

Helene Mjør

# Overvåking av tilstand og sikkerhet for ubemannede skip

- Hvordan sikre felles situasjonsforståelse  
mellom skip og operasjonssenteret.

Masteroppgave i Industriell kybernetikk

Veileder: Thor Hukkelås

Medveileder: Øystein Andreassen

Juni 2022



Helene Mjøs

# Overvåking av tilstand og sikkerhet for ubemannede skip

- Hvordan sikre felles situasjonsforståelse mellom skip og operasjonssenteret.

Masteroppgave i Industriell kybernetikk  
Veileder: Thor Hukkelås  
Medveileder: Øystein Andreassen  
Juni 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk  
Institutt for teknisk kybernetikk



**NTNU**

Kunnskap for en bedre verden



# Sammendrag

Autonome og ubemannede skip har fått mye oppmerksomhet de siste årene, og interessen for å realisere denne typen skip er sterkt økende. Årsakene til dette er at man blant annet kan øke sikkerheten og produktiviteten, samt skape en grønnere og mer konkurransedyktig sjøtransport enn med konvensjonelle skip.

Norge er verdensledende på området. Imidlertid er man fortsatt et stykke unna realisering og nye sikkerhetsutfordringer oppstår. Det er derfor behov for mer forskning og utvikling. Denne masteroppgaven ser nærmere på følgende tema:

## **Overvåking av tilstand og sikkerhet for ubemannede skip**

*- Hvordan sikre felles situasjonsforståelse mellom skip og operasjonssenteret.*

Problemstillingen besvares gjennom et antall forskningsspørsmål, som blir analysert og diskutert på bakgrunn av en systematisk litteraturstudie. Oppgaven konkluderer med at det er et antall sentrale faktorer som skal til for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet i maritim transport, og det er identifisert sikkerhetsutfordringer tilknyttet realisering av ubemannede skip. Driftsrammene og minste-risiko-tilstander som relateres til denne typen skip blir også analysert og diskutert, samt hvordan operatøren kan bestemme disse tilstandene.

Ubemannede skip synes å være realiserbart, med en tilknyttet operasjonssentral i en helt sentral rolle for sikker drift. Et viktig funn i oppgaven er at det tilsynelatende ikke er teknologiske begrensninger som er til hinder for bruk av ubemannede skip. Det er heller minste-risiko-tilstander i relasjon til menneske/maskin problematikken, samt organisatoriske og juridiske uklarheter og begrensninger som vil være avgjørende for hastigheten på

videre realisering. Derfor bør disse stå mer i fokus, og være utgangspunktet for videre forskningsarbeid.

# Abstract

Autonomous and unmanned ships have received a lot of attention in recent years, and the interest in realizing this type of ship is rapidly growing. The reasons for this are, that among other things, one can increase safety and productivity, as well as create a greener and more competitive sea transport than with conventional ships.

Norway is a world leader in the field. However, one is still some steps away from realization and new safety challenges arise. It is therefore a need for more research and development. This master's thesis takes a closer look at the following topic:

## **Condition monitoring and safety of unmanned vessels**

*- How to ensure a common understanding of the Situational awareness between the ship and the operations center.*

The thesis question is answered through some research questions, which are analyzed and discussed on the basis of a systematic literature study. The thesis concludes that there are a number of key factors required to achieve sufficient safety in maritime transport, and safety challenges associated with the realization of unmanned vessels have been identified. The Operational Design Domain and minimum risk condition related to this are also analyzed and discussed, as well as how the operator can determine these conditions.

Unmanned ships seem to be feasible, with an associated operations center in a key role for safe operation. An important finding in the thesis is that there are apparently no technological constraints that prevent the use of unmanned ships. Rather, it is the minimum risk condition in relation to the human/machine problem, as well as organizational and legal

ambiguities and limitations that will be decisive for the speed of further realization. Therefore, these should be more in focus, and be the starting point for further research work.



# Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet som et avsluttende ledd i forbindelse med min Industriell kybernetikk master på Norges teknisk- og naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim. Masteroppgaven er utført av én student og tilsvarer 30 studiepoeng.

Masteroppgaven omhandler tilstandsovervåking og sikkerhet tilknyttet ubemannede skip. Bakgrunn for tematikken kommer både fra kompetansen og interessen jeg har bygget opp gjennom mitt tidligere bachelorprogram i logistikk, samt nåværende masterprogram i industriell kybernetikk. Hensikten med oppgaven er å fremheve sikkerhet i tilknytning til realiseringen av ny teknologi. Dette kommer av at jeg selv ikke har opplevd sikkerhet som en stor nok del av mitt studieløp. I tillegg har jeg bygget opp en interesse for ubemannede skip de siste årene, og ønsket derfor å lære mer rundt dette.

Jeg ønsker å rette en stor takk til mine to veiledere, Thor Hukkelås og Øystein Andreasen for alle bidrag til å utforme og utarbeide denne masteroppgaven. De har begge tilført mye faglig støtte, gitt gode tilbakemeldinger og vært gode sparringspartnere for en enslig student. I tillegg er de en herlig duo som oftest har en god historie eller kommentar på lur.

Jeg vil også takke min far som alltid, uansett når, er behjelpelig for lille jenta si. Denne masteroppgaven var intet unntak. Han har hatt stor innflytelse med både gode diskusjoner og faglig kompetanse. Til slutt vil jeg takke min søster, som til tross at hun er nybakt mamma, har tatt seg tid til å hjelpe meg med denne masteroppgaven.

# Innhold

<b>Sammendrag</b> . . . . .	<b>i</b>
<b>Abstract</b> . . . . .	<b>iii</b>
<b>Forord</b> . . . . .	<b>v</b>
<b>Innhold</b> . . . . .	<b>vi</b>
<b>Figurer</b> . . . . .	<b>ix</b>
<b>Tabeller</b> . . . . .	<b>x</b>
<b>Akronymer</b> . . . . .	<b>xi</b>
<b>Ordliste</b> . . . . .	<b>xiii</b>
<b>1 Introduksjon</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn og motivasjon . . . . .	1
1.2 Problemformulering . . . . .	3
1.3 Rapportens oppbygging . . . . .	4
<b>2 Metode</b> . . . . .	<b>5</b>
2.1 Valg av metode . . . . .	5
2.2 Fremgangsmåte for litteratursøk . . . . .	6
2.3 Søkehistorikk . . . . .	8
2.4 Kildekritikk . . . . .	10
<b>3 Teori</b> . . . . .	<b>11</b>
3.1 Sikkerhet . . . . .	11
3.1.1 Sikkerhet som begrep . . . . .	11

3.2	Maritim sikkerhet . . . . .	12
3.2.1	Begrepet maritim sikkerhet . . . . .	13
3.2.2	Aktører som har innvirkning på sikkerheten . . . . .	13
3.2.3	Regelverk for maritim sikkerhet . . . . .	15
3.2.4	Maritime risikostyring . . . . .	16
3.2.5	Menneskelig involvering i maritim sikkerhet . . . . .	19
3.3	Ubemannede skip . . . . .	21
3.3.1	Terminologien . . . . .	21
3.3.2	Maritim 4.0 . . . . .	22
3.3.3	Dagens erfaringer med ubemannede skip . . . . .	24
3.3.4	Regelverk for ubemannede skip . . . . .	25
3.3.5	Grad av autonomi . . . . .	27
3.3.6	Risikobilde for ubemannede skip . . . . .	30
3.3.7	Risikostyring for ubemannede skip . . . . .	32
3.3.8	Skipskomponenter og -infrastruktur for ubemannede skip . . . . .	35
3.3.9	Menneskelig involvering med ubemannede skip . . . . .	38
3.3.10	Verifikasjon og validering av ubemannede skip . . . . .	44
3.4	Minste-risiko-tilstand . . . . .	46
3.4.1	Etiske overveielser . . . . .	48
<b>4</b>	<b>Analyse og diskusjon . . . . .</b>	<b>49</b>
4.1	Hvordan oppnå tilstrekkelig sikkerhet? . . . . .	49
4.1.1	Følge og anvende gjeldende lover, forskrifter og retningslinjer . . . . .	50
4.1.2	Involverte aktører . . . . .	51
4.1.3	Risikovurderinger . . . . .	51
4.1.4	Organisatoriske og teknologiske sikkerhetsstyringssystemer . . . . .	52
4.1.5	Sikkerhetskultur og risikoforståelse . . . . .	53
4.1.6	Menneskelig involvering . . . . .	53
4.2	Hva er sikkerhetsutfordringene for ubemannede skip? . . . . .	55

4.2.1	Begrenset driftserfaring . . . . .	56
4.2.2	Usikkerheter rundt risikobilde og akseptabelt sikkerhetsnivå . . . . .	56
4.2.3	Manglende reguleringer . . . . .	57
4.2.4	Komplekse tekniske og operasjonelle systemer . . . . .	57
4.2.5	Krevende å verifisere og validere programvare . . . . .	58
4.2.6	Omfattende og mindre veletablerte krav til infrastrukturen . . . . .	59
4.2.7	Økende risiko for cyberangrep . . . . .	59
4.2.8	Høyere operasjonskompleksitet . . . . .	60
4.3	Under hvilke driftsrammer vil ubemannede skip operere? . . . . .	60
4.3.1	Maskinkontroll . . . . .	65
4.3.2	Menneske/maskin kontroll . . . . .	67
4.3.3	Menneskelig kontroll . . . . .	68
4.4	Hvilke hendelser kan lede til minste-risiko-tilstand? . . . . .	69
4.4.1	MRT i et praktisk eksempel . . . . .	69
4.4.2	Verst tenkelige tilfelle . . . . .	73
4.5	Hvordan bestemme minste-risiko-tilstand? . . . . .	74
4.5.1	Hvilken hendelse står skipet ovenfor? . . . . .	74
4.5.2	Hvilken driftstilstand har skipet? . . . . .	75
4.5.3	Hvordan gi operatøren på operasjonssenteret situasjonsforståelse? . . . . .	76
4.5.4	Hvilke MRT-er er tilgjengelig? . . . . .	78
4.5.5	Hvilken MRT er å foretrekke? . . . . .	79
<b>5</b>	<b>Konklusjon . . . . .</b>	<b>80</b>
5.1	Konklusjon . . . . .	80
5.2	Videre forskningsarbeid . . . . .	83
	<b>Bibliografi . . . . .</b>	<b>85</b>

# Figurer

3.1	Regulerende myndigheter av norske registrerte skip . . . . .	14
3.2	ODD område . . . . .	29
3.3	ALARP-prinsippet . . . . .	31
3.4	Noen av de vanligste komponentene i et autonomt skip. . . . .	35
3.5	SADA-sløyfen . . . . .	40
3.6	Konsept for normalsituasjon, unormale situasjoner og minste-risiko-tilstand .	46
4.1	Forskyvning av operasjonstilstanden mellom ulike faser. . . . .	61
4.2	Tilstandsdiagram over kontrollfunksjonene, med relaterte hendelser. . . . .	64
4.3	Matrise med kontrollfunksjonene, med tilhørende hendelser. . . . .	65
4.4	Feiltreanalyse av UPS som proaktiv barriere. . . . .	71
4.5	Praktisk eksempel med MRT. . . . .	72

# Tabeller

2.1	Sentrale søkeord for hvert forskningsspørsmål . . . . .	9
3.1	Grad av autonomi [47]. . . . .	27
4.1	Sentrale faktorer for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet. . . . .	54
4.2	Kontrollfunksjon overganger for ulike hendelser. . . . .	63

# Akronymer

**ALARP** As low as reasonably practicably. ix, 31, 66

**COLREGS** Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea.  
50, 54, 66

**CONOPS** Concept of operations. 47, 60, 71, 78

**ETA** Event tree analysis (Feiltreanalyse). 51

**FSA** Formal safety assessment. 51, 54

**HMI** Human Machine Interface. 42, 43, 68

**IMO** International Maritime Organization. 6, 7, 13, 17, 22, 25, 27

**IoT** Internet of things (Tingenes Internett). 23, 37, 42, 74, 76

**ISM-koden** International Safety Management Code. 15, 18, 25, 26, 50, 52–54, 66

**KI** Kunstig intelligens. 23, 42, 48, 73, 74

**MARPOL** International Convention for the Prevention of Pollution from Ships. 15, 50, 54

**MASS** Maritime Autonomous Surface Ship. 9

**MRT** Minste-risiko-tilstand. 47, 69–72, 74, 77–79

**MTTR** Mean Time to Repair. 34, 66, 79

**ODD** Operational Design Domain. ix, 29, 32, 47, 69, 70

**RSE** Regulatory scoping exercise. 66

**SA** Situational awareness (Situasjonsforståelse). 41, 67, 68

**SOLAS** Safety of Life at Sea. 15, 50, 54

**STCW** The Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for seafarers. 15, 25, 26, 50, 54, 68

**UKH** Usikre kontrollhandlinger. 70, 72



# Ordliste

**farekilde** En egenskap, en tilstand eller et forhold som kan lede til en uønsket hendelse [1, s.41]. 17, 46, 51, 60, 69, 72

**feiltreanalyse** ETA er et logisk diagram som illustrerer sammenhengen mellom en uønsket hendelse (Topp-hendelse) og årsaken. Sammenhengen mellom inngangshendelsene og topp-hendelsen vises med logiske porter, i form av grafiske symbol for enten «og» eller «eller» [1, s.172]. 70

**proaktive barrierer** Beskyttelsesutstyr eller tiltak for å forhindre eller redusere sannsynligheten av den uønskede hendelse [1, s.82]. 18

**reaktive barrierer** Beskyttelsesutstyr eller tiltak for å forhindre eller redusere konsekvensene av den uønskede hendelse [1, s.82]. 18

**rotårsak** Er den underliggende årsaken til en hendelse, og dersom denne korrigeres tilstrekkelig kan man forhindre gjentakelse [2]. 53, 56, 70

**uønsket hendelse** En irreversibel, fysisk hendelse som kan føre til skade på mennesket, miljø eller materielle verdier [1, s.29]. 13, 74

# Kapittel 1

## Introduksjon

### 1.1 Bakgrunn og motivasjon

Den teknologiske utviklingen har vært en eneste stor suksesshistorie, og har endret samfunnet til det bedre. Det har forbedret menneskets evner og realisert drømmer. Imidlertid har denne historien også vært preget av nedturen og tilbakeslag. De største nedturene er sikkerhetsrelatert [3].

I gamle dager ble ikke sikkerhet ansett for å være en offentlig bekymring, ulykker ble heller sett på som uunngåelig eller guds vilje. Denne fremstillingen av sikkerhet ble modernisert på 1900-tallet som en reaksjon på fabrikkulykkene som framkom etter den industrielle revolusjonen [4, s.1]. I dagens samfunn er sikkerhet av verdensomspennende interesse, og er relevant i utallige sammenhenger. Maritim transport er intet unntak.

Maritim transport kan regnes for å være «hjertebudet» i verdensøkonomien [5]. Ifølge IMO [6] transporterer internasjonal skipsfart mer enn 80 prosent av verdenshandelen. I tillegg er skipsfart en pålitelig og rimelig måte å transportere varer globalt, forenkle handelen og bidra til å skape velstand blant nasjoner og befolkninger. IMO [7] mener videre at shipping er en av de mest internasjonale av alle verdens store industrier, men det er også en av de farligste. Dette har påvirket både næringen og regulatorne til å ta grep for å heve sikker-

hetsnivået de siste tiårene [8]. Norsk Forum for Autonome Skip [5] anseer digitalisering og automatisering som høyt prioritert i denne sammenheng, og dette inkludert en stor interesse for autonome skip. De trekker også fram Norge som et verdensledende land innen forskning og utvikling på området. Norges godt integrerte maritime klynge forenkler samarbeide om å løse de sammensatte og komplekse problemstillinger som autonome skip representerer [5]. Imidlertid er vi fortsatt et stykke unna realisering av et fullt autonome skip [9], og det er fortsatt behov for mer forskning og utvikling [10]. Spesielt innen sikkerhetsrelaterte problemstillinger. Derfor er dette i aller høyeste grad et dagsaktuelt forskningstema.

Gjennom mitt studieløp har jeg tilegnet meg kunnskap om den teknologiske utviklingen av autonome systemer, samt flere sikkerhetsrelaterte konsepter. Sikkerhet er et aktuelt tema i de fleste ingeniør jobber, men jeg opplevde selv at dette ikke er en stor nok del av studieløpet. Jeg ønsker å fremheve viktigheten av sikkerhet tilknyttet å kunne realisere ny teknologi. I tillegg finner jeg autonomi, spesielt tilknyttet det maritime, veldig interessant. Dette har inspirert meg til å velge sikkerhet relatert til autonome skip som tema for denne masteroppgaven.

## 1.2 Problemformulering

I denne masteroppgaven har jeg definerte fem forskningsspørsmål. Jeg valgte også å definere ulike mål for hva jeg ønsker å oppnå gjennom arbeidet. Forskningsspørsmålene, samt tilknyttede mål er som følger:

### 1. Hvordan oppnå tilstrekkelig sikkerhet?

Målet med forskningen er å:

- Gi en forståelse av hva sikkerhet er.
- Gi en forståelse av hva maritim sikkerhet er.
- Definere sentrale faktorer for hvordan man oppnår tilstrekkelig sikkerhet.
- Utdype viktige aspekter ved hver av de sentrale faktorene.

### 2. Hva er sikkerhetsutfordringene for ubemannede skip?

Målet med forskningen er å:

- Definere hvilke sikkerhetsutfordringer som tilknyttes ubemannede skip.
- Utdype årsaken til de ulike sikkerhetsutfordringene.

### 3. Under hvilke driftsrammer vil ubemannede skip operere?

Målet med forskningen er å:

- Gi en forståelse av driftsrammene til ubemannede skip.
- Definere hvilke kontrollfunksjoner ubemannede skip kan operere med.
- Utdype hvilke funksjoner og oppgaver som kan relateres til de ulike kontrollfunksjonene.

### 4. Hvilke hendelser kan lede til minste-risiko-tilstand?

Målet med forskningen er å:

- Gi en forståelse hva minste-risiko-tilstand er.
- Fremlegge et praktisk eksempel av minste-risiko-tilstand i en maritim sammenheng.

## 5. Hvordan bestemme minste-risiko-tilstanden?

Målet med forskningen er å:

- Definere ulike trinn for å bestemme minste-risiko-tilstand.
- Utdype viktige aspekter innenfor de ulike trinnene.

## 1.3 Rapportens oppbygging

Denne masteroppgaven deles inn i følgende kapitler:

- **Kapittel 1** gir en introduksjon: Bakgrunn og motivasjon bak tema for denne masteroppgaven er først lagt frem. Deretter blir det redegjort for oppgavens problemformulering, og til slutt fremlegges oppgavens oppbygging.
- **Kapittel 2** redegjør for valg av metode: Valg av metode og tilknyttet framgangsmåte blir i dette kapitlet beskrevet. I tillegg fremlegges søkehistorikken, og tilknyttet kildekritikk blir diskutert.
- **Kapittel 3** er det teoretiske grunnlaget: Basert på de fem forskningsspørsmålene er det gjennom en litteraturstudie opparbeidet et teoretisk grunnlag, som skal kunne bygge opp egne diskusjon og argumentasjon. Dette kapitlet er delt i fire deler: Sikkerhet, maritim sikkerhet, ubemannede skip og minste-risiko-tilstand. Under hver av disse er det en rekke underkapitler, som til sammen utgjør det teoretiske grunnlaget for videre diskusjon.
- **Kapittel 4** er analyse og diskusjon: Basert på det teoretiske grunnlaget blir forskningsspørsmålene besvart gjennom analyse og videre diskusjon.
- **Kapittel 5** er konklusjon: I dette kapitlet vil hovedpoengene fra fremlagt diskusjon bli poengtert. Til slutt er det også lagt fram hva som burde bli gjort gjennom videre forskningsarbeid.

# Kapittel 2

## Metode

### 2.1 Valg av metode

Det er valgt å benytte seg av litteraturstudien som en begrenset kvalitativ metode i denne masteroppgaven. Dette er valgt som metode fordi det ansees som den beste måten å besvare forskningsspørsmålene, og i dette kapittelet skal jeg argumentere for hvorfor.

Forskningsspørsmålet vil være selve rammeverket for litteraturstudien, og de setter grensene for oppgaven og dermed hvilke teorier som vil være relevant [11]. Det er mange fordeler med å gjennomføre en litteraturstudie, blant annet kan det benyttes for å [12, s.3]:

- Identifisere eksisterende eller påbegynt arbeid som er relatert til tema.
- Forhindre at man kopierer hva som allerede er gjort.
- Forhindre noen av fallgruvene og feilene fra tidligere forskning.
- Designe metodikken for prosjektet ditt ved å identifisere nøkkelproblemene og data-innsamlingsteknikkene som passer best til ditt emne.
- Finne hull i eksisterende forskning, og dermed gi deg et unikt emne.

På bakgrunn av dette kan man sammenligne og trekke linjer mellom relevant litteratur. Slik at man skaper en tilstrekkelig forståelse for å kunne diskutere og drøfte tematikken, samt komme med egne konklusjoner tilknyttet forskningsspørsmålene.

Den maritime næringen er fortsatt i en startfase når det kommer til realiseringen av ubemannede skip (se avsnitt 3.3.3). Derfor er det for tidlig å kunne få et tilstrekkelig kvantitativt grunnlag fra igangsatte prosjekter for å besvare forskningsspørsmålene. Imidlertid er det noe erfaringer som kan overføres og benyttes for å validere argumentasjon i oppgaven. Litteraturstudie benyttes derfor for å kartlegge områdene hvor det er mulig å bygge på eksisterende forskning, samt hvilke områder hvor forskningen har mangler eller såkalte «hull». Oppgaven begrenses ikke til kun vitenskapelig litteratur, men det benyttes også artikler og rapporter fra anerkjente organisasjoner sine nettsider. Anerkjente organisasjoner i denne sammenheng er for eksempel IMO, Sjøfartsdirektoratet, DNV og Regjeringen.

Det er valgt å ikke gjennomføre intervjuer som en metode. Dette er gjort fordi området er relativt lite utbredt, men også det faktum at aktuelle intervjuobjekter vil være tilknyttet en organisasjon eller bedrift. I flere maritime organisasjoner og bedrifter er mye hemmeligholdt rundt tematikken. Dette er både fordi det er et relativt nytt felt, men også fordi det er et felt hvor utviklingen ofte er avhengig av større mengder ressurser. I frykt for at sensitiv informasjon kan bli kjent for konkurrenter, vil det være vanskelig å få nok informasjon for et godt nok kvalitativt grunnlag. Til slutt er det verdt å nevne at min egen opparbeidede kunnskap og erfaring rundt tema også har bidratt til å besvare forskningsspørsmålene.

## 2.2 Fremgangsmåte for litteratursøk

En strukturert fremgangsmåte er viktig for å sikre en viss effektivitet og framgang på arbeidet, samt sikre gyldighet og pålitelighet i arbeidet som framlegges. Det er viktig å planlegge søk ved å først finne ut at hva man ønsker svar på, men også hvordan man best kan finne svaret. Hva man ønsker svar på må utarbeides gjennom en problemformulering, som i denne oppgaven baseres på forskningsspørsmål. Når det kommer til hvordan man skal finne relevant litteratur er det hovedsakelig tre ulike måter som er benyttet i denne masteroppgaven:

1. Google Scholar
2. Oria
3. Google

Google Scholar <sup>1</sup> ble brukt som en primær søkemotor for litteraturstudiet. Dette er en anerkjent søkemotoren som er av høy kvalitet og troverdighet når det kommer til akademisk litteratur, sammenlignet med andre søkemotorer som for eksempel google. I tillegg er tematikken tilknyttet et relativt nytt felt, og Google Scholar fremlegger ofte nyere litterære verk sammenlignet med for eksempel Oria. Denne har også den fordelaktige funksjonaliteten at man kan se hvor mange som har sitert dokumentet i sin litteratur, som øker troverdigheten. I tillegg kan man enkelt sortere ut nyere litteratur, som i noen tilfeller har vært nødvendig.

Oria <sup>2</sup> som er NTNUs nettbaserte Universitetsbibliotek ble også mye brukt for å finne relevante bøker og artikler. I flere tilfeller ble litteratur i utgangspunktet funnet i Google Scholar, men at man kun hadde tilgang til utdrag av teksten og hele teksten var å finne i Oria. En fordel med Oria er også at det er flere muligheter for å filtrere etter behov, samt at litteraturen som finnes ansees som svært troverdig.

Google <sup>3</sup> ble benyttet i enkelte tilfeller for å finne relevant informasjon. Dette ble benyttet i mindre grad på bakgrunn av at informasjonen som framkommer i denne søkemotoren ikke nødvendigvis er av like høy kvalitet og relevans som de to forestående. Imidlertid er tematikken basert på et område i rask utvikling og aktualiteten til tekstene er derfor viktig. Ved bruk av Google får man flere nyere artikler og rapporter, men her er det viktig å være kildekritisk. Google gir også lett tilgang til flere internettsider som tilknyttet anerkjente organisasjoner innenfor tema, eksempelvis IMO, som det er innhentet informasjon fra.

I enkelte tilfeller er «Snøballeffekten» benyttet, som tilsier at jeg har funnet en relevant kilde, via en kilde funnet fra i de forestående søkemotorene. Dette gir ofte god validitet dersom kilden er fra en troverdig kilde.

---

<sup>1</sup><https://scholar.google.no/>

<sup>2</sup>[https://bibsyst-almaprimo.hosted.exlibrisgroup.com/primo-explore/search?vid=NTNU\\_UB&lang=no\\_NO](https://bibsyst-almaprimo.hosted.exlibrisgroup.com/primo-explore/search?vid=NTNU_UB&lang=no_NO)

<sup>3</sup><https://www.google.no/>



Det kan også være verdt å påpeke at det meste av litteratur i denne oppgaven er publisert på engelsk. For det første fordi tematikken et internasjonalt tema, samt at det engelske vokabularet egner seg godt for å skrive om teknologi. Imidlertid har jeg valgt å skrive på norsk. Dette er fordi jeg mener det er viktig å framheve det norsk språk, samt at man kan bidra til å skape et mer utbredt norsk vokabular for teknologiske og maritime, ord og uttrykk.

Litteratursøket ble primært utført på engelsk fordi temaet er internasjonalt. Selv om det også oftest ble sjekket opp om søkeordet ga relevante treff på norsk, men dette var sjeldent tilfellet i Scholar og Oria. Imidlertid var det enkelte ganger hvor Google på disse norske søkeordene ga relevante publikasjoner fra anerkjente norske organisasjoner på området, som for eksempel fra Regjeringen eller Sjøfartsdirektoratet.

## 2.3 Søkehistorikk

En viktig del av framgangsmåten er å finne søkeord som vil være relevante for å besvare denne oppgavens forskningsspørsmål. Dette krever at man har gode framgangsmåter, men det er også behov for noe trening for å kunne bedre selektere relevant materiale.

Forskningsspørsmålene starter med et relativt bredt tema, og så begrenses omfanget seg gjennom de etterfølgende forskningsspørsmålene. I takt med at omfanget begrenses, øker behovet for nyere litteratur. Ubemannede skip er i kontinuerlig utvikling, og derfor vil den nyeste litteraturen være mest relevant i de fleste tilfeller.

For de ulike forskningsspørsmålene er ulike søkeord benyttet. I tabell 2.1 fremlegger jeg de fem forskningsspørsmål og noen av de mest sentrale søkeord som tilknyttet. Noen ord er satt sammen med støtteord som begrenser søket mer inn mot tema, dette er markert med et pluss tegn i tabellen. Hvordan støtteordet supplerer søket varierer, men ord som «i», «for» og «og» er ofte brukt. Terminologien som benyttes i litteraturen for skip med noe grad av autonomi er varierende (se avsnitt 3.3.5), og derfor har det vært nødvendig å bruke forskjellige betegnelser også i litteratursøket. «Autonomous vessels» eller «Autonomous ships» ansees som den mest vanlige terminologiene, og er derfor oftest brukt. Imidlertid er støtte-

ord som MASS og Unmanned skip også brukt, men i tabellen er «Autonomous vessels» et samlebegrep.

**Tabell 2.1:** Sentrale søkeord for hvert forskningsspørsmål

Forskningsspørsmål	Søkeord
1. Hvordan oppnå tilstrekkelig sikkerhet?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Safety + Maritime</li> <li>- Security + Maritime</li> <li>- Risk + Maritime</li> <li>- Safety management system + Maritime</li> <li>- safety critical systems + Maritime</li> <li>- Maritime Human factors</li> <li>- Maritime regulations</li> </ul>
2. Hva er sikkerhetsutfordringene for ubemannede skip?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Autonomous vessels</li> <li>- Safety + Autonomous vessels</li> <li>- Challenges + Maritime + Autonomous vessels</li> <li>- Technical + Challenges + Autonomous vessels</li> <li>- Operational + Challenges + Autonomous vessels</li> </ul>
3. Under hvilke driftsrammer vil ubemannede skip operere?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operational Design Domain + Maritime</li> <li>- Human involvement + Maritime</li> <li>- Human-machine + Autonomous vessels</li> <li>- Technology + Autonomous vessels</li> </ul>
4. Hvilke hendelser kan lede til minste-risiko-tilstand?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimum risk Conditions + Maritime</li> <li>- Risk analysis + Maritime + Autonomous vessels</li> </ul>
5. Hvordan bestemme minste-risiko-tilstand?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Communication + Autonomous vessels</li> <li>- Human-machine interface + Autonomous vessels</li> <li>- Human-centred design + Autonomous vessels</li> <li>- Alarms + Maritime + Autonomous vessels</li> </ul>

## 2.4 Kildekritikk

Denne framgangsmåte vil være et godt utgangspunkt for å finne relevant litteratur, men det vil være nødvendig å være kritisk til de litterære funnene. For hvert enkelt tilfelle må man vurdere både gyldighet og pålitelighet. I følge Holme og Solvang [13, s.153] blir pålitelighet bestemt av hvordan målingene er gjort og nøyaktigheten i den videre behandlingen av dataen. Gyldighet på sin side er avhengig av hva som er målet og om dette er egenskaper man ønsker at problemstillingen skal avklare. Holme og Solvang [13] mener også at det kan være utfordrende å skille ut kilder på disse to områdene. Spesielt påliteligheten kan i noen tilfeller være nærmest umulig å sikre helt. Holme og Solvang [13, s.32] argumenterer videre for at man i mange tilfeller leser «forskning viser at» og da antar man gjerne at det stemmer, men så finnes det ingen forskning som er helt nøytral og verdifrie. Selv om dette på en måte svekker validiteten på litteraturen, er dette noe man til et visst punkt er nødt til å akseptere.

Som tidligere nevnt valgte jeg å skrive denne oppgaven på norsk. Utfordringen med å skrive på norsk er at ikke alle uttrykk har tilsvarende gode norske oversettelser, og dette kan føre til noe misvisende teori dersom det ikke er lagt fram riktig.

# Kapittel 3

## Teori

Denne masteroppgaven baseres på litteraturstudie, og derfor er det sentralt å finne relevant teori. Teorien skal på best mulig måte skape et grunnlag for å bygge opp under egne diskusjoner og argumentasjoner for å besvare forskningsspørsmålene senere i oppgaven.

### 3.1 Sikkerhet

Ordet sikkerhet kan benyttes i mange sammenhenger, og er et viktig konsept innen de fleste industrier. Men begrepet er ikke like entydig som man kan tro. Derfor skal jeg i det følgende teorikapitlet se nærmere på begrepet sikkerhet på en generell basis.

#### 3.1.1 Sikkerhet som begrep

De fleste kjenner begrepet sikkerhet og har en formening om hva det betyr, samt antar gjerne at alle har samme forståelse [14, s.1]. Imidlertid er sikkerhet et konsept som har utviklet og endret seg gjennom århundrer, men spesielt de siste tiårene [15]. Det er flere som argumenterer for at det ikke finnes en klar definisjon, og det er ulik tilnærming til uttrykket i forskjellige kontekster [14, s.1]. Til tross for dette er det flere definisjoner som har tatt plass i litteraturen, blant annet Hollnagel [14, s.1] som mener at:

«Sikkerhet er systemets egenskap eller kvalitet som er nødvendig og tilstrekkelig for å forsikre at antall hendelser som kan være skadelig for arbeidere, offentligheten, eller miljøet er akseptabelt lavt.»

Begrepet risiko kommer ofte opp i denne sammenheng. Kort sagt, definerer Kristiansen [8, s.12] begrepet sikkerhet som graden av frihet fra fare, og risiko som en måte å vurdere dette på. Kristiansen [8, s.31] påpeker også at risiko blir oftest sett på som produktet av sannsynlighet og konsekvens. Imidlertid mener Justis- og Politidepartementet [16] at dette ikke stemmer, og at risiko avhenger av foreliggende informasjonen og kunnskap. I tillegg trenger det heller ikke være likevekt mellom betydning av sannsynlighet og konsekvens.

Det bør også nevnes at ordet sikkerhet benyttes ofte som et samlebegrep for de engelske ordene *security* og *safety*. Ifølge Justis- og Politidepartementet [16] kan *security* og *safety* oversettes til hennholdsvis sikring og trygghet. Sikkerhet mot uønskede utilsiktede hendelser kan betegnes som trygghet, mens sikkerhet mot uønskede tilsiktede hendelser kan betegnes som sikring. Siden trygghet og sikring blir benyttet om hverandre i den norske dagligtalen, så finner jeg det hensiktsmessig å benytte overbegrepet sikkerhet videre i denne oppgaven.

## 3.2 Maritim sikkerhet

Ifølge Rothblum [17] har skipsindustrien de siste 40 årene fokusert på å forbedre skipsstrukturen og påliteligheten for å øke sikkerheten, effektiviteten og produktiviteten. Hun mener at dette har ført til en rekke forbedringer når det kommer til skrogdesign, stabilitetssystemer, fremdriftssystemer og navigasjonsutstyr. Imidlertid påpeker hun også at man fortsatt opplever et høyt antall havarier, til tross for at dagens skipssystemer er teknologisk avanserte og pålitelige. Det mener hun kommer av at skipsstruktur og systempålitelighet er en relativt liten del av sikkerheten. Derfor skal jeg i det følgende se på hvilke sikkerhetsaspekter som tilknyttes maritime operasjoner. Her vil temaer som aktører, regelverk, risikostyring og menneskelig involvering adresseres gjennom relevant teori.

### 3.2.1 Begrepet maritim sikkerhet

I en maritim sammenheng kan man definere en ulykke som en uønsket hendelse som resulterer i skade på tre ting [8, s.19]:

- Mennesker
- Eiendeler
- Miljø

Også her er det i utgangspunktet forskjeller på maritim *safety* og *security*. Ifølge Eski [18] ohandler maritim *safety* beskyttelse av havner, skip og deres samfunn mot utilsiktede farer og skader (for eksempel storm på havet), mens maritim *security* omfatter beskyttelse av havner, skip og deres samfunn mot bevisste farer og skader (for eksempel cyberangrep). Som tidligere nevnt er sikkerhet et samlebegrep på *security* og *safety*, og for å forenkle er dette også tilfellet her.

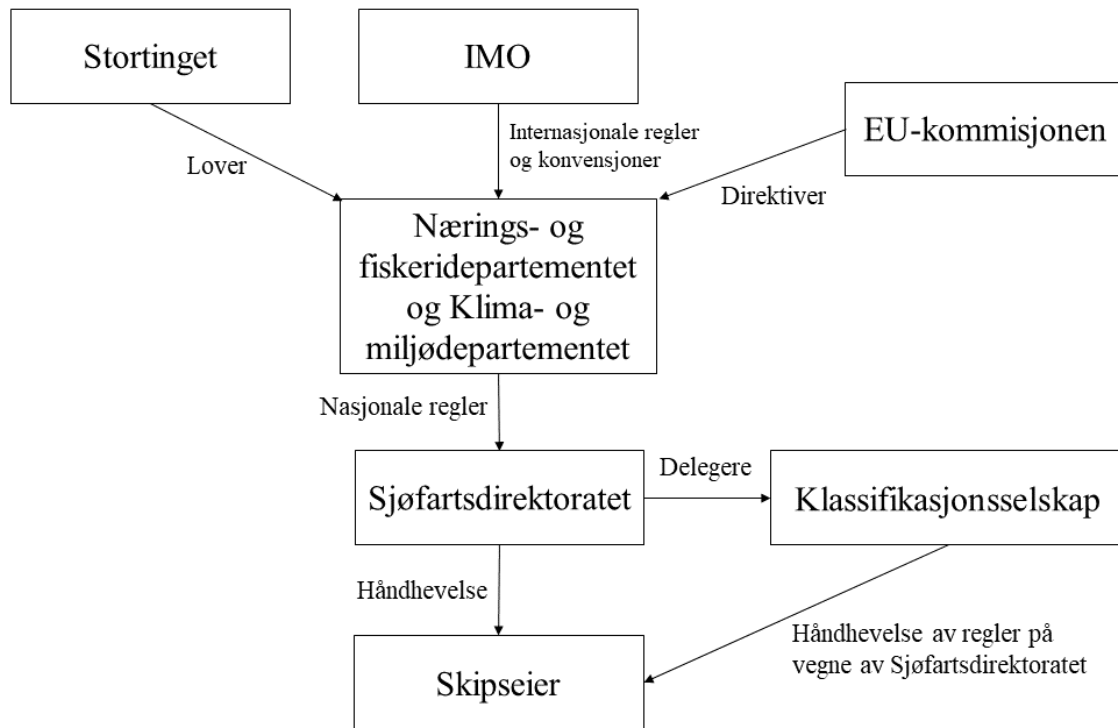
### 3.2.2 Aktører som har innvirkning på sikkerheten

I alle maritime operasjoner så har ulike aktører innvirkning på sikkerheten. På tvers av ulike studier har jeg kommet fram til at de mest sentrale: IMO, nasjonale sjøfartsmyndighet og sikkerhetsmyndighet (DSB), klassifikasjonsselskap, skipseier, designer/konsulent, skipsbygger, vareeier, teknologileverandør, drivstoffleverandør, forsikringsgiver, forvaltningsselskap og havneadministrasjon [8, s.4],[19]. Der alle har ulik påvirkning i forskjellige faser, og vil til en viss grad ha ulike interesser.

#### Regulerende myndigheter

En sentral aktør for et hvilket som helst skip er de forskjellige regulerende myndighetene. Innledningsvis kan det være hensiktsmessig å få et bedre bilde av hvordan regulering av maritim sikkerhet er bygget opp. Kristiansen [8, s.54] har visualisert denne sammenhengen med Norge som utgangspunkt, men siden dette er datert noe tilbake i tid er det gjort enkelte

oppdateringer [20, s.54], vist i figur 3.1.



**Figur 3.1:** Regulerende myndigheter av norske registrerte skip.

På grunn av at maritim virksomhet er av internasjonal karakter og er hensynet likt konkurranseforhold, tilknyttet et omfattende regelverk for sikkerhet og beredskap [21]. Dette er først og fremst basert på regler gitt av Den internasjonale sjøfartsorganisasjonen (IMO), som er FNs viktigste organ for regulering av internasjonal skipsfart [6]. På et nasjonalt nivå er reguleringen basert på et sett internasjonale regler som vedtas av den lovgivende forsamling, Stortinget. De konkrete reglene og forskriftene er skrevet eller oversatt av ansvarlig departementer [8, s.54], som i Norge er Nærings- og fiskeridepartementet og Klima- og miljødepartementet [20]. Sjøfartdirektoratet er et forvaltningsorgan under Nærings- og fiskeridepartementet og Klima- og miljødepartementet, med myndighetsansvar overfor norske og utenlandske norskregistrerte skip [20]. Internasjonalt er dette det man betegner som flagg-

stat. Ifølge Regjeringen [22] kan Sjøfartsdirektoratet delegere tilsynsmyndighet til forskjellige klassifikasjonsselskap, slik at de kan opptre på vegne av flaggstatsmyndigheten. Ifølge DNV [23] utvikler og vedlikeholder klassifikasjonsselskapet de tekniske standarder for design, konstruksjon og vedlikehold av skip. De forklarer også at skipet tildeles en klasse og et klassifiseringsbevis. Videre blir skipet undersøkt av klassifikasjonsselskapet for å etablere tilstrekkelig sikkerhet for at gjeldende krav er oppfylt og klasse kan opprettholdes.

### 3.2.3 Regelverk for maritim sikkerhet

Som andre produkter eller fasiliteter i verden, er et skip designet og bygget i henhold til et sett med krav. Noen obligatoriske og andre frivillige. I hovedsak må skipet følge internasjonale standarder satt av IMO og skipets flaggstat [24, s.98]. I det følgende skal det kort redegjøres for noen av de mest sentrale IMO reguleringskonseptene, SOLAS, ISM-koden, STCW, MARPOL og COLREG [22].

#### SOLAS

SOLAS (*Safety of Life at Sea*) er det mest sentrale regelsettet for maritim sikkerhet. Denne konvensjonen ble vedtatt i 1914 og kan betraktes som en reaksjon på den mest kjente skipskatastrofen, Titanic. Siden den gang har regelsettet blitt oppdatert flere ganger. Hovedmålet med SOLAS-konvensjonen er å spesifisere minimumsstandarder for konstruksjon, utstyr og drift av skip, forenlig med deres sikkerhet [25].

#### ISM-koden

ISM-koden (*International Safety Management Code*) baseres på SOLAS regelsettet. Formålet med koden er å gi en internasjonal standard for sikker styring og drift av skip og for forurensningsforebygging [26]. Denne koden er et viktig verktøy for maritim sikkerhetsstyring.



## **STCW**

STCW (*The Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for seafarers*) gir normer for opplæring, sertifikater og vakthold for sjøfolk. Den inneholder for eksempel retningslinjer for kaptein- og dekkavdeling, maskinavdeling, radiokommunikasjons- og radiopersonell [27].

## **MARPOL**

MARPOL (*International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*) er den viktigste internasjonale konvensjonen som dekker forebygging av forurensning av det marine miljøet fra operasjonelle eller utilsiktede årsaker [28].

## **COLREGS**

COLREGS (*Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea*), gir navigasjonsregler for å forhindre kollisjon mellom fartøy. COLREG inkluderer blant annet regler innen styring og seiling, lys og former, lyd- og lyssignaler [29].

## **Sjøfartsdirektoratet**

Som tidligere nevnt er Sjøfartsdirektoratet betegnet som Norges flaggstat. De er forvaltnings- og tilsynsmyndighet for arbeidet med sikkerhet for liv, helse, miljø og materielle verdier på fartøy med norsk flagg og utenlandske fartøy i norske farvann. Sjøfartsdirektoratet er en viktig bidragsyter til høyere sikkerhet og et renere miljø innen maritim næring. I tillegg bidrar de til å sikre, forsvare og styrke Norges posisjon som en ledende sjøfartsnasjon [30].

### **3.2.4 Maritime risikostyring**

Risikostyring viktig for å sikre eller heve sikkerhetsnivået på hvilket som helst skip. Videre betegnes risikostyring som en kontinuerlig ledelsesprosess som har som mål å identifisere,

analysere og vurdere mulige risikoforhold i et system eller i en virksomhet. Som de deler inn i to hovedaktiviteter, risikovurdering og risikokontroll/-reduksjon [1, s.6]. Til alle typer skip stilles det krav om risikovurdering, og sikkerhetsstyringssystemer [31]. Dette er en form for risikokontroll/-reduksjon. Disse to konseptene, samt sikkerhetskultur og risikoforståelse vil bli nærmere sett på i det følgende.

### Risikovurdering

Risikovurdering kan brytes ned i to delaktiviteter, risikoanalyse og risikoevaluering [1, s.6]. Risikoanalyse handler om å avdekke farekilder, identifisere uønskede hendelser, bestemme frekvens og konsekvens, samt sette opp risikobilde [1, s.7]. Det finnes en rekke risikoanalysemetoder, og mange er samlet under ISO (International Organization for Standardization) standarden NS-ISO 31010:2019. Denne gir veiledning, valg og anvendelse av metoder for å vurdere risiko [32]. Eksempel på noen analysemetoder er [31]: Brainstorming, SJA (Sikker jobb analyse), FMECA (*Failure mode, effects, and criticality analysis*), SWIFT (*Structured What-if technique*) og ETA (*Event tree analysis*). Disse er ikke industrispesifikke, og kan benyttes i flere sammenhenger.

IMO har innenfor det maritime utarbeidet Formal safety assessment (FSA). Dette er en strukturert og systematisk metodikk rettet mot å øke sikkerheten til sjøs, og består av fem trinn [33]:

1. Identifikasjon av farer (Hva kan gå galt?)
2. Vurdering av risiko (Hvor ille og hvor sannsynlig?)
3. Risikokontrollalternativer (Kan saken forbedres?)
4. Kostnadsnyttevurdering (Hva ville det koste og hvor mye bedre ville det vært?)
5. Anbefalinger for beslutningstaking (Hvilke tiltak bør iverksettes?).

Uansett analysemetode, er gjennomføring viktig. Risikovurderingen bør gjennomføres systematisk, gjentakende og gjennom samarbeid [31]. Der det også bør dras nytte av kunnskap og synspunkter fra alle berørte, samt at man bruker den beste tilgjengelige informa-

sjonen og supplere med ytterligere undersøkelser ved behov [34].

Ifølge Rausand og Utne [1, s.8] handler risikoevaluering om å vurdere risiko, foreslå risikoreducerende tiltak og vurdere alternative løsninger. De forklarer risikoreducerende tiltak som en beskyttende eller korrigerende enhet eller mekanismen, også kalt sikkerhetsbarriere. Dette kalles henholdsvis proaktive barrierer og reaktive barrierer [1, s.82]. Sikkerhetsstyringssystemer er en type sikkerhetsbarrierer.

### **Sikkerhetsstyringssystemer**

En forutsetning for risikovurderingen er at tiltak ikke bare blir foreslått, men at den følges opp med aktive handlinger i sikkerhetsstyringssystemer [31]. Sikkerhetsstyringssystem (*Safety management system*) er et strukturert og dokumentert system som setter selskapets personell i stand til effektivt å gjennomføre selskapets politikk for sikkerhet og miljøvern [35].

Disse barrierene kan ifølge Sjøfartsdirektoratet [36] enten være organisatoriske, eller tekniske og operasjonelle. Organisatoriske barrierene involverer oftest menneskelig handling, eksempelvis lovgivning, sjekklister, regler og prosedyrer, opplæring, øvelse, inspeksjon, vedlikehold og sertifisering. Tekniske eller operasjonelle barrierer, kan eksempelvis være design av arbeidsutstyr, personlig sikkerhetsutstyr, alarmer, låser, sikringer, skjerming og nødstop [36].

Sjøfartsdirektoratet [37] har fremmet noen kritiske suksessfaktorer for å lykkes med å etablere et sikkerhetsstyringssystem. Blant annet at sikkerhet starter hos ledelsen. De påpeker at det er helt avgjørende at man utvikler strategier, setter mål, sikrer kunnskap hos ansatte, samt motiverer og skaper et miljø for en sikkerhetsbevissthet i hverdagen.

Sjøfartsdirektoratet har pålagt alle fartøy, som er omfattet av forskriften om sikkerhetsstyringssystem for norske skip og flyttbare innretninger, å følge ISM-koden [37]. Ifølge Kristiansen [8, s.61] er ISM-koden inspirert av prinsipper for kvalitetsstyring og internkontroll, slik at den vil kunne skape sikkerhetsbevissthet og en systematisk tilnærming i alle deler av organisasjonen. Han påpeker også at koden ikke i detalj beskriver hvordan selskapet skal

foreta seg noe, men gir noen grunnleggende prinsipper og kontroller som bør anvendes.

### **Sikkerhetskultur og risikoforståelse**

Sikkerhetskultur og risikoforståelse er et av fokusområdene for Sjøfartsdirektoratet i 2022 [34]. De mener at dette er selve paraplyen, altså det overordnede fokuset når det kommer til sikkerhet [31].

Ifølge Berg [38] dukket begrepet sikkerhetskultur først opp i den internasjonale atom-energibyråets sine første rapport etter Tsjernobyl-katastrofen, og er siden den gang et diskutert tema i en rekke artikler og rapporter. Til tross for dette mener Berg [38] at det er ingen universell definisjon eller modell på uttrykket. Sjøfartsdirektoratet [31] definerer sikkerhetskultur som «det å ha felles verdier, arbeidspraksis og holdninger i organisasjonen». God sikkerhetskultur kan muligens oppnås gjennom skriftlige instruksjoner, men til syvende og sist er det et spørsmål om felles tankesett i hele organisasjonen [38]. Det krever også bevissthet og årvåkenhet fra alle involverte [31].

Ifølge Sjøfartsdirektoratet [34] omfatter sikkerhetskultur sikkerhetssystemene om bord, inkludert vedlikeholdssystemer. Vedlikehold av utstyr og skip, spesielt tilknyttet kritiske systemer, er en viktig barriere for å sikre trygg drift. Sjøfartsdirektoratet [34] argumenterer også for at selv om svikt ikke alltid skyldes vedlikehold, så er gode vedlikeholdsrutiner viktig for å skaffe seg god kunnskap om maskineriets styrker og svakheter.

#### **3.2.5 Menneskelig involvering i maritim sikkerhet**

Selv om visse funksjoner i konvensjonelle skip har gradvis blitt automatisert, er et skip fortsatt stort sett et menneskekontrollert system [8, s.313]. Mennesker involveres gjennom ulike arbeidsoppgaver og dette kan medføre menneskelige feil, som adresseres i dette kapitlet.

## Maritime arbeidsoppgaver

I normal drift har operatøren om bord har en rekke arbeidsoppgaver en må forholde seg til. Selv om arbeidsoppgavene kan variere ut ifra kontekst, så er det mulig å generalisere med disse fem maritime arbeidsoppgavene (European BERTRANC project, referert i [39]):

1. Navigasjon: Ruteplanlegging, sporføring og unngåelse av kollisjoner
2. Fremdrift: Ansvar for integriteten til skipets fremdriftssystem og tilhørende hjelpeutstyr
3. Lasthåndtering: Lasting, holde lasten i god stand og lossing
4. Plattformvedlikehold: Holde skipet, dets utstyr og mannskapet i operativ stand
5. Skipsledelse: Fordeling av oppgaver og ansvar, kontroll og tilsyn, og kommunikasjon

Grech mfl. [39] påpeker at disse arbeidsoppgavene skal gjennomføres i skipets relativt uvanlig og noen ganger svært tøffe arbeidsmiljø. I tillegg til at skipsfarten preges av lange reiser, mye kjedsomhet og lite kontakt med familie, som kan øke risikoen for menneskelige feil.

## Menneskelige feil

Forskning viser at mer enn 80 prosent av ulykkene og de uønskete hendelsene til sjøs er forårsaket av menneskelige feil [24, s.10]. Det må bli større fokus på dette om vi ønsker å gjøre større fremskritt mot å redusere skipsulykker.

Menneskelig feil kan beskrives som en av følgende: en feil avgjørelse, en feil utført handling eller en mangel på nødvendig handling [40]. Det er gjort en rekke studier på dette, der det framkommer et bredt spekter av faktorutfordringer. Imidlertid er det noen som viser seg mer hyppige enn andre, blant dem: Tretthet, utilstrekkelig kommunikasjon, mangelfull teknisk kunnskap og koordinering mellom pilot og bromannskap [40]. UK Maritime and Coastguard Agency's Human Element Guidance-serie [41] på sin side bemerker seg at de fleste maritime ulykker, hendelser og feil skyldes en kombinasjon av mange ulike medvirkende faktorer. De peker på tolv vanlige menneskerelaterte faktorene, deriblant situasjons-

forståelse, alarm, kommunikasjon, evner, distraksjon og utmattelse.

Rothblum [40] mener at menneskelige feil også påvirkes av det faktum at mennesker underveis samhandler med teknologier, miljø og organisatoriske faktorer. Noen ganger ligger svakheten i mennesker selv, men oftere er det hvordan teknologiske, miljømessige eller organisatoriske faktorer påvirker måten mennesket presterer på. Videre argumenterer Rothblum [40] for at systemene må tilpasses mennesket, og ikke omvendt, for å kunne løse denne problematikken.

### 3.3 Ubemannede skip

Vi er nå inni det som kalles den fjerde industrielle revolusjonen (industri 4.0), dette som innebærer en økt bruk av automatisering, smarte maskiner og digitale teknologier [10]. Autonome eller ubemannede skip er av stor interesse i dagens taktskifte i maritim sektor [5]. Det forventes at realisering blant annet gir økt effektivitet, reduksjon av menneskelig arbeidsmengde og ikke minst økt sikkerhet [42]. I tillegg kan skipet operere med mindre eller mer klimavennlig drivstoff, slik at skipet kan ha null eller lave utslipp til luft og sjø [43]. I dette kapittelet skal jeg ta et videre dypdykk inn i litteraturen for å prøve å avdekke sentrale aspekter relatert til ubemannede skip.

#### 3.3.1 Terminologien

I litteraturen er det delte meninger rundt terminologien som brukes når det kommer til skip som benytter teknologier for å kunne operere på egenhånd. «Autonomt» har etter hvert blitt et utbredt uttrykk, og mange bruker uttrykket på skip som opererer helt uten menneskelig involvering. Imidlertid er dette ikke helt presist, for begrepet er ikke entydig [44]. «Autonomt skip» kan defineres som «et skip som har en viss evne til å operere uavhengig av en menneskelig operatør» [45]. Det sies at autonome systemer kan operere med forskjellige nivå eller grad av autonomi. Dette vil jeg komme tilbake til i avsnitt 3.3.5.

En annen vanlig terminologi er «ubemannet». Ubemannet forutsetter at det ikke er mannskap om bord, men at det er et kontinuerlig bemannet kontrollrom som overvåker skipet [46]. Begrepene autonom og ubemannet brukes forskjellig i litteraturen, noen ganger for å bety det samme og noen ganger brukt individuelt med forskjellig betydning [46].

I nyere tid har flere kommet opp med nye terminologier. En av de viktigste er MASS (Maritime Autonomous Surface Ship), som ble innført av IMO og beskriver skip som i varierende grad kan operere uavhengig av menneskelig interaksjon [47].

I denne oppgaven kunne jeg brukt flere av disse terminologiene, men jeg har valgt å primært benytte meg av uttrykket ubemannet. Der oppgaven avgrenses til tilfeller hvor skipet er uten mannskap, men i større eller mindre grad er avhengig av beslutningstøtte fra et operasjonssenter. I enkelte tilfeller er begrepet autonomt også benyttet fordi det brukes mye i litteraturen, og fordi et ubemannet skip må være autonomt.

### 3.3.2 Maritim 4.0

Det er ingen tvil om at Maritim 4.0 har og vil påvirke maritime næringer fremover [10]. Maritim 4.0 baseres på anvendelsen av Industri 4.0 i maritim næring, og kan defineres som «Integrerte implementeringen av digitale prosesser og teknologier i designet, utviklingen, konstruksjonen, driften og servicen på et fartøy» [48]. Dette omfatter blant annet digital samhandling mellom skip og land, kommunikasjonsteknologi, sensorteknologi, dataanalyse og lagring, samt beslutningsstøttesystemer [10].

Ifølge Norges forskningsråd [10] er det syv digitale basisteknologier som vil ha størst betydning for digitalisering i maritim næring:

1. Autonomi
2. Digital sikkerhet
3. 5G
4. Kunstig intelligens
5. Tingenes internett
6. Edge computing
7. Digitale tvillinger

I denne oppgaven er hovedfokuset på autonomi, men flere av de andre basisteknologiene relateres. I det følgende vil hovedtrekkene med de ulike basisteknologiene adresseres, men ikke gås inn på i detalj. Foruten digital sikkerhet som detaljeres ytterligere i avsnitt 3.3.6.

Sensorer og kontrollsystemer er koblet sammen på tvers mellom utstyr, og skaper det man kaller Tingenes Internett (IoT) [49]. Norges forskningsråd [10] påpeker at millioner av enheter er sammenkoblet i IoT, og det er forventet stor vekst fremover. Derfor er dette et av nøkkelelementene i digitaliseringsprosessen, og dens rolle har stor innvirkning på alle de andre basiselementene. Videre poengterer Norges forskningsråd [10] at IoT genererer store datamengder og krever rask databehandling, og «Edge computing» kan benyttes for å forenkle dette arbeidet. Ubemannede skip vil også være avhengig av mobile nettverk, som 5G, for å sikre høy pålitelighet og kapasitet på kommunikasjonen [10].

Kunstig intelligens (KI) handler ifølge Forsvarets forskningsinstitutt [50] om å utføre oppgaver som normalt krever menneskelig intelligens, som vil si oppgaver maskiner finner vanskelige. Oppgaven utføres fysisk eller digitalt, og baseres på tolkning og behandling av strukturerte eller ustrukturerte data [49]. Ifølge Forsvarets forskningsinstitutt [50] er maskinlæring også viktig i denne sammenheng. De beskriver det som et samlebegrep for metoder innen KI, der man i stedet for å programmere en løsning, beskriver problemet og datamaskinen må søke etter løsninger. De trekker også fram dyp læring som en type maskinlæring som har revolusjonert fagfeltet KI de siste årene. Dyp læring skiller objekter fra hverandre ved å selv finne ut hvilke egenskaper som er avgjørende [50].

Ubemannede skip er også avhengig av å utvikle digitale tvillinger både i utviklingsfasen og i operasjonelle faser. En digital tvilling er en form for digital representasjon med attributter, data, geometri og modeller som beskriver tilstand og oppførsel av fartøyet [10]. Dette er viktig når det kommer til verifikasjon og validering, som skal adresseres ytterligere i avsnitt 3.3.10.



### 3.3.3 Dagens erfaringer med ubemannede skip

Det er startet flere autonom relaterte prosjekter innen det maritime, og flere norske initiativer har vært svært viktige [23]. Deriblant MUNIN [51], AAWA [52], AUTOSHIP [53] og Autosea [54]. Imidlertid er de fleste pilotene og prosjektene i en startfase med begrenset driftserfaring, slik at det er tidlig å komme med mye erfaringer som kan overføres. Imidlertid er det noen utførte studier som gir en indikasjon på hva som er viktige læringspunkter, blant annet Johnsen mfl. [55] som fremmer:

- Definere operasjonsområder slik at risikoen blir så liten som mulig, og å bygge ut og tilpasse infrastruktur til autonome operasjoner.
- Det må planlegges for at autonome systemer kan svikte og da sørge for at det er kontrollrom eller aktører som kan gripe inn når det uventede skjer.
- For drift bør man etablere gode alarmer og godt menneske-maskin-grensesnitt som bidrar til bedre situasjonsforståelse.
- Det bør etableres systemer for datarapportering og læring fra nye hendelser.
- Risiko må vurderes og håndteres når det kan ta tid før menneskelige aktører å gripe inn.

AutoFerry [56] på sin side trekker frem sentrale faremomenter som programvarefeil, svikt i interne og eksterne kommunikasjonssystemer, trafikk, passasjerhåndtering og overvåking. Disse aspektene vil vi komme tilbake til i senere kapitler.

Det finnes generelt lite forskning og kunnskap i det maritime når det kommer til overgangen til autonomi og i interaksjonen mellom menneske og maskin. Man er derfor avhengig av å hente kompetanse fra andre høyrisikobransjer [57]. Johnsen og Porathe [24, s.202] diskuterer hvordan transportsystemene er automatiserte, men ikke autonome innenfor vei-transporten. Samt at automasjon av kjøretøy gir økt sikkerheten, men introduserer også nye risikoer. Som de mener skyldes dårlig teknisk implementering, eller behovet for rask respons fra sjåføren.

Johnsen og Porathe [24, s.198] adresserer også luftfart sektoren, og påpeker at man har

lykkes med å etablere et høyt sikkerhetsnivå. Dette mener de blant annet er på grunn av systematisk automatisering av enkle oppgaver og reduserte krav til piloten. Sektoren benytter kontrollsentraler med streng kontroll på operasjonsvinduet. I tillegg mener de at det er et sterkt fokus på å lære av små hendelser og ulykker. Dette har med tiden gitt pålitelige systemer, men det er fortsatt behov for forbedringer.

### 3.3.4 Regelverk for ubemannede skip

Den viktigste regelsetteren innen maritim industri er som sagt, IMO. Imidlertid påpeker Norsk Forum for Autonome Skip [5] at det tar lang tid for IMO å få på plass internasjonale regler for design og operasjon av autonome skip. Slik at det er mer sannsynlig at tilknyttede regler blir utviklet på et nasjonalt eller regionalt nivå, og om de fungerer i praksis kan de bli tatt opp i det internasjonale systemet.

Alle regelverk fremlagt i avsnitt 3.2.3 vil være gjeldende. I tillegg til disse er det noen nye forskrifter og retningslinjer som har vært viktig for utviklingen. Norges viktigste regulerende myndighet er Sjøfartsdirektoratet, og i juni 2020 kom de med rundskrivet «Føringer i forbindelse med bygging eller installering av automatisert funksjonalitet, med hensikt å kunne utføre ubemannet eller delvis ubemannet drift» [58]. Dette rundskrivet beskriver hvilke krav til dokumentasjon og prinsipper som legges til grunn ved saksbehandling av skip som skal være autonome, samt helt eller delvis fjernstyrte. Det er viktig med tilpassede regler, både nasjonalt og internasjonalt for at ikke regelverket skal være til hinder for teknologiutviklingen [59].

Selv om IMO ikke har noen internasjonale regler på plass enda, så har de som mål å integrere nye og avanserte teknologier i sitt regulatoriske rammeverk [60]. De har blant annet nylig gjennomført en RSE (*Regulatory scoping exercise*), hvor de vurderte eksisterende IMO-konvensjoner for å se hvordan de kan være gjeldende for skip med varierende grad av automatisering [47]. Der de blant annet vurderte ISM-koden, STCW og COLREGs. For IMO sitt autonomi nivå 3, se avsnitt 3.3.5, er resultatene varierer for de ulike konvensjonene.

IMO [47] mener at det vil være hensiktsmessig å utvikle et nytt instrument for ISM-koden, og delvis for STCW. COLREGs på sin side vil det være større muligheter for å bygge på eksisterende instrumenter.

Regler eller retningslinjer kan også utarbeides av klasseselskaper. DNV [23] har gitt ut retningslinjen «Autonomous and remotely operated ships» som er viktig i denne sammenheng. DNV [23] påpeker i denne at det foreløpig ikke er mulig eller ønskelig å gi detaljerte regler for alle områder og begrepskombinasjoner. Derfor skal den overordnede forsikringsprosessen være risikobasert, men støttet av funksjonell og detaljert teknisk veiledning om mulig.

Dagens regelverk og klasseregler er oftest erfaringsbaserte og preskriptive, mens i andre sektorer er regelverket oftere målbasert. Norsk Forum for Autonome Skip [5] mener det er viktig at myndighetene utvikler mer målbaserte regelverk. I tillegg til at det er viktig at de samarbeider med industrien for å lage tekniske standarder. Dette er fordi markedet er for lite til at det er kostnadssvarende at hver industriaktør finner sine egne løsninger på alle utfordringer.

## CONOPS

I Sjøfartsdirektoratet [58] sitt rundskriv beskriver de hvilke krav til dokumentasjon og prinsipper tilknyttet skip som skal være autonome. Dette inneholder en detaljert beskrivelse av skipets operasjoner, det vil si en operasjonsbeskrivelse, også kalt CONOPS (*Concept of operations*). Hver operasjon skal beskrives slik at den synliggjør hvilke som utføres med menneskelig involvering og uten, samt hvilke som er påkrevd eller nødvendig. Den skal også beskrive grensesnittet mellom menneske og maskin. Innbundet i dette er en rekke funksjoner som må defineres, som for eksempel ruten hvor fartøyet skal gå, tiltenkte kommunikasjonslinjer og beredskap.

### 3.3.5 Grad av autonomi

Grad av autonomi bør defineres for å skille mellom menneskets og systemets rolle blant de ulike funksjonene i systemet. Typen oppgaver hvor automatisering kan støtte menneske, kan baseres på fire funksjoner [61]: Informasjonsinnhenting, informasjonsanalyse, beslutnings- og handlingsvalg, samt handlingsgjennomføring. Ulik kombinasjon av disse kan gi opphav til en rekke forskjellige måter å definere «grad av autonomi». Noen, deriblant Rødseth [45], mener at ulik grad av autonomi vil være nødvendig for forskjellig formål, og det ikke er mulig å finne en felles avgrensing. Derfor kan det oppstå misoppfatninger rundt en definert inndeling. På et internasjonalt nivå er IMO sin definisjon mest brukt [47]:

**Tabell 3.1:** Grad av autonomi [47].

Grad	Definisjon	Beskrivelse
1	Skip med automatiserte prosesser og beslutningsstøtte	Sjøfolk er om bord for å betjene og kontrollere skipssystemer og funksjoner. Noen operasjoner kan være automatiserte og til tider være uten tilsyn, men med sjøfolk om bord klare til å ta kontroll.
2	Fjernstyrt skip med sjøfolk om bord	Skipet styres og opereres fra et annet sted. Sjøfolk er tilgjengelig om bord for å ta kontroll og betjene skipssystemer og funksjoner.
3	Fjernstyrt skip uten sjøfolk om bord	Skipet styres og opereres fra et annet sted. Det er ingen sjøfolk om bord.
4	Fullstendig autonomt skip	Operativsystemet til skipet er i stand til å ta beslutninger og bestemme handlinger av seg selv.

Autonomnivå én er allerede innført, men fra nivå to stilles det langt strengere krav til kapasitet, pålitelighet og sikkerhet for kommunikasjon mellom skip og operasjonssenter på land [10]. Johnsen mfl. [55] påpeker at for å velge automatiseringsnivå må man ta hensyn til menneskelige begrensninger og muligheter. Der enkelte aktiviteter er bedre egnet

for menneske enn maskin, og motsatt. Derfor mener Johnsen mfl. [55] at det er viktig at automatiseringen må bli mer fleksibelt og tilpasset det behovet og den kunnskapen som benyttes.

### Operasjonskompleksitet

Ifølge Rødseth [45] er grad av automatisering i utgangspunktet uavhengig av operasjonskompleksiteten. Eksempelvis er en termostat fullt autonomt i den forstand at den holder temperaturen konstant uten behov for menneskelig interaksjon, men automatiseringen er ikke veldig komplisert. Rødseth [45] beskriver videre at det er derfor et behov for å spesifisere operasjonskompleksitet i tillegg til graden av automatisering.

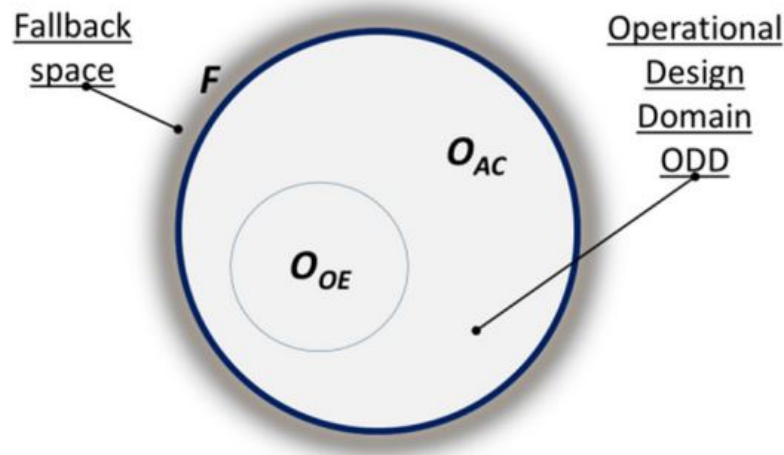
Operasjonerkompleksitet kan defineres ved å benytte begrepet *Operational Design Domain* (ODD), som omhandler hvilke situasjoner skipet må være i stand til å håndtere [45]. Ifølge Jalonen mfl. [3] er det forventet at et ubemannet skip er i stand til å:

- Generere, eller i det minste bruke, en gyldig reiseplan for en forutsatt sjøreise og sikre skipets beredskap for reisen før avgang.
- Navigere nøyaktig i henhold til den forhåndsdefinerte reiseplanen, og unngå kollisjoner med annen trafikk og hindringer (faste og flytende) som oppstår under reisen.
- Opprettholde sin sjødyktighet og operasjonsdyktighet under reisen, selv i varierende sjøtilstand.
- Reagere trygt på kritiske hendelser og justere driften etter farlige endringer i driftsmiljøet og skipsforholdene.
- Legge til rette for inngrep i nødsituasjon for gjenoppretting av kontroll og redning til sjøs.
- Motstå uautoriserte inntrengninger i skipssystemer, enten fysiske eller virtuelle, med sikte på ondsinnede handlinger eller ulovlig utnyttelse.

Opp mot de ulike operasjonene må man vurdere de forskjellige skipsfunksjonene og deres begrensninger, som for eksempel [45]:

- Geografiske begrensninger
- Andre trafikkbegrensninger
- Skipets egenskaper
- Navigasjonsinfrastruktur, hjelpemidler
- til navigering
- Havnefasiliteter og støtte
- Kommunikasjonssystemer
- Minimumskrav til sikkerhet og ytelse

ODD kan ifølge Rødseth [45] deles i to områder,  $O_{AC}$  og  $O_{OE}$ .  $O_{AC}$  vil være et sett med oppgaver som er kontrollert av automatiseringssystemene. Dette definerer kravene til blant annet sensorsystemer, antikollisjonssystemer, gjenstandsdeteksjon og klassifisering.  $O_{OE}$  er oppgaver som er utelukkende kontrollert av en operatør. Operatøren har mulighet til å overta oppgaver i  $O_{AC}$  området, men skipet kan generelt ikke overta oppgaver i  $O_{OE}$  området. Denne inndelingen vises i figur 3.2.



**Figur 3.2:** ODD området inndelt etter ansvarsfordelingen mellom mennesket og systemene [45].

Rødseth og Nordahl [46] mener det generelt er ikke mulig å garantere at forholdene skipet opererer under alltid er innenfor disse områdene. Unntak kan forekomme, for eksempel ved store tekniske feil eller plutselige endringer i værforhold. For å håndtere dette må et *fallback space* defineres og implementeres [45], område F i figur 3.2. Dette er ifølge AUTOSHIP [62] en rekke forhåndsdefinerte sikre tilstander som skipet kan gå tilbake til i tilfelle  $O_{AC}$

overskrides. Generelt er det vanskelig eller til og med umulig å definere en garantert sikker tilstand for et skip, så man vil normalt bruke begrepet minste-risiko-tilstand (*Minimum risk condition*) [62]. Minste-risiko-tilstand skal sees på i videre detalj i avsnitt 3.4.

### 3.3.6 Risikobilde for ubemannede skip

Hoem mfl. [9] argumenterer for at det er stor usikkerhet rundt risikobilde for ubemannede skip. Det er forventet at mer automatisering kan fjerne noen av ulykkene som i dag er forårsaket av menneskelige feil, imidlertid er det fortsatt uvisst hvor mye denne automatiseringen kan forbedre ulykkesstatistikken [9]. Mennesket om bord kan også avverge ulykker, og det kan være utfordrende å lage automasjon som kan gi tilsvarende avvergende effekt [5]. I tillegg må man regne med å få noen nye typer ulykker som direkte er forårsaket av å ta i bruk ny teknologi [9].

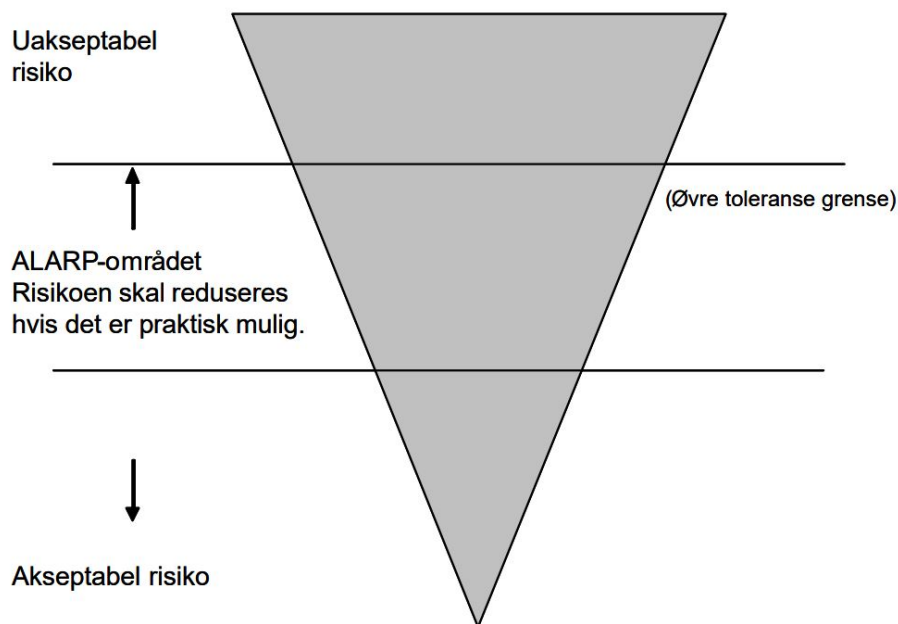
Det vil også være stor usikkerhet rundt hvilke ulykkesårsaker som tilknyttes. Imidlertid er det gjort noen studier på området, eksempelvis Wróbel mfl. [63] som vurderer årsakene til ulykker basert på 100 ulykkesrapporter. Resultatet viser til 21 årsakskategorier, gruppert i fem nivåer: Eksterne faktorer, organisatoriske påvirkninger, usikkert tilsyn, forutsetninger og usikre handlinger. Studien konkluderte også med at det å kontrollere skipet fra et operasjonssenter vil forbedre sikkerheten til personellet betydelig, samt redusere antall navigasjonsrelaterte ulykker som kollisjon eller grunnstøting. Imidlertid viser også resultatene at vurdering og kontroll av skadeomfang trolig vil være en av de største utfordringene.

#### Akseptert sikkerhetsnivå på ubemannede skip

DNV [23] bruker ekvivalent sikkerhet (*equivalent safety*) for å definere sikkerhetsnivået på autonome skip. Dette vil si at skipet skal ha et sikkerhetsnivå tilsvarende eller bedre, sammenlignet med konvensjonell drift av fartøy med hensyn til å ivareta liv, eiendom og miljø [23]. Selv om dette ofte er en vanlig måte å definere sikkerhetsnivået på, så vil det nødvendigvis ikke være riktig å bruke dagens sikkerhetstenkning som referanse. Det å fjerne

mannskapet om bord vil redusere risikoen, men som sagt oppstår det nye typer ulykker og utfordringer [5]. Det akseptable vil være helt avhengig av type aktivitet, hvem som utfører aktiviteten og hvilken kontekst det er snakk om. Noen mener derfor at å bestemme hvilket risikonivå som er akseptabelt ikke er et teknisk spørsmål, men et verdispørsmål, og følgelig vil det måtte omfatte både etiske og politiske overveielser [21].

Ved vurdering av risiko er et sentralt prinsipp som ofte benyttes, ALARP-prinsippet (*As low as reasonably practicably*) [64]. I denne sammenheng benyttes ofte en versjon av figur 3.3 [21].



Figur 3.3: ALARP-prinsippet [21]

En øvre toleransegrense viser hvilke risiko som er akseptabelt og alt over vil være uakseptabelt [21]. Det vil si at risikoen ikke kan rettfærdiggjøres og må reduseres ved å iverksette risikoreducerende tiltak, uavhengig av kostnader [64]. Aven mfl. [21] forklarer videre at under nedre grense er risikoen neglisjerbar og det er ikke nødvendig med slike tiltak. Området mellom øvre og nedre grense er ALARP-området. I dette området er risikonivået akseptabelt, men risikoen skal reduseres så langt det er praktisk mulig [21].



## Digital sikkerhet

Selv om det er et stort potensial tilknyttet automatisering og autonomi innenfor maritim sektor, så vil uthenting av denne gevinsten være begrenset før systemene tilstrekkelig er skjermet mot relevante trusler og sårbarheter [10]. Noen tusler og sårbarheter som en må skjerme mot er lignende for kjente landbaserte systemer, men andre er relativt unikt i maritim kontekst, som for eksempel [10]:

- Operativt miljø er karakterisert av høy fuktighet og varierende temperaturer.
- Det er varierende grad av konnektivet i og mellom systemer både nært land og på åpent hav.
- Systemer har lang levetid, høye krav til oppetid og begrenset mulighet for oppgradering.
- Systemene er plassert i en infrastruktur som har begrenset ombyggingsmulighet og noen ganger også er lite tilgjengelige.
- Det finnes regulatoriske og juridiske utfordringer særlig ved tilkobling til landbasert infrastruktur i ulike land.

For å skjerme mot dette vil det måtte stilles strengere og strengere krav til cybersikkerhet, både gjennom lover og forskrifter, men også fra leverandører og andre relaterte aktører [65]. Cybersikkerhet må være en sentral del av risikoanalysen, og det må hensyntas i den overordnede infrastrukturen og i de individuelle systemene [23].

### 3.3.7 Risikostyring for ubemannede skip

Risikovurdering er som nevnt en effektiv metode for å vurdere sikkerheten. Imidlertid kan tilstrekkelige risikovurderinger være utfordrende å få til, spesielt for ubemannede skip.

Som påpekt i de foregående kapitlene, vil ubemannede skip operere i faser med overgang mellom menneskelig kontroll og automatiseringskontroll. Derfor mener Johnsen og Porathe [24, s.196] at veldefinert ODD er nøkkelen for å håndtere sikkerhetsspørsmål og

gjennomføre en god risikovurdering. Videre påpeker de at potensielle farer innenfor hver overgang må identifiseres med reserveprosedyrer på plass, spesielt med tanke på hvordan mennesker griper inn i situasjoner. I tillegg er det viktig å se på ansvarsfordelingen under en nødsituasjon, samt hvilke reaktive tiltak som i disse tilfellene skal iverksettes for å nå et «akseptabelt nivå» [66].

Ubemannede skip har en større andel utstyr som er integrert og sammenkoblet, og derfor er det viktigere og vanskeligere å forstå feilårsaken [37]. Dette gjør at det er viktig med en helhetlig tilnærming til systemet, i stedet for en tilnærming som ser på systemet som isolerte prosesser og komponenter [24, s.194].

### **Sikkerhetsstyringssystemer**

Sjøfartsdirektoratet [58] pålegger alle skip som blir akseptert som autonome eller fjernstyrte å ha et sertifisert sikkerhetsstyringssystem. Mye av det som ble diskutert i avsnitt 3.2.4 er overførbart, men det er også noen flere aspekter som kan adresseres.

Fra det organisatoriske perspektivet vil spesielt opplæring, samt operatørens tillit til endringsprosessen og teknologien være viktig å hensynta i forbindelse med innføring av automatiserte og autonome systemer [55]. Nye og endrede arbeidsoppgaver vil kreve en helt annen opplæring enn tidligere, samt høy kompetent arbeidskraft [5]. Imidlertid ser vi at de fleste av dagens igangsatte prosjekter ofte har fokuset på teknologiutviklingen, og få har utarbeidet operasjonssentere eller laget detaljerte planer for driften [24, s.195].

Ifølge DNV [23] er det teknologiske perspektivet langt mer omfattende for ubemannede skip enn for konvensjonelle. Dette er fordi ubemannede skip ikke har mannskap tilgjengelig om bord for å stille sikkerhetsbarriere ved tekniske svikt, og det er nødvendig å legge inn nye tekniske barrierer. DNV [23] trekker fram redundans, separasjon og/eller uavhengighet som kan benyttes for å opprettholde eller gjenoppretter funksjonen når en feil oppstår.

## Vedlikehold

Ingeniørarbeid kan ifølge Yuaka og Atsuki [67] deles i to kategorier: driftsarbeid og vedlikeholdsarbeid. Mange oppgaver som tilknyttes driftsarbeid på ubemannede skip er allerede automatisert, mens store deler av vedlikeholdsarbeid vil fortsatt ha behov for mennesker involvering [67].

Videre deler Yuaka og Atsuki [67] vedlikeholdsarbeid inn i tre kategorier: Tidsbasert vedlikehold, som er planlagt vedlikehold. Tilstandsbasert vedlikehold, som kun skal utføres når visse indikatorer viser tegn på redusert ytelse eller kommende feil. Havarivedlikehold, som utføres på maskineri som har gått i stykker og er ubrukelig [67]. Mannskap på dagens konvensjonelle skip bruker mye tid på vedlikehold av skipet og dets systemer, og ubemannede skip vil være langt mer avhengig av vedlikehold på land [9]. Mer tid i havn, kan ha stor økonomisk effekt ved høye havnekostnader [3]. Hoem mfl. [9] argumenterer videre for at det også vil være nødvendig å bruke systemer med lavere vedlikeholds krav, samt at det trengs flere barrierer mot tekniske feil. Hoem mfl. [9] ser også et økende behov for implementering av forbedrede tekniske systemer med innebygd funksjonalitet for prediktivt vedlikehold.

Ifølge Torell og Avelar [68] er pålitelighet og tilgjengelighet to viktige konsepter for vedlikehold. De definerer pålitelighet som sannsynligheten for at systemet eller komponenten fungerer uten feil, innenfor sin identifiserte oppdragstid. Mens tilgjengelighet defineres som sannsynligheten for at systemet eller komponenten er i en tilstand hvor den kan utføre sin nødvendige funksjon under gitte forhold, på et gitt tidspunkt. Videre viser Torell og Avelar [68] hvordan tilgjengelighet påvirkes både av den gjennomsnittlige tiden mellom hver feil (*Mean Time Between Failure* - MTBF) og den forventet tiden for å gjenopprette et system fra en feil (*Mean Time to Repair* - MTTR), med formelen:

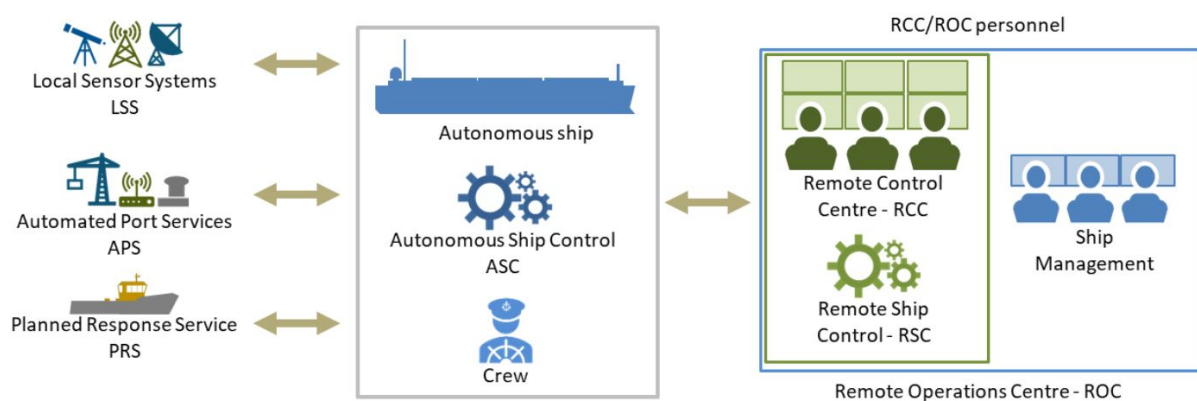
$$\text{Tilgjengelighet} = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)}$$

Ut ifra formelen ser vi at en lenger MTTR, gjør at det tar lenger tid å gjenopprette systemet.

### 3.3.8 Skipskomponenter og -infrastruktur for ubemannede skip

Ubemannede skip er komplekse systemer, med mange komponenter med forskjellige funksjoner. I denne oppgaven skal ikke alle inngående systemer bli sett på i detalj, men det kan være hensiktsmessig å få et overordnet bilde av de viktigste komponentene.

Autoship sin «Autonomous ship design standards» [62] illustrerer noen av de vanligste komponentene, med piler som representerer kommunikasjonskoblinger, vist i figur 3.4



**Figur 3.4:** Noen av de vanligste komponentene i et autonomt skip [62].

På midten er det fysiske skipet, *Autonomous Ship Control* (ASC) og eventuelle operatører om bord. ASC er kontroll- og overvåkingssystemet ombord som gir grensesnittet mellom operatørene og kontrollsystemene på et lavere nivå.

Til venstre er lokale sensor systemer (LSS), som benyttes dersom flere autonome skip jevnlig opererer i samme område. Automatiserte havnetjenester (APS) er tjenester som implementeres i havnene for å betjene autonome skip, eksempelvis automatiserte fortøynings-systemer og godshåndteringer. Planlagt responstjeneste (PRS) er en tjeneste som bistår dersom det er nødvendig.

Til høyre er *Remote Control Centre* (RCC), som er plassert noe unna skipet og overvåker og kontrollerer skipet prosesser. *Remote Ship Control* (RSC) er kontroll- og automatiserings-funksjonene. Mens ASC og RSC utgjør til sammen det overordnede automatiseringssystemet. Skipsledelse (*Ship management*) inkluderer blant annet teknisk og operasjonell ledelse.

Til sammen utgjør dette *Remote Operations Center* (ROC), eller fjernstyrt operasjonssenter som vi kan kalle det på norsk.

Norsk Forum for Autonome Skip [5] uttrykker at det er et «automatisk transportsystem», heller enn autonome skip man er på jakt etter. Dersom ikke infrastrukturen legges til rette for autonom drift, er det stor fare for at autonome skip må over-spesifiseres for å kunne operere i en infrastruktur som ikke er tilpasset deres spesielle behov. Dette mener de er kostnadsdrivende og kan gjøre ellers gode løsninger vanskelig å realisere.

### Operasjonssenteret

Selv om operasjonssenteret i tilknytning til marine operasjoner er nytt, så har dette blitt benyttet i mange andre sektorer tidligere. Det viser seg at å fjernstyre operasjoner kan gi fordeler som for eksempel [69]: Økt sikkerhet, forbedre mangel på arbeidskraft og kompetanse, reduksjon av kostnader, samt at det muliggjør innsamling og analyse av driftsdata.

For å oppnå disse fordelene må man optimalisere driften, og her er det mange påvirkende aspekter. God ansvarsfordeling mellom mennesker og automatiseringssystemet står helt sentralt, og dette er høyst avhengig av et godt menneske-maskin-grensesnitt [44]. Menneske-maskin-grensesnitt blir sett på i mer detalj i avsnitt 3.3.9. Det kreves også en rekke funksjonelle krav, som for eksempel at operasjonssenteret bør [61]:

- Utformes for å vise egnet informasjon, lette beslutningsprosessen og kontrollen for operatørene.
- Sørge for gode kommunikasjonsmåter mellom skipet og etter hvert andre beslutnings-sentere som deltar i driften.
- Utformes og drives i samsvar med landbaserte forskrifter som er aktuelle.
- Inkluderes i omfanget av sikkerhetsstyringssystemet.

Det er også viktig at operasjonssenteret er tilgjengelig til enhver tid, og ulike reserveløsninger bør være tilgjengelig dersom operasjonssenteret mister noen interne kontrollfunksjoner [23]. Kommunikasjon er spesielt viktig i denne sammenheng, og blir videre sett på

i det følgende kapitlet. Det kan også tenkes at det finnes en ekstra sentral som brukes dersom man for eksempel må evakueres på grunn av brann, eventuelt er utilgjengelig av andre årsaker.

Det finnes i dag ingen driftsklare operasjonssenter i verden, men Massterly holder nå på å bygge opp et i Horten. Den skal assistere Asko sin autonome sjødrone, og skal frakte semitrailere mellom Horten og Moss [70].

## Kommunikasjon

Tidligere har kommunikasjon for skipsdrift vært dominert av mennesker, men med ubemannede skip vil det være et økende behov for kommunikasjon mellom menneske og maskin [71]. Kommunikasjon og dataforbindelser mellom de ulike komponentene i infrastrukturen vil derfor være avgjørende [5].

Som nevnt i avsnitt 3.3.2 er IoT, «Edge computing» og 5G viktig når det kommer til kommunikasjon for skip i maritim 4.0. IoT i 5G-systemet vil være helt avgjørende for å kunne benytte ny trådløs arkitektur og smarte tjenester [10]. Imidlertid gir dette utfordringer, blant annet for den digitale sikkerheten som ble diskutert i avsnitt 3.3.6. Det er også utfordringer tilknyttet at det er relativt få skip, som er spredt ut over et stort område [5].

For å lykkes med god kommunikasjon er det mange aspekter som må vurderes og optimaliseres. Imidlertid er det noen aspekter som vektlegges i litteraturen. For det første er det viktig at kommunikasjonen mellom operatøren på operasjonssenteret, og skipet må støttes av flere systemer, være toveis og nøyaktig [52]. I tillegg må man ha god nok kapasitet og liten tidsforsinkelse [10]. DNV [23] mener også at kommunikasjonen bør være tilgjengelig, sikker og i stand til å støtte den tiltenkte bruken. Videre påpeker de også at jo mer ansvar operasjonssenteret er, jo mer tilgjengelig, robust og sikker må kommunikasjonsforbindelsen være.

## Programvare

Ifølge DNV [23] har konvensjonelle skip i flere år vært avhengig av programvare og kommunikasjonsnettverk for kontroll, overvåking og sikkerhetsfunksjoner om bord. De mener at ubemannede skip vil være avhengig av det samme. Videre påpeker DNV [23] at den tekniske utviklingen innen maskinvare og programvare gjør det mulig å automatisere mange aspekter, det vil si å få en datamaskin til å utføre visse funksjoner som den menneskelige operatøren normalt vil utføre. Noen oppgaver er mer egnet for menneske enn maskin, som for eksempel å samle inn og tolke sensordata likt fra gang til gang, hurtig respons, utmattende oppgaver, samt å følge detaljerte instruksjoner [72].

Størrelsen på programvaren for et ubemannet skip vil være enorm, og strukturen vil være kompleks [73]. Dette kreves robuste, kompatible og riktig validerte og verifiserte programvarer både om bord på skipet og ved operasjonssenteret [3]. Der det vil være nødvendig å utvikle og konfigurere programvaren i henhold til etablerte prosesser [23]. Verifikasjon og validering vil bli videre sett på i avsnitt 3.3.10.

### 3.3.9 Menneskelig involvering med ubemannede skip

En motivasjon for bruk av autonome skip er muligheten for reduksjon av ulykker generert av menneskelige feil [74]. Imidlertid argumenterer Ahvenjärvi [73] for at man fortsatt vil være avhengig av menneskelig involvering. Dette er fordi operatører kan være nødvendig som en beslutningstøtte, men programvaren må uansett være designet og konstruert av et menneske. På den måten er det menneskelige elementet direkte eller indirekte involvert i hver eneste handling [73]. Hoem mfl. [9] mener det menneskelige elementet har en tendens til å bli glemt når et ubemannet skip skal designes.

#### Tilstedeværelse av operatør

Det er teoretisk mulig å designe et fullt autonomt skip som skal opereres uten menneskelig tilsyn. Imidlertid er det ekstremt usannsynlig i de fleste tilfeller, på grunn av de ekstreme

kravene til teknologien om bord [9]. Derfor kreves det en eller annen form for fjerneovervåking, der tilstedeværelse av operatør kan variere [45]. Ifølge Rødseth [45] vil tilstedeværelse av operatør dekke både mannskapene om bord og i operasjonssenteret, samt ansvarsfordelingen mellom disse. Rødseth [45] deler inn i fire grader av menneskelig tilgjengelighet: Ingen, reserve, tilgjengelig og kontrollerer.

Andre, blant annet AUTOSHIP [62], tar heller utgangspunkt i hvor lenge operatøren kan være borte. Det vil si hvor lang tid som trengs for å nå kontrollposisjonen og oppnå tilstrekkelig situasjonsforståelse, til å handle sikkert og effektivt. Denne tiden kaller AUTOSHIP [62], maksimal responstid  $T_{MR}$ . Grad av kontroll i denne kontekst deles i fire nivåer [62]:

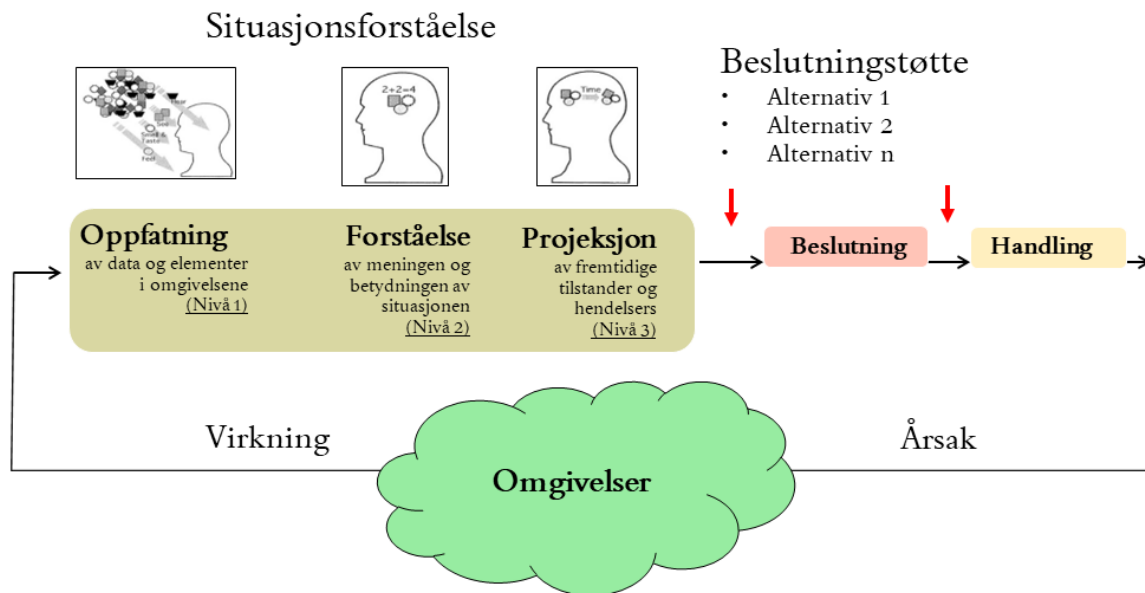
- C0 – Ingen operatørkontroll: Det er ingen operatør til å overvåke og kontrollere systemene eller skipet, og heller ikke til å ta kontroll i tilfelle varslinger kommer fra systemet ( $T_{MR} \approx \infty$ ).
- C1 - Tilgjengelig operatørkontroll: Operatøren er tilgjengelig og kan ta kontroll i tilfelle det kommer varslinger fra systemet, men operatøren er kanskje ikke på kontrollstasjonen. Det vil være relativt lang ventetid før operatøren kan ta kontroll.
- C2 - Diskontinuerlig operatørkontroll: Systemet eller skipet overvåkes av operatøren, men operatøren kontrollerer ikke systemene direkte. Operatøren er nær kontrollstasjonen og trenger kun kort tid for å få situasjonsforståelse om nødvendig ( $T_{MR} \approx 10$  sekunder).
- C3 - Full operatørkontroll: Systemet eller skipet blir aktivt overvåket og kontrollert til enhver tid av en operatør ved kontrollstasjonen ( $T_{MR} = 0$ )

### Menneske i teknologisløyfen

Når mennesker er involvert ønsker man å opprettholde mennesket i det man kan kalle teknologisløyfen [75]. Teknologisløyfen kan illustreres med SADA-sløyfen (*Situation Awareness-Decide-Act*), som vist i figur 3.5. Dette er en sammensatt beslutningsprosess som starter med menneskets tre nivåer av situasjonsforståelse, som forklares nærmere i neste kapittel. Videre



vil ulike beslutningstøtte parametere kunne påvirke det å fastslå en beslutning, samt å utføre en tilknyttet handling. Denne handlingen vil være årsaken til visse endringer i omgivelsene, som gir en virkning tilbake til mennesket. Dette danner en kontinuerlig teknologisløyfe [75].



**Figur 3.5:** SADA-sløyfen - Oversatt og hentet fra [75]

Det å opprettholde mennesker i teknologisløyfen er vanskelig å få til, og det er utfordringer som tilknyttes. Når mer autonomi benyttes mener blant annet Endsley [76] at operatøren får en lavere situasjonsforståelse og sannsynligheten for at de er i stand til å ta over manuell kontroll reduseres. Endsley [76] mener også at jo mer effektivt et automatisert system er, jo mer avgjørende er det menneskelige bidraget. Altså når mennesker er mindre involvert, vil den involveringen som er bli mer kritisk. Dette kalles automasjonsparadokset [75].

### Viktige menneskelige egenskaper

Det er enkelte menneskelige egenskaper som kan være nødvendig å opprettholde når vi benytter ubemannede skip. Som for eksempel komplekse vurderinger, læring, improvisa-

sjon, tilpasning, samt å oppdage mønsteravvik [72]. *Situational awareness* (SA) er sentralt i denne sammenheng, og kan enklest betegnes som det å vite hva som foregår rundt seg. SA kan enklest oversettes til situasjonsforståelse, og begge uttrykkene blir benyttet videre i oppgaven.

Ensley og Garland deler SA inn i tre nivåer [77]:

1. Oppfatning
2. Forståelse
3. Projeksjon

Oppfatning er det fundamentale nivået. Det handler om den oppfatningen man får av elementene i omgivelsen, og med dets relevante egenskaper [77]. Kaber og Endsley [78] mener dette kan oppfattes gjennom ulike sanseinntrykk, men også formes av tidligere erfaringer og forventninger. I tillegg er det viktig å kunne skille hva som er relevante elementer. Forståelse, som er neste nivå, handler ifølge Endsley [77] om å benytte seg av denne oppfatningen til å danne seg et helhetlig bilde av nåsituasjonen. I tillegg å forstå betydningen av objekter og hendelser. Det tredje og høyeste nivået er projeksjon av fremtidige handlinger til elementene i miljøet, i det minste på veldig kort sikt. Dette bygger på de foregående nivåene og krever komplekse modeller og høyere kunnskapsnivå [78].

I fremveksten av industri 4.0 benytter vi oss av verktøy som er mye mer komplekse enn tidligere. Nå vil teknologiene ikke kun fokuserer på fysiske, men også perseptuelle og kognitive oppgaver [79]. Dette krever i større grad at man oppnår nivå tre av SA.

Marcus og Davis [80] legger fram fem basiselementer som de mener enhver intelligent skapning skal ha evnen til å kontinuerlig beregne [80]:

1. Hvor er jeg?
2. Hva er min nåværende status?
3. Hvilke risikoer og muligheter er det i min nåværende situasjon?
4. Hva skal jeg gjøre på kort og lang sikt?
5. Hvordan skal jeg gjennomføre planene mine?

På de to første basiselementene mener de at teknologien har kommet relativt langt. Fra tredje punkt begynner omgivelsene å endres og dette skaper utfordringer [80]. KI og IoT integreres for å trekke ut informasjon fra nåværende status og bygge en fullstendig data-analyse for fremtidig prediksjon og beslutningstaking [10]. Imidlertid ser man ofte at denne teknologien ikke har god nok forståelse av forholdet mellom objekter og hva de kollektivt betyr [80]. Derfor kan det argumenteres for at på disse høyere nivåene av SA, så kan det ta lang tid før maskiner måler seg med mennesket [78], [80].

### **Menneske-maskin-grensesnitt**

Bruker grensesnitt gjør det mulig for mennesker å kommunisere med maskiner, og kan også kalles menneske-maskin interaksjon (*Human Machine Interface* - HMI) [81]. I sammenheng med ubemannede skip er dette det grensesnittet som operatøren benytter for å styre skipet fra operasjonssenteret.

På bakgrunn av teknologiutviklingen er HMI et hyppig forskningstema, og det finnes allerede en rekke standarder og retningslinjer [24, s.11]. Tidligere ble systemer designet og utviklet med teknologien i fokus, der informasjonen som vises var sentrert rundt sensorene og teknologiene som produserer den. Senere har man heller fått øynene opp for brukersentrert design (*Human-centred design* - HCD), som fremlegger informasjonen på en måte som passer brukerens mål, oppgaver og behov [75]. Designet må baseres på grundige analyser, der målet er å forbedre operatørens evne til å «oppdage» et problem, for så å kunne «svare» riktig og korrigere [24, s.11].

For å oppnå dette må grensesnittet presentere informasjon slik at operatøren har riktig informasjon til å forstå hva som faktisk skjer, presentert til rett tid og på rett plass [55]. Man ønsker et brukervennlig grensesnitt, der mennesket opprettholdes i teknologisløyfen. For å få til dette bør grensesnittet ikke bare brukbart, men også praktisk [81, s.1].

Luftfart innehar mye erfaring med å sikre gode automatiserte systemer. Endsley [82] fremlegger en relevant liste med designprinsipper som luftfarten benytter for å forbedre folks evne til å kunne overvåke og samhandle med automatiserte systemer:

1. Gi automatiseringspålitelighet.
2. Brukeren skal ha kommandoen.
3. Gi automatiseringstransparens.
4. Gi opplæring til brukere om automatisering for å sikre tilstrekkelig forståelse og passende nivåer av tillit.
5. Unngå økende kognitive krav, arbeidsbelastning og distraksjoner, samt gjøre oppgavene enkle å utføre.
6. Gjør alarmer entydige.
7. Støtt diagnostisering, håndtering og vurdering av flere alarmer.

Automatiseringstransparens til autonomiens tilstand og tiltenkte handlinger er viktig for å dele situasjonsforståelse og formidle intensjonene overfor operatøren og andre [24, s.204]. Et passende nivå av tillit trekkes også fram av Johnsen og Porathe [24]. De mener tillitsnivået ikke må være for lavt, for det kan føre til manglende bruk av de automatiserte funksjonene. Heller ikke være for høyt, da dette kan føre til overdreven tillit og misbruk av automatiseringen. Imidlertid kan det være vanskelig, om ikke umulig å konkludere med hva som er den beste strategien for å ha et passende nivå av operatørtillit [83].

Alarmer er en viktig del av HMI-en. Ifølge DNV [23] vil normalt en automatisert funksjon generere en alarm når noe er galt eller går utenfor grensene, og det er operatøren på operasjonssenteret sitt ansvar å iverksette passende tiltak. Dersom alarmer benyttes, påpeker Endsley [82] at de må gjøres entydige. Dersom problemer framlegges sammen med annen informasjon, kan det føre til feil og betydelig forsinkelser i reaksjonstid [23]. Skjermene som benyttes må støtte operatøren i å bestemme forholdet mellom flere alarmer, for å bedre forstå årsaken til eventuelle varslinger [82]. Det finnes egne standarder for å designe alarmer, som for eksempel EMUA 191, som gir tydelig veiledning for både eksisterende og nye alarmsystemer [84].

Selve designet krever riktig bruk av blant annet farger/innhold, layout, hierarki/navigasjon og alarmstøtte [24, s.11]. Et viktig aspekt i designet av HMI og alarmer er behovet

for å forenkle. Det dreier seg om å finne en balanse mellom å presentere informasjon som bruker har behov for, kontra å ha all informasjon tilgjengelig [85]. Ofte har mennesket en tendens til å ønske mer informasjon enn en greier å håndtere, men for mye informasjon kan skape forvirring og ta fokuset bort fra navigering [85]. Når man omsider har utarbeidet et grensesnittdesign, vil videre testing og validering også være kritisk for utviklingen. Dersom designet ikke er tilstrekkelig på disse områdene, kan sannsynligheten for at mennesket gjør feil øke [82].

### 3.3.10 Verifikasjon og validering av ubemannede skip

Ubemannede skip medfører som nevnt en utvidet bruk av programvare for sikkerhetskritiske beslutninger og operasjoner. I noen tilfeller vil man «enkelt» kunne programmere en løsning, men man ønsker også å benytte maskinlæring for å utføre oppgaver som normalt krever menneskelig intelligens [50]. Dette krever nye metoder for å teste og verifisere, både bruken og robustheten til koder og algoritmer [23].

Spesifikke tester og testkriterier vil være nødvendig for ubemannede skip, men Rødseth [45] peker på en rekke utfordringer som tilknyttes. For det første er det utfordrende å bestemme akseptkriteriene for den generelle funksjonaliteten. For det andre vil usikkerheten rundt akseptabelt sikkerhetsnivå, som diskutert i avsnitt 3.3.6, ha innvirkning på testingen. Videre er det også utfordrende å definere nøyaktig hvilke automatiske funksjoner som kreves, for så å måtte definere ytelseskriterier for alle de identifiserte funksjonene. Til slutt påpeker Rødseth [45] at det heller ikke er enkelt å finne ut hvordan man skal teste nye funksjoner. Disse utfordringene er viktig for videre utvikling, og dersom man ikke finner gode løsninger vil det være vanskelig å skape nødvendig tillit [5].

Tillit kan etableres på ulike måter. DNV [23] trekker fram verifikasjons- og valideringsstrategi. Verifikasjon skal bevise at systemene oppfyller spesifikasjonene og kravene, mens validering skal bevise at systemene er egnet til formålet i forhold til tiltenkt bruk. DNV [23] mener verifikasjons- og valideringsstrategien bør beskrive formål, omfang og ansvar for hver

aktivitet. De mener også at den bør bestå av flere forskjellige inspeksjoner, anmeldelser, testtyper og testmiljøer. På grunn av at det er så mange aspekter ved et så komplekst system som benyttes for ubemannede skip [23].

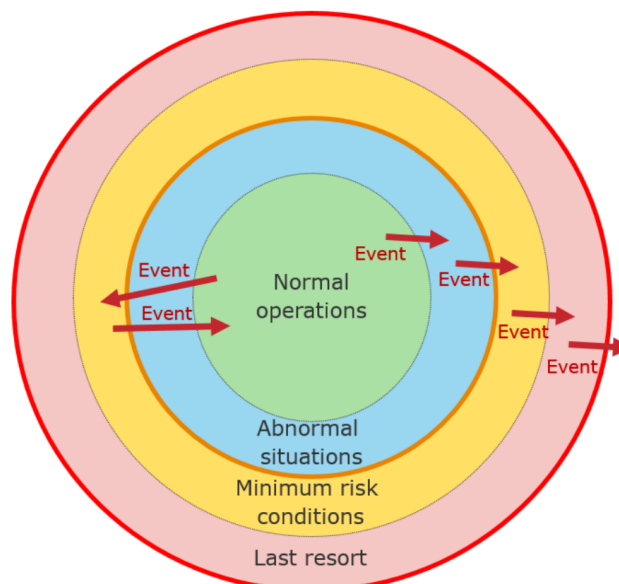
Maskinlæring som dyp læring, krever en treningsdata som er dekkende for alle variasjoner av situasjoner som kan oppstå [50]. I virkeligheten er mange situasjoner ekstremt komplekse i den forstand at de har et uendelig løsningsrom på grunn av mange ukjente faktorer og innbyrdes sammenhenger [86]. Simuleringer og digitale tvillinger er og vil være viktige verktøy for å prøve å forstå dette løsningsrommet, men det å utføre handlinger og situasjonsforståelse er langt enklere i en simulert verden enn i den virkelige [50].

### 3.4 Minste-risiko-tilstand

I forkant av en driftsfase må man analysere de operasjonelle aspektene for å sikre at man er i stand til å håndtere kritiske hendelser. Dette gjøres gjerne som en del av en risikoanalyse [23]. Risikoanalyse handler blant annet om å avdekke farekilder. Chang mfl. [87] har avdekket følgende seks hovedkategorier for farekilder tilknyttet autonome operasjoner:

1. Menneskelige feil
2. Interaksjon med bemannede fartøy og deteksjon av objekter
3. Interaksjon med det fysiske miljøet
4. Systemfeil
5. Cyberangrep
6. Utstyrsfeil

Imidlertid vil nødvendigvis disse ikke være dekkende i en gitt situasjon og dermed må ytterligere risikoanalyser inkluderes [23]. Ifølge DNV [23] vil operasjonstilstanden forskyves mellom faser, når skipet utsettes for en farekilde, som illustrert i figur 3.6.



**Figur 3.6:** Konsept for normalsituasjon, unormale situasjoner og minste-risiko-tilstand [23].

I noen tilfeller kan hendelser tvinge skipet ut av normal operasjonstilstand (*Normal operations*), og til en unormal situasjon (*Abnormal situations*). Da er det vesentlig at relevante reaksjoner er definert, samt at skipet settes i en tilstand som utgjør minst risiko for liv, miljø og eiendom. Denne tilstanden kalles minste-risiko-tilstand (*Minimum risk condition*) [23], som videre betegnes MRT. Denne tilstanden er bærekraftig i en begrenset periode [45].

Videre påpeker DNV [23] at det er mulig for skipet å komme seg tilbake i normal drift etter å ha vært i en MRT (bedre vær eller gjenoppretting av fremdrift). Dersom ingen ytterligere endring i tilstand er mulig eller ønsket vil skipet være i en siste utvei minste-risiko-tilstand (*Last resort*) [23]. Denne tilstanden skal være bærekraftig inntil skipet kan motta fjernstyrt assistanse, men det er ikke sikkert den kan automatisk gjenopprettes [45].

MRT bør være en sentral del av CONOPS [58]. Ifølge DNV [23] bør MRT-ene som defineres i CONOPS være detaljerte, og gjerne strukturert i hierarkier med klare prioriteringer. MRT-ene som fungerer som siste utvei bør også være tydelig indikert. De påpeker også at MRT ikke inkluderer tilstander relatert til forventede feil, som er definert til å håndteres innenfor ODD-området. Samt at det vil være nødvendig med mer enn én MRT for å håndtere ulike typer hendelser [23]. Dette kan være teknisk krevende å få til og derfor vil operatører kunne måtte være en form for MRT [66]. I disse tilfellene må operatøren varsles. Dersom varselet ikke blir oppdaget eller håndtert, så må skipet være i stand til å nå eller opprettholde en mulig MRT [23]. Det er når systemene greier å håndtere nødsituasjoner automatisk, at fullstendig autonomt skip vil muliggjøres [66].

DNV [23] fremlegger noen MRT-er som kan være aktuelle, i det følgende er et utdrag:

- Beveg skipet bort fra kai og andre fartøy
- Beveg skipet så sakte som mulig
- Naviger til neste veipunkt og stopp der
- Slipp (nød) anker
- Hold posisjon
- Avbryt gjeldende drift



### 3.4.1 Ethiske overveielser

I prosessen med å utvikle og ta i bruk autonome skip forventes det også å følge et bredt spekter av etiske spørsmål [71]. Utfordringen ligger i å finne ut hvordan det ubemannede skipet skal operere i situasjoner når det bare er dårlige alternativer igjen [73]. Når KI brukes, skal den kunne trene og utvikle seg selv med innhenting av driftsdata. Denne teknologien forbedrer ulike sikkerhetsaspekter, men Yoon [88] påpeker at det er utfordrende å utvikle teknologi som kan løse alle mulige situasjoner, men det å få teknologien til å gjøre etiske vurderinger er enda vanskeligere.

Ahvenjärvi [73] mener at til syvende og sist kan ansvaret ikke legges på datamaskiner, fordi det er menneskeskapte programvare og algoritmer som får systemet til å reagere. Et gjennomgående spørsmålet i denne sammenheng vil da være «hvem som tar ansvaret for en ulykke forårsaket av en dårlig beslutningsalgoritme?».

# Kapittel 4

## Analyse og diskusjon

I dette kapitlet vil funnene fra litteraturstudiet drøftes opp mot rapportens fem forsknings-spørsmål. Dette analyse- og diskusjonskapitlet er delt opp etter forskningsspørsmålene slik:

1. Hvordan oppnå tilstrekkelig sikkerhet?
2. Hva er sikkerhetsutfordringene for ubemannede skip?
3. Under hvilke driftsrammer vil ubemannede skip operere?
4. Hvilke hendelser kan lede til minste-risiko-tilstand?
5. Hvordan bestemme minste-risiko-tilstand?

På noen områder gir litteraturen et dekkende grunnlag for argumentasjon, men på grunn av at ubemannede skip er relativt nytt er det enkelte områder hvor litteraturen ikke er fullt så dekkende. I disse tilfellene vil mindre teori anvendes og det tas flere egne vurderinger. Primært vil det gjelde for de siste forskningsspørsmålene.

### 4.1 Hvordan oppnå tilstrekkelig sikkerhet?

Sikkerhet kan kort sagt beskrives som graden av frihet fra fare. Det er et begrep som de fleste kjenner til, og man oftest har en formening om hva betyr. Imidlertid er sikkerhet et

konsept som har utviklet og endret seg gjennom århundrer, men spesielt de siste tiårene. Hvilket har gjort at det med tiden argumenteres for at det ikke finnes en klar og entydig definisjon på uttrykket, fordi det er ulik tilnærming i forskjellige kontekster.

Begrepet maritim sikkerhet er heller ikke helt entydig, men man tilknytter det ofte til det å sikre mot uønskede hendelser som resulterer i skade på mennesker, eiendeler eller miljø. Målet er å oppnå tilstrekkelig sikkerhet, med gitte forutsetninger. Dette er imidlertid vanskelig og kontekstavhengig. I denne oppgaven har jeg ikke valgt å ta utgangspunkt i en spesifikk skipstype eller operasjon, men målet er å definere noen faktorer som generelt vil være sentrale for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet. Jeg har på bakgrunn av litteraturen kommet fram til følgende seks sentrale faktorer for tilstrekkelig sikkerhet:

1. Følge og anvende gjeldende lover, forskrifter og retningslinjer
2. Involverte aktører
3. Risikovurderinger
4. Organisatoriske- og teknologiske sikkerhetsstyringssystemer
5. Sikkerhetskultur og risikoforståelse
6. Menneskelig involvering

#### **4.1.1 Følge og anvende gjeldende lover, forskrifter og retningslinjer**

Det vil være mange lover, forskrifter og retningslinjer som kan benyttes for maritime operasjoner, både nasjonalt og internasjonalt. I hovedsak må skipet følge internasjonale standarder satt av International Maritime Organization (IMO) og av flaggstaten hvor skipet er registrert (Sjøfartsdirektoratet i Norge). I tillegg kan regler og retningslinjer utarbeides av klaseselskaper, som Sjøfartsdirektoratet kan delegere tilsynsmyndighet til. IMO publiserer dokumenter i ulike formater, men konvensjoner er spesielt viktig for maritim sikkerhet. Noen av de viktigste er SOLAS, ISM-koden, STCW, MARPOL og COLREGS. Deler av regelsettene er lovpålagt, mens noe vil være valgfritt å benytte for å bedre sikkerheten. Er regelsettet valgfritt vil det være helt essensielt for resultatet hvordan det innføres og anvendes.

### 4.1.2 Involverte aktører

I maritime operasjoner vil det som oftest være flere aktører involvert. En av de viktigste aktørene for enhver skipsoperasjon vil være en form for regulerende myndighet. IMO blir sett på som den fremste internasjonalt og Sjøfartsdirektoratet nasjonalt. Andre viktige aktører er blant annet klassifikasjonsselskap, skipseier, skipsbygger, vareeier og havneadministrasjon. De fleste aktørene vil kunne påvirke sikkerheten, men ulike aktører har gjerne ulik innvirkning. Derfor vil det være hensiktsmessig å kartlegge hvem som er involverte aktører, og hvilke sikkerhetsforhold de kan påvirke.

På noen områder påvirkes aktørene av lover som de er pålagt å følge, men i andre tilfeller står hver enkelt aktør mer fritt i involveringen. Når sistnevnte er tilfelle, vil de relaterte sikkerhetsaspektene være svært avhengig av den enkelte aktør sine oppfatninger og holdninger. Ulike aktører kan ha ulike interesser og insentiver, og dette kan skape utfordringer. Økonomiske insentiver vil ofte være fremtredende, men også hvem som ansvarliggjøres dersom sikkerheten svikter vil være elementært.

### 4.1.3 Risikovurderinger

Risikovurdering kan deles opp i risikoanalyse og risikoevaluering. Risikoanalyse handler om å avdekke farekilder, identifisere uønskede hendelser, bestemme frekvens og konsekvens, samt sette opp risikobilde. Det finnes en rekke analysemetoder som kan anvendes for ulike fartøy og ulike operasjoner, der detaljeringsnivået varierer. Noen analysemetoder som benyttes i ulike sammenhenger er FMECA, SWIFT og ETA. For maritim sikkerhet er FSA den viktigste metoden. FSA skal sikre at tiltak blir iverksatt for å forhindre uønskede hendelser. Uansett hvilken metode som velges vil det være essensielt hvordan den anvendes. Her er det viktig at det gjennomføres systematisk, gjentakende og gjennom samarbeid, der det dras nytte av kunnskap og synspunkter fra alle berørte. I tillegg er det viktig at man bruker den beste tilgjengelige informasjonen og supplere med ytterligere undersøkelser ved behov.

#### 4.1.4 Organisatoriske og teknologiske sikkerhetsstyringssystemer

Etter gjennomført risikoanalyse, fortsetter risikovurderingen med en risikoevaluering. Risikoevalueringen handler om å vurdere risiko, foreslå risikoreduserende tiltak og vurdere alternative løsninger. Risikoreduserende tiltak eller sikkerhetsbarriere, knyttes ofte opp mot sikkerhetsstyringssystemer i en maritim sammenheng. Etter gjennomført risikovurdering er det en forutsetning at resultatet følges opp med aktive handlinger i sikkerhetsstyringssystemer. Styringssystemet skal gjennom ulike tiltak forbedre påliteligheten til kritisk utstyr og systemer, slik at man skaper en sikkerhetsbevissthet og en systematisk tilnærming i alle deler av organisasjonen.

Å lykkes med etableringen av et sikkerhetsstyringssystem krever noen kritiske suksessfaktorer. Blant annet å skape eierskap til i alle deler av organisasjonen, men spesielt fra toppledelsen. Der det er avgjørende at toppledelsen utvikler blant annet strategier, setter mål, sikrer kunnskap hos ansatte og motiverer.

ISM-koden er den viktigste retningslinjen i denne sammenheng, og Sjøfartsdirektoratet har pålagt de fleste fartøy å følge denne. ISM-koden gir ikke en detaljert beskrivelse av hva selskapet skal foreta seg, men angir enkelte grunnleggende prinsipper og kontroller som skal anvendes. På denne måten stiller koden også krav til hvordan den enkelte aktør forholder seg til den.

En naturlig gruppering er organisatoriske- og teknologiske sikkerhetsstyringssystemer. Organisatoriske sikkerhetsstyringssystemer er hvordan organisasjonen som helhet etablerer prosedyrer for å bedre sikkerheten. Dette kan være alt fra å skape gode instruksjoner og sjekklister til opplæring av ansatte, til prosedyrer for systematisk vedlikehold. Teknologiske sikkerhetsstyringssystemer på sin side omhandler de fysiske systemene om bord, hvor man forbedrer skipsstrukturen og påliteligheten til skipssystemene. Dette kan eksempelvis være forbedringer på design av arbeidsutstyr, alarmer og nødstopper.

### 4.1.5 Sikkerhetskultur og risikoforståelse

Sikkerhetskultur og risikoforståelse blir ansett som paraplyen, altså det overordnede fokuset, når det kommer til sikkerhet. Dette handler om å ha felles verdier, arbeidspraksis og holdninger rundt sikkerhet i organisasjonen. Spesielt engasjement fra toppledelsen vil være en viktig suksessfaktor, som også går igjen i flere av de foregående faktorene. Det kan sies at god sikkerhet starter hos ledelsen, men samtidig vil en velfungerende sikkerhetskultur også kreve bevissthet og årvåkenhet fra alle involverte. En annen viktig del er å få gode tilbakemeldinger både fra systemene selv, men også fra de involverte operatørene. God rapporteringskulturen blant de involverte operatørene må man streve etter å oppnå.

### 4.1.6 Menneskelig involvering

Den siste sentrale faktoren som jeg vil trekke frem er menneskelig involvering. Til tross for den raske utviklingen, er skip fortsatt stort sett et menneskekontrollert system. Menneskelige feil er den vanligste rotårsaken for maritime ulykker, og et større fokus på dette kan føre til store framskritt for sikkerheten. Dette handler om å på best mulig måte legge til rette for vellykkede menneskelige beslutninger og handlinger. Av og til ligger svakheten hos mennesket selv og våre faktorutfordringer som tretthet, utilstrekkelig kommunikasjon og mangelfull teknisk kunnskap. Andre ganger ligger svakheten i måten teknologiske, miljømessige eller organisatoriske faktorer påvirker hvordan mennesket presterer. Svakhetene kan forbedres ved blant annet at systemene tilpasses mennesket, og ikke omvendt. I tillegg kan menneskelige feil reduseres betraktelig ved tilstrekkelig trening og opplæring av de involverte. Her har ISM-koden blitt et viktig verktøy.

Alle de fremlagte sentrale faktorene er samlet i tabell 4.1. Første kolonne er den navngitte sentrale faktoren, mens andre kolonne er de viktigste aspektene som tilknyttes.

**Tabell 4.1:** Sentrale faktorer for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet.

Sentrale faktorer	Beskrivelse
Følge og anvende gjeldende lover, forskrifter og retningslinjer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IMO og Sjøfartsdirektoratet</li> <li>- SOLAS, ISM-koden, STCW, MARPOL og COLREGS</li> <li>- At regelsettene følges og anvendes</li> </ul>
Involverte aktører	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kartlegge hvem som er involverte aktører, og hvilke sikkerhetsforhold de kan påvirke</li> <li>- Avhengig av aktørens oppfatninger og holdninger</li> </ul>
Risikovurderinger	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risikoanalyse og risikoevaluering</li> <li>- Analysemetoder: FMECA, SWIFT og HAZOP</li> <li>- Maritime analysemetoder: FSA</li> <li>- Bør gjennomføres systematisk, gjentakende og gjennom samarbeid</li> </ul>
Organisatoriske og teknologiske Sikkerhetsstyringssystemer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sikkerhetsbevissthet og systematisk tilnærming i alle deler av organisasjonen</li> <li>- ISM-koden</li> <li>- Organisatoriske: Etablere prosedyrer for å bedre sikkerheten. For eksempel: Instruksjoner, opplæring og systematisk vedlikehold</li> <li>- Teknologiske: Skal forbedre skipsstrukturen og påliteligheten til skipssystemene. For eksempel: Forbedre stabilitets- og fremdriftssystemer</li> </ul>
Sikkerhetskultur og risikoforståelse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Viktig med engasjement fra toppledelsen</li> <li>- God rapporteringskultur</li> </ul>
Menneskelig involvering	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menneskelige feil er ofte rotårsaken til skipsulykker</li> <li>- Ulike menneskelige faktorutfordringer</li> <li>- Teknologiske, miljømessige eller organisatoriske faktorer påvirker også måten mennesket presterer på</li> <li>- Systemene bør tilpasses mennesket, og ikke omvendt</li> <li>- Viktig med trening og opplæring</li> </ul>

## 4.2 Hva er sikkerhetsutfordringene for ubemannede skip?

I fremveksten av Industri 4.0, og i maritim sammenheng Maritim 4.0, er det et økende fokus på digitalisering og automatisering. Fremtidige transportsystemer vil være langt mer avhengig av basisteknologier som autonomi, digital sikkerhet, 5G, kunstig intelligens, tingenes internett, «Edge computing» og digitale tvillinger. Dette inkluderer en stor interesse for ubemannede skip. I denne sammenheng er Norge et foregangsland, men det er fortsatt nødvendig å styrke forskningsinnsatsen for å fortsette utviklingen av Maritim 4.0.

I dag jobber man mot å realisere skip med ulik grad av autonomi for å kunne effektivisere og optimalisere driften. Det å gå fra et helt konvensjonelt til ubemannede skip er omfattende, med mange tekniske og operasjonelle funksjoner som forbedres. Dette medfører at sikkerhetssystemene må endres og utvikles, men hensikten er fortsatt den samme. Enkelte sikkerhetsaspekter forenkles, mens andre vil bli langt mer krevende. Basert på fremlagt teori har jeg kommet fram til følgende sikkerhetsutfordringer:

1. Begrenset driftserfaring
2. Usikkerheter rundt risikobilde og akseptabelt sikkerhetsnivå
3. Manglende reguleringer
4. Komplekse tekniske og operasjonelle systemer
5. Krevende å verifisere og validere programvarere
6. Omfattende og mindre veletablerte krav til infrastrukturen
7. Økende risiko for cyberangrep
8. Høyere operasjonskompleksitet

Rapporten avgrenses til ubemannede skip. Operatøren er ikke plassert om bord, men i en operasjonssenteret på land, der en eller flere menneskelige operatører overvåker og kontrollerer skipets prosesser. Dette er IMO sitt nivå tre av fire i grad av autonomi (se avsnitt 3.3.5). Jeg avgrenser derimot ikke til en spesifikk skipstype eller operasjon, dette er fordi jeg ønsker at sikkerhetsutfordringen som fremmes er så generelle som mulig.



### 4.2.1 Begrenset driftserfaring

Den mest grunnleggende utfordringen når det kommer til ubemannede skip er at de fleste pilotene og prosjektene er i en startfase med lite driftserfaring. Uten driftserfaring vil det være begrenset datagrunnlag for å kunne vurdere sentrale sikkerhetsaspekter og lære av tidligere hendelser. Begrenset driftserfaring vil være rotårsaken i flere av utfordringene diskuterte i dette kapittelet. Herunder underkapitlene «usikkerheten rundt risikobilde og akseptabelt sikkerhetsnivå», «krevende å verifisere og validere programvare» og «omfattende og mindre veletablerte krav til infrastrukturen».

Flere av de påbegynte pilotene og prosjektene er av norsk initiativ, og Norge er en viktig bidragsyter for å få mer driftserfaring på området. Maritim næring har vært helt avhengig av å hente kompetanse fra andre høyrisikobransjer. Spesielt veitransporten og luftfarten har kommet mye lenger i utviklingen av autonome systemer. Imidlertid er det ikke alt som kan overføres til skipsfart, og det er høyst nødvendig med mer forskning og driftserfaring.

### 4.2.2 Usikkerheter rundt risikobilde og akseptabelt sikkerhetsnivå

Begrenset driftserfaring skaper usikkerhet rundt risikobilde. Det forventes at mer automatisering kan fjerne noen type ulykker, men det er fortsatt uvisst hvor mye det kan forbedre ulykkesstatistikken. Mannskapet om bord i konvensjonelle skip vil i noen tilfeller avverge ulykker, og det kan være vanskelig å skape tilsvarende avvergende effekt. Til slutt vil man også måtte regne med å få noen typer ulykker som direkte er forårsaket av nye typer teknologier, for eksempel ved programvarefeil.

Et annet sentralt usikkerhetsmoment når det kommer til ubemannede skip er hva som betegnes som et akseptabelt sikkerhetsnivå. Med en høyere andel operasjoner håndtert av maskiner, antas det at man kan redusere menneskelige feil. Dette vil i utgangspunktet gi et høyere sikkerhetsnivå. I litteraturen er det vanlig å sammenligne med et konvensjonelt skip, og DNV argumenterer for at ubemannede skip skal ha et sikkerhetsnivå tilsvarende eller bedre. Imidlertid er det enkelte studier som mener at det å bestemme sikkerhetsnivå

ikke er et teknisk spørsmål, men et verdispørsmål og følgelig vil det måtte omfatte både etiske og politiske overveielser. Dette tilsier at det ikke nødvendigvis er riktig å bruke dagens sikkerhetstenkning som referanse.

### 4.2.3 Manglende reguleringer

Skipssikkerhet er regulert av en rekke lover og forskrifter, blant annet flere IMO-konvensjoner. For ubemannede skip er disse fortsatt gjeldende, men det er ikke alt som kan direkte overføres. Derfor utarbeides det nye forskrifter og retningslinjer som er tilpasset skip med varierende grad av automatisering. Imidlertid ser vi at det tar lang tid før IMO får på plass internasjonale regler. Det anses som mer sannsynlig at regler blir utviklet av klassifikasjonsselskap eller myndigheter på et nasjonalt eller regionalt nivå. Om disse fungerer i praksis, kan de bli tatt opp i det internasjonale systemet. Dette er nødvendig for at ikke regelverket skal være til hinder for teknologiutviklingen, som den til dels er i dag. Det er tydelig her at maritim næring har et utviklingspotensial.

Norge på sin side har kommet lenger enn de fleste andre land, hvor blant annet Sjøfartsdirektoratet og DNV er viktige bidragsyttere. Et land som utvikler nasjonale regler, som i neste omgang kan danne mal for internasjonale regler, kan oppnå økt konkurransekraft og lederskap. Det er viktig at myndighetene samarbeider med industrien om å lage tekniske standarder, fordi det er gjennom samarbeid man utvikler de gode, praktiske løsningene. I tillegg må industriaktørene også samarbeide seg imellom, fordi det ofte ikke er lønnsomt om hver industriaktør finner egne løsninger. Oppsummert handler utviklingen på dette området om å finne gode måter å samarbeide på, dele egne erfaringer i hele verdikjeden og lære av andres erfaringer, både innenfor maritim sektor, men også innen andre sektorer.

### 4.2.4 Komplekse tekniske og operasjonelle systemer

Når man benytter ubemannede skip vil en større andel av operasjonene være maskinstyrt, hvilket krever mer komplekse teknologier. I tillegg vil langt flere teknologiske systemer være

sikkerhetskritiske enn tidligere. Dette setter større krav til alt teknisk utstyr om bord, både implementering, drift og vedlikehold.

Ubemannede skip kan medføre en økende andel programvare eller tekniske feil. Dette kan være et resultat av mer teknologi, økt kompleksitet, dårlig teknisk implementering og at en større andel av utstyret er integrert og sammenkoblet. I tillegg til utfordringene som direkte tilknyttes de tekniske systemene, ligger mye av risikoen ofte i grensesnittene mellom systemkomponenter opp mot menneske og maskin.

#### 4.2.5 Krevende å verifisere og validere programvare

Programvare har gjort det mulig å automatisere mange funksjoner som mennesker har gjort tidligere, og er selve grunnsteinen for et ubemannet skip. Økende automatisering vil kreve en enorm programvare, og strukturen er kompleks. Hvilket gjør at vi er helt avhengig av robuste, kompatible og riktig validert programvare både om bord på fartøyene og ved operasjonssenteret. I litteraturen fremheves verifikasjon og validering som sentrale utfordringer for ubemannede skip.

I enkelte automasjonssystemer vil testing være tilstrekkelig verifikasjonsgrunnlag, men det er en rekke utfordringer som tilknyttes. For det første er det vanskelig å bestemme akseptkriteriene for funksjoner, samt hva som er et akseptabelt sikkerhetsnivå. Det er heller ikke problemfritt å definere hvilke automatiske funksjoner som kreves og hvilke ytelseskriterier som tilknyttes. I tillegg er det utfordrende å finne ut hvordan man tester nye funksjoner, fordi sikkerhetskritiske situasjoner sjeldent forekommer. Dette gjør at man er høyst avhengig av simuleringstrening og utviklingen av digitale tvillinger for å kunne skape tilstrekkelig tillit til systemene. Imidlertid vil ukjente faktorer og innbyrdes sammenhenger gi programvaren et uendelige løsningsrom, som kan være umulig å teste fullt ut. Simuleringer kan derfor skape en falsk trygghet, fordi man aldri vil kunne simulere samtlige situasjoner skipet opplever. Dermed vil testing og simulering brukes i større grad for å finne feil, heller enn å demonstrere fravær av feil.

#### 4.2.6 Omfattende og mindre veletablerte krav til infrastrukturen

Ubemannede skip vil ha nye, mer omfattende og mindre veletablerte krav til infrastrukturen. Regjeringen har uttalt at det er et «automatiske transportsystem» man ønsker å oppnå, ikke et autonome skip. Da er det viktig å se på helheten, fordi det benyttes et stort sett med ulike systemer. Videre må det også utbygges infrastruktur som er tilpasset skipet. Kostnadene knyttet til dette, i tillegg til de allerede høye byggekostnadene, gjør det utfordrende å etablere seg i markedet. Skipet vil også måtte tilpasses et trafikkbilde hvor det ikke kun opererer andre ubemannede skip, men også andre fartøy og sjøfarende. Dataforbindelser og kommunikasjonen mellom de ulike funksjonene i infrastrukturen vil være helt avgjørende for realisering. Forskning viser at svikt i interne og eksterne kommunikasjonssystemer vil være en stor sikkerhetsutfordring. En årsak til dette er at det er relativt få skip som er spredt ut over et stort område, samt at det kan være store variasjoner i miljøforholdene. Dette kan gjøre at vi ikke får etablert den kommunikasjonen som er nødvendig.

#### 4.2.7 Økende risiko for cyberangrep

Utviklingen av ny teknologi, med mer automatisering og digitalisering medfører en økende risiko for cyberangrep. Flere funksjoner flyttes fra skipet til operasjonssentre, som medfører flere og mer komplekse sammenkoblinger. I tillegg preges maritime operasjoner av lang levetid på systemene, krevende infrastruktur og varierende klima. Hvilket gjør systemene mer sårbare. Cybersikkerhet må derfor være en sentral del av risikoanalysen. Dette vil gjelde både i tilknytning til de individuelle systemene, men også infrastrukturen. Det er nødvendig med funksjoner og barrierer som tar sikte på å hindre, oppdage og begrense skaden av cyberangrep. Cybersikkerhet helt uten feil vil være tilnærmet umulig å oppnå, spesielt fordi angrepsmetodene utvikler seg i takt med teknologien. Derfor er kontinuerlig forbedring viktig også i denne sammenheng.

### 4.2.8 Høyere operasjonskompleksitet

Operasjonskompleksitet handler om hvordan skipet utnytter sine systemer, og hvordan systemene tilpasser seg omgivelsene. Ubemannede skip vil operere i faser med overganger mellom menneskelig kontroll og automatiseringskontroll, som gir en høyere operasjonskompleksitet. Operasjonskompleksiteten blir desto høyere av at det er stor variasjon i omgivelsene systemene opererer under og hendelser skipet kan eksponeres for. Skipet kan for eksempel påvirkes av eksterne faktorer som værforhold, sjøforhold, topografi og trafikksituasjoner. Menneskelige feil er fortsatt også en farekilde, da mennesker er involvert direkte eller indirekte i hver eneste handling, selv om skipet er ubemannet. Alle disse farekildene, i tillegg til en rekke ukjente faktorer som kan forekomme, vil gi skipet et uendelig løsningsrom. Dette gjør maritime operasjoner så komplekse.

Et veldefinert operasjonsområde er nøkkelen for å håndtere sikkerhets spørsmål og gjennomføre risikovurderinger. Imidlertid er dette utfordrende å få til, og det krever mye systematisk forarbeid. Det er viktig å avdekke potensielle farer innenfor hvert enkelt område, samt mellom dem. CONOPS er et godt hjelpemiddel i denne sammenheng.

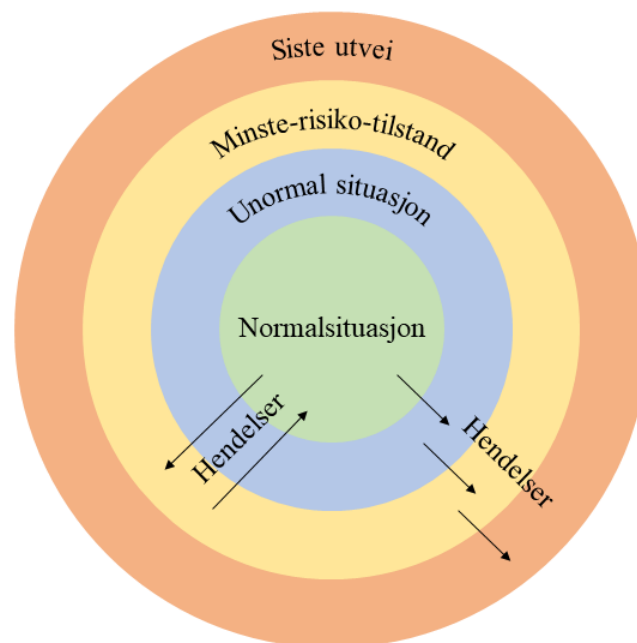
## 4.3 Under hvilke driftsrammer vil ubemannede skip operere?

Høyere operasjonskompleksitet er som nevnt en av sikkerhetsutfordringene for et ubemannet skip. Jeg har i de foregående trukket fram to sentrale årsaker:

- Det er stor variasjon i omgivelsene systemene opererer under, og hendelser skipet kan eksponeres for.
- Skipet opererer i faser med overganger mellom menneskelig kontroll og maskinkontroll.

Sistnevnte skal jeg i dette kapitlet gå nærmere inn på.

Det at skipet opererer i faser med overganger mellom menneskelig kontroll og maskin-kontroll, påvirkes av forhåndsdefinerte driftsrammer. Dette inkluderer hva som er normalsituasjon, altså hvordan funksjonen fungerer og oppfører seg under normale forhold. Veldefinerte driftsrammer er ansett som nøkkelen for å kunne håndtere sikkerhetsspørsmål, samt gjennomføre gode risikovurderinger. Under drift vil skipet eksponeres for ulike hendelser som føre til at skipet må forskyve operasjonstilstanden mellom ulike faser, for å opprettholde kontrollen. DNV har illustrert dette (se avsnitt 3.3.5), som jeg har oversatt i figur 4.1.



**Figur 4.1:** Forskyvning av operasjonstilstanden mellom ulike faser.

Skipets utgangspunkt er «normalsituasjon», men hendelser kan gjøre at skipet tvinges over i en «unormal situasjon». Da er det vesentlig at man til enhver tid har definert operasjonen, samt hvilken «minste-risiko-tilstand» som er tilgjengelig for å utgjøre minst risiko for tap av liv, miljø og eiendom. Tilstanden vil være bærekraftig i en begrenset periode, og derfor vil skipet på et tidspunkt tvinges over i «siste utvei minste-risiko-tilstand». Når skipet befinner seg i denne tilstanden vil ingen ytterligere endringer være mulig eller ønsket.

I en normalsituasjon for et ubemannet skip, vil man måtte definere om det er mennesker eller maskiner som kontrollerer ulike funksjoner og operasjoner. Skipet kan også befinne seg i en tilstand som krever en kombinasjon av menneske- og maskinkontroll, som jeg kaller «menneske/maskin kontroll». Maskinen skal da være i stand til å håndtere operasjonen eller funksjonen på egenhånd, men menneskelig involvering er nødvendig dersom maskinen ikke finner en sikker og effektiv løsning. Dersom ingen av disse kontrollfunksjonene finner en tilstrekkelig løsning, vil man måtte benytte «minste-risiko-tilstand» for å minimere konsekvensene. På bakgrunn av dette mener jeg at et ubemannet skip kan sies å operere med fire ulike kontrollfunksjoner:

1. Maskinkontroll
2. Menneske/maskin kontroll
3. Menneskelig kontroll
4. Minste-risiko-tilstand

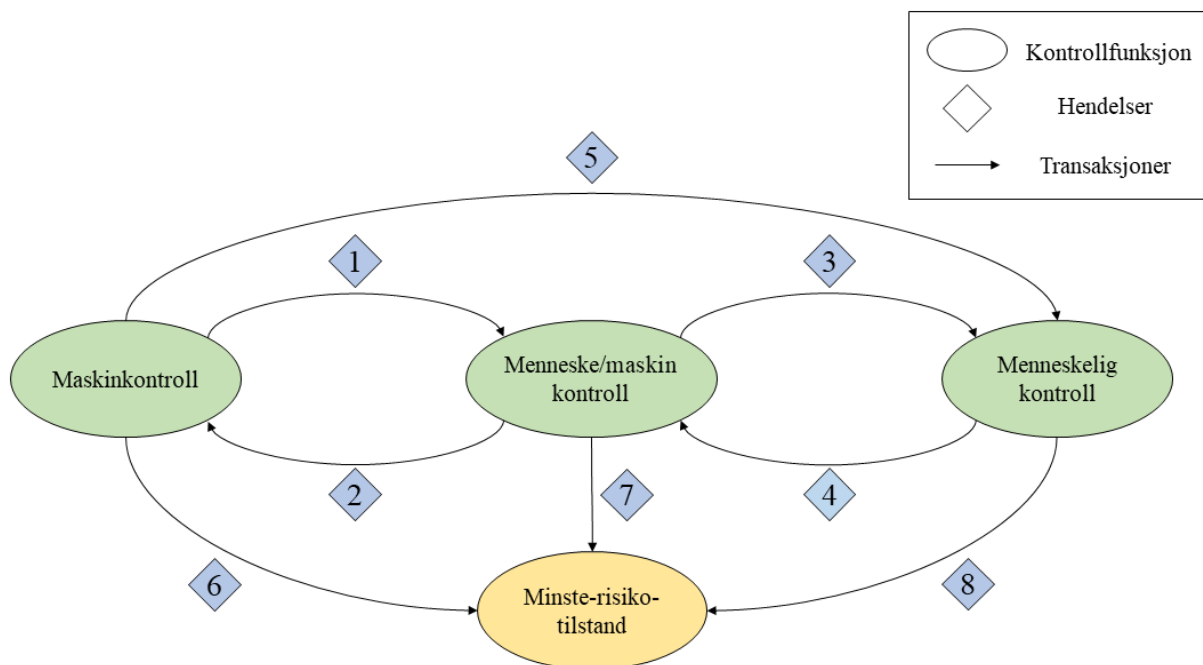
Ulike typer hendelser kan som nevnt, forårsake en overgang fra en kontrollfunksjon til en annen. Dette kan være enkelthendelser eller et sett med hendelser. Forenklet kan vi definere åtte hendelser som gjør at skipet går fra en kontrollfunksjon til en annen. En oversikt over de åtte hendelsene og en kort beskrivelse av hver enkelt er vist i tabell 4.2.

**Tabell 4.2:** Kontrollfunksjon overganger for ulike hendelser.

Hendelse	Fra	Til	Beskrivelse
1	Maskinkontroll	Menneske/maskin kontroll	Maskinkontroll er ikke tilstrekkelig i en normalsituasjon, slik at man er nødt til å endre til menneske/maskin kontroll.
2	Menneske/maskin kontroll	Maskinkontroll	Menneske/maskin kontroll benyttes, men det er hensiktsmessig bytte til maskinkontroll. Dette kan være tilfeller hvor det har vært nødvendig at menneske/maskin overtar kontrollen fra maskin (hendelse 1), men når situasjonen er avverget kan skipet gå tilbake i maskinkontroll.
3	Menneske/maskin kontroll	Menneskelig kontroll	Menneske/maskin kontroll er ikke tilstrekkelig i en normalsituasjon, slik at man er nødt til å endre til menneskelig kontroll.
4	Menneskelig kontroll	Menneske/maskin kontroll	Menneske/maskin kontroll benyttes, men det er hensiktsmessig bytte til menneskelig kontroll. Dette kan være tilfeller hvor det har vært nødvendig at menneske overtar kontrollen fra menneske/maskin (hendelse 3), men når situasjonen er avverget kan skipet gå tilbake i menneske/maskin kontroll.
5	Maskinkontroll	Menneskelig kontroll	Maskinkontroll er ikke tilstrekkelig i en normalsituasjon, slik at man er nødt til å endre til menneskelig kontroll.
6	Maskinkontroll	MRT	Maskinkontroll er ikke tilstrekkelig i en normalsituasjon, og det finnes hensiktsmessig å sette skipet direkte i MRT.
7	Menneske/maskin kontroll	MRT	Menneske/maskin kontroll er ikke tilstrekkelig i en normalsituasjon, og det finnes hensiktsmessig å sette skipet direkte i MRT.
8	Menneskelig kontroll	MRT	Menneskelig kontroll er ikke tilstrekkelig i en normalsituasjon, og det finnes hensiktsmessig å sette skipet direkte i MRT.



En måte å visualisere disse kontrollfunksjonene og tilknyttede overganger, er ved bruk av en endelig tilstandsmaskin (*Finite State Machines*). Dette består av et sett inngangssymboler og utgangssymboler (hendelser), og overgangen mellom tilstandene kalles transaksjoner [89]. Oppsettet på tilstandsmaskinen kan variere, men i denne oppgaven er det funnet hensiktsmessig å benytte tilstandsdiagram. Et tilstandsdiagram er en rettet graf, der nodene representerer tilstander [89]. I figur 4.2 har jeg utarbeidet et tilstandsdiagram med de fire kontrollfunksjonene, og de åtte ulike hendelsene som er definert i tabell 4.2.



**Figur 4.2:** Tilstandsdiagram over kontrollfunksjonene, med relaterte hendelser.

Videre kan tilstandsdiagrammet overføres til en matrise, vist i tabell 4.3. Matrisen viser en oversikt over de fire kontrollfunksjonene og de tilhørende hendelsene mellom ulike funksjoner. De grå feltene er enten like kontrollfunksjoner, eller transaksjoner som ansees som mindre sannsynlig at vil forekomme.

		Til			
		Maskinkontroll	Menneske/maskin kontroll	Menneskelig kontroll	Minste-risiko-tilstand
Fra	Maskinkontroll		1	5	6
	Menneske/maskin kontroll	2		3	7
	Menneskelig kontroll		4		8
	Minste-risiko-tilstand				

**Figur 4.3:** Matrise med kontrollfunksjonene, med tilhørende hendelser.

I det følgende tar jeg for meg hver av disse fire kontrollfunksjonene, og ser på hvilke funksjoner og oppgaver som vil kunne inngå i en «normalsituasjon». På bakgrunn av oppgavens omfang er det valgt å forenkle fremvisningen i form av at det er klare skiller mellom de ulike kontrollfunksjonene. En mer realistisk framstilling vil være mer kompleks, med langt flere nyanser.

### 4.3.1 Maskinkontroll

Maskinkontroll er at maskinene på egenhånd skal kunne kontrollere, som kan defineres som «ingen operatørkontroll». I designfasen vil kontrollfunksjoner programmeres og bygges inn som en del av skipet. Oppgaver som er mer egnet for maskinkontroll er for eksempel å samle inn og tolke sensordata, hurtig respons, utmattende oppgaver og å følge detaljerte instruksjoner. Å maskinstyre denne typen oppgaver kan gi store tids- og ressursbesparelser. Imidlertid vil det å ha en større andel av skipets oppgaver i dette området, kunne gi et mer komplekst og kostbart design.

I designfasen vil man kunne lage kravspesifikasjoner med funksjoner og operasjoner som skipet skal være i stand til å håndtere. Ut ifra slike spesifikasjoner setter man opp tilknyttede krav for å oppnå et akseptabelt sikkerhetsnivå. Dette kan eksempelvis være krav til sensor-

systemer, antikollisjonssystemer, gjenstandsdeteksjon og klassifisering. Kravene kan settes blant annet basert på ALARP-prinsippet.

Noen eksisterende konvensjoner vil i noen grad sette rammeverket for elementer som er under maskinkontroll i ubemannede skip. RSE viser til at for eksempel COLREGS er relativt overførbart, selv om det er noen potensielle mangler. Andre konvensjoner, som ISM-koden, vil det heller være hensiktsmessig å utvikle et nytt instrument. De siste årene er det også utarbeidet enkelte nye retningslinjer som er tilpasset delvis eller fullt ubemannede skip, fra blant annet Sjøfartsdirektoratet og DNV.

Større andel maskinstyrte operasjoner gjør at flere teknologiske systemer vil være sikkerhetskritiske enn tidligere. Når det ikke er mannskap om bord, for å stille sikkerhetsbarriere ved tekniske svikt, er det nødvendig å legge inn nye tekniske barrierer. Redundans, separasjon og/eller uavhengighet er noen viktige sikkerhetstiltak for å kunne opprettholde eller gjenopprette funksjoner etter feil. I tillegg er det viktig at systemene i driftsfasen kommer med tilbakemelding og datarapportering, slik at man kan bygge opp et datagrunnlag for å kontinuerlig forbedre systemene. I denne sammenheng er det også viktig å ha en helhetlig tilnærming til systemet, i stedet for å se på systemet som isolerte prosesser og komponenter.

Funksjoner som benytter maskinkontroll, kan skape utfordringer når det kommer til vedlikehold. Når operatører ikke til enhver tid er om bord for å kunne gjennomføre vedlikehold, så kan det ansees som nødvendig å benytte systemer med lavere vedlikeholdskrav. Lavere vedlikeholdskrav krever en slik pålitelighet og tilgjengelighet at maskinene skal fungerer over en lengre periode. Tilgjengeligheten er spesielt avhengig av at man får redusert MTTR (*Mean Time to Repair*), slik at det tar kortere tid å gjenopprette et system fra en feil. Påliteligheten krever flere tekniske barrierer, samt bedre tekniske systemer med innebygd funksjonalitet for prediktivt vedlikehold.

### 4.3.2 Menneske/maskin kontroll

Menneske/maskin kontroll tilsier at maskinen i utgangspunktet har kontrollen, men dersom maskinen ikke finner en sikker løsning vil en operatør måtte overta. Denne graden av kontroll kan deles i to. Det første er «tilgjengelig operatørkontroll», der operatøren er tilgjengelig kun ved varsling fra systemet. Imidlertid så er operatøren muligens ikke på kontrollstasjonen i det øyeblikket, og det kan være relativ lang tid før operatøren har mulighet til å ta kontroll. Det andre er «diskontinuerlig operatørkontroll». Systemene overvåkes av operatøren, men operatøren kontrollerer ikke systemene direkte. I dette tilfellet er operatøren mye nærmere operasjonssenteret og trenger kort tid for å få situasjonsforståelse om nødvendig. Ulike operasjoner kan ha ulik tilnærming til disse to gradene av kontroll, samt at tilnærmingen også kan endres etter forholdene.

Ved Menneske/maskin kontroll er det ønskelig å bruke kunstig intelligens til situasjonsforståelse, beslutningstaking og bevegelseskontroll. De kunstig intelligente systemene baseres på innebygde algoritmer for å løse operasjoner. Imidlertid viser forskning at de maritime systemene fortsatt ikke er i nærheten av mennesker ved høyere nivåene av situasjonsforståelse (SA), det vil si projeksjon av fremtidige hendelser. Derfor er det nødvendig at de ubemannede skipene er avhengig av beslutningstøtte fra en eller flere operatører på et operasjonssenter. En slik hybrid løsning vil være utfordrende å optimalisere. Nøkkelutfordringene mener forskning at ligger i overgangen mellom maskinen og operatøren på operasjonssenteret, her er det flere ting som må adresseres.

For det første er man avhengig av at operatøren tilstrekkelig kan gripe inn i situasjonen. Det at mennesket må opprettholdes i teknologisløyfen er et nøkkelement. En utfordring er at når mer maskiner benyttes, slik at påliteligheten og robustheter øker, så vil SA til mennesket reduseres. Dette tilsier at det er vanskeligere for mennesker å gripe inn. I enkelte situasjoner vil menneske kunne vurdere det dithen at et inngripe er nødvendig, men at det faktisk hadde vært bedre dersom mennesket ikke hadde involvert seg. En annen kjent utfordring er automasjonsparadokset. Hvilket påstår at et mer effektivt automasjonssystem,

altså mindre menneskelig involvering, gjøre at involveringen blir mer kritisk. Alt dette er aspekter som er viktig å hensyntas dersom mennesker skal kunne overta kontroll.

Overgangen mellom mennesket og maskin, samt SA hos mennesket er avhengig av HMI på operasjonssenteret. Å utarbeide et velfungerende HMI er utfordrende, og det må ofte tilpasses et spesielt behov. HMI, samt alarmer som også er viktig i denne sammenheng, og blir videre diskutert i avsnitt 4.5.3.

### 4.3.3 Menneskelig kontroll

Menneskelig kontroll kommer av at det er begrensinger i systemene som gjør at menneskelig kontroll er nødvendig. Dette kan betegnes som «full operatørkontroll». Det vil si at skipet til enhver tid blir aktivt overvåket, og responstiden er korte. Antall oppgaver som plasseres i denne kategorien vil variere, men en større andel vil potensielt redusere behovet for overdreven og kostbar autonomi. Oppgaver som komplekse vurderinger, læring, improvisasjon, tilpasning og oppdage mønsteravvik er mennesker oftest bedre på enn maskiner.

Operatøren som overvåker fra et operasjonssenter, er avhengig av organisatoriske sikkerhetsstyringssystemer. Spesielt god opplæring, prosedyrer og sjekklister er viktige verktøy for å skape SA. Konvensjonen STCW kan til dels anvendes i denne sammenheng, men det er på mange områder behov for å etablere mer passende regelverk. Til tross for mindre menneskelig involvering, vil det sannsynligvis være nødvendig med høyere krav til kompetanse, kunnskap og forståelse, basert på praktisk opplæring og simuleringer. Spesielt ved sikkerhetskritiske situasjoner. Sikkerhetskultur vil også ha betydning på dette området, og aspektene diskutert i avsnitt 3.2.4 vil være gjeldende.

På konvensjonelle skip bruker mannskapet mye tid på å vedlikeholde skipet og dets systemer, og dette behovet forsvinner ikke dersom man benytter ubemannet skip. Noe vedlikehold bør ikke maskiner håndterer, som for eksempel tidsbasert eller tilstandsbasert vedlikehold. Denne typen vedlikehold kan dermed måtte gjennomføres i havn, som kan føre til mer tid i havn og resultere i høyere havnekostnader.

## 4.4 Hvilke hendelser kan lede til minste-risiko-tilstand?

I teorikapittelet ble ODD-området forklart, og det ble lagt fram ulike operasjoner, situasjoner og aspekter som det ubemannede skipet skal være i stand til å håndtere. Av de ulike aspektene kan det å reagere trygt ved kritiske hendelser ansees som det viktigste og mest utfordrende. Minste-risiko-tilstand (MRT) er som nevnt en tilstand skipet settes i ved en kritisk eller unormal situasjon for at skipet skal utgjøre minst mulig risiko. Risikovurderinger gjøres for å sikre at skipet er i stand til å håndtere disse kritiske eller unormale situasjonene. Dette inkluderer både å definere ODD-området, men også de tilgjengelige MRT-ene.

En viktig del av risikovurderinger for ubemannede skip er å gjøre risikoanalyse for å avdekke farekilder og identifisere mulige uønskede hendelser. Analyser rundt et så usikkert område, som det MRT fortsatt er, gjør at man i større grad må basere seg på antagelser. Et utgangspunkt for analysen kan være å eksemplifisere gjennom et så realistiske og praktiske eksempel som mulig. Derfor har jeg i det følgende fremlagt MRT i et praktisk eksempel, for å gi et bedre bilde av hva det faktisk handler om.

### 4.4.1 MRT i et praktisk eksempel

Banda mfl. [90] sin studie er grunnlaget for dette praktiske eksempelet, som gjør en risikovurdering rundt to fartøyskonsepter. Risikovurderingen ser på seks farekilder:

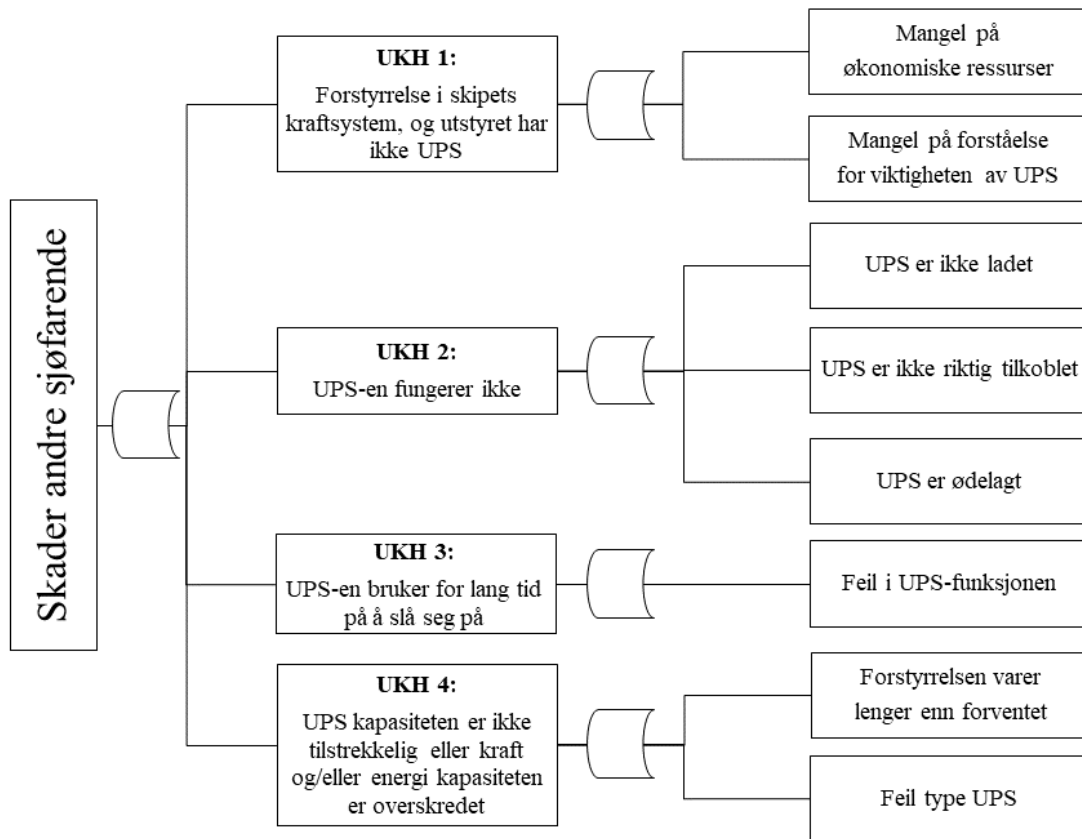
1. Feil på objekt deteksjon sensorer (anti-kollisjonssensorer)
2. AI programvarefeil
3. Teknisk feil (f.eks. mekanisk feil)
4. Dårlig vær/sjøforhold
5. Sterke strømmen
6. Feil på posisjonsreferanseutstyr

Videre analyse gjøres på farekilden «Feil på objekt deteksjon sensorer» eller «Feil på anti-kollisjonssensorer», som er et bedre uttrykk på norsk.

Feil på anti-kollisjonssensorene gjør at det ubemannede skipet går over i det jeg i forrige kapittel betegnet som en unormal situasjon (se avsnitt 4.3). Ulike kilder kan være feilårsak, som for eksempel tap av strømtilførsel, feil på utstyr, skitt på utstyr, overoppheting eller manglende vedlikehold. Ulike proaktive barrierer bør være implementert for å forhindre at feilen gjør skade. Dette kan for eksempel være en uavbrutt strømkilde (UPS) eller sensorsystem redundant og diversifisering. Dersom en eller flere av de proaktive barrierene avverger farekilden, vil skipet gå tilbake i normalsituasjon og vi har hele tiden holdt oss innenfor ODD-området. Om dette ikke er tilfellet vil skipet derimot måtte settes i en MRT, for å enten sette skipet tilbake i normalsituasjon eller minimere konsekvens. Konsekvensene i dette tilfelle er at skipet ikke har pålitelig informasjon om omgivelsene, og derfor ikke er i stand til å navigere trygt. Dette trenger nødvendigvis ikke å påvirke skipsdriften nevneverdig, men kan i andre tilfeller medføre større konsekvenser. Relaterte konsekvenser er videre diskutert i avsnitt 4.4.2.

Hver av de proaktive barrierene kan utsettes for usikre kontrollhandlinger (UKH), som kan føre til feil i systemet og resultere i en konsekvens. I figur 4.4 har jeg på bakgrunn av Banda mfl. [90] sin studie satt opp en enkel feiltreanalyse for den proaktive barrieren, UPS. UPS vil kunne gi uavbrutt strømtilførsel, selv ved svikt i den eksterne strømforsyningen.

Topp-hendelsen eller konsekvensen er i dette tilfellet «skade andre sjøfarende». Dette betegnes som uakseptabelt. Videre er det definert fire usikre UKH-er, som kan være årsaken til konsekvensen. For hver av de er det definert ulike rotårsaker. De ulike UKH-ene, samt de mulige rotårsakene vil isolert sett kunne medføre avgjørende feil. Derfor benyttes det grafiske symbolet for «eller», som logiske porter.

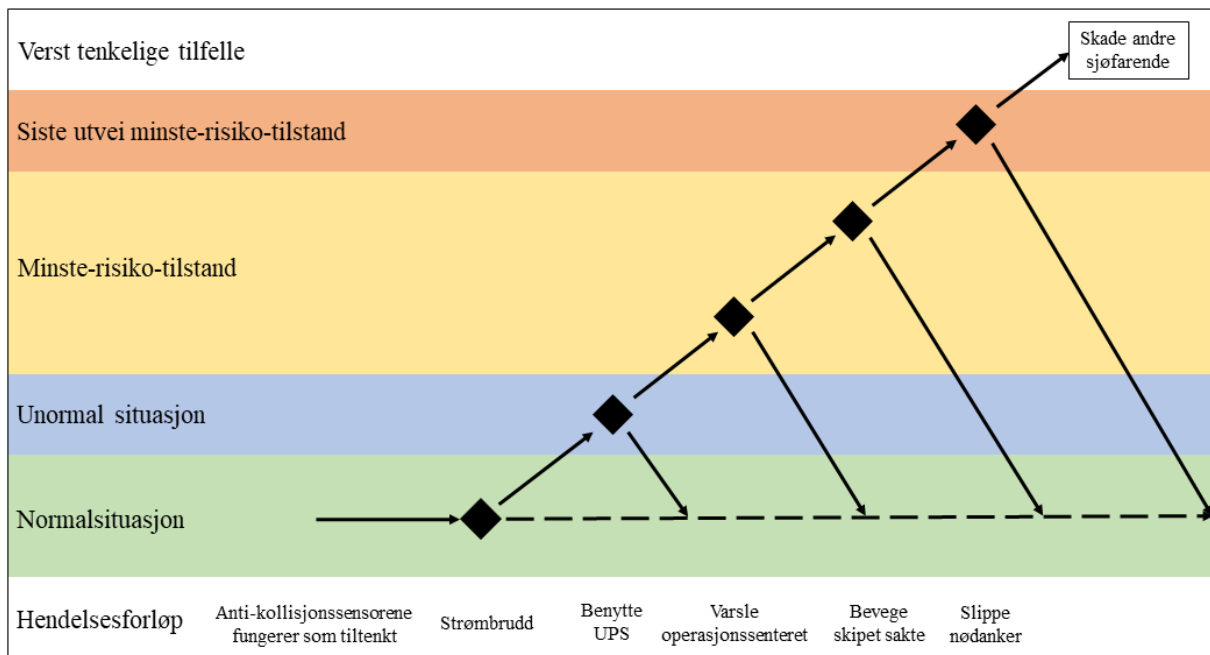


Figur 4.4: Feiltreanalyse av UPS som proaktiv barriere.

Jeg ønsker å bygge videre på denne risikoanalysen, og koble det opp mot det jeg fremla i avsnitt 4.3. Ved gjennomført CONOPS, skal man på forhånd ha dokumentert MRT-ene skipet har tilgjengelig i en normalsituasjon. Det anbefales at man bør ha mer enn én MRT for å håndtere ulike typer hendelser. I teorigrunnlaget ble det lagt fram flere mulige MRT-er som kan være aktuelle, og det er disse som også benyttes i eksempelet.

I eksempelet har jeg valgt at UPS-en tilknyttet anti-kollisjonssensorer som benyttes for et «Collision avoidance system», som er innrettet på å unngå kollisjon med objekter. I figur 4.5 har jeg laget et praktisk eksempel for et ubemannet skip som opplever farekilden tap av strømtilførsel, også kalt strømbrudd. I tillegg har jeg knyttet dette opp mot de ulike fasene, fra figur 4.1, som skipet må forskyves mellom for å opprettholde kontrollen. De ulike hendelsene er tatt fra tidligere forskning, men hendelsesforløpet baseres på egne vurderinger.





Figur 4.5: Praktisk eksempel med Minste-risiko-tilstand.

Nederst i figuren er hendelsesforløpet, som starter med at det ubemannede skipet har «anti-kollisjonsensorene fungerer som tiltenkt». Første hendelse, symbolisert med en firkant, er at skipet påvirkes av farekilden «strømbrudd». Dette setter skipet i en unormal situasjon og man er nødt til å benytte seg av proaktive barrierer, som i dette tilfelle er å «benytte UPS». Her er det viktig å påpeke at strømbruddet og UPS-en kun tilknyttes anti-kollisjonsensorene, fordi større strømbrudd vil umuliggjøre flere av de videre handlingene. Dersom UPS er utsatt for en UKH vil skipet muligens ikke gå tilbake til normalsituasjon, men gå over i denne MRT-en. Det kan være krevende å oppnå pålitelige MRT-er, og derfor er den første å «varsle operasjonssenteret». I de tilfellene hvor operatøren i operasjonssenteret ikke kan få skipet tilbake i normalsituasjon, vil det være nødvendig å benytte seg av enda en MRT. I dette tilfellet å «bevege skipet sakte». Til slutt, dersom dette heller ikke er avvergende, vil en «siste utvei MRT» bli aktivert, som i dette tilfellet er å «slippe nødanker». Imidlertid, om ingen av de foregående handlingene setter skipet tilbake i normalsituasjon, så kan man risikere at skipet skader andre sjøfarende.

#### 4.4.2 Verst tenkelige tilfelle

Verst tenkelige tilfelle inntreffer når ingen barrierer, proaktive eller reaktive, greier å forhindre at skipets handlinger resulterer i skade. Det kan være skade på liv og helse, materielle skader på eget eller andres skip, samt miljøskader. Dette kan ha store økonomiske konsekvenser, i form av for eksempel reparasjoner, nedetid, forsinkelser og erstatning. I tillegg kan dette ha stor innvirkning på omdømmet til ulike involverte aktører.

Konsekvenser kan svekke tillit. Tillitt mellom ulike aktører, tillit til ulike komponenter og systemer, og ikke minst tilliten til at ubemannede skip er realiserbart i fremtiden. En ting er tilliten til de involverte, men tilliten fra resten av samfunnet er også helt essensielt. Samfunnet er en viktig bidragsyter for videre teknologiutvikling og anvendelse av ubemannede skip. En større ulykke kan ha en svært negativ effekt og i verste fall sette utviklingen tilbake i flere tiår.

En annen utfordring knyttes til de etiske spørsmålene som forventes å påfølge realiseringen av ubemannede skip. Etiske spørsmål som tilknyttes menneskelig kontroll er ofte vurderinger hos enkeltmennesket, men med maskinkontroll er det litt mer komplisert. Dette gjelder spesielt når skipet står med bare dårlige alternativer igjen. Teknologi som KI skal kunne trenes opp og utvikles til å kunne ta gode beslutninger i de fleste situasjoner. Imidlertid når det kommer til etiske overveielser kan teknologien komme til kort. Dersom man for eksempel står ovenfor å enten kantre selv eller å kolliderer med et annet skip, vil teknologien ha ekstremt vanskeligheter med å velge. I et slik tilfelle blir det konsekvenser uansett utfall, og noen vil måtte ansvarliggjøres for disse konsekvensene. Det økonomiske vil stå i fokus, som det oftest gjør. Datamaskiner kan ikke ta på seg økonomisk ansvar, og derfor vil ikke denne «noen» være maskinene. Enkeltpersoner, selskap eller organisasjoner kommer til å måtte ansvarliggjøres, men dette er nok oftere lettere sagt enn gjort. Selv om eieren av skipet i utgangspunktet vil være ansvarlig for skader skipet gjør, tror jeg at man må forvente krevende saker rundt dette framover.

## 4.5 Hvordan bestemme minste-risiko-tilstand?

I de foregående kapitlene har jeg, på bakgrunn av teorien, studert minste-risiko-tilstand (MRT) og hvilke hendelser som kan lede til denne MRT-en. I tillegg ble det fremlagt et praktisk eksempel. I eksempelet måtte operatøren i operasjonssenteret varsles og gi beslutningstøtte for videre valg av MRT-er. I disse tilfellene vil det være avgjørende at operatøren har god nok situasjonsforståelse. Dette er opphavet til siste forskningsspørsmål i denne masteroppgaven.

I en uønsket hendelse mener jeg, på bakgrunn av egne vurderinger i sammenheng med fremlagt teori, at man må gjennom fem trinn for å kunne sørge for at operatøren får god situasjonsforståelse og kan bestemme MRT på best mulig måte:

1. Hvilken hendelse står skipet ovenfor?
2. Hvilken driftstilstand har skipet?
3. Hvordan gi operatøren på operasjonssenteret situasjonsforståelse?
4. Hvilke MRT-er er tilgjengelig?
5. Hvilke MRT er å foretrekke?

I de to første trinnene er det skipet som, med sine systemer og funksjoner, vurderer situasjonen skipet står ovenfor. Det tredje trinnet er å videreformidle denne informasjonen til operatøren på operasjonssenteret. Målet er at operatøren får tilstrekkelig situasjonsforståelse til å kunne bestemme de to siste trinnene.

### 4.5.1 Hvilken hendelse står skipet ovenfor?

Først og fremst må man vurdere hvilken hendelse skipet står ovenfor. Vurderingene innebærer å oppfatte og forstå nåsituasjon, samt projisere fremtidige handlinger og utfall.

KI og IoT kan benyttes for å samle inn informasjon om nåværende status, samt trekke ut relevante elementer. Herunder skipets egne bevegelser, men også elementer i omgivelsene som værforhold, sjøforhold, topografi og trafikkbilde. Informasjonen bygger opp en data-

analyse for videre projeksjon og beslutningstaking, som gjerne krever komplekse modeller. Kompleksiteten kommer av mange ulike variabler kan føre til et uendelig løsningsrom. Til tross for et uendelig løsningsrom, så vil skipet trolig kunne forutse de fleste utfall for skipets videre handlinger og konsekvensene det medfører. Tilknyttede konsekvenser ble diskutert i avsnitt 4.4.2. Imidlertid kan skipet også stå ovenfor etiske overveielser, og høyere nivåer av situasjonsforståelse er nødvendig. Dette kan som tidligere nevnt være krevende å oppnå.

### 4.5.2 Hvilken driftstilstand har skipet?

Etter hendelsen er definert må driftstilstanden til eget skip defineres nøyere. Her må man se på alle systemene både isolert sett, men også med en helhetlig tilnærming. Et viktig spørsmål er om alt fungerer som tiltenkt. I utgangspunktet skal alle skipets systemer og funksjoner være godt forhåndsdefinert, og skipet skal også være utstyrt med en rekke proaktive barrierer som skal avverge eventuelle feil. På en annen side er ubemannede skip svært komplekse og sammensatte systemer, og dersom den minste feil ikke rettes opp av barrierer, eller oppdages gjennom verifisering eller validering vil det kunne ha konsekvenser.

Dersom skipet ikke fungerer som tiltenkt må man også vurdere hvilke muligheter operasjonssenteret har til å få full forståelse av driftstilstanden, uten eller med liten tilgang til skipets kontrollsystemer. Sagt på en annen måte, hvor uavhengig er operasjonssenteret. For eksempel ved at operasjonssenteret har tilgang på lokal radar (se avsnitt 3.3.8), som ikke skipet har tilgang til.

Driftstilstanden kan også inkludere kontrollfunksjonen, i dette tilfellet menneske/maskin. Menneske/maskin kontroll inkluderer mange prosesser og komponenter man også må vurdere tilstanden til. Kommunikasjon og infrastruktur vil være spesielt viktig i denne sammenheng.

Når skipet har gjort disse trinnene som nå er framlagt, så utgjør dette flere kartlegginger og vurderinger gjennom skipets algoritmer. Vurderingstiden kan være begrenset når man står ovenfor en unormal situasjon. Dagens teknologi og programvare kan være i stand til å

løse noen av disse vurderingene på kort tid, men det krever at skipet innehar tilstrekkelige algoritmer. Utfordringen, som diskutert i tidligere kapitler, er at dette ikke alltid er tilfellet.

### 4.5.3 Hvordan gi operatøren på operasjonssenteret situasjonsforståelse?

På bakgrunn av vurderingene gjort i de to foregående trinnene, så må skipet videreformidle denne informasjonen til operatøren på operasjonssenteret. Formidlingsevnen påvirkes av i hvilken grad og hvor raskt operatøren på operasjonssenteret får tilstrekkelig situasjonsforståelse om hendelsen en står ovenfor, samt driftstilstanden til skipet. Slik at operatøren ut i fra dette kan handle sikkert og effektivt. Forskjellen på god og dårlig videreformidling kan være forskjellen på liv og død. Det er mye jeg kunne trukket fram og diskutert når det kommer til hvordan en kan oppnå god videreformidling, men følgende anser jeg som mest relevant:

- Kommunikasjon
- Brukergrensesnitt
- Alarmer

Kommunikasjon er et viktig fundament, og uten tilstrekkelig kommunikasjon vil man risikere at informasjon ikke kommer fram til operasjonssenteret. IoT-systemer har muliggjort en rekke nye teknologier som kan øke innovasjonsevnen og effektiviteten. Men ny teknologi er ikke utelukkende positivt, og man antar at det kan forårsake økt usikkerhet i risikobilde. Blant annet gjennom økende risiko for cyberangrep, som ble diskutert i avsnitt 4.2.7. For å motvirke dette vil man måtte sikre at skipet til enhver tid har god kommunikasjon og dataforbindelser. Dette gjelder både mellom alle de ulike komponentene i infrastrukturen, men spesielt kommunikasjonen mellom skipet og operasjonssenteret. Dette krever at kommunikasjonssikkerheten «garanteres» ved å sørge for at man til enhver tid er i stand til å støtte den tiltenkte bruken. God nok kapasitet, liten tidsforsinkelse og tilgjengelighet er noen nøkkelkrav som bør inkluderes. Mer ansvar til operasjonssenteret, setter høyere krav

til kommunikasjonsforbindelsen.

Dersom kommunikasjonen fungerer som tiltenkt, må informasjonen framlegges for operatøren i kontrollsentralen gjennom et brukergrensesnitt (HMI). Designet av brukergrensesnittet vil kunne være helt avgjørende for operatørens evne til å få en felles situasjonsforståelse med skipet. Det er en rekke designprinsipper som bør anvendes, og ulik funksjonalitet er viktig for ulik bruk. Imidlertid er det mulig å trekke ut noen nøkkelementer fra teorien.

For det første bør designet utvikles gjennom grundige analyser basert på brukersentrert design (HCD). Fokuset bør da være på brukerens mål, oppgaver og behov. Det er viktig at mennesket opprettholdes i teknologisløyfen, og at operatøren har kontrollen. Dette øker sannsynligheten for at man på en sikker måte kan gripe inn. For det andre bør grensesnittet presentere relevant informasjon, til rett tid og på rett plass. Her er automatiseringstransparens viktig for å få en felles situasjonsforståelse, samt formidle skipets intensjon for egne operatører og andre. For det tredje må man skape automatiseringspålitelighet, samt forsøke å oppnå et tilfredstillende nivå av operatørtillit. Når det er sagt så kan det være vanskelig å fullstendig innfri på disse områdene.

Et annet relevant punkt er at forskning viser at mennesker ofte ønsker mer informasjon enn man egentlig er i stand til å håndtere. Imidlertid kan det være mer hensiktsmessig å forenkle brukergrensesnittet. Å forenkle handler blant annet om å unngå økende kognitive krav, arbeidsbelastning og distraksjoner, slik at de riktige oppgavene er enklere å velge og dermed utføre. På en annen side er det utfordrende å finne en gylden balanse på hva som er tilstrekkelig informasjon. På dette området er næringen nødt til å ha en kontinuerlig utvikling, der jeg vil vektlegge forskning som påpeker at man ønsker å oppnå et brukervennlig grensesnitt som ikke bare er brukbart, men også praktisk. I litteraturen framstår dette ikke alltid som et fokusområde, men jeg mener at brukergrensesnittet kan være helt avgjørende.

Alarmer er en viktig del av brukergrensesnittet. Disse vekker oppmerksomheten til operatøren for å kunne formidle MRT-ene. Falske alarmer svekker tilliten til systemet og må unngås. Det er viktig at alarmene er entydig og gir god veiledning for videre håndtering. I tillegg må man unngå at alarmen overdøves av annen informasjon, samt gir beslutningstøt-

te om det utløses flere alarmer samtidig. Her er igjen forenkling et nøkkelkonsept. Alarmer kan også designes på mange ulike måter. Ulikhetene kan ligge i alt fra farger, skjermer, knapper, kontraster, tekststørrelse, bilder og lyder. Noen standarder og retningslinjer kan være til hjelp for å optimalisere designet, men til syvende og sist kreves det en lengre designfase med mye testing og validering. Når omsider operasjonssenteret er optimalisert, vil god opplæring av operatør være helt essensielt for bruken. Opplæringen vil være helt annerledes enn tidligere, fordi det er nye og endrede arbeidsoppgaver.

Når operatøren skal få oversikt over de MRT-alternativene som skipet foretrekker, så vil alle de overnevnte parameterne påvirke formidlingsevnen. Tiden det tar å oppnå dette betegnes som maksimal responstid ( $T_{MR}$ ), og bedre formidlingsevne sannsynliggjør kortere  $T_{MR}$ . Det kan tenkes at man preprogrammerer en grense for  $T_{MR}$ . Dersom operatøren ikke kan gi tilstrekkelig beslutningstøtte innen den tid, så burde skipet være i stand til å utføre en MRT eller en siste utvei MRT for å minimere konsekvens.

#### 4.5.4 Hvilke MRT-er er tilgjengelig?

Dersom informasjonen er videreformidlet på en måte som gir god situasjonsforståelse, så vil operatøren måtte kartlegge hvilke MRT-er som er tilgjengelige ut ifra de to første trinnene, som vil si:

- Hvilke MRT-er er tilgjengelige i den hendelsen skipet står ovenfor?
- Hvilke MRT-er er tilgjengelige med den driftstilstanden skipet har?

Når dette skal vurderes har jeg forstått det dithen at det er mulig å starte i begge ender, henholdsvis hendelses- og tilstandsspesifikt. Om man har utarbeidet CONOPS, så skal man på forhånd ha definert hendesspesifikke MRT-er, og muligens også noen tilstandsspesifikke. Imidlertid er det lite trolig at man har klart å avdekke alle situasjoner. Dersom gitt hendelse ikke er forhåndsdefinert, så finner jeg det intuitivt å ha et hendesspesifikt utgangspunkt. Deretter undersøke hver av de tilgjengelige MRT-ene, og vurdere om de fortsatt er tilgjengelig med skipets driftstilstand. Feil i driftstilstanden kan være helt avgjørende

for om MRT-en er gjennomførbar. For eksempel vil ikke skipet kunne gjennomføre MRT-en «naviger til neste veipunkt og stopp der» dersom man ikke har tilstrekkelig strømtilførsel. Det vil heller ikke være mulig å «beveg skipet sakte» dersom man mangler fremdrift.

I denne sammenheng finner jeg det også hensiktsmessig å adressere enkelte tidsaspekter. Noen ganger er det ingen tidsbegrensninger for når skipet må være satt i en MRT, men i andre tilfeller kan skipet ha strenge tidsrammer for at det faktisk er en realistisk MRT. Her må man ikke bare vurdere egne handlinger, men også vurdere tidsforløpet på alt rundt. Spesielt objekter i bevegelse kan være vanskelig å bedømme. Et annet relevant tidsaspekt er MTTR (*Mean Time to Repair*). Denne gjenopprettelses tiden kan være avgjørende for systemets tilgjengelighet. Imidlertid krever det, som nevnt i avsnitt 4.3.1, mer teknisk funksjonalitet for å redusere behovet for vedlikehold, og få mer forutsigbar drift. Dette kan være både kostbart og komplekst.

#### 4.5.5 Hvilken MRT er å foretrekke?

Etter at man har kartlagt hvilke MRT-er som er tilgjengelig, i forhold til hendelse og driftstilstand, vil man måtte vurdere hvilke som er å foretrekke. Det vil si hvilken MRT gir minst risiko. Skipet kan stå ovenfor en rekke ulike konsekvenser som diskutert i avsnitt 4.4.2, og det kan være vanskelig å avgjøre omfanget. I enkelte tilfeller er det også etiske overveielser inne i bildet, som kompliserer ytterligere (hva skal man velge når det bare er dårlige alternativer igjen?).

Når operatøren har bestemt hvilken MRT som er best egnet i gitt situasjon, så kan handlingen utføres. Det ansees som nødvendig å definere flere enn én MRT for å håndtere en uønsket hendelse. I tillegg skal de ulike MRT-ene helst være strukturert i hierarkier med klare prioriteringer. Dette gjør at man har reserveløsninger for ulike utfall, og dermed har man et mer robust system. Noe som er helt essensielt for sikkerheten.



# Kapittel 5

## Konklusjon

### 5.1 Konklusjon

I fremveksten av Industri 4.0 er det et økende fokus på digitalisering og automatisering. Innenfor maritim næring er ubemannede skip av stor interesse, blant annet fordi det kan øke sikkerheten og produktiviteten, samt gi lavere utslipp til luft og sjø. Imidlertid vil denne typen skip introdusere nye sikkerhetsutfordringer, som er opphavet til denne masteroppgaven. Masteroppgaven adresserer fem forskningsspørsmål på bakgrunn av problemstillingen:

#### **Overvåking av tilstand og sikkerhet for ubemannede skip**

*- Hvordan sikre felles situasjonsforståelse mellom skip og operasjonssenteret.*

Forskningsspørsmålene er besvart med litteraturstudie som metode. Gjennom en systematisk litteraturstudie blir det opparbeidet et teoretisk grunnlag med formål om å bygge opp under egne analyser og diskusjoner rundt forskningsspørsmålene.

Skipsfart regnes av IMO for å være en av de farligste industriene, og sikkerhet er derfor et nøkkelelement for maritim utvikling. Tilstrekkelig sikkerhet er nødvendig, og første forskningsspørsmål handler om å trekke fram sentrale faktorer for å oppnå dette. Basert på teori oppnådde jeg målene for forskningsspørsmålet, som resulterte i følgende seks faktorer som jeg anser som mest sentrale:

1. Følge og anvende gjeldende lover, forskrifter og retningslinjer
2. Involverte aktører
3. Risikovurderinger
4. Organisatoriske- og teknologiske sikkerhetsstyringssystemer
5. Sikkerhetskultur og risikoforståelse
6. Menneskelig involvering

Analysen er generell, og lite detaljer blir framlagt. Dette er fordi jeg ønsker å skape et enkelt, overordnet bilde av maritim sikkerhet.

Det jobbes i dag for å realisere ubemannede skip, fordi det kan ha mange positive effekter i samfunnet. Dette innebærer et omfattende skifte, da mange operasjonelle og tekniske funksjoner endres. Sikkerhetsaspektet endres også betydelig, og det oppstår nye utfordringer. Dette gir opphav til det andre forskningsspørsmålet som går på å avdekke, samt redegjøre, for det jeg mener er de viktigste sikkerhetsutfordringene:

1. Begrenset driftserfaring
2. Usikkerheter rundt risikobilde og akseptabelt sikkerhetsnivå
3. Manglende reguleringer
4. Komplekse tekniske og operasjonelle systemer
5. Krevende å verifisere og validere programvarere
6. Omfattende og mindre veletablerte krav til infrastrukturen
7. Økende risiko for cyberangrep
8. Høyere operasjonskompleksitet

Hver av sikkerhetsutfordringene skaper ulike risikoer som kan være avgjørende for videre realisering, og analysen tydeliggjør behovet for mer forskning og driftserfaring.

En av sikkerhetsutfordringene er «høyere operasjonskompleksitet», og dette kan relateres til to sentrale årsaker. Den ene årsaken er at skipet operer i faser med overganger mellom menneskelig kontroll og maskinkontroll, som er utgangspunktet for det neste forskningsspørsmålet. Formålet med forskningsspørsmålet er å definere kontrollfunksjonene ski-

pet operer med, samt funksjoner og oppgaver som relateres. Analysen viser at økende grad av maskinkontroll kan gi store tids- og ressursbesparelser, men samtidig føre med seg utfordrende elementer. Blant annet at skipet og operatøren skal ha lik og tilstrekkelig situasjonsforståelse, er et slikt utfordrende element. Dette er en av grunnene til at ubemannede skip også er avhengig av en menneske/maskin- eller menneskelig kontrollfunksjon.

Dersom det oppstår en uønsket hendelse og ingen av kontrollfunksjonene diskutert i det foregående finner en tilstrekkelig løsning, vil man benytte minste-risiko-tilstand for å minimere risiko. Det er helt avgjørende at ubemannede skip reagere trygt i unormale situasjoner, og dette forutsetter gode risikovurderinger. Risikovurderinger kan blant annet være å analysere hvilke hendelser som kan lede til minste-risiko-tilstand (MRT), som er det nest siste forskningsspørsmålet. Et av målene for dette forskningsspørsmålet er å framlegge et praktisk eksempel. Dette gjøres med farekilden «feil på anti-kollisjonssensorer» som utgangspunkt. Til syvende og sist er målet å unngå verst tenkelige tilfellet, som oftest relatert til skade på mennesker, eiendeler og miljø. I tillegg vektlegger jeg hvordan en ulykke kan svekke tillit i næringen og generelt i samfunnet, noe som i verste fall kan stoppe utviklingen i lang tid. Enkelte tilfeller kan også preges av etiske overveielser, som kompliserer det hele ytterligere.

En av nøkkelutfordringene for ubemannede skip ligger i overgangen mellom maskinene og operatøren. Dette gjelder blant annet dersom skipet skal videreformidle MRT til operasjonssenteret. I siste forskningsspørsmål analyserer jeg derfor hvordan man kan sørge for at operatøren får tilstrekkelig situasjonsforståelse, og dermed kan bestemme egnet MRT. Her opplever jeg at det finnes et begrenset litterært grunnlag, slik at flere egne vurderinger har vært nødvendig. Fem trinn blir fremlagt:

1. Hvilken hendelse står skipet ovenfor?
2. Hvilken driftstilstand har skipet?
3. Hvordan gi operatøren på operasjonssenteret situasjonsforståelse?
4. Hvilke MRT-er er tilgjengelig?
5. Hvilke MRT er å foretrekke?

De to første er vurderinger som gjøres av skipet, mens i det tredje trinnet videreformidles denne informasjonen til operasjonssenteret for å gi operatøren situasjonsforståelse. Formidlingsevne påvirkes av flere ulike aspekter, men jeg velger i oppgaven å trekke fram kommunikasjon, brukergrensesnitt og alarmer. Dersom tilstrekkelig situasjonsforståelse oppnås, kan operatør videre bestemme MRT med utgangspunkt i de to siste trinnene. Det er tenkelig at skip i fremtiden kan vurdere og bestemme MRT-en uten menneskelig involvering, men alt tyder på at dette ikke vil muliggjøres med det første. Derfor er man nødt til å ta denne samhandlingen mellom menneske/maskin på alvor, ved å forske ytterligere på området.

Det er min påstand at forskjellen på god og dårlig videreformidling av informasjon fra maskin til operatør kan være forskjellen på liv og død. Imidlertid får jeg gjennom litteraturstudiet et inntrykk av at dette er noe som ofte kommer i andre rekke, etter teknologien. Forskning tyder på at det ikke er teknologiske begrensninger som egentlig er til hinder for anvendelse og utvikling. Det er heller forholdet mellom menneske og maskin, og mer organisatoriske og juridiske uklarheter og begrensninger som er avgjørende. Derfor mener jeg dette bør være et større fokusområde, og mer forskning må gjøres for videre utvikling og sikring av ubemannede skip.

## 5.2 Videre forskningsarbeid

Det er mye man kan ta tak i for videre forskning innenfor sikkerhet relatert til ubemannede skip. Spesielt fordi maritim næring fortsatt er i en startfase når det kommer til innføring av denne typen skip. Behovet for mer forskning kan relateres til økt og forbedret funksjonalitet og til usikkerhet i risikobilde, som man finner flere eksempler på i denne oppgaven. I tillegg kan det være forskningsbehov som ennå ikke er avdekket, og som synliggjøres først når skipene realiseres og driftes.

På bakgrunn av at forskningsspørsmålene, for det meste, blir analysert på et overordnet nivå, så ville det vært interessant å gå i dypere detalj på enkeltområder. Som tidligere nevnt er verifikasjon, validering og simulering spesielt viktig for positiv og effektiv utvik-

ling. Derfor kreves det mer forskning på dette framover, spesielt i tilknytning til unormale situasjoner. Operasjonscenteret som tilknyttet skipet kan også gi inspirasjon til en rekke forskningstemaer. Personlig syns jeg MRT problemstillinger og effektive brukergrensesnitt er både spennende og viktig. For eksempel kunne det vært interessant å se på hvordan man kunne optimalisert brukergrensesnittet som skal formidle minste-risiko-tilstand til operatøren.

Det vil også være spennende når utviklingen går dit hen at man kan basere forskning på mer praktiske driftserfaringer og innhenting av reelle data. Dette vil kunne validere forskningsresultatene på en helt annen måte enn tidligere. Massterly er i ferd med å etablere en operasjonssentral i Horten. Dette gir en unik mulighet for forskningsprosjekter som baserer seg på kommersiell drift. Interaksjonen mellom menneske og maskin i relasjon til effektive MRT-er kunne være en naturlig del av et slikt forskningsprosjekt.

# Bibliografi

- [1] M. Rausand og I. B. Utne, *Risikoanalyse*, 1. utg. Tapir akademisk forlag, 2009, bd. 1.
- [2] K. C. Latino, M. A. Latino og R. J. L. s, *The PROACT® Root Cause Analysis*. Taylor og Francis Group, 2020, ISBN: 9781000178302.
- [3] R. Jalonen, R. Tuominen og M. Wahlström, «Safety of Unmanned Ships - Safe Shipping with Autonomous and Remote Controlled Ships,» 2017. adresse: <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/28061/isbn9789526074801.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [4] J. Wang, *Technology and Safety of Marine Systems*. Elsevier, 2013, ISBN: 0080542247.
- [5] Norsk Forum for Autonome Skip, «Maritim Stortingsmelding 2020,» 2020. adresse: <https://www.regjeringen.no/contentassets/86343b61b0b9451f9c9a9b4403fc473c/nfas.pdf>.
- [6] IMO, *Introduction to IMO*. adresse: <https://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx> (sjekket 25.05.2021).
- [7] IMO, *Maritime Safety*. adresse: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/default.aspx> (sjekket 25.05.2021).
- [8] S. Kristiansen, *Maritime Transportation: Safety Management and Risk Analysis*, 1. utg. Taylor og Francis Group, sep. 2005.

- [9] S. Hoem, K. Fjørtoft og J. Rødseth, «Addressing the accidental risks of maritime transportation: Could autonomous shipping technology improve the statistics?» *TransNav*, årg. 13, 3 sep. 2019, ISSN: 20836481. DOI: 10.12716/1001.13.03.01.
- [10] Norges forskningsråd, «Maritim21-strategi,» 2022. adresse: [https://www.regjeringen.no/contentassets/44ebce4dc2b54990ac56b3a0dd541c6e/maritim21\\_v02-5.pdf](https://www.regjeringen.no/contentassets/44ebce4dc2b54990ac56b3a0dd541c6e/maritim21_v02-5.pdf).
- [11] N. Blaikie og J. Priest, *Designing Social Research: The Logic of Anticipation*. John Wiley og Sons, 2019.
- [12] C. Hart, *Doing a Literature Search: A Comprehensive Guide for the Social Sciences*. SAGE, 2001.
- [13] I. M. Holme og B. K. Solvang, *Metodevalg og metodebruk*. TANO, 1991, ISBN: 8251829569. adresse: <https://www.nb.no/items/7445eba4bf5b93c22674eec78db932a7?page=33&searchText=verdifrie>.
- [14] E. Hollnagel, *Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management*, 1. utg. CRC Press, 2014.
- [15] K. Formela, T. Neumann og A. Weintrit, «Overview of definitions of maritime safety, safety at sea, navigational safety and safety in general,» *TransNav*, årg. 13, 2 jun. 2019, ISSN: 20836481. DOI: 10.12716/1001.13.02.03.
- [16] Justis- og Politidepartementet, «Når sikkerheten er viktigst : beskyttelse av landets kritiske infrastrukturer og kritiske samfunnsfunksjoner,» 2006. adresse: <https://www.regjeringen.no/contentassets/c8b710be1a284bab8aea8fd955b39fa0/no/pdfs/nou200620060006000dddpdfs.pdf>.
- [17] A. M. Rothblum, «Human Error and Marine Safety,» 2000. adresse: [https://bowles-langley.com/wp-content/files\\_mf/humanerrorandmarinesafety26.pdf](https://bowles-langley.com/wp-content/files_mf/humanerrorandmarinesafety26.pdf).
- [18] Y. Eski, «Maritime Security: Problems of Security Versus Safety Practices,» *Encyclopedia of Security and Emergency Management*, 2019. DOI: 10.1007/978-3-319-69891-5\_90-3.

- [19] Norges offentlige utredninger, «Digital sårbarhet-sikkert samfunn,» 2015. adresse: <https://www.regjeringen.no/contentassets/fe88e9ea8a354bd1b63bc0022469f644/no/pdfs/nou201520150013000dddpdfs.pdf>.
- [20] Regjeringen, *Underliggende etater*. adresse: <https://www.regjeringen.no/no/dep/nfd/org/etater-og-virksomheter-under-narings--og-fiskeridepartementet/Subordinate-agencies-and-institutions/id115215/> (sjekket 25.05.2021).
- [21] T. Aven, M. Boyesen, G. Heinzerling og O. Njå, «Risikoakseptkriterier og akseptabel risiko i transportsektoren,» 2003. adresse: <https://norceresearch.brage.unit.no/norceresearch-xmlui/bitstream/handle/11250/2676936/RF%202003-072.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [22] Regjeringen, *NOU 2008:8*. adresse: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2008-8/id504445/sec5> (sjekket 25.05.2021).
- [23] DNV, «Autonomous and remotely operated ships,» 2020. adresse: <https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/cg/2018-09/dnvg1-cg-0264.pdf>.
- [24] S. O. Johnsen og T. Porathe, *Sensemaking in Safety Critical and Complex Situations*. CRC Press, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003003816>.
- [25] IMO, *International Convention for the Safety of Life at Sea*. adresse: [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx) (sjekket 25.05.2021).
- [26] IMO, *The International Safety Management (ISM) Code*. adresse: <https://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement/Pages/ISMCode.aspx> (sjekket 25.05.2021).
- [27] IMO, *International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW)*. adresse: <https://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement/Pages/STCW-Conv-LINK.aspx> (sjekket 25.05.2021).



- [28] IMO, *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)*. adresse: [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx) (sjekket 25.05.2021).
- [29] IMO, *Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972 (COLREGs)*. adresse: <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/COLREG.aspx> (sjekket 25.05.2021).
- [30] Sjøfartsdirektoratet, *Om Sjøfartsdirektoratet*. adresse: <https://www.sdir.no/om-direktoratet/> (sjekket 25.05.2021).
- [31] Sjøfartsdirektoratet, «Risikovurdering- med fokus på risikostyring og ledelse Den foretrukne maritime administrasjonen,» 2021. adresse: <https://www.sdir.no/globalassets/brosjyrer/risikovurdering2021.pdf>.
- [32] ISO, *IEC 31010:2019 Risk management — Risk assessment techniques*. adresse: <https://www.iso.org/standard/72140.html> (sjekket 25.05.2021).
- [33] IMO, *Formal Safety Assessment*. adresse: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/FormalSafetyAssessment.aspx> (sjekket 25.05.2021).
- [34] Sjøfartsdirektoratet, *Sikkerhetskultur og risikoforståelse videreført som fokusområde i 2022*. adresse: <https://www.sdir.no/sjofart/ulykker-risiko-og-sikkerhet/sikkerhetsutredninger-og-rapporter/fokus-pa-risiko-2022/> (sjekket 25.05.2021).
- [35] Nærings- og fiskeridepartementet, *Forskrift om sikkerhetsstyringssystem for norske skip og flyttbare innretninger*. adresse: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2014-09-05-1191> (sjekket 25.05.2021).
- [36] Sjøfartsdirektoratet, «Sikkerhetsstyring på mindre fartøy.» adresse: <https://www.sdir.no/contentassets/aa4bb317bdd7420fbd16d2fbb1efa7ad/veileder-for-sikkerhetsstyring-for-fartoy-under-500.pdf?t=1645611402174>.

- [37] Sjøfartsdirektoratet, «Fokus på risiko2018.» adresse: <https://www.sdir.no/globalassets/sjofartsdirektoratet/fartoy-og-sjofolk---dokumenter/roh---dokumenter/fokus-pa-risiko-2018-norsk.pdf?t=1643715078707>.
- [38] H. P. Berg, «Human Factors and Safety Culture in Maritime Safety (revised),» *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, årg. 7, 3 sep. 2013, ISSN: 2083-6473. DOI: 10.12716/1001.07.03.04.
- [39] M. R. Grech, T. J. Horberry og T. Koester, *Human factors in the maritime domain*. CRC Press, jun. 2019. DOI: 10.1201/9780429355417. adresse: [https://www.researchgate.net/publication/337051682\\_Human\\_Factors\\_in\\_the\\_Maritime\\_Domain](https://www.researchgate.net/publication/337051682_Human_Factors_in_the_Maritime_Domain).
- [40] A. M. Rothblum, «Human Error and Marine Safety.» adresse: [https://bowles-langley.com/wp-content/files\\_mf/humanerrorandmarinesafety26.pdf](https://bowles-langley.com/wp-content/files_mf/humanerrorandmarinesafety26.pdf).
- [41] Maritime and Coastguard Agency, «Human element guidance - PART 2 : The Deadly Dozen - 12 Significant People Factors in Maritime Safety,» 2017. adresse: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/837844/MGN\\_520\\_Final.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/837844/MGN_520_Final.pdf).
- [42] N. Kalra, «Challenges and Approaches to Realizing Autonomous Vehicle Safety,» 2017. adresse: <https://www.rand.org/pubs/testimonies/CT463.html>.
- [43] Massterly, *Hva vi gjør*. adresse: <https://www.massterly.com/what-we-do> (sjekket 25.05.2021).
- [44] K. E. Fjørtoft og Ø. J. Rødseth, «Using the operational envelope to make autonomous ships safer,» 2020. adresse: <https://www.sintef.no/globalassets/project/hfc/sarepta/fjortoft-rodseth-2020-using-the-operational-envelope-to-make-autonomous-ships-safer.pdf>.
- [45] Ø. J. Rødseth, «Defining ship autonomy by characteristic factors,» 2018. adresse: [https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2599931/Rodseth\\_etall15653.pdf?sequence=1](https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2599931/Rodseth_etall15653.pdf?sequence=1).

- [46] Ø. J. Rødseth og H. Nordahl, «Definition for autonomous merchant ships,» 2017. adresse: <https://nfas.autonomous-ship.org/wp-content/uploads/2020/09/autonom-defs.pdf>.
- [47] IMO, «Outcome of the regulatory scoping exercise for the use of maritime autonomous surface ships (MASS),» 2021. adresse: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/PressBriefings/Documents/MSC.1-Circ.1638%20-%20Outcome%20of%20The%20Regulatory%20Scoping%20ExerciseFor%20The%20Use%20of%20Maritime%20Autonomous%20Surface%20Ships...%20\(Secretariat\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/PressBriefings/Documents/MSC.1-Circ.1638%20-%20Outcome%20of%20The%20Regulatory%20Scoping%20ExerciseFor%20The%20Use%20of%20Maritime%20Autonomous%20Surface%20Ships...%20(Secretariat).pdf).
- [48] B. P. Sullivan, S. Desai, J. Sole, M. Rossi, L. Ramundo og S. Terzi, «Maritime 4.0 - Opportunities in digitalization and advanced manufacturing for vessel development,» bd. 42, Elsevier B.V., 2020, s. 246–253. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.02.078.
- [49] Kommunal- og moderniseringsdepartementet, «Kommunal-og moderniseringsdepartementet Strategi Nasjonal strategi for kunstig intelligens,» 2020. adresse: <https://www.regjeringen.no/contentassets/1febbbb2c4fd4b7d92c67ddd353b6ae8/no/pdfs/ki-strategi.pdf>.
- [50] Forsvarets forskningsinstitutt, «VITEN - Den autonome framtid,» 2019. adresse: <http://18.195.19.6/bitstream/handle/20.500.12242/2607/19-00906.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [51] Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks, *MUNIN*, 2016. adresse: <http://www.unmanned-ship.org/munin/> (sjekket 25.05.2021).
- [52] Rolls-Royce, «Autonomous ships - The next step,» 2016. adresse: <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/%20customers/marine/ship-intel/rr-ship-intel-aawa-8pg.pdf>.
- [53] AUTOSHIP, *AUTOSHIP*. adresse: <https://www.autoship-project.eu/> (sjekket 25.05.2021).

- [54] Norwegian University of Science and Technology, *Autosea*. adresse: <https://www.ntnu.edu/autosea/> (sjekket 25.05.2021).
- [55] S. O. Johnsen, S. Hølen, A. L. Aalberg, S. Knut, E. Bjørkevoll, G. Evjemo, T. Johnsen, E. Myklebust, A. Okstad og T. P. Pavlov, «Automatisering og autonome systemer: Menneskesentrert design i boring og brønn.» adresse: <https://www.ptil.no/globalassets/fagstoff/prosjektrapporter/ikt-sikkerhet/prosjektrapport-sintef-automatisering-og-autonome-systemer-menneskesentrert-design.pdf>.
- [56] C. A. Thieme, C. Guo, I. B. Utne og S. Haugen, «Preliminary hazard analysis of a small harbor passenger ferry-results, challenges and further work,» bd. 1357, Institute of Physics Publishing, nov. 2019. DOI: 10.1088/1742-6596/1357/1/012024.
- [57] Samferdselsdepartementet, «TRANSPORT21,» 2019. adresse: <https://www.forskningsradet.no/contentassets/ed2aca92cd2c4ac4bcfc827a6b20d3aa/transport21-web-ny.pdf>.
- [58] Sjøfartsdirektoratet, «Føringer i forbindelse med bygging eller installering av automatisert funksjonalitet, med hensikt å kunne utføre ubemannet eller delvis ubemannet drift,» 2020. adresse: <https://www.sdir.no/contentassets/2b487e1b63cb47d39735953ed492888rsv-12-2020.pdf?t=1647171302325>.
- [59] Nærings- og fiskeridepartementet, «Meld. St. 10 (2020–2021): Grønnere og smartere – morgendagens maritime næring.» adresse: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-10-20202021/id2788786/?ch=4>.
- [60] IMO, *Autonomous shipping*. adresse: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Autonomous-shipping.aspx> (sjekket 25.05.2021).
- [61] BUREAU VERITAS MARINE and OFFSHORE, «Guidelines for Autonomous Shipping,» 2019. adresse: [https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/641-NI\\_2019-10.pdf](https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/641-NI_2019-10.pdf).

- [62] AUTOSHIP, «D3.1 - Autonomous ship design standards,» 2020. adresse: <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5da3b7aa6&appId=PPGMS>.
- [63] K. Wróbel, J. Montewka og P. Kujala, «Towards the assessment of potential impact of unmanned vessels on maritime transportation safety,» *Reliability Engineering and System Safety*, årg. 165, sep. 2017, ISSN: 09518320. DOI: 10.1016/j.res.2017.03.029.
- [64] International Maritime Organisation, «Revised guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process,» 2018. adresse: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/HumanElement/Documents/MSC-MEPC.2-Circ.12-Rev.2-%20-%20Revised%20Guidelines%20For%20Formal%20Safety%20Assessment%20\(Fsa\)For%20Use%20In%20The%20Imo%20Rule-Making%20Proces..%20\(Secretariat\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/HumanElement/Documents/MSC-MEPC.2-Circ.12-Rev.2-%20-%20Revised%20Guidelines%20For%20Formal%20Safety%20Assessment%20(Fsa)For%20Use%20In%20The%20Imo%20Rule-Making%20Proces..%20(Secretariat).pdf).
- [65] DNV, *Maritime cyber security*. adresse: <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/maritime-cyber-security/index.html> (sjekket 25.05.2021).
- [66] T. Yamada, «ClassNK Technical Journal No.3 2021, Safety Evaluation for Technologies related to Autonomous Ships,» 2021. adresse: [https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/research/rd/giho03e\\_2021.pdf](https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/research/rd/giho03e_2021.pdf).
- [67] E. Yuaka og N. Atsuki, «Engineering routine remedial work in manned machinery spaces ship: challenge for maritime autonomous surface ships,» World Maritime University, des. 2021. DOI: 10.21677/imla2021.23. adresse: <https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=1021&context=imla2021>.
- [68] W. Torell og V. Avelar, «Mean Time Between Failure: Explanation and Standards White Paper 78 Executive Summary.» adresse: [https://www.researchgate.net/publication/251895269\\_Mean\\_Time\\_Between\\_Failure\\_Explanation\\_and\\_Standards](https://www.researchgate.net/publication/251895269_Mean_Time_Between_Failure_Explanation_and_Standards).

- [69] C. Farrelly, «Remote Operations Centres - Lessons from Other Industries,» 2007. adresse: <https://www.researchgate.net/publication/260321220>.
- [70] Ø. Ludt, *Vil endre verden*. adresse: <https://www.mtlogistikk.no/asko-autonomi-massterly/vil-endre-verden/631554> (sjekket 25.05.2021).
- [71] M. Kim, T.-H. Joung, B. Jeong og H.-S. Park, «Autonomous shipping and its impact on regulations, technologies, and industries,» *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, årg. 4, s. 17–25, 2 apr. 2020. DOI: 10.1080/25725084.2020.1779427. adresse: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/25725084.2020.1779427?needAccess=true>.
- [72] J. D. Lee, «Designing for People: An introduction to human factors engineering,» 2017. adresse: <https://www.researchgate.net/publication/319402797>.
- [73] S. Ahvenjärvi, «The Human Element and Autonomous Ships,» *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, årg. 10, s. 517–521, 3 jan. 2017, ISSN: 2083-6473. DOI: 10.12716/1001.10.03.18. adresse: [https://pdfs.semanticscholar.org/09f0/3adcc941f5abb234fdf9cda1fb889f77ed74.pdf?\\_ga=2.217859921.674150168.1654080265-1738344019.1641906052](https://pdfs.semanticscholar.org/09f0/3adcc941f5abb234fdf9cda1fb889f77ed74.pdf?_ga=2.217859921.674150168.1654080265-1738344019.1641906052).
- [74] M. A. Ramos, I. B. Utne og A. Mosleh, «On factors affecting autonomous ships operators performance in a Shore Control Center,» 2018. adresse: [http://www.iapsam.org/psam14/proceedings/paper/paper\\_191\\_1.pdf](http://www.iapsam.org/psam14/proceedings/paper/paper_191_1.pdf).
- [75] T. Hukkelås, «TTK30 - Human-Machine/Autonomy Interaction in Cyber-Physical Systems,» Forelesning 3 – Situation Awareness, 2021.
- [76] M. R. Endsley, «From Here to Autonomy: Lessons Learned from Human-Automation Research,» *Human Factors*, årg. 59, 1 feb. 2017, ISSN: 15478181. DOI: 10.1177/0018720816681350.
- [77] M. R. Endsley, «Design and Evaluation for Situation Awareness Enhancement.» adresse: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/154193128803200221>.

- [78] D. B. Kaber og M. R. Endsley, «The effects of level of automation and adaptive automation on human performance, situation awareness and workload in a dynamic control task,» *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, årg. 5, 2 2004, ISSN: 1464536X. DOI: 10.1080/1463922021000054335.
- [79] M. R. Endsley og D. J. Garland, *Situation Awareness Analysis and Measurement*. Lawrence Erlbaum Associates, 2000.
- [80] G. Marcus og E. Davis, *Rebooting AI: Building Artificial Intelligence We Can Trust*. Knopf Doubleday Publishing Group, 2020.
- [81] P. V. S. Rao og S. K. Kopparapu, *Friendly Interfaces Between Humans and Machines*. Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2018, ISBN: 978-981-13-1749-1.
- [82] M. R. Endsley, «Human Factors and Aviation Safety,» 2019. adresse: <https://transportation.house.gov/imo/media/doc/Endsley%20Testimony.pdf>.
- [83] K. A. Hoff og M. Bashir, «Trust in automation: Integrating empirical evidence on factors that influence trust,» *Human Factors*, årg. 57, s. 407–434, 3 mai 2015, ISSN: 15478181. DOI: 10.1177/0018720814547570. adresse: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0018720814547570>.
- [84] EEMUA, «EEMUA Publication 191 Alarm systems - a guide to design, management and procurement,» 2013.
- [85] T. Hukkelås, «TTK30 - Human-Machine/Autonomy Interaction in Cyber-Physical Systems,» Forelesning 7 – Ships, Maritime operations, 2021.
- [86] Å. Hoem, T. Porathe, Ø. J. Rødseth og S. O. Johnsen, «At least as safe as manned shipping? Autonomous shipping, safety and “human error”,» 2018. adresse: [https://www.researchgate.net/publication/328042940\\_At\\_least\\_as\\_safe\\_as\\_manned\\_shipping\\_Autonomous\\_shipping\\_safety\\_and\\_human\\_error](https://www.researchgate.net/publication/328042940_At_least_as_safe_as_manned_shipping_Autonomous_shipping_safety_and_human_error).

- [87] C. H. Chang, C. Kontovas, Q. Yu og Z. Yang, «Risk assessment of the operations of maritime autonomous surface ships,» *Reliability Engineering and System Safety*, årg. 207, mar. 2021, ISSN: 09518320. DOI: 10.1016/j.res.2020.107324.
- [88] I. Yoon, «Technology Assessment-Autonomous Ships Techonology Assessment for an Autonomous Ship View project Numerical Simulation of Multiphase Flow View project,» 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.36778.88009. adresse: <https://www.researchgate.net/publication/328090361>.
- [89] B. Karsten, N. Erik og J. A. Cato, «FFI Rapport - Utvikling av menneske-maskin-systemer,» 2001. adresse: <https://ffi-publikasjoner.archive.knowledgearc.net/bitstream/handle/20.500.12242/919/01-04234.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [90] O. A. V. Banda, S. Kannos, F. Goerlandt, P. H. van Gelder, M. Bergström og P. Kujala, «A systemic hazard analysis and management process for the concept design phase of an autonomous vessel,» *Reliability Engineering and System Safety*, årg. 191, nov. 2019, ISSN: 09518320. DOI: 10.1016/j.res.2019.106584.



