysera statistik för antal och vilka som är de mest frekventa handhavandefel av ECDIS vid grundstötningar. I detta kapitel redovisas den valda metoden för att uppnå syftet och metodens tillvägagångssätt.

3.1 Val av metod

Med hänsyn till studiens syfte, valdes en kvantitativ forskningsmetod med datainsamling från innehållsanalys av andrahandsdata. Den kvantitativa metoden tillåter empiriskt kvantifierbara data att sammanfattas som statistik (Bryman, 2008), vilket motsvarar studiens syfte. Vidare gör innehållsanalys av andrahandsdata det möjligt att analysera data som redan är presenterad i haverirapporter. Mot bakgrund för valet av den kvantitativa forskningsmetoden, valdes EMCIP som databas för datainsamling. EMCIP databas tillhandahåller (när denna rapport skrevs) 1386 haverirapporter med färdig slutrapport, således ger detta en bra bas för urval av den kvantitativa data.

Den stora basen för underlag gör det högst aktuellt med systematiska urval och filtreringar med hänsyn på denna studies specifika avgränsningar. Systematiskt urval är en del av den kvantitativa metoden som användes. Urval kan göras om det inte finns möjlighet att undersöka alla i en samling. Det systematiska urvalet skapar ett utvalt prov, det vill säga den del av urvalsramen som undersöks (Eliasson, 2006). Populationen för urvalet är databasen EMCIP och det utvalda provet är rapporter om grundstötningar där handhavande av ECDIS varit en direkt eller bidragande faktor.

3.2 Urval

Ändamålet med urvalet var att urskilja vilka haverirapporter som var aktuella för den kvantitativa data med avseende på syftet, detta gjordes genom en mängd systematiska urval i form av filtreringar. Med hjälp av filterfunktioner i databasen EMCIP, filtrerades haverirapporter till de incidenter som är en grundstötningsincident med en färdig slutrapport. Fartygstypen filtrerades till passagerar- och handelsfartyg och orsaken till haveriet filtrerades till *human action*.

Tidsperioden avgränsades från 2011 till och med 2021. Orsaken att tidsperioden avgränsades till att börja 2011 är mot bakgrunden att det blev obligatoriskt för alla europeiska haverikommissioner (medlem i EU) att informera EMSA om haverirapporter 2011, detta i enlighet med europaparlamentets direktiv 2009/18/EC (European Union, 2009). Således har EMSA inga haverirapporter i deras databas EMCIP före 2011 (EMSA, 2011). Skälet till att tidsperioden avgränsades till och med 2021 är av anledningen att publiceringen av haverirapporter är en omfattande process och kräver material som kan ta tid att erhålla, därav finns det färre publicerade haverirapporter 2022 och 2023.

Slutligen gjordes urvalet och filtreringen av alla kvarstående haverirapporter manuellt. Först filtrerades haverirapporter till de som behandlar fartyg över 500 bruttodräktighet. Sedan, för att

urskilja vilka haverirapporter som behandlade fartyg med ECDIS installerad ombord, gjordes en sökning av rapporten efter relevanta nyckelord som "*Electronic Chart Display and Information System*", "*ECDIS*", "*ENC*", "*electronic chart*", "*means of navigation*", "*navigation method*", "*bridge equipment*" m.m.". Följaktligen urskildes de rapporter som hade ECDIS-relaterade handhavandefel som direkt eller bidragande faktor genom att närmare kolla på vilka som hade angett ett eller flera handhavandefel i haverirapportens *sammanfattning*, *orsaker* eller *slutsatser*. De rapporter som filtrerades ut, lästes mer detaljerat för att specificera vilka handhavandefel och hur många som var en direkt eller bidragande faktor till grundstötningen.

3.3 Statistik

För att sammanställa statistik över de mest frekventa handhavandefel, måste de olika typer av handhavandefel som existerar kategoriseras och definieras. Huvudkategorierna som fastställdes var rutt-relaterade fel, larm-relaterade fel och visnings-relaterade fel. Att i förväg definiera alla handhavandefel för varje huvudkategori är orimligt för denna undersökning för att syftet med studien är undersöka vilka handhavandefel som fanns, inte vilka som hade kunnat finnas. Vidare gjordes detta därför samtidigt som varje enskild rapport undersöktes. Således resulterade detta i att enbart de aktuella handhavandefelen blev en del av den kvantitativa data.

En rapport analyserades åt gången och de handhavandefel som presenterades i haverirapporten definierades och dokumenterades som kvantitativ data. När en haverirapport presenterade ett eller flera handhavandefel som från en tidigare rapport definierats, dokumenterades de i samma kvantitativa data. Vardera definierat handhavandefel, dokumenterades som en underkategori för en av de tre huvudkategorierna. När den kvantifierbara data var sammanställd, framställdes tre stapeldiagram, ett för huvudkategorierna, ett för underkategorierna och ett för antal handhavandefel.

3.4 Etiska aspekter

Inga specifika etiska överväganden har tagits i denna metod förutom samma etiska åtagande som haverikommissionerna gjort i de publicerade haverirapporter som metoden berör. De haverirapporter som metoden berör är offentligtgjorda och mer information än vad rapporterna presenterar om fartyg, organisation, personal har ej använts.

4. RESULTAT

Resultatkapitlet illustrerar med tabeller och stapeldiagram kategoriseringen av handhavandefelen samt statistik på handhavandefel för respektive kategori och varje haverirapport. Inledningsvis börjar resultatkapitlet med huvudkategorier följt av underkategorier. Därefter presenteras antal handhavandefel för respektive haverirapport. Slutligen redovisas vilka haverirapporter urvalet resulterade i, som i sin tur är grunden för resultatet.

4.1 Inledning

Efter urvalet återstod 12 haverirapporter där handhavandefel av ECDIS varit en direkt eller bidragande faktor. I de 12 haverirapporter kunde totalt 39 fel identifieras, varav de 39 felen var av 14 olika typer och kunde således delas in i 14 olika underkategorier. Den största huvudkategorin var larm-relaterade fel och den största underkategorin var *inget aktivt ljudlarm*, med andra ord det vanligaste enskilda felet. Avrundat var medelvärdet på antal handhavandefel per grundstötning 3.

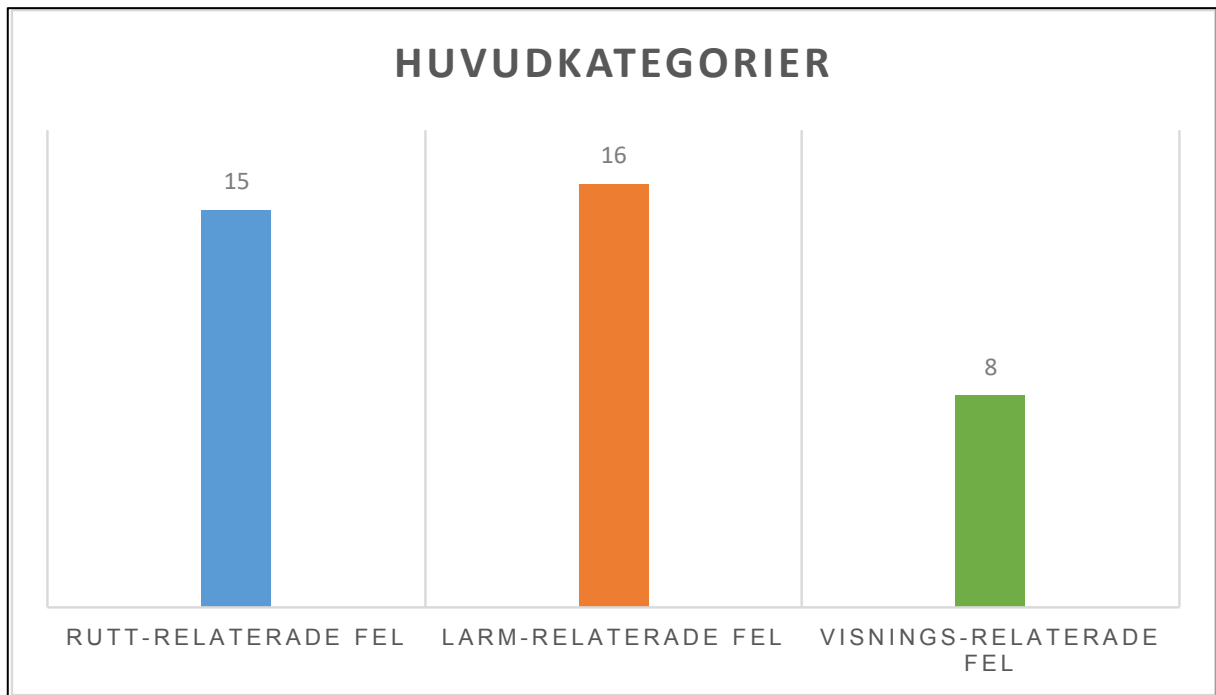
4.2 Huvudkategorier

Resultatet på huvudkategorierna visas i **Figur 3**. Handhavandefel av ECDIS är indelade i tre huvudkategorier. Rutt-relaterade fel, larm-relaterade fel och visning-relaterade fel. Vad varje huvudkategori representerar samt vilka underkategorier som inkluderas och hur de definieras visas i **Tabell 3**.

4.2.1 Resultat för huvudkategorier

Nedanstående stapeldiagram (**Figur 3**) illustrerar resultatet av huvudkategorierna. Ruttrelaterade fel var 15, larmrelaterade fel var 16 och visningsrelaterade fel var 8.

Figur 3 Huvudkategorier och antal handhavandefel för respektive kategori



Kommentar. Stapeldiagrammet visar de tre huvudkategorierna samt antal handhavandefel för respektive kategori.

4.3 Underkategorier

Som tidigare nämnt, kunde 39 fel i 12 haverirapporter identifieras, varav de 39 felen var av 14 olika typer och kunde således delas in i 14 olika underkategorier. Varje underkategori representerar alltså en typ av handhavandefel. Underkategorierna representeras av U och ett nummer 1–14. **Tabell 3** är en tabell med alla underkategorier, dess titel och en detaljerad förklaring av felet.

Tabell 3 Titel och förklaringar för respektive underkategori

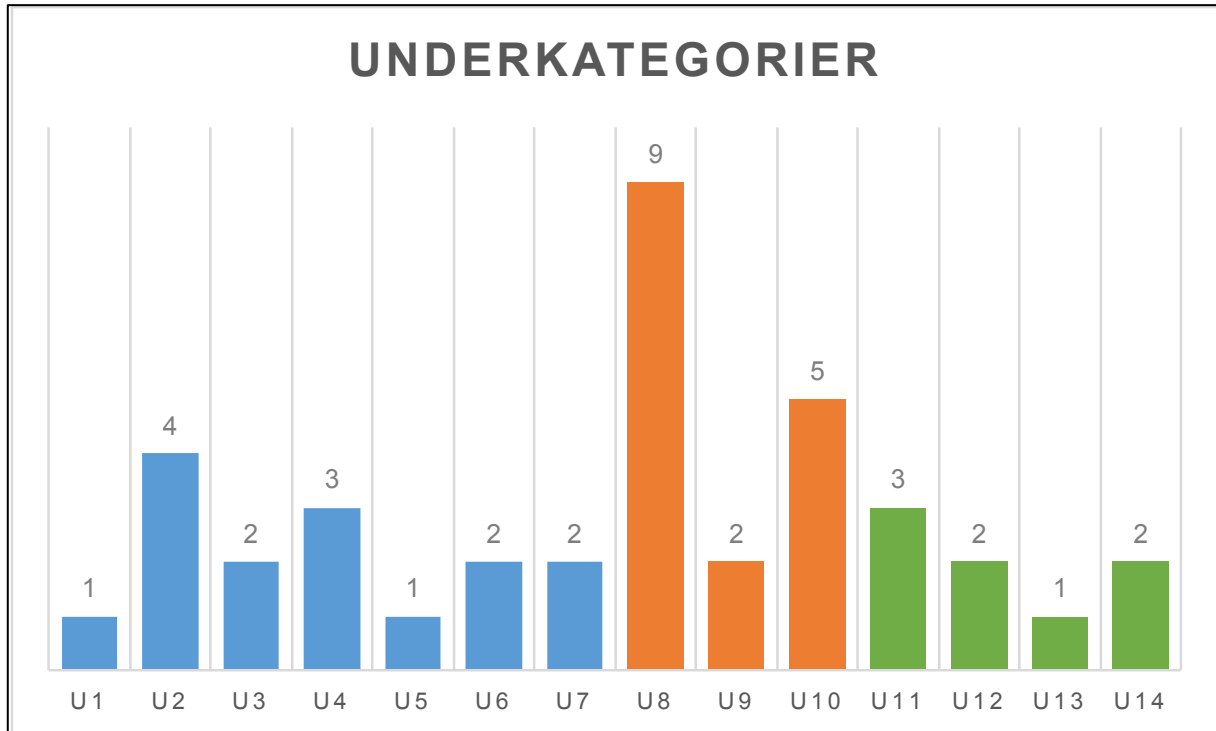
Huvudkategori	Underkategori	Titel	Förklaringar:
Rutt-relaterat	U1	Fel rutt uppladdad	Vakthavande befäl har av misstag laddat upp fel rutt.
	U2	Befälhavaren ej dubbelkollat rutt	Befälhavaren har ej dubbelkollat ruten som det navigationsansvariga befälet gjort.
	U3	Ingen <i>route check</i>	Ingen route check har utförts på ECDIS.
	U4	Bristande visuell <i>route check</i>	En visuell route check har antingen inte utförts eller utförts på ett hastigt och otillräckligt sätt.
	U5	Följde ej ruttplanering	Vakthavande befäl har inte följt den planerade ruten.
	U6	Bristande ruttplanering	Ruttplanering är otillräcklig eller bristande på en eller flera delar.
	U7	Ej monitorerat	Vakthavande befäl har ej aktivt monitorerat ECDIS
Larm-relaterat	U8	Inget aktivt ljudlarm	Ljudlarm på ECDIS har antingen varit avsiktligt avstängt eller trasigt med operatöremas kännedom om det.
	U9	Felinstallerat ljudlarm	Ljudlarm på ECDIS har varit felaktigt installerat med lågt eller inget ljud med operatöremas kännedom om det.
	U10	Olämpligt inställda larmgränser	Larmgränser på en eller flera parametrar har varit olämpligt inställda och vamat försent eller inte alls.
Visnings-relaterat	U11	Olämpligt ENC	Ett olämpligt ENC har visats på ECDIS när det finns lämpligare och mer detaljerade ENC tillgängliga.
	U12	Olämpliga <i>depth-settings</i>	Inställningar på djupkurvor eller djupsiffror har varit olämpliga för det aktuella djupgåendet.
	U13	Dold visuell information	ECDIS har varit inställd så att den döljer nödvändig information vid navigation.
	U14	Olämplig <i>display scale</i>	ECDIS har antingen varit olämpligt in eller ut-zoomad för den aktuella navigationen.

Kommentar. Tabellen visar i tabulerad form de tre huvudkategorier och hur de är indelade i respektive underkategorier (U#). Tabellen visar samt en kortfattat titel och en detaljerad förklaring. Varje huvudkategori representeras av ett antal underkategorier som visas i samma färg som huvudkategorin men en ljusare nyans.

4.3.1 Resultat för underkategorier

Nedanstående stapeldiagram (**Figur 4**) illustrerar antal fel för varje underkategori. Färgen på stapeln visar vilken huvudkategori de ingår i.

Figur 4 Underkategorier 1 – 14 (U#) och antal handhavandefel per underkategori

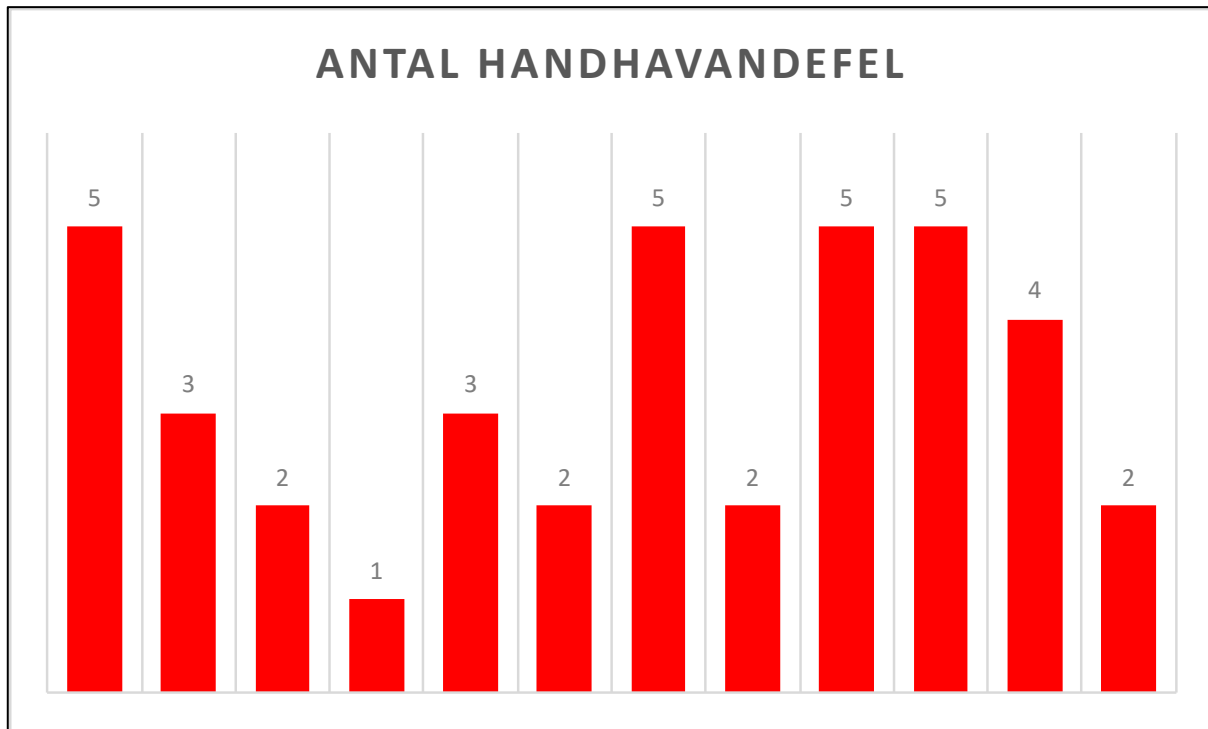


Kommentar. Ett stapeldiagram med alla underkategorier (U1-14) och antal handhavandefel per underkategori. Förklaring av varje specifik underkategori (U#) finns i **Tabell 3**. Färgen för varje individuell stapel representerar en huvudkategori med samma färg från **Figur 3**.

4.4 Antal handhavandefel

Stapeldiagrammet i **Figur 5** illustrerar fördelning av de 39 handhavandefelen som identifierades från 12 haverirapporter. Medelvärde för antal handhavandefel per rapport och incident blir 3,25 och avrundat blir antalet 3. Följaktligen visar även **Figur 5** spridningen av resultatet. Det högsta och lägsta antalet handhavandefel var 5 respektive 1 för en enskild incident.

Figur 5 Antal handhavandefel för samtliga 12 haverirapporter



Kommentar. Stapeldiagrammet visar antal handhavandefel för samtliga 12 rapporter, vardera stapeln representerar en haverirapport och indikerar antal handhavandefel för respektive incident.

4.5 Urval

Efter urvalet för att urskilja vilka haverirapporter som var aktuella, återstod som tidigare nämnt, 12 rapporter som var i enlighet med studiens avgränsningar. Nedanstående **Tabell 4** visar i tabulerad form vilka haverirapporter som urvalet resulterade i och därav vilka haverirapporter resultatet baseras på.

Tabell 4 *Urvalet av haverirapporter*

Fartyg	Incidentår	Fartygstyp	Grosstonnage	Källa till haverirapport
Ovit	2013	Tanker	6444	Marine Accident Investigation Branch. (2014). <i>Report on the investigation of the grounding of Ovit in the dover strait on 18 september 2013</i>
Universal Durban	2017	Bulk	15732	Marine Safety Investigation Unit. (2018). <i>MV UNIVERSAL DURBAN Grounding in position 02° 14.65' N 109° 05.17' E 13 May 2017</i>
Umm Salal	2017	Container	141077	Marine Safety Investigation Unit. (2018). <i>MV UMM SALAL Grounding in position 02° 51.00' N 101° 00.36' E, 2.45 nautical miles South of One Fathom Bank, Selangor, Malaysia 06 April 2017</i>
Robusto	2016	Bulk	88930	Marine Safety Investigation Unit. (2017). <i>Safety investigation into the grounding of the Maltese registered bulk carrier ROBUSTO in position 31° 10.18' N 029° 48.25' E on 22 November 2016</i>
Marbella	2017	Bulk	37831	Marine Safety Investigation Unit. (2018). <i>Safety investigation into the grounding of the Maltese registered bulk carrier MARBELLA in position 17° 06.8' N 111° 30.62' E on 28 September 2017</i>
Lauren L	2012	Passenger	2991	Marine Safety Investigation Unit. (2013). <i>MV Lauren L Grounding In position 04° 17.24' S 055° 40.84' E 01 April 2012</i>
Kea Trader	2017	Container	25145	Marine Safety Investigation Unit. (2018). <i>Safety investigation into the grounding of the Maltese registered container ship Kea Trader in position 22° 02.28' S 168° 38.25' E on 12 July 2017</i>
Freyja	2017	Tanker	1665	Marine Safety Investigation Unit. (2018). <i>MV FREYJA Grounding while on passage from Florø to Svelgen, Norway 28 June 2017</i>
Captian V. Madias	2021	Bulk	43472	Marine Safety Investigation Unit. (2022). <i>MV CAPTAIN V. MADIAS Grounding in position 01° 12.71' S 127° 49.21' E (Molucca Sea), Indonesian Archipelago 02 March 2021</i>
Muros	2016	General Cargo	2998	Marine Accident Investigation Branch. (2017). <i>Report on the investigation of the grounding of Muros Haisborough Sand North Sea 3 December 2016</i>
CSL Thames	2011	Bulk	19538	Marine Accident Investigation Branch. (2012). <i>Grounding of CSL THAMES in the Sound of Mull 9 August 2011</i>
Dart	2013	Tanker	926	Danish Maritime Accident Investigation Board. (2014). <i>DART Grounding on 1 August 2013</i>

Kommentar. Tabellen visar urvalet av haverirapporter som resultatets statistik sammanställdes av. Närmare bestämt visar tabellen fartyget som respektive haverirapporten berörde och vilket år incidenten skedde. Samt vilken fartygstyp och grosstonnage det är på respektive fartyg. Vidare visar tabellen källan till haverirapporten med respektive haverikommission som författat och publicerat den.

5. DISKUSSION

Diskussionen är indelad i två huvudavsnitt, resultatdiskussion och metoddiskussion. Dessa har i sin tur underavsnitt som lyfter fram de viktigaste och intressantaste delarna av studien.

5.1 Resultatdiskussion

I förhållande till syfte och frågeställning, visar resultatet att de mest frekventa handhavar-felen är ”inget aktivt ljudlarm”, ”olämpligt inställda larmgränser” och ”befälhavaren ej dubbelkollat rutt”. Handhavar-felet ”inget aktivt ljudlarm” som var det vanligaste, var nästan dubbelt så frekvent som det näst vanligaste ”olämpligt inställda larmgränser”. För att vidare besvara frågeställningen om trenden av antal handhavandefel, visar resultatet att medelvärdet på antal fel var strax över 3 per haverirapport. Spridningen av handhavandefel för varje enskild rapport kan vara aktuell för diskussion, då det finns från 1 upp till 5 enskilda handhavandefel i haverirapporterna.

5.1.1 De mest frekventa handhavandefelen

Det överlägset vanligaste handhavar-felet ”inget aktivt ljudlarm” belyser problematiken i ljudlarm och kan kopplas till den teoretiska bakgrunden. I inledning och teorikapitlet beskrivs flera fenomen som kan kopplas till varför operatören inte hade ett aktivt ljudlarm. Bland annat beskriver inledningen (1.) att det ökade informationsintaget av ECDIS kan resultera i överflöd av varningar och larm för operatören, och rimligtvis kan denna konsekvens vara en del i den bakomliggande orsaken att i ljudlarmen tystas. Vidare finns det i teorin (2.1.2) en studie som visade stora brister i kunskapen kring hur operatören ställde in larmgränser, och detta kan således också vara en anledning till att operatören väljer att tysta larmljudet. Dessutom visar teoriavsnittet (2.4) om den mänskliga faktorn att faktorer som trötthet, onormala arbetstider, stress och arbetsbelastning kan påverka människans förmåga att fatta rätt beslut. Även detta kan vara en bakomliggande orsak som resulterar i att operatören stänger av ljudlarmen. Till sist beskriver teoriavsnittet (2.4.1) om *situation awareness* att människans kognitiva förmåga begränsar hanteringen av information vid stor informationsbelastning. Följaktligen kan detta resultera i att navigatören förlorar förmågan att processa relevant information som exempelvis larm och varningar från ECDIS. Om situationen känns överväldigande skulle den intuitiva åtgärden rimligtvis vara att stänga av larmljudet för att minska informationsbelastningen och förbättra *situation awareness*.

”Olämpligt inställda larmgränser” som var det näst vanligaste handhavandefelet enligt resultatet, kan kopplas till samma förklaringar som handhavandefelet ”inget aktivt ljudlarm” hade. Att ljudlarmet stängs av på grund av trötthet, stress, arbetsbelastning och ökat informationsintag kan även vara bakomliggande orsaker till att ineffektiva larmgränser ställs in, som en följd av att larmgränser kräver fokus och är inget som gynnas av exempelvis stress och trötthet. Även om stress och trötthet kan påverka hur larmgränser ställs in, är det troligtvis inte lika avgörande som att ha bra kunskap om det. Närmare bestämt finns det i teorin om ECDIS (2.1.2) en studie som visade stora brister i operatörens kunskaper kring inställningen av

larmgränser. Bristande kunskap kan således vara den mest väsentliga förklaringen till handhavandefelet ”olämpligt inställda larmgränser”.

Till sist det tredje mest frekventa handhavandefelet ”befälhavaren ej dubbelkollat rutt”. Enligt teoriavsnittet (2.2.1) om *route check*, ska befälhavaren godkänna ruttplaneringen innan den används. För att befälhavaren ska godkänna ruttplaneringen måste befälhavaren alltså dubbelkolla så att rутten är effektiv och inte har brister. Följaktligen har detta inte gjorts i de fallen där handhavar-felet varit ”befälhavaren ej dubbelkollat rutt”. En bakomliggande orsak till detta fel kan återigen kopplas till den mänskliga faktorn (2.4), där stress, utmattning och arbetsbelastning kan vara orsaker till att befälhavare inte åsidosätter tid för att fullständigt dubbelkolla ruttplaneringen. Resultatet belyser vikten av att dubbelkolla en ruttplanering och prioriteten det bör ha.

5.1.2 Trenden av antal handhavandefel

Trenden av antal handhavandefel visade att medelvärdet avrundat till heltal var 3. Följaktligen var variationsbredden 1 till 5 och således hade resultatet stor spridning. Medelvärdet indikerar att det oftast krävs flera handhavandefel för att orsaka eller vara en bidragande faktor till en grundstötning, och spridningen visar även att det finns olika tyngd i respektive handhavandefel. Tyngden varierar alltså för att i några incidenter krävdes bara ett eller två handhavandefel för att resultera eller bidra till en grundstötning, medan andra incidenter hade upp till fem olika fel som bidrog eller orsakade incidenten. Å andra sidan är detta förmodligen inte hela sanningen, då en annan anledning kan vara att de haverirapporter som enbart presenterade ett fel, kan felet varit av ytterst liten betydelse, även om det presenterades som en bidragande faktor. För att sammanfatta kan detta bero på att handhavar-felet som presenterades enbart var bidragande och det var många andra faktorer som spelade in medan handhavandefelet av ECDIS var av liten tyngd även om det var det enda felet som presenterades.

När det gäller medelvärdet, kan detta kopplas till teoriavsnittet (2.4.2) om *Swiss Cheese Model*. Medelvärdet indikerar som tidigare nämnt att det oftast krävs flera handhavandefel för att resultera eller bidra till grundstötning. *Swiss Cheese Model* belyser just detta, att flera fel kan krävas för att tränga sig igenom de olika barriärerna som hade hejdat incidenten till att uppstå. Ett exempel med flera genomträngda barriärer, är haverirapporten om fartyget Ovit som även var en av haverirapporterna i resultatet och hade fem enskilda handhavandefel (Marine Accident Investigation Branch, 2014). Operatören på Ovit hade gjort en bristande rutt som varken hade fått en automatisk *route check* eller dubbelkollats av befälhavaren. Vidare var det olämpliga inställningar för djup och XTL-larmgräns. Till sist visade det sig också att ljudlarmet på ECDIS inte var funktionellt. Allt detta belyser flera barriären som förbipasserades genom diverse handhavandefel. För att sammanfatta visar *Swiss cheese model* i enlighet med resultatet att det krävs flera handhavandefel för en incident och att det kan hejdas genom flera eller starkare barriärer.

5.2 Metoddiskussion

I metoddiskussionen diskuteras metodens för- och nackdelar. Diskussionen lägger främst vikt på validitet i datainsamling men även den samtidiga validiteten. Vidare diskuteras även reliabilitet och test-retest reliabilitet hos metoden.

5.2.1 Validitet

Datainsamlingsmetoden bestod av flertal olika steg. Dessa steg var filtrering, nyckelordssökning, analys av innehåll och dokumenteringen av data. För att lättast diskutera validiteten i datainsamlingsmetoden diskuteras ett steg åt gången.

Inledningsvis filtrering, och de automatiska filterfunktioner som användes i metoden. Detta är befintliga filterfunktioner på webbplatsen där EMCIP databas finns. Filtren som användes var bland annat valbara filter över fartygstyp, orsak till haveri och typ av incident. Dessa valbara filter avgränsades enligt studiens avgränsningar och således filtrerade bort de delar av populationen som var oönskad. Problematiken i denna datainsamlingsdel är att hela populationen inte granskades innan filtren aktiverades och således finns det ingen garanti på filterfunktionerna visade det som de var ägnade åt. Sannolikheten att filterfunktionerna kan visa fel avgörs vara ytterst minimal. Även om risken existerar, att distributören EMSA gjort enstaka fel i filtersystemet, så ansågs det orimligt tidsmässigt att gå igenom hela databasen med 1386 färdiga haverirapporter manuellt för att undvika de automatiska filterfunktionerna. Vidare finns en övervägande trygghet i att använda digitala verktyg på en webbplatsdatabas som distribueras av en seriös aktör, som i detta fall är den Europeiska unionens sjösäkerhetsbyrå, EMSA.

Nyckelordsökningen, som gick ut på att finna information enligt avgränsningen, utfördes som en digital ordsökning i haverirapportsdokumenten. Problematiken i detta är risken att missa relevant information, dock ansågs denna datainsamlingsdel tillförlitlig av det faktum att nyckelorden som användes var relevanta, och mångfaldiga. Således täckte ordsökningen en bred variation av uttryck som ledde till den eftersträvade informationen.

Sista delen i datainsamlingen var analys och dokumentering av haverirapportsinnehållet. Denna del är den del som det finns störst risk för mänskliga felkällor eftersom processen gick ut på att läsa, analysera och dokumentera innehållet i haverirapporterna för hand. Närmare bestämt, började processen med att läsa haverirapporternas *slutsatser*, *sammanfattningar* och *orsaker*, och därefter dokumentera vilka handhavandefel som var presenterade. Hela denna del görs manuellt och risken för att något har missats eller misstolkats är inte försumbar även om flera eftergranskningar av data utförts. För att sammanfatta datainsamlingens validitet, finns risken för felkällor även om utförandet förespråkade att minimera dessa.

För att diskutera kring den samtidiga validiteten har artikeln *A causative analysis on ECDIS-related grounding accidents* av Turna & Öztürk (2020) visat liknande resultat som denna studie. I Turna & Öztürks rapport använder de *4M Overturned Pyramid* - metoden och undersöker somliga liknande handhavandefel. Bland annat presenteras mänskliga fel från 22 olika haverirapporter med kategorier som exempelvis, ”*route check* funktionen användes inte”,

”ljudlarm från ECDIS var avstängt” och ”en olämplig skala på ENC användes”. Dessa fel var å andra sidan enbart direkta faktorer, till skillnad från denna studie som även undersöker bidragande faktorer. Resultaten var 5, 3 och 6 handhavandefel i ordningen *ingen route check*, *avstängt ljudlarm* och *olämplig skala på ENC*. Detta går till viss del att jämföra med denna studies resultat, där resultaten på dessa var 2, 9 och 3 för samma fel och ordning, dock med data från nästan hälften så många haverirapporter proportionerligt sett. Slutsatsen blir att *avstängt ljudlarm* skiljer sig mest mellan studierna, medan *ingen route check* och *olämplig skala på ENC* överensstämmer bättre med hänsyn på proportionen av antal haverirapporter som undersöktes. Med skillnad i studiernas metod och avgränsningar, blir det således olika förutsättningar och därför svårt att rättvist jämföra resultaten.

Slutligen är det värt nämna att den kvantitativa data enbart andrahandsdata, som är tolkad och dokumenterad. För att förtydliga, är den kvantitativa data tolkad och dokumenterad från vad de individuella haverirapporterna kommit fram till. Detta gör att författarna av haverirapporterna är de som indirekt står för vilka handhavandefel som resultatet omfattas av. Vidare betyder detta att det finns individfaktorer som kompetens, erfarenhet och andra faktorer som kan bidra till partiskhet i vad haverirapporterna kommit fram till.

5.2.2 Reliabilitet

Resultatet som produceras av metoden kan bli samma i en annan studie om syftet och metoden i undersökningen är exakt samma, men troligtvis hade en identisk undersökning jämförelsevis fått lite avvikande resultat, med tanke på de felkällor som beskrivs i metodens validitet.

Test-retest reliabilitet, det vill säga om metoden påverkas av tiden är aktuellt för denna metod. Om metoden utförs i framtiden kan reliabiliteten i metoden fortfarande vara bra, men resultatet kan skifta då förutsättningarna för handhavandefel i framtiden är okända. Exempelvis kan det finnas nya regelverk gällande ECDIS och således kan somliga handhavandefel av ECDIS minskat. Samma förutsättningar för datainsamlingen måste även finnas om metoden ska kunna upprepas. Verktyg som användes, exempelvis digitala filter, kan bli ändrade med tiden och metoden förutsätter även att databasen EMCIP finns kvar om metoden ska kunna vara upprepbar.

Som tidigare nämnt, är den kvantitativa data enbart andrahandsdata som är tolkad och dokumenterad som gör att författarna av haverirapporterna är de som indirekt står för vilka handhavandefel som resultatet omfattas av. Detta kan ses som en brist i reliabiliteten i framtiden, om exempelvis upplägget av författandet av haverirapporter ändras.

Sammanfattningsvis är metodens test-retest reliabilitet skör, då det i framtiden kan vara många förutsättningar som ändras och avviker resultatet. Dock är reliabiliteten i nutiden starkare men brister likt validitetens brister finns fortfarande. Det är felkällor i tolkning och dokumentering som kan producera ett avvikande resultat.

6. SLUTSATSER

Studien sammanställde och analyserade bidragande och direkta handhavandefel som faktorer för grundstötningar under perioden 2011 till och med 2021. Resultatet tyder på att syftet är uppfyllt enligt frågeställning och dess avgränsningar.

För att sammanfatta studiens frågeställning, visade resultatet att de mest frekventa handhavandefel berörde främst larm-relaterade fel, men även rutt-relaterade fel. Däremot omfattade visnings-relaterade handhavandefel en mindre del av resultatet och visade således mindre frekventa fel.

Det mest frekventa handhavandefel som operatörer gör kan starkt kopplas till mänskliga faktorer såsom stress, utmattning och begränsad informationsbearbetning. Resultatet belyser även vikten av att följa de riktlinjer och krav som finns. Vidare tyder antalet handhavandefel på att ett större antal enskilda fel är det som oftast bidrar eller orsakar en grundstötning.

Med felkällor samt brister i validitet och reliabilitet finns inga garantier på att resultatet är helt rättvisande. Däremot indikerar resultatet rimliga brister och problematik kring hanteringen av ECDIS. För att uttala sig säkert bör mer forskning kring ämnet utföras. Mer specifika studier kring vilka mänskliga faktorer och annat bakomliggande som orsakar handhavandefel, hade troligtvis visat en mer exakt bild kring problematiken.

Avslutningsvis ger denna studie inga exakta slutsatser kring vilka tekniska lösningar eller uppdaterade krav som hade minskat eller eliminerat de identifierade handhavar-felen. Däremot ger studien en någorlunda övergripande bild kring ämnet. Slutligen tyder studien på rimliga orsakande faktorer av handhavandefel som kan vara en grund för djupare forskning.

7. REKOMMENDATIONER TILL FORTSATT ARBETE

Rekommendationer till fortsatt arbete är exempelvis att undersöka skillnaden mellan olika specifika fartygstyper när det gäller ECDIS-relaterade handhavandefel. Följaktligen kan en sådan undersökning fördjupa sig på om tankfartygs vettingkrav eller kryssningsfartygs omfattande bryggbemanning har någon påverkan på frekvensen av handhavandefel på ECDIS.

Ett annat intressant ämne att undersöka är om IMO *model course* 1.27 har bidragit till mer kunskap om ECDIS och om antalet handhavandefel har minskat på grund av det.

KÄLLFÖRTECKNING

- Aveling, B. (2020). *Swiss Cheese Model*. Hämtad från <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=91881875>
- Baric, M., Grbić, L., Pericin, L., & Jelic, R. (2023). The Role of the ECDIS on the Development of Situational Awareness—a Study on Grounding Accidents. *TransNav*, 17(1), 219–225. <https://doi.org/10.12716/1001.17.01.24>
- Bryman, A. (2008). *Samhällsvetenskapliga metoder* (Third Edition). Liber AB.
- Car, M., Brčić, D., Žuškin, dan, & Svilicic, B. (2020). *The Navigator's Aspect of PNC before and after ECDIS Implementation: Facts and Potential Implications towards Navigation Safety Improvement*. <https://doi.org/10.3390/jmse8110842>
- Car, M., Tominca-Coslovich, S., Brčić, D., & Žužkin, S. (2021). Cross-section of ecdis education and training worldwide and in the republic of croatia: Relations between programs and user perceptions. *TransNav*, 15(2), 267–275. <https://doi.org/10.12716/1001.15.02.01>
- Convertino, M., & Valverde, L. J. (2018). Probabilistic Analysis of the Impact of Vessel Speed Restrictions on Navigational Safety: Accounting for the Right Whale Rule. *THE JOURNAL OF NAVIGATION*, 71, 65–82. <https://doi.org/10.1017/S0373463317000480>
- Danish Maritime Accident Investigation Board. (2014). *DART Grounding on 1 August 2013*.
- Eliasson, A. (2006). *Kvantitativ metod från början* (Upplaga 2:1). Studentlitteratur.
- EMSA. (2011, juni 17). *EMCIP*. EMSA.
- EMSA. (2024a). European Marine Casualty Information Platform – EMCIP. Hämtad 30 januari 2024, från <https://www.emsa.europa.eu/emcip.html>
- EMSA. (2024b). This Is EMSA. Hämtad 30 januari 2024, från <https://www.emsa.europa.eu/about.html>
- European Union. (2009). *DIRECTIVE 2009/18/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL*.
- Furuno. (u.å.). *ECDIS mandatory*. Hämtad från <https://www.furuno.com/en/merchant/ecdis/carriage/>
- Galić, S., Lušić, Z., Mladenović, S., & Gudelj, A. (2022). A Chronological Overview of Scientific Research on Ship Grounding Frequency Estimation Models. *Journal of Marine Science and Engineering* 2022, Vol. 10, Page 207, 10(2), 207. <https://doi.org/10.3390/JMSE10020207>
- Grech, M., Horberry, T., & Koester, T. (2008). *HUMAN FACTORS in the MARITIME DOMANIN*. Taylor & Francis Group.
- Hetherington, C., Flin, R., & Mearns, K. (2006). Safety in shipping: The human element. *Journal of Safety Research*, 37(4), 401–411. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2006.04.007>
- Hwang, T., Youn, I. H., Lee, S., & Kim, I. (2022). Efficiency Comparison between Audible and Buzzer Alarms of Electronic Chart Display and Information System Alarm under the Simulated Environment. *Journal of Marine Science and Engineering* 2022, Vol. 10, Page 154, 10(2), 154. <https://doi.org/10.3390/JMSE10020154>
- Hydro International. (2010). *The IHO's role in the Development of ECDIS*.

- IHO. (2021). *ENC Production*.
- IMO. (1999). *RESOLUTION A.893(21)*.
- IMO. (2003). *IMO RESOLUTION A 947 (23)*. Hämtad från [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.947\(23\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.947(23).pdf)
- IMO. (2020). *SOLAS Chapter V Safety of Navigation, Regulation 19*.
- IMO. (2022). *IMO RESOLUTION MSC.530(106)*.
- IMO. (2023). *Electronic Nautical Charts (ENC) and Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS)*.
- INTERTANKO. (2021). *INTERTANKO Guide to Safe Navigation (Including ECDIS) 2nd Edition 2021*.
- Kristić, M., Žuškin, S., Brčić, D., & Valčić, S. (2020). Zone of Confidence Impact on Cross Track Limit Determination in ECDIS Passage Planning. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(8), 566. <https://doi.org/10.3390/jmse8080566>
- Marine Accident Investigation Branch. (2012). *Grounding of CSL THAMES in the Sound of Mull 9 August 2011*.
- Marine Accident Investigation Branch. (2014). *Report on the investigation of the grounding of Ovit in the dover strait on 18 september 2013*.
- Marine Accident Investigation Branch. (2017). *Report on the investigation of the grounding of Muros Haisborough Sand North Sea 3 December 2016*.
- Marine Safety Investigation Unit. (2013). *MV Lauren L Grounding In position 04° 17.24'S 055° 40.84'E 01 April 2012*.
- Marine Safety Investigation Unit. (2017). *Safety investigation into the grounding of the Maltese registered bulk carrier ROBUSTO in position 31° 10.18' N 029° 48.25' E on 22 November 2016*.
- Marine Safety Investigation Unit. (2018a). *MV FREYJA Grounding while on passage from Florø to Svelgen, Norway 28 June 2017*.
- Marine Safety Investigation Unit. (2018b). *MV UMM SALAL Grounding in position 02° 51.00' N 101° 00.36' E, 2.45 nautical miles South of One Fathom Bank, Selangor, Malaysia 06 April 2017*.
- Marine Safety Investigation Unit. (2018c). *MV UNIVERSAL DURBAN Grounding in position 02° 14.65' N 109° 05.17' E 13 May 2017*.
- Marine Safety Investigation Unit. (2018d). *Safety investigation into the grounding of the Maltese registered bulk carrier MARBELLA in position 17° 06.8' N 111° 30.62' E on 28 September 2017*.
- Marine Safety Investigation Unit. (2018e). *Safety investigation into the grounding of the Maltese registered container ship Kea Trader in position 22° 02.28' S 168° 38.25' E on 12 July 2017*.
- Marine Safety Investigation Unit. (2022). *MV CAPTAIN V. MADIAS Grounding in position 01° 12.71' S 127° 49.21' E (Molucca Sea), Indonesian Archipelago 02 March 2021*.
- Nyberg, J., Harmon, C., Pe'eri, S., & Catoire, S. (2020). *AN OVERVIEW OF THE NOAA ENC RE-SCHEMING PLAN*. Hämtad från <https://ihr.iho.int/articles/semi-automated-generation-of-depth-contours-for-encs-2/>

- Rutkowski, G. (2018). ECDIS Limitations, Data Reliability, Alarm Management and Safety Settings Recommended for Passage Planning and Route Monitoring on VLCC Tankers. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 12(3), 483–490. <https://doi.org/10.12716/1001.12.03.06>
- Rutkowski, G. (2020). Determining the Best Possible Speed of the Ship in Shallow Waters Estimated Based on the Adopted Model for Calculation of the Ship's Domain Depth. *Polish Maritime Research*, 27(3), 140–148. <https://doi.org/10.2478/pomr-2020-0055>
- Sakar, C., Toz, A. C., Buber, M., & Koseoglu, B. (2021). RISK ANALYSIS OF GROUNDING ACCIDENTS BY MAPPING A FAULT TREE INTO A BAYESIAN NETWORK. *Applied Ocean Research*, 113, 102764. <https://doi.org/10.1016/J.APOR.2021.102764>
- Sharma, A., Nazir, S., & Ernstsen, J. (2019). Situation awareness information requirements for maritime navigation: A goal directed task analysis. *Safety Science*, 120, 745–752. <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2019.08.016>
- Sjöfartsverket. (2022). *Underrättelser för sjöfarande, Allmänna upplysningar*. Hämtad från https://ufs.sjofartsverket.se/pdf/Ufs_A.pdf
- Turna, İ., & Öztürk, O. B. (2020). A causative analysis on ECDIS-related grounding accidents. *Ships and Offshore Structures*, 15(8), 792–803. <https://doi.org/10.1080/17445302.2019.1682919>
- United Kingdom Government. (2021). *A MAIB and DMAIB collaborative study on ECDIS use from the perspective of practitioners*.
- Ward, A. D., & Nathan-Roberts, D. (2021). “Human Error” Isn’t Enough. Marine Accident Evaluation Methods: A Systematic Review. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 65(1), 873–877. <https://doi.org/10.1177/1071181321651310>
- Weintrit, A. (2022). Revision of the IMO’s Performance Standards for ECDIS. Three Versions of Performance Standards in Use. I *TransNav* (Vol. 16). Faculty of Navigation, Gdynia Maritime University. <https://doi.org/10.12716/1001.16.04.09>
- Wiegmann, D. A., Wood, L. J., Cohen, T. N., & Shappell, S. A. (2022). Understanding the “Swiss Cheese Model” and Its Application to Patient Safety. *Journal of patient safety*, 18(2), 119. <https://doi.org/10.1097/PTS.0000000000000081>

INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige

www.chalmers.se



CHALMERS