

Pia Rønne

En komparativ analyse av ulykker med varierende kompleksitet ved bruk av tre ulykkesmodeller; MLCM, OAM og STAMP

Masteroppgave i Helse, miljø og sikkerhet (HMS)

Veileder: Eirik Albrechtsen

Juli 2023

Pia Rønne

En komparativ analyse av ulykker med varierende kompleksitet ved bruk av tre ulykkesmodeller; MLCM, OAM og STAMP

Masteroppgave i Helse, miljø og sikkerhet (HMS)
Veileder: Eirik Albrechtsen
Juli 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for økonomi
Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Denne masteroppgaven er gjennomført som en avsluttende vurdering for det toårige masterprogrammet Helse, miljø og sikkerhet (HMS), ved Fakultet for økonomi og Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse (IØT), ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim.

Gjennom studieløpet har jeg opparbeidet meg kunnskap om ulike områder innenfor sikkerhet, arbeidsmiljø og bærekraft. Denne kunnskapen benyttes i denne oppgaven og vil komme godt med videre i arbeidslivet.

Jeg vil først rette en stor takk til min veileder Eirik Albrechtsen for gode råd og veiledning gjennom dette prosjektet. Jeg vil også rette en stor takk til mine medstudenter og venner for støtte og oppmuntring disse to studieårene. Til slutt vil jeg takke Adrian Elstad, Sylvi Brækken og August Brækken for støtte og korrekturlesing.

Pia Rønne
Trondheim, 3. juli 2023

Sammendrag

Samfunnet i dag er i rask endring grunnet økt kompleksitet i teknologiske systemer. Dette skaper nye farekilder og endrer årsakene til hvorfor ulykker oppstår. Flere ulykkesmodeller klarer ikke lenger å fange opp samspillet mellom mennesker og teknologi som eksisterer i dagens komplekse systemer. Denne oppgaven vil derfor sammenligne hvordan ulike ulykkesmodeller fanger opp kompleksiteten til ulykker og hvordan de viser systemteori i praksis.

Problemstillingen til oppgaven besvares ved å utføre totalt ni analyser med tre forskjellige ulykkesmodeller som har ulike tilnærminger til systemteori og kompleksitet. Dette gjøres for å sammenligne analyseresultatene med hverandre og dermed identifisere likheter og ulikheter mellom ulykkesmodellene. De gjeldende ulykkesmodellene for denne oppgaven er STAMP, OAM og MLCM. Tematikken vil utforskes med et teoretisk grunnlag om ulykker, kategoriene av ulykkesmodeller, kompleksitet i systemer og systemteori.

Masteroppgaven er tilknyttet forskningsprosjektet DiSCo som har som mål å utvikle kunnskap og metoder for å anvende maskinlæring i bygg- og anleggsnæringen for å forbedre sikkerheten og redusere antall ulykker. I denne sammenhengen vil denne masteroppgaven anvende ulike ulykkesmodeller i praksis.

Funnene fra oppgaven viser at det er forskjeller i hvordan ulykkesmodellene bruker systemteori i praksis. Under analysene ble det oppdaget at systemmodeller krever mye ressurser, både i tid og datakrav, og de gir ikke en enkel grafisk oversikt over ulykkeshendelsen. Fordelene er derimot at de kan vise systemet i sin helhet og tar hensyn til de komplekse interaksjonene mellom systemkomponentene. Systemmodeller viser den hierarkiske kontrollstrukturen for et system, roller og ansvar, sikkerhetsbegrensninger og tilbakemeldinger. Det som er spesielt gunstig med STAMP er at analysen viser konteksten og årsaken til de usikre beslutningene og kontrollhandlingene fra systemkomponentene. Dette gir leseren en dypere forståelse av ulykkeshendelsen enn ved bruk av OAM og MLCM.

For videre forskning vil det blant annet være interessant med flere studier knyttet til bruk av systemmodeller i granskning av komplekse ulykker, som inkluderer forskning på ressursbruk og kost-nytte. Denne oppgaven gjorde analyser med sekundærkilder, og det er derfor interessant å gjøre like analyser, men med bruk av primærkilder. I tillegg vil det være nyttig å utvide forskningen i denne oppgaven til å inkludere flere ulykkesmodeller.

Abstract

Society today is undergoing rapid changes due to increased complexity in technological systems. This creates new hazards and alters the causes of accidents. Several accident models are no longer able to capture the interaction between humans and technology that exists in today's complex systems. Therefore, this thesis aims to compare how different accident models capture the complexity of accidents and demonstrate system theory in practice.

The research question of this thesis is addressed by conducting a total of nine analyses using three different accident models that have varying approaches to system theory and complexity. This is done to compare the analysis results with each other and identify similarities and differences between the accident models. The relevant accident models for this thesis are STAMP, OAM, and MLCM. The topic will be explored with a theoretical foundation on accidents, categories of accident models, complexity in systems, and system theory.

The master's thesis is affiliated with the research project DiSCo, which aims to develop knowledge and methods for applying machine learning in the construction industry to improve safety and reduce the number of accidents. In this context, this master's thesis will apply different accident models in practice.

The findings from this thesis indicate that there are differences in how the accident models apply system theory in practice. During the analyses, it was discovered that system models require significant resources, both in terms of time and data requirements, and they do not provide a simple graphical overview of the accident event. However, they have advantages in that they can depict the entire system and account for the complex interactions among system components. System models illustrate the hierarchical control structure of a system, roles and responsibilities, safety constraints, and feedback. What is particularly beneficial about STAMP is that the analysis reveals the context and causes behind the uncertain decisions and control actions taken by the system components. This provides readers with a deeper understanding of the accident event compared to the use of OAM and MLCM.

For further research, it would be interesting to conduct additional studies related to the use of system models in investigating complex accidents, including research on resource utilization and cost-effectiveness. This thesis conducted analyses using secondary sources, so it would be valuable to perform similar analyses using primary sources. Additionally, expanding the research to include more accident models would be beneficial.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
1 Introduksjon	1
1.1 Formål og problemstilling	1
1.2 Avgrensninger	2
1.3 Oppgavens struktur	2
2 Bakgrunn	3
2.1 Ulykker i Norge	3
2.2 Læring av ulykker	3
2.3 Økt systemkompleksitet	3
2.4 Forskningsprosjektet DiSCo	4
3 Teori	5
3.1 Ulykker	5
3.2 Ulykkesmodeller	8
3.2.1 Sekvensmodeller	9
3.2.2 Epidemiologiske modeller	10
3.2.3 Systemmodeller	10
4 Valgte ulykkesmodeller	11
4.1 MLCM	11
4.2 OAM	14
4.3 STAMP	16
5 Valgte ulykker	20
5.1 Fallulykke 27. Oktober 2021	20
5.1.1 Direkte og bakenforliggende årsaker	23
5.2 Jordskred ved Stavsjøfjelltunnelen øst 4. Mai 2022 (E6 Ranheim - Værnes)	23
5.2.1 Direkte årsaker	25
5.2.2 Bakenforliggende årsaker til skredet	26
5.3 Kollisjon mellom KNM Helge Ingstad og tankskipet Sola TS 8. november 2018	28
5.3.1 Årsaker	30
5.4 Oppsummering	31
6 Metode	32
6.1 Valg av forskningsdesign	32
6.1.1 Valg av ulykker	33
6.1.2 Valg av ulykkesmodeller	34
6.1.3 Kvalitetssikring	35
6.2 Fremgangsmåte analyser	36
6.2.1 MLCM	36
6.2.2 OAM	37

6.2.3	STAMP CAST	38
7	Resultat	42
7.1	STAMP CAST	42
7.1.1	STAMP CAST-analyse av KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen . . .	42
7.1.2	STAMP CAST-analyse av jordskredet	49
7.1.3	STAMP CAST-analyse av fallulykken	53
7.2	OAM	56
7.2.1	OAM-analyse av KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen	56
7.2.2	OAM-analyse av jordskredet	59
7.2.3	OAM-analyse av fallulykken	61
7.3	MLCM	63
7.3.1	MLCM-analyse av KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen	63
7.3.2	MLCM-analyse av jordskredet	65
7.3.3	MLCM-analyse av fallulykken	66
8	Diskusjon	67
8.1	Sammenligning av modellene	67
8.1.1	Hvordan sammenlignes ulykkesmodellene med hensyn til grafisk fremstilling, datakrav og brukervennlighet?	67
8.1.2	Hvordan vil en sekvensmodell, en epidemiologisk modell og en systemmodell analysere de samme ulykkene?	69
8.1.3	Kan forskjellige modeller konkludere med de samme ulykkesårsakene? .	70
8.1.4	Har kompleksiteten til ulykkene en innvirkning på analysene?	71
9	Konklusjon	73
9.1	Videre arbeid	73
	Referanseliste	75
A	Vedlegg	81

Figurer

1	Tre kategorier av ulykker som kjennetegnes av frekvensen og størrelsen på tapet, av Rasmussen (1997).	6
2	Klassifisering av sosiotekniske systemer i henhold til koblinger og håndterbarhet («manageability») som også viser egnet analysemetode, tatt fra Underwood og Waterson (2013a), adaptert fra Hollnagel og Speziali (2008) og Perrow (1984).	7
3	Kategoriene av ulykkesmodeller sammenlignet basert på egenskapene til systemet de analyserer, altså om systemet har løse eller tette koblinger mellom komponentene og om modellene tar hensyn til den sosiotekniske konteksten. Tatt fra Wienen et al. (2017).	9
4	Dominoteorien av Heinrich (1959), tatt fra Sidek, Ibrahim og Jaharuddin (2014).	11
5	ILCI-modellen adaptert fra Bird, Germain og Clark (1990).	12
6	MLCM adaptert fra Chua og Goh (2004).	12
7	Sveitserostmodellen av Reason (1990, 1997) tatt fra Chen et al. (2017).	14
8	OAM adaptert fra Reason (1997).	15
9	Hierarkisk modell av sosiotekniske systemer, tatt fra Rasmussen og Svedung (2000).	17
10	En generell hierarkisk sikkerhetskontrollstruktur av Leveson (2004).	18
11	Sikringslem over ventilasjonskanalen i teknisk rom.	21
12	Modell av byggeprosjektet og ventilasjonskanalen, med piler som viser fallretningen til riggmannen.	22
13	Hull sett fra 1. etasje.	23
14	Hull sett fra ventilasjonskanalen.	23
15	Rød strek viser prinsippskissen av den nye motorveien, hvor rød sirkel angir skredets lokasjon 4. mai. 2022.	24
16	Skredet 4. mai 2022 sett fra Hommelvik bru. Bilde tatt fra Kvitsand et al. (2023).	24
17	Plassering av løsneområdene for skredene 1., 2. og 3., samt utløpssonen for skred 3. Tatt fra Kvitsand et al. (2023).	25
18	Kollisjonen mellom KNM Helge Ingstad og Sola TS som grafisk fremstilt viser treffpunktet, tatt fra Statens havarikommisjon (2019).	29
19	Skaden til KNM Helge Ingstad langs styrbord skuteside etter kollisjonen, tatt fra Statens havarikommisjon (2019)	30
20	De valgte ulykkene kategorisert på grunnlag av frekvens og konsekvens, adaptert fra Rasmussen (1997).	31
21	Forskningsdesign	32
22	Kategorisering av ulykkesmodellene.	34
23	Undersøkellesmetode/flytskjema ved bruk av MLCM, adaptert fra Chua og Goh (2004).	36
24	Den hierarkiske sikkerhetskontrollstrukturen som var på ulykkestidspunktet. Kun de mest involverte aktørene som blir omtalt videre i analysen er vist her.	44
25	Systemkomponentene på laveste nivå, altså den resterende brobesetningen på KNM Helge Ingstad.	45
26	Systemkomponentene som viser skipssjefen, vaksjefen og vaksjefen under opplæring på KNM Helge Ingstad.	46

27	Systemkomponentene som viser Sola TS sin brobesetning og Fedje sjøtrafikksentral.	47
28	Systemkomponenten på høyeste nivå, altså Sjøforsvaret.	48
29	Den hierarkiske sikkerhetskrollstrukturen som var på ulykkestidspunktet. Rådgiverne blir ikke omtalt videre i analysen.	50
30	Systemkomponentene på laveste nivå, altså underentreprenørene og underleverandørene.	51
31	Systemkomponentene på høyeste nivå, altså ACC og Nye Veier AS.	52
32	Den hierarkiske sikkerhetskrollstrukturen på ulykkestidspunktet for fallulykken.	53
33	Systemkomponentene på laveste nivå.	54
34	Systemkomponentene på høyeste nivå.	55
35	OAM anvendt på KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen. (Del 1)	57
36	De lokale arbeidsfaktorene og organisatoriske faktorene funnet ved analyse av KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen. (Del 2)	58
37	OAM anvendt på jordskredet.	60
38	OAM anvendt på fallulykken.	62
39	MLCM anvendt på KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen.	64
40	MLCM anvendt på jordskredet.	65
41	MLCM anvendt på fallulykken.	66
A.1	Styrker og svakheter ved ulykkesmodellene inkludert karakteristiske trekk, av Rønne (2023).	81

Tabeller

1	Hendelsesforløpet fra kl. 02:38 til kollisjonen kl. 04:01:15.	43
---	---	----

Begrepsliste

AIS	- Automatic Identification System
ATSB	- The Australian Transportation Safety Bureau
BA	- Bygg og anlegg
BBU	- babord utkikk
CAST	- Causal analysis based on systems theory
ConAC	- Construction Accident Causation
DiSCo	- Sustainable value creation by digital predictions of safety performance in the construction industry
DJV	- Design Joint Venture
ECDIS	- Electronic Chart Display and Information System
FRAM	- The Functional Resonance Analysis Method
HFACS	- The Human Factors Analysis and Classification System
ILCI	- International Loss Control Institute
MLCM	- Modified Loss Causation Model
MS	- Method Statement
NATO	- North Atlantic Treaty Organization
NTNU	- Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
OAM	- Organizational Accident Model
PIMS	- Process Information Management Systems
PSI	- Prosjektspesifikk introduksjon
RM	- rormann
RUH	- rapport om uønsket hendelse
SBU	- styrbord utkikk
SHA	- sikkerhet, helse og arbeidsmiljø
SHF	- Statens havarikommisjon for Forsvaret
SHT	- Statens havarikommisjon for Transport
STAMP	- Systems-Theoretic Accident Model and Processes
STEP	- Sequentially Timed Events Plotting
STPA	- System theoretic process analysis
UE	- Underentreprenør
VAuO	- Vaktsjefens assistent under opplæring
VS	- Vaktsjef
VSA	- Vaktsjefens assistent
VuO	- Vaktsjef under opplæring

1 Introduksjon

30 milliarder kroner er den samlede årlige kostnaden for ulykker i alle næringer i Norge (Hem et al. 2016). Foruten skader og tap av menneskeliv, er det derfor mye å tjene ved å redusere antall ulykker.

Arbeidslivet i dag er i raske endringer, spesielt med tanke på økt kompleksitet i teknologiske systemer, automatisering og digitalisering (Kongsvik et al. 2018). De raske endringene skaper nye farekilder og endrer forholdene som ligger til grunn for at ulykker oppstår (Qureshi 2008). Dette fører til utfordringer med å kartlegge alle potensielle risikoforhold i et system og håndtere disse (Hollnagel og Speziali 2008). Ulykkesmodeller gir en forenklet representasjon av de årsakene som resulterte i utilsiktet tap (Kjellén og Albrechtsen 2017). Disse kan brukes til å analysere en ulykkeshendelse, slik at tiltak kan implementeres for å forebygge lignende ulykker i fremtiden. I tillegg kan ulykkesmodeller brukes proaktivt i risikovurderinger under systemutvikling (Qureshi 2008).

I dag finnes det et bredt spekter av forskjellige ulykkesmodeller som hver har sine egne måter å forklare ulykker på (Underwood og Waterson 2013a). Å velge en ulykkesmodell er derfor ikke enkelt. De første ulykkesmodellene oppstod før innføringen av digital teknologi (Qureshi 2008). Modellene har blitt modifisert, men har likevel ikke klart å holde følge med den raske endringen av økt kompleksitet i teknologiske systemer (Leveson 2012). Hovedsakelig blir ulykkesmodeller delt inn i tre kategorier basert på underliggende antagelser om ulykkesårsakene (Hollnagel 2002; Hovden, Albrechtsen og Herrera 2010; Leveson 2004; Wienen et al. 2017). Dette er sekvensmodeller (også kjent som lineære modeller), epidemiologiske modeller og systemmodeller. De første ulykkesmodellene baserte seg i stor grad på menneskelige feilhandlinger som hovedårsaken til at ulykker oppstod, men nyere modeller har utviklet seg til å fange opp den komplekse relasjonen mellom mennesker og teknologi (Leveson 2012; Underwood og Waterson 2013a). Systemmodeller er basert på systemteori og ser på systemet som en helhet i stedet for å se på en enkelt eller et fåtall komponenter i systemet isolert (Zhang et al. 2022). Systemer blir betraktet som hierarkiske kontrollstrukturer hvor hvert nivå håndhever begrensninger på aktiviteten til nivået under (Leveson 2012). Ulykker oppstår når disse sikkerhetsbegrensningene brytes (Leveson 2004). Systemmodeller er relativt nye og har derfor stort potensial og rom for videre utvikling (Zhang et al. 2022).

1.1 Formål og problemstilling

Økende kompleksitet i teknologi og arbeidsliv gjør at mange ulykkesmodeller ikke lenger klarer å fange opp samspillet mellom mennesker og teknologi som eksisterer i et system. Det er derfor interessant å sammenligne hvordan ulike ulykkesmodeller fanger opp kompleksiteten til ulykker og hvordan de viser systemteori i praksis. Analysene i denne oppgaven har ikke som hensikt å identifisere nye årsaker for de respektive ulykkene. Fokuset vil være på sammenligningen av modellene, ikke på selve innholdet i analysene.

Med dette formålet som utgangspunkt vil følgende problemstilling bli belyst:

Hvordan vil de tre ulykker med varierende kompleksitet analyseres ved hjelp av de tre ulykkesmodellene MLCM, OAM og STAMP?

For å hjelpe med å besvare problemstillingen, er følgende forskningsspørsmål formulert:

1. Hvordan påvirker likheter og forskjeller mellom ulykkesmodellene bruk av systemtenkning i teori og praksis?
2. Hvordan påvirker kompleksiteten til ulykkene analysene?

Funnene i denne oppgaven kan brukes som et startpunkt for å vurdere hvorvidt eksisterende ulykkesmodeller i stor nok grad analyserer ulykkeshendelser med hensyn til systemteori og økt kompleksitet. Det vil videre være nyttig å utvide forskningen i denne oppgaven til å inkludere flere ulykkesmodeller for å oppnå en generalisering av resultatet.

1.2 Avgrensninger

Det er nødvendig å avgrense oppgaven både i henhold til forkunnskaper, ressurser og omfang. Det er derfor valgt å avgrense analysene av de tre ulykkene til informasjonen gitt i de respektive granskningsrapportene. Analysene vil forholde seg til hendelsene som førte til ulykken, og vil ekskludere hendelser etter ulykken oppstod, som for eksempel en redningsaksjon. Det er også nødvendig å avgrense antall ulykkesmodeller til tre. Slik vil det totalt sett gjennomføres ni analyser med varierende kompleksitet og omfang.

1.3 Oppgavens struktur

Kapittel 1 og 2 omhandler introduksjon og bakgrunn for denne masteroppgaven. Her blir det beskrevet hvorfor ulykkesmodeller er viktige og hvordan økt systemkompleksitet påvirker ulykker. Kapittel 3 presenterer teori om ulykker, ulykkesmodeller og kompleksitet. Kapittel 4 presenterer teori om de valgte ulykkesmodellene for denne oppgaven. Kapittel 5 gir en oppsummering av de valgte ulykkene, som er viktig for forståelsen av analysene videre i oppgaven. Kapittel 6 beskriver metoden for oppgaven, inkludert forskningsdesign og fremgangsmåtene for analysene. Kapittel 7 presenterer analyseresultatet og kapittel 8 diskuterer disse funnene. Til slutt presenteres oppgavens konklusjon og forslag for videre arbeid i kapittel 9.

2 Bakgrunn

Dette kapitlet vil omhandle nødvendig bakgrunnsinformasjon for denne masteroppgaven. I denne sammenhengen blir det presentert informasjon om ulykker i Norge, hvordan vi lærer av ulykker og hvordan økt systemkompleksitet påvirker dette, samt forskningsprosjektet som denne masteroppgaven er tilknyttet.

2.1 Ulykker i Norge

Arbeidsulykker fører til betydelige samfunnsøkonomiske tap beregnet til 30 milliarder kroner hvert år for alle næringer i Norge, inkludert sykdomsfravær (Hem et al. 2016). Disse tapene kommer i tillegg til de store menneskelige omkostningene som involverer skader og tap av liv. Spesielt er bygg- og anleggsnæringen BA, primærnæringen og transportnæringen ekstra utsatt for ulykker på grunn av det store energipotensialet som kan «komme på avveie» (Kongsvik et al. 2018). Statistikken viser at i Norge er det BA-næringen som har mest arbeidsskader, både arbeidsskadedødsfall og ikke-dødelige skader (Mostue et al. 2022). Og den mest representerte ulykkestypen er fallulykker, hvor fall fra høyder og stillas er den som oppstår med størst frekvens. Andre hyppige ulykkeskader er fallende objekter, kjøretøy og maskindeler i bevegelse og elektrisitet (Winge og Albrechtsen 2018). Selv om statistikken viser at det er store tap i forbindelse med ulykker, er ikke nødvendigvis et fravær av ulykker et bevis i seg selv på god sikkerhetstilstand (Kongsvik et al. 2018). Rapportering av nestenulykker er også viktige aspekter som sikkerhetsstyringssystemene er avhengige av for å forbedre seg (Kjellén og Albrechtsen 2017).

2.2 Læring av ulykker

An accident where innocent people are killed is tragic,
but not nearly as tragic as not learning from it (Leveson 2019, side 2).

En ulykke er ikke ønskelig, men når den først inntreffer gir det en mulighet til å lære av hendelsen (Kongsvik et al. 2018). Ved å analysere årsakene og omstendighetene rundt en ulykke kan en virksomhet forbedre sikkerheten ved å implementere tiltak som hindrer lignende ulykker i fremtiden. Dette inkluderer også generelle forbedringer av sikkerhetssystemet (Kongsvik et al. 2018). Ulykkesgranskning er en av metodene som kan brukes for å forbedre sikkerheten ved å identifisere årsakene som ligger til grunn for ulykken (Kjellén og Albrechtsen 2017). En ulykkesmodell vil i denne sammenhengen være nyttig for å skape en felles forståelse av ulykken. Forskjellige ulykkesmodeller fremhever ulike aspekter av prosesser, forhold og årsaker, og derfor er valget av ulykkesmodell til granskning viktig (Hovden, Albrechtsen og Herrera 2010).

2.3 Økt systemkompleksitet

Arbeidslivet i dag er i raske endringer, spesielt med tanke på økt kompleksitet i teknologi, og automatisering og digitalisering av systemer (Kongsvik et al. 2018). De tradisjonelle tilnærmingene for å forhindre ulykker var optimalisert for de enkle systemene fra fortiden som de ble bygget for (Leveson 2012). Disse erfaringene vil derimot bli ineffektive når eldre teknologi erstattes med ny teknologi. I dag er det et høyt tempo i teknologisk innovasjon

som skaper nye farekilder og som endrer årsakene til hvorfor ulykker oppstår (Qureshi 2008). Økt kompleksitet fører til utfordringer med å kartlegge alle potensielle risikoforhold i et system. Flere latente feil kan bli introdusert i systemet som kan svekke barrierer og øke risikoen for ulykker (Kongsvik et al. 2018). I den «skarpe enden», altså for de manuelle arbeidsoppgavene, har det derimot skjedd lite endringer (Hovden, Albrechtsen og Herrera 2010). Rasmussen (1997) har også bemerket at den teknologiske endringen har et mye raskere tempo enn endringstiden for sikkerhetsstyring, og at endringer på et høyere hierarkisk nivå, slik som i myndigheter, reguleringer og samfunn, er enda mer forsinket. Dette utfordrer risikostyring og rasjonaliteten ved bruk av ulykkesmodeller for å analysere deler av systemet, da resultatet ikke nødvendigvis gjenspeiler sikkerhetsstatusen til hele systemet (Moura et al. 2017).

2.4 Forskningsprosjektet DiSCo

Forskningsprosjektet DiSCo, Sustainable value creation by digital predictions of safety performance in the construction industry, har som mål å utvikle kunnskap og metoder for å anvende kunstig intelligens i bygg- og anleggsprosjekters tidlige fase. Formålet er å forutsi det fremtidige sikkerhetsnivået i produksjonsfasen og dermed støtte bedre beslutninger som kan redusere antall ulykker i denne næringen. Ifølge statistikk har arbeidere innen bygg- og anleggsnæringen høyere risiko for ulykker sammenlignet med andre næringer i Norge. Gjennom dette forskningsprosjektet kan antallet ulykker reduseres ved å forbedre beslutningsprosessen og kontrollen av farer ved hjelp av maskinlæring. DiSCo er et samarbeidsprosjekt som inkluderer industripartnerne Skanska, Sporveien, Norconsult og Safetec. DiSCo inkluderer fire arbeidspakker som skal utføres for å svare på forskningsspørsmålene. Arbeidspakke 1: Sikkerhetsstyring basert på tidlige varselsignaler. Arbeidspakke 2: Risikopåvirkende faktorer i tidlige prosjektfaser. Arbeidspakke 3: Datainnsamling. Arbeidspakke 4: Risikomodellering. Dette fordypningsprosjektet inngår i arbeidspakke 2 hvor målet er å generere kunnskap om elementer i tidlige prosjektfaser og i produksjonsplanlegging som påvirker sikkerhet i produksjonsfasen.

3 Teori

Dette kapittelet omhandler teori som legges til grunn for den videre besvarelsen av oppgaven og problemstillingen. Først presenteres definisjonen på en ulykke og nyttig informasjon tilknyttet dette. Så presenteres definisjonen på ulykkesmodeller og de mest relevante kategoriene i følge faglitteraturen. I tillegg er det nødvendig å presentere kunnskap om systemteori for å forstå systemmodeller.

3.1 Ulykker

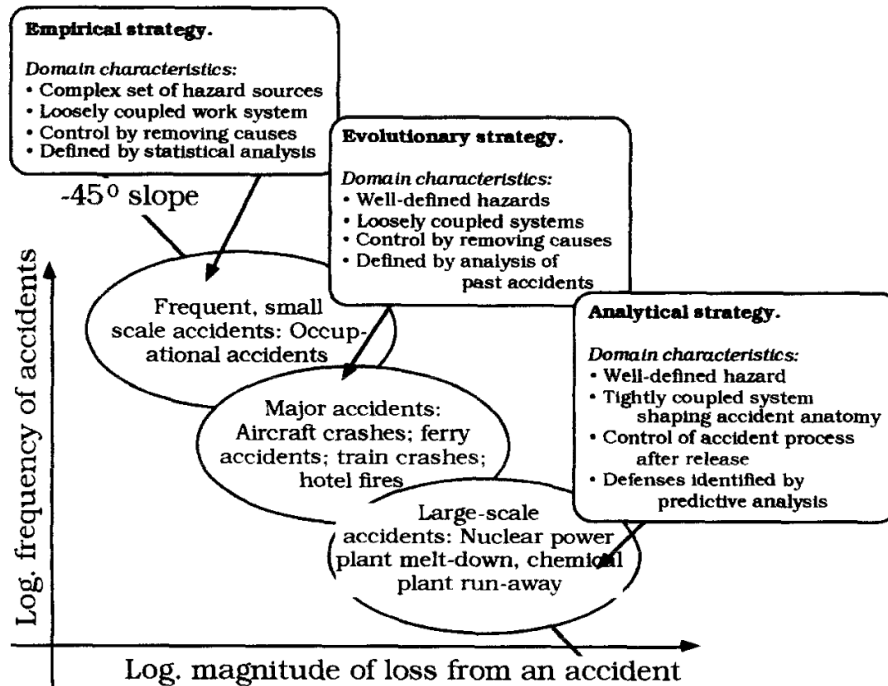
«En ulykke er en uønsket, ikke forutsigbar hendelse, der ukontrollert overføring av energi eller farlige substanser fører til skader på mennesker, materielle verdier eller miljø» (Haddon 1968). Ved å definere en ulykke som en uforutsigbar hendelse som oppstår plutselig, skilles den fra skader og hendelser som skyldes langvarige påvirkninger. Imidlertid kan de underliggende årsakene til ulykken oppstå i lang tid før selve hendelsen. For Leveson (2012) er en ulykke forårsaket av feilaktig kontroll eller håndheving av sikkerhetsbegrensninger under systemutvikling og drift. Ulykken er derfor ikke forårsaket av en person eller gruppe, og fokus på å tildele skyld vil forenkle ulykkesårsaken og forebygging ikke at samme ulykke oppstår i fremtiden.

For å hjelpe med standardisering og analyse av ulykkesdata klassifiserer Kongsvik et al. (2018) ulykker inn i de fem hovedtypene nedenfor:

- Hvor ulykken skjedde - f.eks. på arbeid, hjemme, i trafikken.
- Hvilken aktivitet - f.eks. kjøring, klatring, reparasjoner.
- Hva slags fenomen - f.eks. brann, kollisjon.
- Farlige forhold og handlinger (feil og unnlaterelser).
- Type og omfang av skade og tap - f.eks. dødsfall, materielle tap, produksjonstap, antall fraværsdager.

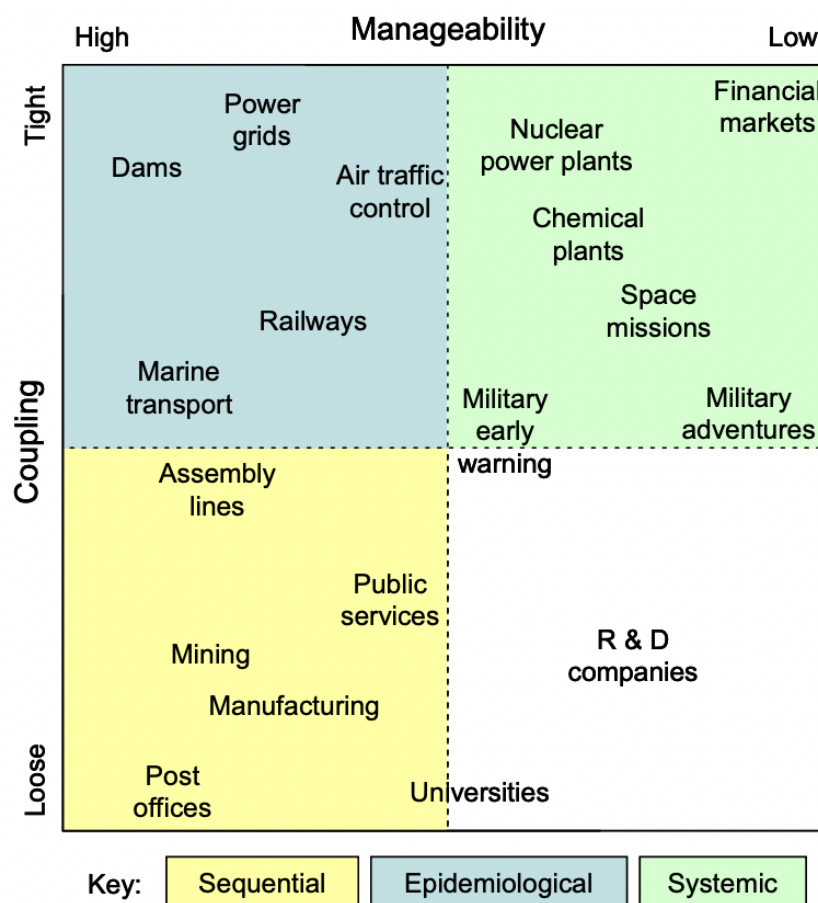
Reason (1997) mener at det eksisterer to ulike typer ulykker; de som oppstår med individer og de som oppstår med organisasjoner. Individulykker er ulykker hvor spesifikke personer eller grupper er både agenten og offeret av ulykkeshendelsen. For disse personene kan konsekvensene være store, men spredningen av tapet er da begrenset. Organisasjonsulykker oppstår som følge av flere årsaker og har mange personer involvert som opererer på forskjellige nivåer i organisasjonen. Individulykker oppstår med større frekvens mens organisasjonsulykker oppstår sjeldnere, men har ofte katastrofale konsekvenser på befolkningen som ikke er direkte involvert i ulykkeshendelsen, samt også på materialer og miljøet. Organisasjonsulykker er hendelser som oppstår i komplekse, moderne teknologier slik som; atomkraftverk, luftfart, olje- og gassanlegg, kjemiske prosessanlegg, marin- og togtransport og banker. Individulykker har holdt seg på en relativt stabil frekvens, derimot har organisasjonsulykker oppstått mer i nyere tid som følge av den teknologiske nyvinningen som har endret samspillet mellom mennesker og systemer.

Rasmussen (1997) støtter teorien til Reason (1997) om at ulykker på individnivå oppstår med større frekvens og har mindre konsekvenser enn organisasjonsulykker som oppstår mer sjeldent og har større konsekvenser, se Figur 1.



Figur 1: Tre kategorier av ulykker som kjennetegnes av frekvensen og størrelsen på tapet, av Rasmussen (1997).

Perrow (1984) bidro til en bedre forståelse av ulykker i komplekse, teknologiske systemer, da han introduserte ideen om at for noen systemer er ulykker uunngåelige eller normale. Dette er kjent som «normal accident theory». Perrow (1984) klassifiserer sosiotekniske systemer i henhold til koblinger (løse eller tette) og interaksjoner (lineære eller komplekse), hvor ulykker da er normale for systemer med interaktiv kompleksitet og tette koblinger, som vist øverst til høyre i Figur 2. Interaktiv kompleksitet innebærer at komponentene i et system er koblet sammen på en måte som gjør at det er vanskelig å forutse hvordan en feil i systemet vil forplante seg (Kongsvik et al. 2018). Tette koblinger innebærer et system hvor en feil vil kunne forplante seg raskt og er vanskelig å stoppe.



Figur 2: Klassifisering av sosiotechniske systemer i henhold til koblinger og håndterbarhet («manageability») som også viser egnet analysemetode, tatt fra Underwood og Waterson (2013a), adaptert fra Hollnagel og Speziali (2008) og Perrow (1984).

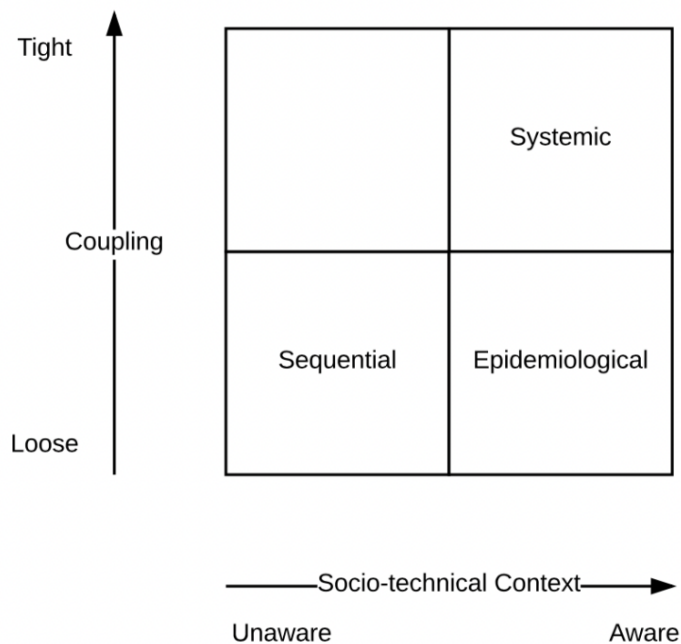
Underwood og Waterson (2013a) har adaptert figuren til Perrow (1984) ved å erstatte interaksjoner med håndterbarhet («manageability») samtidig som figuren viser hvilke kategorier av ulykkesmodeller som egner seg best for å analysere systemene. Perrow (1984) mener også at for systemer med interaktiv kompleksitet og tette koblinger bør systemet forlates fordi det ikke er mulig å identifisere uventede hendelser. Bellamy et al. (2019) mener det ikke er mulig å forlate disse systemene fordi i det nye arbeidsmiljøet er for mange systemer med tette koblinger og komplekse interaksjoner.

Som motargument for «normal accident theory» peker LaPorte og Consolini (1991) på at det er mange slike systemer som ikke ser ut til å være utsatt for ulykker, såkalte høypålitelige organisasjoner («high reliability organizations») (HRO). HRO-teorien er basert på studier av organisasjoner som håndterer den teknologiske kompleksiteten på en vellykket måte (Hovden, Albrechtsen og Herrera 2010). Spesielt siden kostnadene ved feil i slike organisasjoner er sosialt uakseptabelt, altså at det er for store konsekvenser for samfunnet. De viktigste kjennetegnene til HRO er at de har en kontinuerlig fokus på feil som kan oppstå, en motvilje til å forenkle og bruk av redundans (Hovden, Albrechtsen og Herrera 2010; Kongsvik et al. 2018).

3.2 Ulykkesmodeller

En ulykkesmodell er en simplifisert representasjon av prosessene i den virkelige verden som resulterer i utilsiktet tap (Kjellén og Albrechtsen 2017). Etter en ulykkeshendelse er ulykkesanalyse, spesielt analysen av ulykkesårsaker, avgjørende for å implementere effektive forebyggende tiltak. Ulykkesanalyse er basert på bruk av ulykkesmodeller, som representerer en forenklet beskrivelse av virkeligheten, på samme måte som andre modeller. De hjelper med å danne en mental fremstilling av hendelsesforløpet både før, under og etter ulykken, slik at det blir enklere å se sammenhengen mellom årsaksfaktorene for ulykken (Kjellén og Albrechtsen 2017). Ved å effektivt anvende ulykkesmodeller kan man forbedre gransking og etterforskning av ulykker, styrke analysen av ulykker, forebygge fremtidige ulykker og vurdere systemets funksjonalitet (Leveson 2004). Ulykkesmodeller danner også grunnlaget for risikoanalyse og teknisk evaluering. Ettersom ulykker endrer seg over tid, har utviklingen av ulykkesmodeller blitt påvirket av denne kontinuerlige forandringen. Modellene har gått fra å identifisere enkle, direkte årsaker til å fokusere på systemårsaker (Leveson 2012). Det er også en økt interesse for ulykkesmodeller i nyere tid hvor spesielt systemmodellene STAMP av Leveson (2004) og AcciMap av Rasmussen (1997) og Rasmussen og Svedung (2002) har vært ledende i forskningsfeltet siden 2004 (Wienen et al. 2017).

Faglitteraturen i dag har hovedsakelig delt ulykkesmodeller inn i tre generasjoner eller kategorier basert på likhetstrekk, prinsipper og underliggende antagelser om ulykkesårsaker (Hollnagel 2002; Hollnagel og Goteman 2004; Hovden, Albrechtsen og Herrera 2010; Leveson 2004; Wienen et al. 2017). Dette er sekvensmodeller (også kjent som lineære modeller), epidemiologiske modeller og systemmodeller. Det eksisterer også andre kategorier basert på ulike ulykkeskarakteristikker (Katsakiori, Sakellaropoulos og Manatakis 2009; Kjellén 2000). Mange av de tidligste ulykkesmodellene som finnes i faglitteraturen baserte seg på menneskelige feilhandlinger som hovedårsaken til at ulykker oppstår, men nyere modeller har utviklet seg til å identifiserer de underliggende årsakene (Kongsvik et al. 2018). Ved en forhåndsoppfatning om at ulykker hovedsakelig skyldes menneskelige feilhandlinger, er det også lett å identifisere denne årsaken når man undersøker ulykkesårsaker (Kongsvik et al. 2018). Eller slik som Lundberg, Rollenhagen og Hollnagel (2009) omtaler det: «du finner bare det du ser etter, og du fikser bare det du har funnet». Å identifisere en direkte årsak som en rotårsak kan føre til eliminering av symptomer uten mye betydning for reduksjonen av fremtidige ulykker (Leveson 2004; Marais, Dulac og Leveson 2004). Derimot ser de nyeste ulykkesmodellene på det sosiotekniske systemet for å forklare hvorfor ulykker oppstår, slik som STAMP av Nancy Leveson. Dette betyr at ulykker analyseres ved å undersøke samspillet mellom mennesker, teknologi og miljø (Leveson 2004). Wienen et al. (2017) har sammenlignet de tre kategoriene av ulykkesmodeller ved å se på løse og tette koblinger i systemet de analyserer og den sosiotekniske konteksten som modeller tar hensyn til, se Figur 3. Figuren viser også den historiske utviklingen av ulykkesmodeller som starter med sekvensmodeller som kun ser på systemet og ikke tar den sosiotekniske konteksten i betraktning. Epidemiologiske modeller la til den sosiotekniske konteksten. Systemmodeller ble derimot laget for systemer med tette koblinger og introduserte den sosiotekniske konteksten som en essensiell del av metoden (Wienen et al. 2017).



Figur 3: Kategoriene av ulykkesmodeller sammenlignet basert på egenskapene til systemet de analyserer, altså om systemet har løse eller tette koblinger mellom komponentene og om modellene tar hensyn til den sosiotekniske konteksten. Tatt fra Wienen et al. (2017).

3.2.1 Sekvensmodeller

En sekvensmodell er en av de enkleste måtene å beskrive en ulykke på, der ulykken oppstår som et resultat av en rekke hendelser som skjer i en spesifikk rekkefølge (Hollnagel 2002). En av de tidligste sekvensmodellene som har hatt stor betydning for ulykkesmodeller er dominoteorien av Heinrich (1959). Dominoteorien er både enkel og deterministisk, da den viser sammenhengen mellom årsak og virkning gjennom ulykkesfaktorer, visuelt representert som fallende dominobrikker som slår ned den neste i rekken. Dette er gjeldende for alle sekvensmodeller, der det er en rotårsak som utløser en påfølgende sekvens av hendelser som til slutt fører til en ulykke. Ved å eliminere rotårsaken eller en annen faktor vil en gjentakelse av ulykken kunne unngås (Hollnagel 2002).

Sekvensmodeller er enkle og deterministiske som kan være både en svakhet og en styrke. De er enkle å representere visuelt/grafisk som gjør at de kan være gode å bruke for å få en felles referanseramme av ulykkesbildet (Hollnagel 2002; Leveson 2004). De er lette å forstå og viser ledelsen hvor de må gjøre tiltak for å hindre flere ulykker fra å oppstå (Wienen et al. 2017). Hollnagel (2004) og Lindberg, Hansson og Rollenhagen (2010) mener at det er utilstrekkelig å beskrive en ulykke som en sekvens av hendelser da sekvensmodeller ikke effektivt kan forklare den ikke-lineære kompleksiteten av dagens sosiotekniske systemulykker.

3.2.2 Epidemiologiske modeller

Konseptet bak epidemiologiske modeller er hentet fra medisinsk terminologi, hvor en ulykke beskrives i analogi med spredningen av en sykdom (Hollnagel 2002). En ulykke er et resultat av kombinasjonen av latente forhold og aktive feil i systemet (Qureshi 2008). Akkurat som et patogen som ligger i dvale i kroppen, kan latente forhold være tilstede i systemet lenge før selve ulykkeshendelsen oppstår (Reason, Hollnagel og Paries 2006). Eksempler på dette kan være dårlig sikkerhetsstyring av ledelsen, dårlig sikkerhetskultur og for dårlige standarder og protokoller. Disse faktorene kan så påvirke den «skarpe enden» slik at aktive feil oppstår som resulterer i en ulykkeshendelse (Underwood og Waterson 2013a). Den mest kjente epidemiologiske modellen er Sveitserostmodellen av Reason (1997).

Sekvensmodeller er ofte svært begrenset på grunn av sin enkelhet, mens epidemiologiske modeller tar for seg mer komplekse interaksjoner og latente forhold som ofte blir fremstilt i et årsaksnettverk. De kan derfor brukes når sekvensmodeller ikke strekker til (Hollnagel 2002). Hovedfordelen med disse modellene er at de ser på det sosiotekniske systemet som da kan avdekke mangler i prosedyrer, ledelse, arbeidskulturen og regler (Wienen et al. 2017). Ved å bruke disse modellene kan man oppnå en dypere forståelse av ulykken og årsakene som gjorde at den oppstod (Leveson 2004).

3.2.3 Systemmodeller

Applikasjonen av systemteori ble foreslått av Leveson (2001), Rasmussen (1997) og Rasmussen og Svedung (2002) som en løsning på den økende kompleksiteten i sosiotekniske systemulykker, når epidemiologiske modeller ikke lenger kunne tilstrekkelig forklare ulykkene. Systemmodeller betrakter ulykker som et resultat av mennesker og teknologi som opererer på en måte som kan virke rasjonelt på et lokalt nivå, men som ubevisst skaper usikre forhold i systemet som ikke blir håndtert (Hollnagel 2002). De ser på systemet som en helhet i stedet for å fokusere på kun en enkel eller et fåtall av isolerte komponenter i systemet (Zhang et al. 2022). Systemmodeller egner seg derfor best til å analysere ulykker i industrier som kjennetegnes med lav håndterbarhet og tette koblinger, se Figur 2 og 3.

Siden systemmodeller viser det sosiotekniske miljøet, unngår de derfor å presentere en ulykke som en sekvens eller et årsaksnett (Wienen et al. 2017). Dette gjør at de også er vanskelig å representere grafisk. De mest kjente systemmodellene er STAMP av Leveson (2004), FRAM av Hollnagel (2004, 2012) og Accimap av Rasmussen (1997). Det er derimot motstridninger i fagmiljøet om hvorvidt Accimap er en systemmodell eller en epidemiologisk modell. Underwood og Waterson (2013a) og Zhang et al. (2022) har kategorisert Accimap som en systemmodell, mens Wienen et al. (2017) har kategorisert den som en epidemiologisk modell.

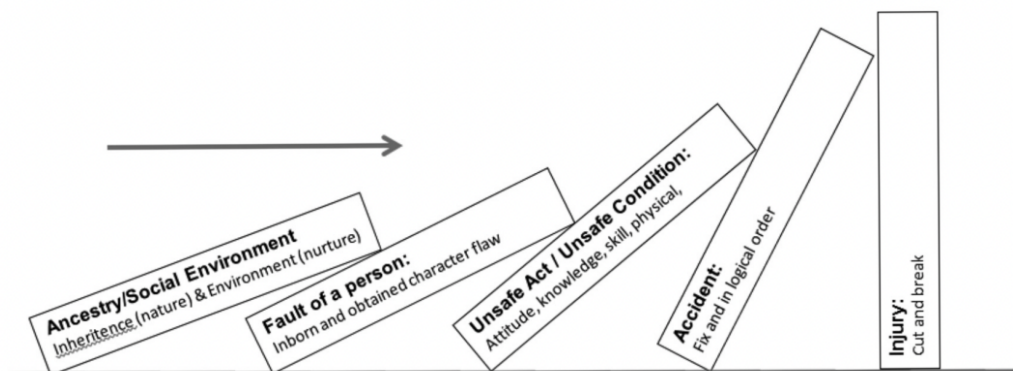
4 Valgte ulykkesmodeller

Dette kapittelet presenterer teorien om de valgte ulykkesmodellene for denne masteroppgaven. De valgte ulykkesmodellene er MLCM, OAM og STAMP. Begrunnelsen for valg av disse modellene forklares i Kapittel 6. For å forstå disse modellene, er modellenes opphav også inkludert i dette kapittelet.

4.1 MLCM

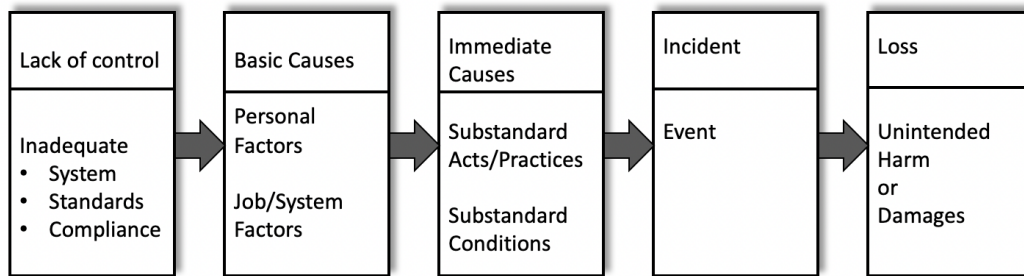
Modified Loss Causation Model (MLCM) av Chua og Goh (2004) er en modifisert versjon av ILCI-modellen laget spesifikt for å forbedre sikkerheten i BA-næringen. ILCI-modellen av Bird, Germain og Clark (1990) er igjen en modifisert versjon av dominoteorien.

Dominoteorien av Heinrich (1959) viser hvordan fem faktorer i en ulykkessekvens kronologisk fører til skade. De fem ulykkesfaktorene er visuelt representert som dominobrikker hvor fallet av den første dominobrikken vil utløse fallet av hele raden, se Figur 4. En skade vil derfor forhindres ved å identifisere og bryte en av disse faktorene.



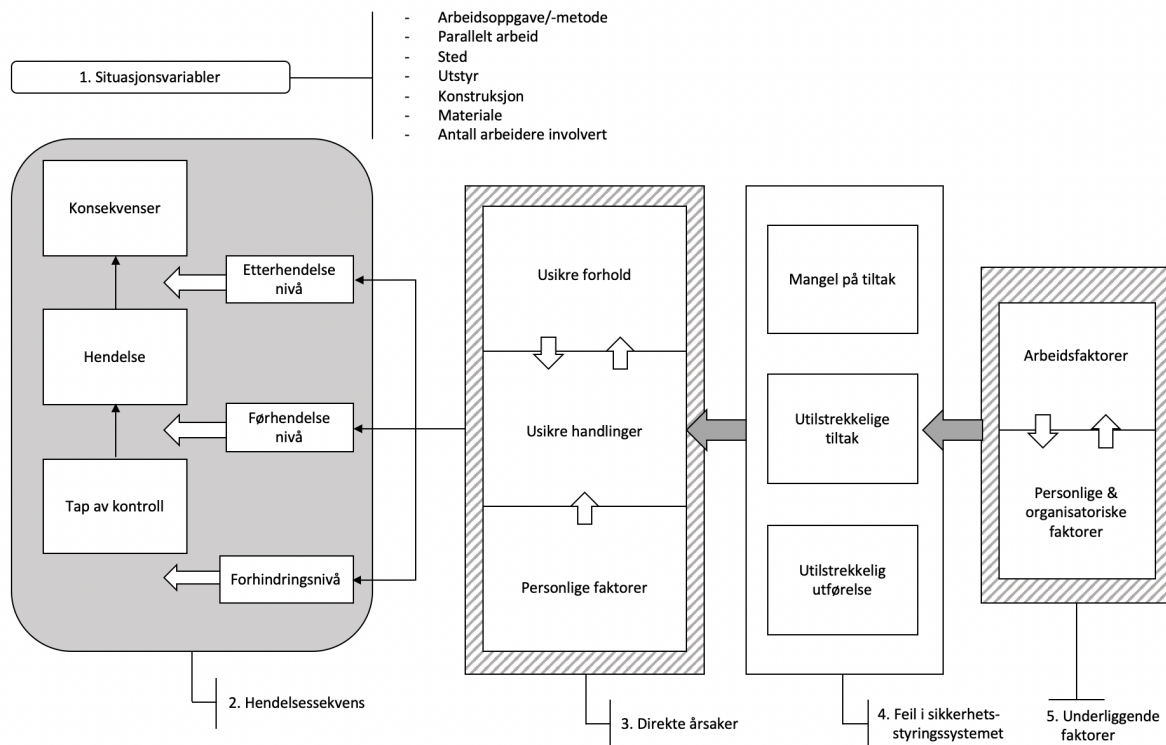
Figur 4: Dominoteorien av Heinrich (1959), tatt fra Sidek, Ibrahim og Jaharuddin (2014).

International Loss Control Institute modifiserte dominoteorien i deres ILCI-modell, se Figur 5. Bird, Germain og Clark (1990) fjernet de to første hendelsene i kjeden og erstattet de med «Lack of control» og «Basic causes». Dette ble gjort for å inkludere problemer knyttet til organisatoriske faktorer. «Injury» dominoen har også blitt erstattet av «Loss» for å inkludere skader på materialer og miljø. Chua og Goh (2004) ønsket å ta hensyn til den økende kompleksiteten i organisasjoner og inkluderte dermed nye elementer for å forbedre forståelsen av ulykkesårsaker. MLCM viser derfor et helhetlig bilde av ulykkesårsakene (Chua og Goh 2004).



Figur 5: ILCI-modellen adaptert fra Bird, Germain og Clark (1990).

Modified Loss Causation Model (MLCM) laget av Chua og Goh (2004) er utviklet basert på en litteraturgjennomgang og anvendelse av 140 virkelige ulykkeshendelser fra Singapores arbeidsdepartement, se Figur 6. Chua og Goh (2004) mener at MLCM vil forenkle tilbakemelding etter ulykkesgranskning på to nivåer; til sikkerhetsstyringssystemet som har feilet og til sikkerhetsplanleggingen for fremtidige prosjekt. Ved å anvende samme modell på begge nivåer, vil læringsgraden øke etter en hendelse, og deretter forbedres sikkerhetsytelsen.



Figur 6: MLCM adaptert fra Chua og Goh (2004).

MLCM er delt opp i fem hovedkomponenter: 1. situasjonsvariabler, 2. hendelsessekvens, 3. direkte årsaker, 4. feil i sikkerhetsstyringssystem og 5. underliggende faktorer. Modellen inkluderer situasjonsvariabler for ulykken for å identifisere de kritiske egenskapene ved hendelsens kontekst, inkludert arbeidsoppgave/-metode, parallelt arbeid, sted og utstyr som ble brukt under hendelsen (Chua og Goh 2004). Denne informasjonen kan deretter benyttes i andre byggeprosjekter med lignende situasjonsvariabler, slik at erfaringene fra en ulykke kan overføres og sikkerhetsplanleggingen for det nye prosjektet forbedres.

I tillegg kan de også benyttes til kategorisering av hendelsesstatistikk, og dermed gi innsikt i hvordan ulike arbeidstyper bidrar til forekomsten av hendelser. Figur 6 inkluderer de mest typiske situasjonsvariablene, men det er en mulighet for å inkludere flere. Parallelt arbeid rangerer som en av de mest betydningsfulle variablene innen BA-næringen, ettersom byggeprosjekter er dynamiske og innebærer samtidig utførelse av flere arbeidsoppgaver som kan samhandle og skape forskjellige farer (Chua og Goh 2004).

Hendelsessekvensen er delt opp i tap av kontroll, hendelse og konsekvenser hvor førstnevnte definerer startpunktet for tap av kontroll over en energikilde som uten en barriere eller inngripende hendelse vil føre til at ulykkeshendelsen oppstår. Hendelsen er i denne modellen definert som kontakten som oppstår mellom offeret og energikilden. Konsekvensene refererer til uønskede virkninger av hendelsen slik som skader på materialer og/eller mennesker. Og kan for eksempel kategoriseres ved antall tapte dagsverk eller type skader. Ved å dele opp hendelsen i denne strukturen kan årsaksfaktorer og sikkerhetstiltak klassifiseres i tre nivåer av tiltak og årsakssammenheng: forhindreingsnivå, førhendelse nivå og etterhendelse nivå. Disse nivåene kan også brukes under sikkerhetsplanleggingen for å identifisere tiltak som vil forebygge og begrense konsekvensene av tap av kontroll og hendelser.

Direkte årsaker er delt opp i usikre forhold, usikre handlinger og personlige faktorer. I MLCM er det gjort et skille mellom personlige faktorer som går under direkte årsaker og som går under underliggende faktorer. Personlige faktorer som fører til usikre handlinger kan for eksempel være en arbeider med lite motivasjon for arbeidsoppgaven som da fører til at han ikke følger prosedyren etter gitte sikkerhetsrutiner. Derimot kan personlige faktorer under underliggende faktorer blant annet være at arbeideren har manglende erfaring eller opplæring av arbeidsoppgaven. I ILCI-modellen går personlige faktorer under grunnleggende årsaker, som gjør at fokuset blir rettet mot menneskelige feil og ikke organisatoriske problemer (Bird, Germain og Clark 1990; Chua og Goh 2004).

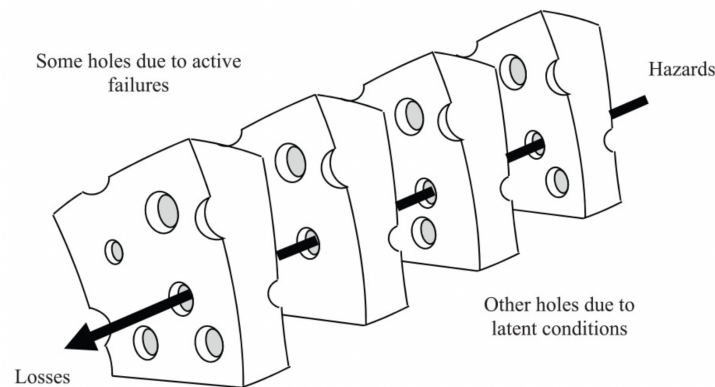
Feil i sikkerhetsstyringssystemet er i MLCM enten gitt som mangel på tiltak, utilstrekkelige tiltak eller utilstrekkelig utførelse. Dette vil utdypes i delkapittel 6.2.1. Underliggende faktorer er delt inn i: arbeidsfaktorer og personlige & organisatoriske faktorer. Organisatoriske faktorer kan for eksempel være dårlig sikkerhetskultur og uegnet organisasjonsstruktur. I følge Chua og Goh (2004) er denne inkludert her for å ta hensyn til effektene på sikkerhetsstyringssystemet. Arbeidsfaktorer er faktorer knyttet til arbeid eller oppgavedefinisjon og utførelse, som for eksempel utilstrekkelig lederskap og/eller tilsyn, utilstrekkelig ingeniørarbeid og utilstrekkelig arbeidsstandard.

MLCM viser retninger for påvirkning og årsakssammenheng mellom de ulike typer faktorer ved å vise piler i modellen. Som eksempel kan trøtthet (personlig årsak) føre til at prosedyrer ikke blir fulgt (usikre handlinger). Disse retningene er en del av MLCMs

rammeverk for etterforskning av hendelser og sikkerhetsplanlegging. Chua og Goh (2004) utviklet et flytskjema basert på MLCM som er designet for å veilede ulykkesgranskningen med å identifisere feil i sikkerhetsstyringssystemet og underliggende faktorer. Dette utdypes videre i delkapittel 6.2.1.

4.2 OAM

Reason (1990, 1997) hjalp med forståelsen på hvordan et organisatorisk system kan skape en situasjon der det blir tap av kontroll på farekilder som fører til skade. Reasons modell for organisatoriske ulykker, forkortet til OAM Organizational Accident Model forklarer dette. En forenklet versjon av denne modellen er sveitserostmodellen («Swiss cheese model») som er blitt tatt i bruk i ulike bransjer og er utvilsomt den mest populære ulykkesmodellen, se Figur 7 (Salmon, Cornelissen og Trotter 2012). O'Hare (2000) kritiserte sveitserostmodellen for å være vanskelig å anvende som et praktisk verktøy. Likevel, til tross for sin popularitet har Reason, Hollnagel og Paries (2006) uttalt at den aldri var tiltenkt å brukes som en detaljert ulykkesmodell.

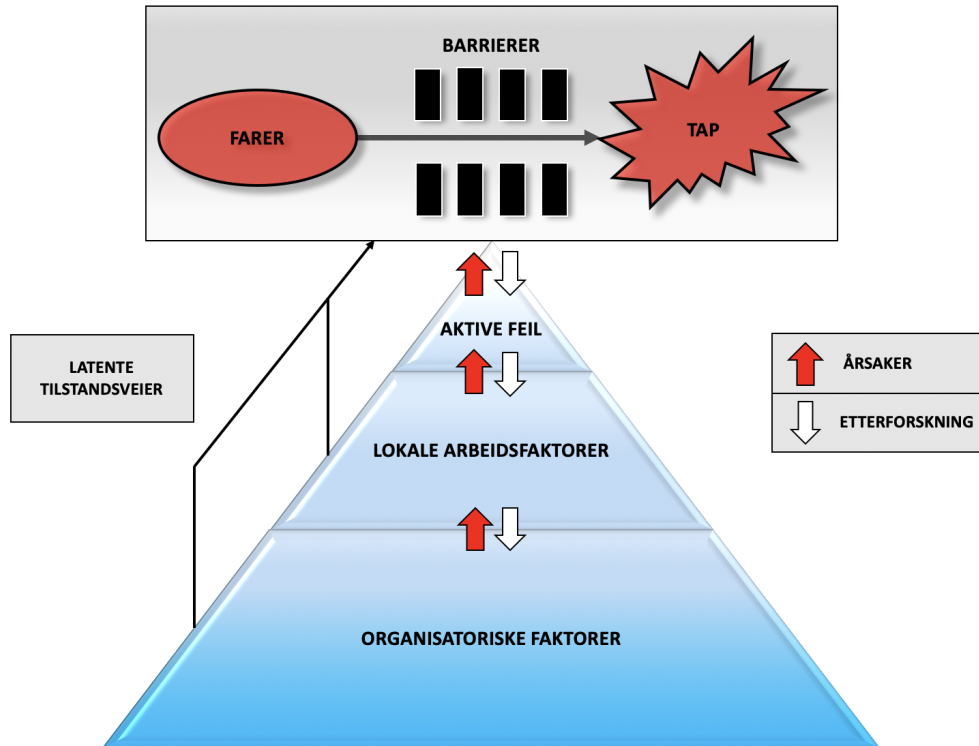


Figur 7: Sveitserostmodellen av Reason (1990, 1997) tatt fra Chen et al. (2017).

Sveitserostmodellen illustreres av osteskiver som symboliserer barrierene i organisasjonen hvor hullene i osteskivene representerer mulige barrieresvikt (Kongsvik et al. 2018). En ulykke vil da oppstå når barrierer svikter samtidig, enten som følge av aktive feil eller latente betingelser. Reason (1997) mente at det er nødvendig med «forsvar i dybden» om en virksomhet skal unngå tap. Dette innebærer at organisasjonen har implementert forskjellige typer barrierer som er utformet slik at de kompenserer for hverandre. I sveitserostmodellen vises dette ved at osteskivene er plassert på linje med hverandre.

OAM viser, i motsetning til sveitserostmodellen, tydeligere hvordan organisatoriske faktorer skaper aktive feil (menneskelige feilhandlinger og barrieresvikt) som fører til tap. OAM vises i Figur 8 og inneholder stegene for hvordan en organisatorisk ulykke både utvikler seg og etterforskes. Den rektangulære boksen på toppen representerer hovedelementene av hendelsen mens pyramiden under representerer systemet som produserer den. Akkurat som sveitserostmodellen viser OAM at barrierene er organisert som forsvar i dybden. Pyramiden har tre nivåer: personen (aktive feil), lokale arbeidsfaktorer og organisatoriske

faktorer. De svarte pilene oppover indikerer retningen av kausalitet og de hvite pilene nedover indikerer stegene for etterforskning/granskning.



Figur 8: OAM adaptert fra Reason (1997).

Reason (1997) mener at man skal tenke på menneskelige feilhandlinger som en konsekvens av et sosioteknisk system, i stedet for å rette fokus på menneskelige feilhandlinger som ulykkesårsaken. Fokuset bør være rettet på systemsvikt. Og ulykkesrisiko kommer som følge av et dårlig samspill mellom mennesker og teknologi. Reason (1997) mener også at mangler i organisasjonen og ved ledelsen kan påvirke de lokale arbeidsfaktorene. Dermed ved å se på samspillet mellom disse faktorene kan man lære av ulykkene.

Aktive feil i OAM ble originalt kalt «unsafe acts», men ble endret av forskeren for å ha en bredere samlebetegnelse. Aktive feil representerer da usikre handlinger og usikre forhold, som for eksempel menneskelige feil, teknisk svikt og avvik mellom planlagt og faktisk utførelse. En aktiv feil vil ha et klart årsak-virkningsforhold til tap av kontroll på farekilden.

Neste nivå i OAM er lokale arbeidsfaktorer som er faktorer direkte knyttet til organisering av arbeidet og omgivelsene. Disse faktorene kan for eksempel være relatert til manglende kompetanse og erfaring, tekniske forhold knyttet til utstyr, forhold på arbeidsplassen og omgivelsene, oppfølging og prosedyrer, mangelfull kommunikasjon, eller mangelfull planlegging og risikovurdering.

Det siste nivået i OAM er organisatoriske faktorer som da er faktorer knyttet til organisasjonens ledelsesnivå. For eksempel kan dette være engasjement, ansvarsfordeling,

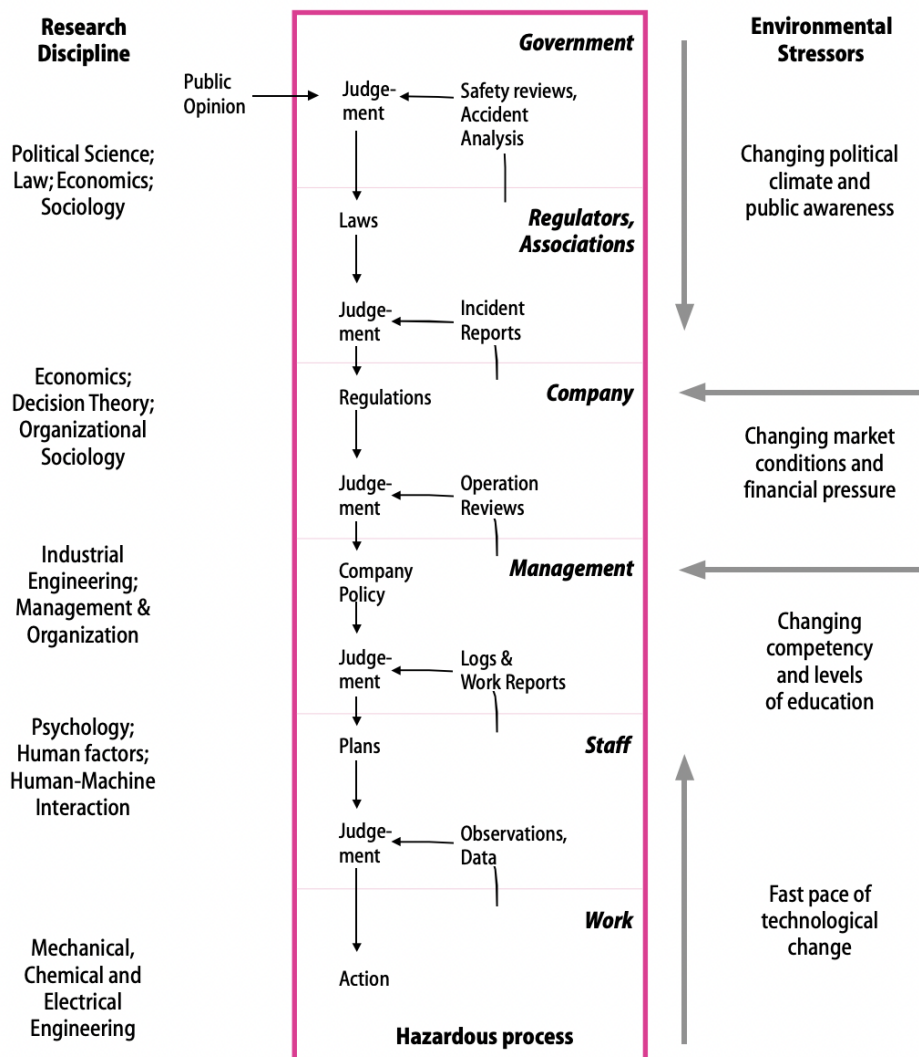
samhandling mellom leverandører, sikkerhetskrav, sviktende opplæringsystem eller mangelfull kontrollrutiner.

4.3 STAMP

Leveson (2001) mente at det var nødvendig å etablere en ny systemmodell for å analysere ulykker og ulykkesmekanismer i programvareintensive systemer. Leveson (2002) foreslo derfor STAMP som i likhet med andre systemmodeller ser på systemet som en helhet i stedet for å se på en enkelt eller et fåtall av komponenter i systemet isolert (Zhang et al. 2022). STAMP er en dynamisk prosess fordi modellen betrakter systemet som en helhet sammensatt av sammenkoblede komponenter og opprettholder dynamisk balanse gjennom informasjonsløkken av styring og tilbakemelding for å tilpasse seg miljøendringer (Leveson 2004, 2012).

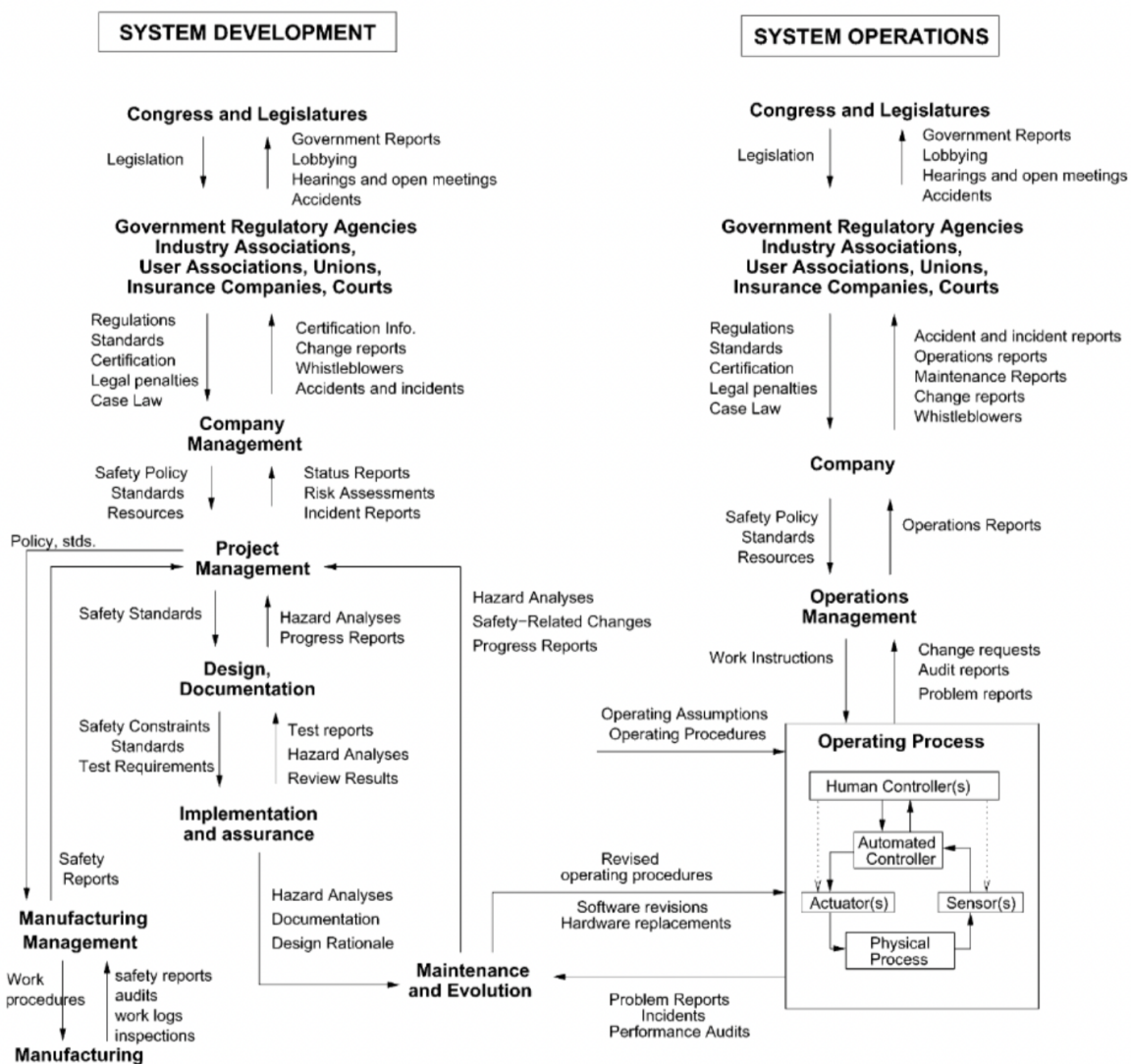
STAMP er basert på tre grunnleggende konsepter: sikkerhetsbegrensninger, hierarkisk sikkerhetskontrollstruktur og prosessmodell. Modellen legger vekt på rollen til sikkerhetsbegrensninger og betrakter sikkerhet som et kontrollproblem som implementerer begrensninger (Leveson 2004). Ulykker er derfor forårsaket av utilstrekkelig kontroll eller håndhevelse av sikkerhetsbegrensninger under systemutvikling og systemoperasjoner. Formålet med STAMP er å identifisere kontroll- og tilbakemeldingsløkker som forbedrer sikker drift, og deretter fastslå hvorfor de pålagte begrensningene er ugyldige eller brytes (Leveson 2012). STAMP legger ikke ulykkesansvaret på en bestemt person eller gruppe, da det ikke kan fastslås hvem som har den juridiske evnen til å betale erstatningen. Leveson (2012) mener også at å fokusere på å fastslå ansvar ofte kan forenkle årsaken til ulykken og vil ikke bidra til å forebygge lignende tap i fremtiden.

Rasmussen og Svedung (2000) beskrev en hierarkisk modell av sosiotekniske systemer som er involvert i risikostyring, se Figur 9, som er grunnlaget for utviklingen av STAMP (Leveson 2004). På flere nivåer er politikere, ledere, sikkerhetsansvarlige og planleggere involvert i styringen av sikkerheten ved hjelp av lover, regler og instruksjoner som er verktøy for å oppnå kontroll over farlige fysiske prosesser. Målet deres er å motivere arbeidere og operatører, bidra med opplæring, veilede dem og regulere atferden deres gjennom regler, alt for å øke sikkerheten i deres utførelse (Rasmussen og Svedung 2000).



Figur 9: Hierarkisk modell av sosiotekniske systemer, tatt fra Rasmussen og Svedung (2000).

Den hierarkiske kontrollstrukturen til Rasmussen og Svedung (2000) inneholder kun en kontrollstruktur hvor fokuset er på drift og ikke utvikling. Leveson (2004) videreutviklet denne modellen til å inneholde to grunnleggende hierarkiske kontrollstrukturer, en for systemutvikling og en for systemdrift med interaksjoner mellom de, se Figur 10. Modellen er generell, men hvert individuelle system som blir modellert vil ha en struktur som varierer basert på denne kontrollstrukturen.



Figur 10: En generell hierarkisk sikkerhetskontrollstruktur av Leveson (2004).

I systemteori blir systemer betraktet som hierarkiske strukturer hvor hvert nivå håndhever begrensninger på aktiviteten til nivået under (Leveson 2012). Kontrollprosesser opererer mellom nivåene for å styre prosessene på lavere nivåer i hierarkiet. Disse kontrollprosessene håndhever sikkerhetsbegrensningene som kontrollprosessen er ansvarlig for. Ulykker oppstår når disse prosessene gir utilstrekkelig kontroll, og sikkerhetsbegrensningene brytes i atferden til komponentene på lavere nivåer. Utilstrekkelig kontroll kan forekomme på hvert nivå og kan skyldes for eksempel manglende begrensninger, utilstrekkelige ordre, oppgaver som er utført feil eller utilstrekkelig kommunikasjon (Leveson 2012).

Mellom hvert hierarkisk nivå er det behov for effektive kommunikasjonskanaler. For kommunikasjonskanalen nedover i nivåene er det nødvendig med informasjon som håndhever sikkerhetsbegrensningene på nivået under. Og for kommunikasjonskanalen oppover i nivåene er det nødvendig med tilbakemelding på om begrensningene blir oppfylt. For å oppnå en tilpassningsdyktig kontroll i systemet er tilbakemelding avgjørende, da det

kan brukes til å tilpasse fremtidig kommunikasjon for å oppnå målene mer effektivt (Leveson 2012).

Systemmodeller er nye i forhold til sekvens- og epidemiologiske modeller og har derfor mye potensiale og rom for videre utvikling (Zhang et al. 2022). Likevel er STAMP en av de mest omtalte systemmodellene. Underwood og Waterson (2012) sorterte 476 dokumenter som omhandlet ulykkesanalyse og identifiserte 13 systemmodeller og metoder, derav STAMP ble sitert 52,0 % av tilfellene. Ved å foreta et litteratursøk konkluderte Zhang et al. (2022) med at STAMP hovedsakelig blir brukt til ulykkesanalyse og kan anvendes innen mange ulike bransjer. Blant annet luftfart, militæret, folkehelse, romfart og transport (Patriarca et al. 2022; Zhang et al. 2022).

I utgangspunktet hadde ikke Leveson (2004) introdusert spesifikke analysesteg for STAMP, som gjorde analyseprosessen både mer kompleks og tidkrevende (Zhang et al. 2022). Det var også uenigheter i fagmiljøet. Hollnagel og Speziali (2008) og Johansson og Lindgren (2008) mente STAMP var krevende og bare egnet seg for erfarne brukere med omfattende teoretisk og faglig kunnskap. Johnson og Holloway (2003) derimot mente at en STAMP-analyse er enkel, lett å følge og rask å lære. For å gi en mer detaljert veiledning introduserte Nancy Leveson System theoretic process analysis (STPA) og Causal analysis based on systems theory (CAST).

STPA er en proaktiv fareidentifikasjon og analysemetode som identifiserer potensielle årsaker til ulykker slik at de kan bli eliminert eller kontrollert i design eller drift før skaden oppstår (Leveson og Thomas 2018). En risikoanalyse kan beskrives som å «etterforske en ulykke før den oppstår» (Leveson 2012, side 211). I systemutvikling, drift og vedlikehold kan STPA brukes til å forbedre systemsikkerheten. STPA utfører modellering ved å identifisere ulykkes scenarier som involverer hele prosessen, og gir brukerne veiledning for å oppnå spesifikke resultater. Den kan også brukes på alle stadier av systemets livssyklus (Leveson 2012).

CAST er en retroaktiv analysemetode som undersøker en ulykkeshendelse som har oppstått og identifiserer de kausale årsakene som var involvert (Leveson og Thomas 2018). CAST er forklart i detalj i delkapittel 6.2.3.

5 Valgte ulykker

Dette kapitlet oppsummerer de ulykkene som er valgt å analysere med de valgte ulykkesmodellene. Ulykkeshendelsene er beskrevet ut i fra granskningsrapportene for de gitte ulykkene. Ulykkene er en enkel fallulykke, jordskredet ved Stavsjøfjelltunnelen 4. mai 2022 og kollisjonen mellom KNM Helge Instad og tankskipet Sola TS 8. november 2018. Alle rapportene har oppgitt årsaker til den gitte ulykken, som også er gjengitt i dette kapitlet.

5.1 Fallulykke 27. Oktober 2021

For denne hendelsen er både firmanavn, datoer og personnavn anonymisert etter ønske fra gjeldende firma. Granskningsrapporter er derfor ikke referert til. ByggfirmaAS gjennomfører byggeprosjektet for Byggherren hvor prosjektet består av både nybygg, påbygg, riving og rehabilitering av eksisterende bygningsmasse. I september 2021 inngår de en kontrakt med RiggserviceAS som utfører rigg- og logistikkoppgaver. 25. september blir RiggserviceAS bedt om å levere prosjektspesifikk risikovurdering for egne oppgaver før oppstart. Dette ble ikke gjort og heller ikke etterspurt igjen av ByggfirmaAS.

22. oktober ankommer riggmannen fra RiggserviceAS til prosjektet. Han er 22 år og jobben som riggmann er en deltidsjobb ved siden av studier. Han startet hos RiggserviceAS i februar 2021 og har ikke jobbet på byggeplass tidligere. Før han ble sendt på byggeplassen fikk han en generell gjennomgang av arbeidsoppgavene han var forventet å skulle gjøre av RiggserviceAS, men denne sa ikke noe spesielt om risiko forbundet med fall fra høyde. Når han ankommer prosjektet får han PSI-gjennomgang (prosjektspesifikk sikkerhetsintroduksjon) hos ByggfirmaAS, og her nevnes sikring av utsparinger som en av mange huskepunkter på generelt grunnlag.

Hendelsen skjedde i teknisk rom i 5. etasje som er et påbygg på toppen av eldre bygningsmasse som rehabiliteres. I ukene før hendelsen har mange ulike faggrupper vært innom; gulvlegger, rørlegger, ventilasjonsentreprenør, brannetter, elektriker og maler. Det går en ventilasjonskanal fra gulvet i teknisk rom og ned til taket i 1. etasje. Over ventilasjonskanalen er det lagt en sikringslem, se Figur 11. ByggfirmaAS sin interne instruks sier at sikringslemmer skal være festet og merket på forsvarlig måte. Enhver som fjerner en sikring har plikt til å sette den på plass igjen før han kan forlate stedet. Sikringslemmen har likevel blitt flyttet på og satt tilbake uten å bli skrudd fast i underlaget igjen. Prosjektet har ikke hatt en systematisk rutine for løpende kontroll av utsparinger. Ettersom utsparinger er forhold som i stor grad påvirker mange aktører burde ByggfirmaAS hatt en fast rutine for løpende samordning av at alle prosjektets utsparinger er sikret og merket.

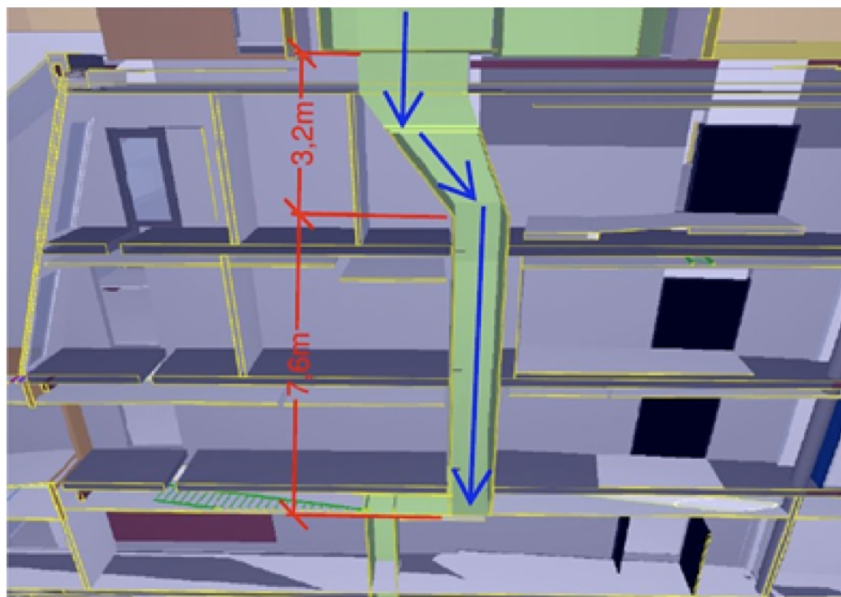


Figur 11: Sikringslem over ventilasjonskanalen i teknisk rom.

Entreprenørens produksjonsleder og verneombud gjennomførte en rutinemessig inspeksjonsrunde med fokus på rydding på prosjektet dagen før ulykken, 26. oktober. Teknisk rom var svært rotete og ventilasjonsfirmaet BlikkAS måtte rydde opp etter seg. ByggfirmaAS dokumenterte funnene fra inspeksjonsrunden i deres avvikssystem med ansvar for gjennomføringen og en tidsfrist.

På formiddagen 27. oktober får ByggfirmaAS sin produksjonsleder beskjed fra BlikkAS om at rommet er ryddet. Han inspiserer rommet og kontakter så riggmann hos RiggserviceAS og ber han om å rydde det siste som gjenstår. Rigmannen finner lite å rydde, men ser en lem på gulvet. For han ser den ut som en av dem prosjektet bruker til å sette foran sjakter og han vil derfor rydde den ut av veien. Lemmen var ikke merket med noe som skulle indikere at den lå over en åpning, se Figur 11. Han løfter opp lemmen i den ene enden samtidig som han går framover. Han ser ikke at det er en ferdig montert ventilasjonskanal under og faller ned i denne. Når han går gjennom utsparingen faller sikringslemmen tilbake på plass, og ventilasjonskanalen blir dermed fullstendig mørklagt.

Ventilasjonskanalen er litt skrå i toppen, se Figur 12, og dette demper fallet noe, men totalt faller han 10,8 meter før han når bunnen av kanalen som ender i himlingen over 1. etasje. Han er forslått og har skrubbet seg opp på utstikkende skruer på innsiden av kanalen, men er ellers i god behold etter fallet. Han ringer ByggfirmaAS sin produksjonsleder, forklarer hva som har skjedd og ber om assistanse. Produksjonslederen finner riggmannen i bunnen av sjakta når han løfter opp lemmen. Han varsler umiddelbart ByggfirmaAS sin anleggsleder som kommer for å bistå.

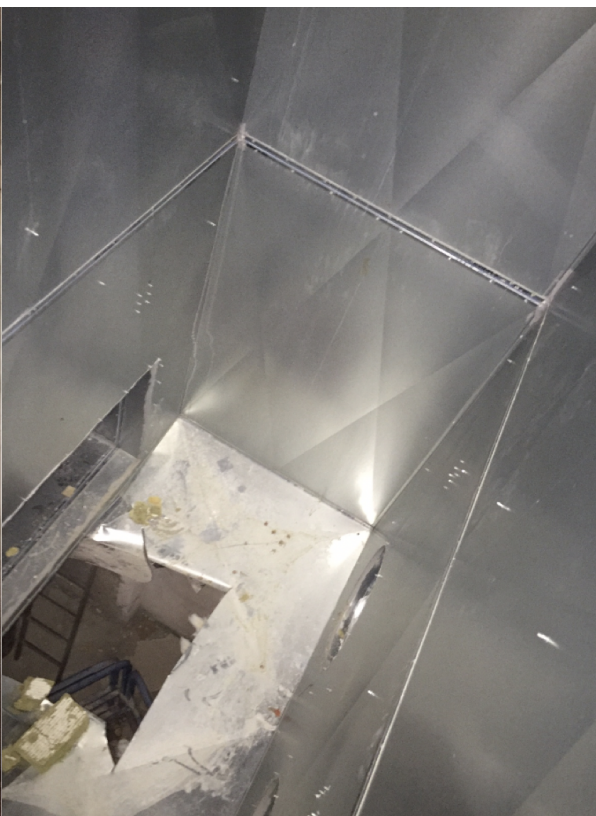


Figur 12: Modell av byggeprosjektet og ventilasjonskanalen, med piler som viser fallretningen til riggmannen.

Det blir tatt hull i ventilasjonskanalen bak brannskapet i 2. etasje for å sikre lufttilgang og for å kunne kommunisere med riggmannen. Det blir vurdert å kontakte brannvesenet, men det blir bestemt at det går raskere å ta ut riggmannen fra et hull i himling og ventilasjonskanal i 1. etasje. To tømrere fra ByggfirmaAS bistår. Produksjonsleder står i 2. etasje og har en løpende dialog med riggmannen om hvor han skal plassere seg mens de skjærer hull i kanalen. Selve operasjonen tar ti minutter og hullene vises i Figurene 13 og 14. Selv om riggmannen virker til å være i god form, bestemmer anleggsleder og prosjekteier at det er nødvendig å varsle ambulanse. Verneombud sender en person for å møte ambulansen. Riggmannen blir undersøkt på stedet og blir med ambulansen til sykehuset for videre kontroll. Riggmannen har kun mindre kuttskader og blir skrevet ut samme kveld.



Figur 13: Hull sett fra 1. etasje.



Figur 14: Hull sett fra ventilasjonskanalen.

5.1.1 Direkte og bakenforliggende årsaker

- Sikringslemmen lå løst over ventilasjonssjakten. Lemmen har vært flyttet på i forbindelse med arbeider i teknisk rom og ikke festet igjen, og dette har ikke vært fanget opp på vernerunder eller i forbindelse med andre inspeksjoner.
- Riggmannen løftet på sikringslemmen fordi han skulle rydde og trodde lemmen var "rot" på gulvet. Riggmann visste ikke at det var en utsparing i gulvet her. Han hadde ikke selv utført arbeider i rommet, og lemmen var ikke merket på noen måte som indikerte at den lå over en åpning.
- Det var ingen annen barriere som kunne forhindre fallet.

5.2 Jordskred ved Stavsjøfjelltunnelen øst 4. Mai 2022 (E6 Ranheim - Værnes)

Nye Veier AS er byggherre for prosjektet hvor en firefelts motorvei skal bygges mellom Ranheim og Værnes i Trøndelag, totalt 23 km. Prosjektets oppstart var i år 2020 og er planlagt å være ferdigstilt i år 2025. ACCIONA Construction SA er totalentreprenør på prosjektet. Figur 15 viser området for skredet med rød sirkel. Etter jordskredet ved Stavsjøfjekkunnelen øst 4. Mai 2022 besluttet Nye Veier AS å gjennomføre en ekstern, uavhengig granskning av Sintef på bakgrunn av hendelsens store skadepotensial. Sintef kartlegget hendelsesforløpet, samt de direkte og bakenforliggende årsakene i rapporten av

Kvitsand et al. (2023). Hovedformålet var å lære og forbedre av ulykken ved å foreslå anbefalinger for å redusere faren for lignende hendelser i fremtiden.



Figur 15: Rød strek viser prinsippskissen av den nye motorveien, hvor rød sirkel angir skredets lokasjon 4. mai. 2022.

Det gikk et jordskred over E6 øst for Stavsjøfjell-tunnelen i Malvik kommune kl. 13.04 onsdag 4. Mai 2022, se Figur 16. Veitrafikksentralens overvåkingskamera fanget opp jordskredet og all trafikk ble stanset umiddelbart og omdirigert til fylkesvei 950. E6 gjenåpnet mandag 9. Mai ca. kl. 20.



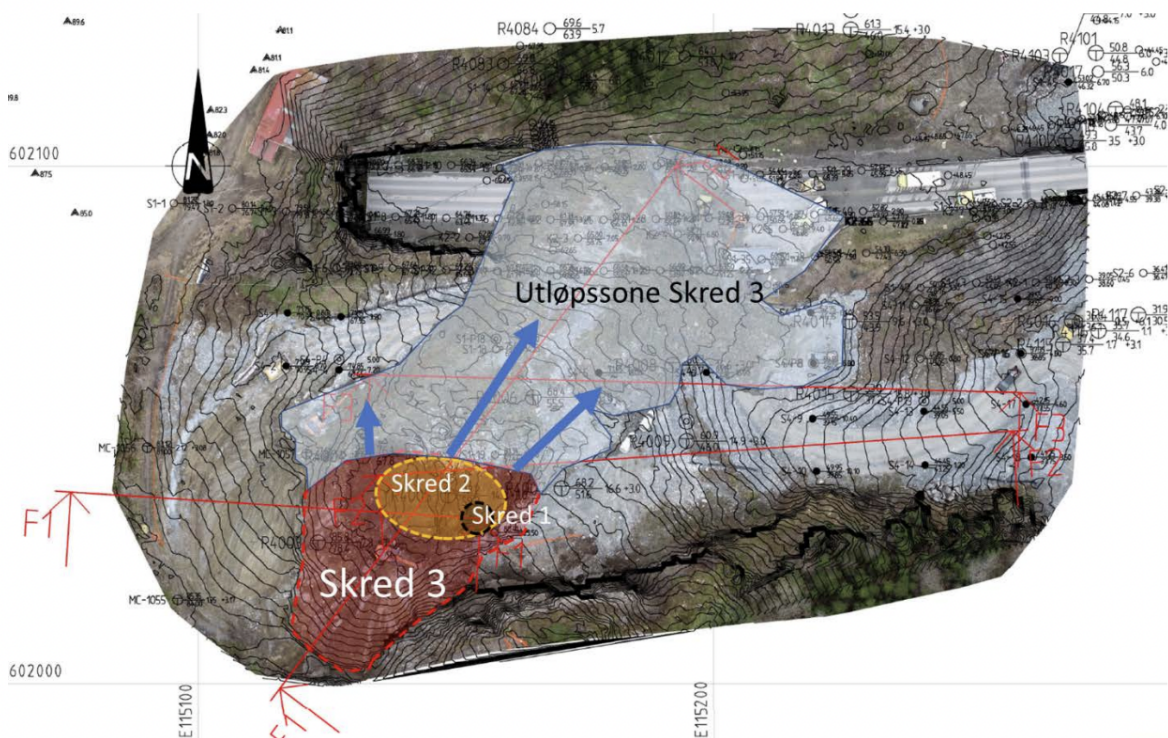
Figur 16: Skredet 4. mai 2022 sett fra Hommelvik bru. Bilde tatt fra Kvitsand et al. (2023).

Ett kjøretøy ble truffet av skredmassene på E6, men de involverte fikk ingen personskader. Totalt fem personer var til stede i anleggsområdet på skredtidspunktet og en anleggsbil med en person ble tatt av jordskredet. Vedkommende ble reddet ut av nødetatene kl. 14:43, kjørt til sykehus og innlagt, og utskrevet neste dag. Nord for E6 ble beboerne i 96 husstander evakuert. Disse fikk tillatelse til å flytte hjem igjen samme ettermiddag, etter at geologer og

geoteknikere hadde vurdert at det var lav sannsynlighet for nye skred som kunne påvirke området nord for E6.

Arbeidet i forkant av skredet var for å klargjøre området for et nytt tvillingløp i tunnelen på E6. I anleggsområdet sør for E6 pågikk det anleggsarbeid for å ta ut løsmasser og det var i løsmasseskråningen jordskredet oppstod. I høsten 2021 ble vegetasjonen i området fjernet og det ble etablert en midlertidig anleggsvei opp gjennom påhuggsområdet for å kunne ta ut løsmasser fra topp mot bunn av skråningen. På grunn av rensk av en fjellskjæring i sør ble gravearbeidet satt igang sentralt i skråningen istedenfor fra toppen som planlagt. 4. mai 2022 var det gravearbeid øverst i denne skråningen da jordskredet gikk.

Jordskredet ble utløst som et rotasjonsskred med innsynkning av skråningstopp og heving i bunnen av skredgropa. Skjærflata gikk ned i øvre deler av leira, med løснеområde i overgangen mellom løsmasseskråningen og turstien i bakkant av skråningen. Jordskredet bestod av vannholdige skredmasser av silt, sand, pukk og stein, og innslag av middels sensitiv leire. Totalt løsnet $6\,000\text{ m}^3$ løsmasser, hvor ca. 10 % (600 m^3) havnet på veibanen til E6. Se Figur 17 for omfanget av skredet 4. mai samt de to skredene som gikk i april. SINTEF konkluderer med at skredet var en systemulykke, hvor en kombinasjon av flere direkte og bakenforliggende faktorer medvirket til skred.



Figur 17: Plassering av løsnakeområdene for skredene 1., 2. og 3., samt utløpssonen for skred 3. Tatt fra Kvitsand et al. (2023).

5.2.1 Direkte årsaker

Løsmasseskråningen hadde lav stabilitet før anleggsarbeidet ble startet opp høsten 2021, på grunn av bratt skråningsvinkel med lagdelte, vannmettede løsmasser. Stabiliteten ble

redusert utover sen vinteren 2022 på grunn av gradvis økende vannmetning i løsmassene og gravearbeid i skråningen.

Forhold som utløste skred:

- Skred 1 fredag 15. april er definert som en grunn utglidning, og ble utløst på grunn av teleløsning og påført last fra masser i anleggsveien langs fjellskrenten sør i anleggsområdet.
- Skred 2 onsdag 20. april ble utløst på grunn av økt teleløsning, som ga økt permeabilitet og vanntilsig i de finkornige massene; økt vanntilførsel fra snøsmelting og regn, som ga høyere grunnvannstand i andre halvdel av april; og påført last fra masser i anleggsveien.
- Skred 3 onsdag 4. mai ble utløst på grunn av ytterligere vanntilførsel fra snøsmelting og regn med dertil høyere grunnvannstand, og påført last fra gravemaskinen og fra fyllmassene som ble gravd ut og mellomlagret øverst i skråningen.

5.2.2 Bakenforliggende årsaker til skredet

De direkte årsakene til skredet er knyttet til bakenforliggende, mer systemiske årsaker som oppsummeres i det følgende.

Risikostyring:

- Mangler ved farekartlegging forut for anleggsarbeidet medførte at skredfaren ikke var kjent før anleggsarbeidet ble igangsatt. Dette medvirket videre til at risikovurdering, planer og tiltak også var mangelfulle og ikke tilpasset de faktiske forholdene.
- Skredene 15. og 20. april indikerte at grunnen var ustabil, og at det derfor burde vært laget en risikovurdering etter de to skredene. Skråningsstabiliteten ble ikke tilstrekkelig vurdert før videre anleggsarbeid i området ble gjenopptatt.
- Det ble satt inn risikoreduserende tiltak i etterkant av skredene 15. og 20. april, men tiltakene var ikke basert på en systematisk risikovurdering og var ikke tilstrekkelige for å forhindre skredet 4. mai.
- Byggherren har i henhold til byggherreforskriften ansvar for å sikre, koordinere og følge opp at hensynet til sikkerhet, helse, og arbeidsmiljø blir ivaretatt, men fanget ikke opp manglene i stabilitetsberegninger, risikovurderinger, planer og tiltak. SINTEF vurderer at en mer aktiv oppfølging og koordinering av prosjektering og utførelse fra byggherren kunne avdekket manglene i risikostyringen og dermed redusert sannsynligheten for skredet.

Geologisk og geoteknisk kompetanse og ressurser:

- Totalentreprenøren fikk utført stabilitetsanalyser for en midlertidig anleggsvei i påhuggsområdet. Beregnet sikkerhetsfaktor i disse analysene var for høy fordi grunnvannsstanden i beregningsprofilene ble lagt for lavt. Dette kan tyde på mangelfull forståelse av lokale hydrogeologiske forhold og manglende kunnskap om hvordan grunnvannstand i leire skal vurderes.

- Notatet med stabilitetsanalysene ble ikke varslet i PIMS (Process Information Management Systems), og ble dermed ikke underlagt utvidet, uavhengig kontroll. Øverste del av anleggsveien var prosjektert i portalområdet, og skulle ha vært klassifisert i konsekvensklasse 3. Dette ville ha ført til at notatet hadde blitt forelagt utvidet kontroll.
- Det var trolig ikke mangel på tilgjengelige ressurser for å vurdere stabiliteten av anleggs- området i etterkant av de to første skredene, men ressursene kunne ha vært utnyttet i større grad.
- Bedre informasjonsoverføring om skred 2 kunne ha ført til at en ny vurdering av stabilitet for anleggsområdet hadde blitt utført før videre anleggsarbeid ble gjenopptatt.

Rapportering og oppfølging av uønskede hendelser:

- De to skredene 15. og 20 april ble begge rapportert som RUH-er (Rapport om uønsket hendelse), men det er ulike versjoner av hvordan, og i hvilket omfang, byggherre ble varslet om disse skredene. Dersom kommunikasjonen rundt skredhendelsene 15. og 20. april hadde vært bedre, kunne byggherre ha hatt mulighet til tettere oppfølging av risikostyringen.
- Rapportering, varsling og oppfølging av uønskede hendelser har vært mangelfull, noe som gjenspeiler svakheter i systemet for rapportering og varsling.
- Det er flere eksempler på at involverte unnlater å rapportere uønskede hendelser fordi de frykter konsekvensene, noe som viser svakheter ved rapporteringskulturen.

Kommunikasjon og samhandling:

- Det er mange eksempler på et godt samarbeidsklima mellom byggherre og entreprenør på operativt og fag-til-fag nivå.
- Noen utfordringer med kommunikasjon og samhandling kan tilskrives språk og kultur.
- Byggherre og totalentreprenør har ulik oppfattelse av ansvar, noe som er krevende for kommunikasjon og samhandling. Begge parter peker på en «kontraktuell tilnærming» for å løse ad hoc problemer, dvs. at det tas bilder og sendes brev/e-post i stedet for å avklare forhold direkte på telefon eller i en prat på anleggsplassen.
- Generelt sett er det svakheter i kommunikasjon og samhandling mellom byggherre og entreprenør, og dette kan ha medvirket til skredet 4. mai 2022.

Byggherrens styring, oppfølging og kontroll:

- Noen prosjekter krever tettere oppfølging fra byggherre enn andre prosjekter. Sett i lys av at prosjektet har hatt relativt store anleggsmessige og organisatoriske utfordringer, mener SINTEF at byggherreorganisasjonen burde ha vært bedre tilpasset utfordringene i prosjektet.
- SINTEF sin vurdering er at en mer aktiv oppfølging og kontroll av prosjektering og utførelse fra byggherren ville redusert sannsynligheten for skredet 4. mai 2022.

5.3 Kollisjon mellom KNM Helge Ingstad og tankskipet Sola TS 8. november 2018

Staten v/Forsvarsdepartementet ble ilagt foretaksstraff på ti millioner for overtredelse av straffeloven § 356, jf. § 355, jf. § 27: «for ved uaktsomhet å ha forårsaket sjøskade eller lignende ulykke, som lett kunne medføre tap av menneskeliv.» Begrunnelsen er at Forsvaret kunne ha avverget ulykken gjennom klarere retningslinjer og prosedyrer for omstendighetene som foregikk på bro i forkant av kollisjonen (Salas-Gulliksen 2022, avsnitt 6 og 7).

Vaktsjefen på KNM Helge Ingstad er den eneste enkeltpersonen som har blitt tiltalt etter kollisjonen (Gausen, Langved og Myhre 2023). Han ble dømt til 60 dagers betinget fengsel, men er fortsatt i tjeneste i Sjøforsvaret. Vaktsjefen ble tiltalt for brudd på straffelovens § 356 «for ved uaktsomhet å ha forårsaket sjøskade, som lett kunne medføre tap av menneskeliv», i tillegg til brudd på militær straffelovs § 78 «for som befalingsmann å ha gjort seg skyldig i forsømmelighet eller skjødesløshet ved utførelse av sine tjenesteplikter, og det er voldt betydelig skade».

Statens havarikommisjon for Transport (SHT) og Statens havarikommisjon for Forsvaret (SHF) utarbeidet en granskningsrapport, Statens havarikommisjon (2019), for ulykken som gir følgende oppsummering av hendelsen og årsakene som er konkludert.

Kl. 04:01:15 natt til 8. november 2018 kolliderte KNM Helge Ingstad og tankskipet Sola TS utenfor Stureterminalen i Heltefjorden, Øygarden kommune i Hordaland, se Figur 18. KNM Helge Ingstad var en av Norges fem fregatter og var på vei fra en NATO-øvelse da kollisjonen fant sted. Fregatten hadde et mannskap på 137 personer, sammensatt av både vernepliktige og fast ansatte. Broen var bemannet av syv personer, hvor to av de var under opplæring. Tankskipet Sola TS var driftet av det greske rederiet Tsakos Columbia Shipmanagement (TCM) S.A. Totalt var det 24 personer om bord, derav fire bemannet broen (inkludert los).



Figur 18: Kollisjonen mellom KNM Helge Ingstad og Sola TS som grafisk fremstilt viser treffpunktet, tatt fra Statens havarikommisjon (2019).

KNM Helge Ingstad seilte innaskjærs i Hjeltefjorden med en planlagt destinasjon for Dundee i Skottland fredag 9. november. Fregatten hadde en fart på ca. 17-18 knop og hadde meldt seg til Fedje sjøtrafikksentral (Vessel Traffic Service (VTS)). Fedje sjøtrafikksentral hadde derimot ikke fulgt med på fregattens seilas. Automatic Identification System (AIS) var i passiv modus, som vil si at den kun mottok informasjon og derfor ikke sendte uten egen AIS-informasjon. Fregatten hadde også lanterne tent (to topplanter, akter- og sidelanterner). Samtidig hadde tankskipet Sola lastet råolje ved Stureterminalen og meldt avgang fra terminalen til Fedje sjøtrafikksentral. Tankskipets navigasjonslanterner var tent og i tillegg var deler av dekkbelysningen tent for å gi arbeidslys til besetningen som gjorde sjøklart på dekk.

I forkant av kollisjonen hadde brobesetningen og losen på tankskipet observert at KNM Helge Ingstad var på kollisjonskurs, men forsøket på å varsle KNM Helge Ingstad nyttet ikke. Brobesetningen på KNM Helge Ingstad oppfattet ikke at de var på kollisjonskurs før det var for sent. KNM Helge Ingstad traff tankskipets styrbord anker og fregatten fikk en stor skade langs styrbord skuteside, se Figur 19. Etter kollisjonen begynte KNM Helge Ingstad å ta inn vann i maskinrommet og på broen, og mannskapet ble evakuert til andre skip som var til stede i området. Fregatten ble så skadet at den senere ble erklært som et totalt tap og senket i en kontrollert aksjon for å hindre forurensning. Totalt ble syv personer på KNM Helge Ingstad lettere skadet, mens tankskipet kun fikk mindre skader og ingen personer ombord ble skadet.



Figur 19: Skaden til KNM Helge Ingstad langs styrbord skuteside etter kollisjonen, tatt fra Statens havarikommisjon (2019)

5.3.1 Årsaker

Havarikommisjonens undersøkelse har vist at en rekke operative, tekniske, organisatoriske og systemiske faktorer medvirket til at situasjonen i Hjeltefjorden kunne oppstå:

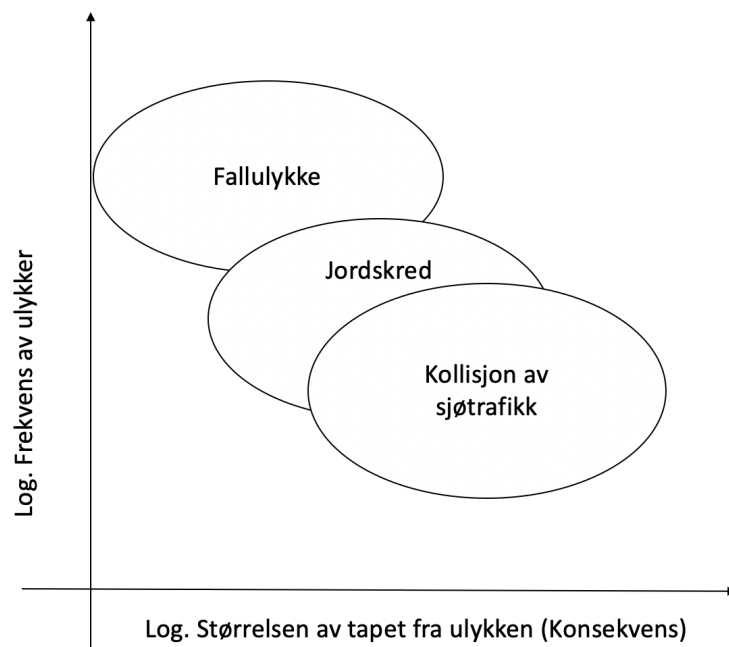
- Klareringsprosessen, karriereløpet for marineoffiserer og Sjøforsvarets mangel på kvalifiserte navigatører til å bemanne fregattene, hadde ført til at nye vaksjefer ble klarert raskere, hadde et lavere erfaringsnivå og fikk mindre fartstid som vaksjef enn tidligere. Dette hadde også ført til at vaksjefer med begrenset erfaring ble gitt opplæringsansvar. Flere aspekter ved brotjenesten var heller ikke tilstrekkelig beskrevet og standardisert. Ulykkesnatten viste dette seg blant annet ved at brobesetningen på KNM Helge Ingstad ikke klarte å utnytte sine menneskelige og tekniske ressurser slik at de oppdaget i tide at det de oppfattet som et stasjonært «objekt» med kraftige lys egentlig var et fartøy på kollisjonskurs. Organisering, ledelse og samarbeid på bro var ikke hensiktsmessig i tiden frem mot kollisjonen. Opplæringsaktiviteten som foregikk på bro i to av vaktfunksjonene i kombinasjon med en vaksjef med begrenset erfaring, medførte redusert kapasitet til ivaretagelse av det helhetlige trafikkbildet. Basert på en låst situasjonsforståelse om at "objektet" var stasjonært og at seilassen var under kontroll, ble radar og AIS i liten grad benyttet for å overvåke farvannet.
- Da Sola TS seilte nordover med den fremovervendte dekksbelysningen påslått var det vanskelig for brobesetningen på fregatten å se tankskipets navigasjonslanterner og signalisering fra Aldis-lampen, og derigjennom identifisere "objektet" som et fartøy. Rederiet Tsakos Columbia Shipmanagement S.A. hadde ikke etablert kompenserende sikkerhetstiltak med tanke på at dekksbelysning kan redusere synligheten av lanterner. Videre sikret ikke radarplotting og kommunikasjon på bro i tilstrekkelig grad effekten av et team som aktivt bygger opp en felles situasjonsforståelse. Dette kunne gitt et økt tidsvindu til identifisering og varsling av fregatten.
- Kystverket hadde ikke etablert menneskelige, tekniske og organisatoriske barrierer for

å sikre tilstrekkelig trafikkovervåking. Overvåkingssystemets funksjonalitet med hensyn til automatiske plotte-, varslings- og alarmfunksjoner, var ikke tilstrekkelig tilpasset utøvelsen av sjøtrafikksentraltjenesten. Manglende overvåking førte til at trafikklederen ikke hadde tilstrekkelig situasjonsforståelse og oversikt over sitt virkeområde. Fedje sjøtrafikksentral ga dermed ikke relevant og rettidig informasjon til de involverte fartøyene, og de foretok ikke trafikkregulering for å sikre tankskipets avgang fra Stureterminalen.

- Under seilasen sørover seilte KNM Helge Ingstad med AIS i passiv modus. Dette medførte at fregatten ikke umiddelbart lot seg identifisere på Fedje sjøtrafikksentral eller Sola TS sine skjermer. De involverte aktørene utnyttet heller ikke tilgjengelige tekniske hjelpemidler i tilstrekkelig grad. Det var en utfordring for sjøsikkerheten at Sjøforsvaret kunne operere med AIS i passiv modus uten kompenserende sikkerhetstiltak i et trafikksystem der de andre aktørene i stor grad forholdt seg til AIS som primær kilde til informasjon.

5.4 Oppsummering

De valgte ulykkene for analysene i denne masteroppgaven som er omtalt i dette kapittelet kan plasseres i Figur 20 basert på Figur 1 av Rasmussen (1997). Ulykkene kan plasseres på bakgrunn av frekvensen for ulykkestypen og størrelsen på konsekvensene. Som vist i figuren er ikke kollisjonen mellom KNM Helge Ingstad og Sola TS kategorisert som en storskala ulykke, men den er likevel større enn jordskredet.



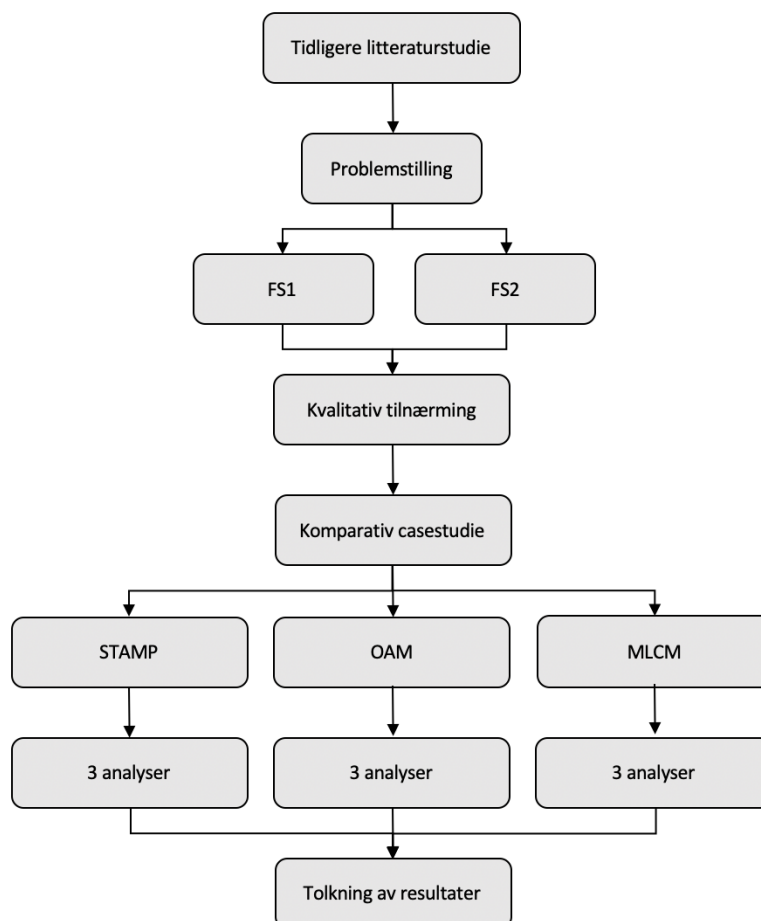
Figur 20: De valgte ulykkene kategorisert på bakgrunn av frekvens og konsekvens, adaptert fra Rasmussen (1997).

6 Metode

Dette kapittelet beskriver forskningsdesignet brukt for å besvare problemstillingen. Valget av ulykker og ulykkesmodeller er begrunnet og fremgangsmåten for analysene av ulykkene med de forskjellige ulykkesmodellene er forklart. Spesifikke avgrensninger og valg relatert til analysene er også nevnt her.

6.1 Valg av forskningsdesign

Å velge et forskningsdesign vil innebære å utarbeide en plan for hvordan problemstillingen og forskningsspørsmålene skal besvares (Johannessen, Christoffersen og Tufte 2004). I planen vil forskeren måtte ta valg som får konsekvenser for undersøkelsens gyldighet og troverdighet (Jacobsen 2015). Figur 21 viser en oversikt over forskningsdesignets undersøkelsesprosess. Oppgavens problemstilling er utarbeidet med det tidligere litteraturstudiet som bakgrunn. Fordypningsprosjektet, Rønne (2023), gikk ut på å gjøre et litteratursøk av relevante ulykkesmodeller, kategorisere disse og identifisere styrker og svakheter.



Figur 21: Forskningsdesign

På bakgrunn av problemstillingen omtalt i delkapittel 1.1 vil forskningsdesignet for denne masteroppgaven være en komparativ casestudie. I en komparativ casestudie vil to eller flere enheter bli systematisk sammenlignet (Pickvance 2001). Enhetene vil da bli studert hver for seg, men på samme måte. I dette tilfellet vil tre forskjellige ulykker bli analysert med hver av de tre ulike ulykkesmodellene. Totalt blir dette ni analyser. For denne oppgaven er det derfor valgt en kvalitativ tilnærming. Jacobsen (2015) omtaler en kvalitativ tilnærming som en intensiv studie, hvor få enheter utforskes i form av ord.

6.1.1 Valg av ulykker

De valgte ulykkeshendelsene for denne oppgaven er oppsummert i Kapittel 5. Det er valgt en «enkel» fallulykke, jordskredet ved Stavsjøfjelltunnelen øst 4. Mai 2022 (E6 Ranheim - Værnes) og kollisjonen mellom KNM Helge Ingstad og tankskipet Sola TS 8. November 2018.

Pickvance (2001) nevner at i en komparativ studie bør enhetene variere med en eller to variabler. I denne oppgaven vil ulykkene variere i frekvens og konsekvens, se Figur 20.

Følgende faktorer var relevante for valg av ulykker:

- Tilgjengelig informasjon.
- Varierende grad av kompleksitet og skadeomfang.
- I Norge (Norsk lovverk og standarder).
- Ulykke med større grad av organisatoriske årsaker.

Fallulykken er valgt på bakgrunn av statistikken fra Mostue et al. (2022), at fallulykker er den mest representerte ulykkestypen. Jordskredet og KNM Helge Ingstad kollisjonen var mye omtalt i medier, som også påvirket valget.

Ved analyse av ulykker vil det for denne oppgaven være umulig å samle inn primærdata. Derfor blir det brukt sekundærdata i form av granskningsrapporter. Sekundærdata er data som forskeren ikke selv har samlet inn (Jacobsen 2015). Forskeren baserer seg dermed på informasjon samlet inn av andre. Data fra kilder som er produsert av andre har ofte en helt annen hensikt enn det forskeren har (Jacobsen 2015). Det kan derfor oppstå et misforhold mellom forskerens motiv og motivet til forfatteren. I dette tilfellet er de sekundære kildene, altså rapportene etter granskningene, produsert på bakgrunn av å identifisere årsakene til ulykkeshendelsene. Hensikten i denne oppgaven er derimot å analysere ulykkene med forskjellige ulykkesmodeller enn hva som er brukt, og vise de forskjellige resultatene fra de ulike modellene.

6.1.2 Valg av ulykkesmodeller

De valgte ulykkesmodellene for denne oppgaven er oppsummert i Kapittel 4. Modellene er MLCM av Chua og Goh (2004), OAM av Reason (1997) og STAMP av Leveson (2004).

Følgende faktorer var relevante for valg av ulykkesmodeller:

- Tilgjengelig informasjon.
- Brukerveiledning.
- Varierende grad av systemteori.
- Ulike kategorier.

Ved litteratursøket i fordypningsprosjektet, Rønne (2023), ble det kategorisert 21 ulykkesmodeller- og metoder. Figur 22 viser inndelingen av modellene fordelt på de tre kategoriene: sekvensmodeller, epidemiologiske modeller og systemmodeller. Figur A.1 i Vedlegg A viser styrker og svakheter identifisert for disse modellene.

Kategorisering		
Sekvensmodeller	Epidemiologiske modeller	Systemmodeller
Dominoteorien	Sveitserostmodellen	Accimap
ILCI	Tripot beta	STAMP
MORT	HFACS	FRAM
SMORT	OARU	
	Energimodellen	
	Haddon's ti strategier	
	ATSB	
	Fiskebeinsdiagrammet	
	ConAC	
	Work behavior model	
	ARCTM	
	Constraint-response modellen	
	MLCM	
	Accident causation model	

Figur 22: Kategorisering av ulykkesmodellene.

Det ble også tatt hensyn til eksisterende studier og analyser ved valg av ulykkesmodeller. Som eksempel har Salmon, Cornelissen og Trotter (2012) sammenlignet STAMP, Accimap og HFACS. Underwood og Waterson (2012) har sammenlignet STAMP, FRAM og Accimap. Og Underwood og Waterson (2014) har sammenlignet STAMP, Accimap og sveitserostmodellen.

To av de valgte ulykkene var innen BA-næringen. Det var derfor av interesse å bruke en ulykkesmodell som var spesifikt utviklet for BA-næringens dynamiske natur. ConAC-modellen, Construction Accident Causation, av Haslam et al. (2005) og Hide et al. (2003) ble vurdert, men er brukt av Winge, Albrechtsen og Mostue (2019) og Mostue et al. (2022). En mindre brukt ulykkesmodell for BA-næringen ble derfor valgt, MLCM. På grunn av sveitserostmodellens popularitet var det ønskelig med en lignende modell, men som ikke er mye brukt (Salmon, Cornelissen og Trotter 2012). HFACS av Wiegmann og Shappell (2003) og ATSB av ATSB (2007) er ulykkesmodeller utviklet basert på konseptet til sveitserostmodellen, men disse har også blitt mye brukt i studier. Valget falt derfor på OAM.

Videre var det ønskelig med en ulykkesmodell som analyserer det sosiotekniske miljøet i sin helhet. Valget falt derfor på STAMP.

6.1.3 Kvalitetssikring

Kvalitetssikring bør være i fokus ved benyttelse av en kvalitativ metode (Jacobsen 2015). Validitet og reliabilitet vurderes for å kontrollere kvaliteten på funnene gjort i denne oppgaven. Validitet er et begrep som omhandler gyldigheten og relevansen til et prosjekt (Jacobsen 2015). Det er to typer gyldighet: intern og ekstern validitet. Intern validitet vurderer i hvilken grad funnene er gyldig i forhold til problemstillingen. Funnene i denne oppgaven besvarer problemstillingen. Dette gjør at den interne validiteten er vurdert til å være høy. Videre vurderer ekstern validitet om funnene i denne oppgaven er gyldig i forhold til funn i andre studier og prosjekt. Oppgaven bruker en kvalitativ metode med få case, som gjør at resultatet ikke nødvendigvis kan generaliseres. Likevel er det mye studier og analyser i faglitteraturen som konkluderer med de samme funnene som denne oppgaven konkluderer med.

Reliabiliteten vurderer hvor pålitelig et prosjekt er (Jacobsen 2015). Det finnes to typer: intern og ekstern reliabilitet. Intern reliabilitet handler også om andre studier og prosjekter har samme konklusjoner som denne oppgaven. De studiene som er funnet i faglitteraturen har like konklusjoner som i denne oppgaven, derfor er den interne reliabiliteten vurdert til å være høy. Den eksterne reliabiliteten handler om hvorvidt andre kan oppnå de samme resultatene ved en ny gjennomføring av dette prosjektet. Her vil det være mulig å benytte gjennomgangen i dette kapitlet for å gjøre en lik fremgangsmåte. Likevel vil analysene og tolkningene av disse resultatene være subjektive, og hver enkel forsker vil påvirkes av egne tanker og meninger om ulykkene.

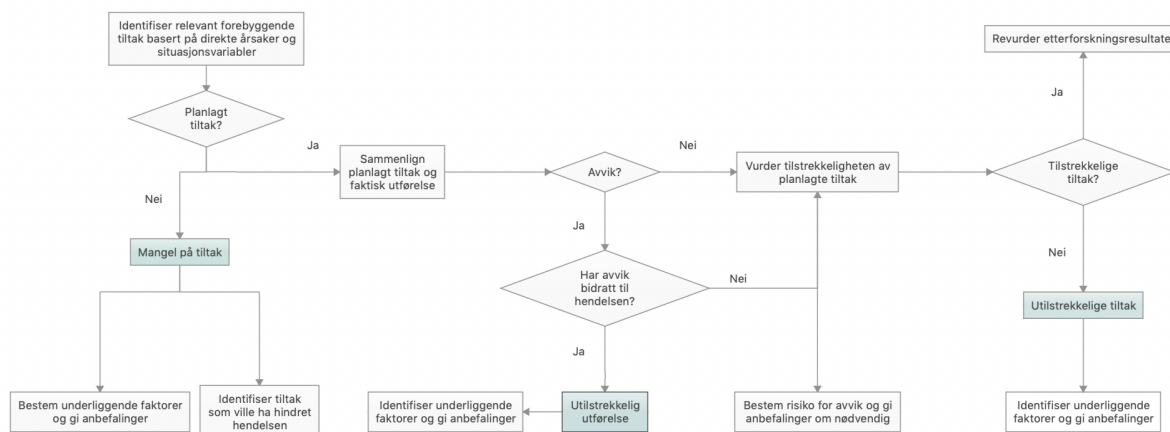
I denne oppgaven kan det være feilkilder til stede. Kvalitativ metode er brukt for hele oppgaven, som har en høy grad av fortolkning og subjektivitet. Forskeren kan selv ha tolket ulykkesmodellene på andre måter enn det som egentlig var meningen. Ved at forskeren jobbet alene kan også ha ført til påvirkninger av analysene ved å videreføre resultatet fra den ene analysen til den andre. Ulykkesanalyser er i seg selv også basert på subjektive tolkninger fra forskeren, så det er mulig at en annen forsker ville ha fått et annet analyseresultat. Tolkningen av analyseresultatene er også subjektiv, men er i stor grad støttet av relevante artikler og studier som er publisert innenfor samme tematikk.

6.2 Fremgangsmåte analyser

De valgte ulykkesmodellene for denne oppgaven har alle en form for brukerveiledning som vil bli presentert i dette delkapittelet. Det vil også bli presentert valg som er gjort av forskeren ved analysene av ulykkene. Ved alle analysene ble informasjonen fra granskningsrapportene sortert i Microsoft Excel, før selve figurene ble tegnet i Microsoft PowerPoint.

6.2.1 MLCM

Etter en hendelse vil en etterforskning som baserer seg på MLCM-tilnærmingen først gå ut på å identifisere situasjonsvariablene, hendelsesrekkefølgen og de direkte årsakene. Chua og Goh (2004) utviklet et flytskjema basert på MLCM som er designet for å veilede ulykkesgranskningen med å identifisere feil i sikkerhetsstyringssystemet og de underliggende faktorene, se Figur 23.



Figur 23: Undersøkellesmetode/flytskjema ved bruk av MLCM, adaptert fra Chua og Goh (2004).

Første trinn i henhold til figuren er å identifisere de relevante sikkerhetstiltakene som kunne forhindre de direkte årsakene. Hvis det ikke eksisterer relevante tiltak er det en feil i sikkerhetsstyringssystemet av typen «mangel på tiltak». Deretter vil etterforskningen fokusere på å identifisere de underliggende faktorene som førte til denne feilen og foreslå passende sikkerhetstiltak for å hindre at hendelsen gjentar seg. Om det allerede eksisterer relevante sikkerhetstiltak, vil gjennomføringen av disse bli evaluert ut i fra de planlagte prosedyrene. Om det ikke er avvik fra de planlagte prosedyrene, vil neste steg være å vurdere om de planlagte prosedyrene er tilstrekkelige. For de tiltakene som er utilstrekkelige vil de underliggende faktorene identifiseres og nye sikkerhetstiltak bør bestemmes. Hvis tiltakene er vurdert til å være tilstrekkelige bør etterforskningen revurderes. Hvis det derimot forekommer avvik mellom planlagt og faktisk utførelse, og dette bidrar til hendelsen, er det feil i sikkerhetsstyringssystemet av typen «utilstrekkelig utførelse». Da vil etterforskningen fokusere på å identifisere de underliggende faktorene og foreslå endringer. Hvis avviket mellom planlagt og faktisk utførelse ikke bidrar til hendelsen er det behov for å vurdere om de planlagte tiltakene er tilstrekkelige og bestemme risikoen dette avviket utgjør med følgende anbefalinger.

Å foreslå relevante anbefalinger til sikkerhetstiltak inngår ikke i denne oppgavens hensikt og omfang og det er derfor ikke fokusert på dette. Etterhendelsesnivået for ulykkeshendelsene er gransket for fallulykken og KNM Helge Ingstad, men er igjen ikke en del av oppgavens hensikt og omfang og vil derfor ikke inkluderes i analysene.

For å gi leseren et innblikk i forskerens tolkninger i analysene, er følgende valg tatt for analysen av fallulykken. Se Figur 41 i delkapittel 7.3.3 for selve analyseresultatet. De to andre ulykkene er mer komplekse, og for å vise påvirkningene i modellene er det derfor gjort et forsøk på å fargekoordinere informasjonen.

Første steg er å identifisere situasjonsvariablene og hendelsessekvensen for ulykken. Tap av kontroll er definert til å være det øyeblikket hendelsessekvensen startet, altså når riggmannen ikke så sjakten som var under sikringslemmen (Chua og Goh 2004). De direkte årsakene til fallulykken er identifisert som følgende:

- Usikre forhold:
 - Sikringslemmen var ikke skrudd fast i underlaget.
 - Ingen markering av sikringslem (men ingen krav om dette).

For MLCM er usikre handlinger definert som menneskelig adferd som ikke oppfyller sikkerhetskravene (Chua og Goh 2004). Riggmannen så ikke utsporingen da han løftet på sikringslemmen. Ut i fra informasjonen i rapporten var ikke dette en bevisst handling, og inkluderes derfor ikke som en direkte årsak for denne analysen.

Neste steg er å identifisere feilene i sikkerhetsstyringssystemet og de underliggende faktorene ved å bruke veiledningen gitt i Figur 23. Ved å bruke Figur 23 vil et eksempel være at den direkte årsaken «manglende markering av lem» gir «mangel på tiltak», nettopp fordi bransjen mangler standarder og/eller prosedyrer for merking av sikringslem. Dette er en organisatorisk faktor som er gjeldende for både entreprenør, byggherre og bransjen totalt sett.

Ved bruk av figuren igjen vil «Usikret lem» gi «utilstrekkelig utførelse» fordi det var avvik mellom planlagt tiltak og faktisk utførelse. Gjeldende prosedyrer er at den siste som legger på plass lemmen skal sikre den til underlaget. Det er usikkert hvem som flyttet på den sist fordi det var mange faggrupper og arbeidere som jobbet i teknisk rom de siste ukene før ulykken. Manglende RUH fra en rørlegger som dagen før trakk mellom stenderne på siden av sikringslemmen, tyder på en dårlig sikkerhet- og rapporteringskultur i bedriftene.

6.2.2 OAM

Enhver analyse med OAM starter med å identifisere farene og tapet for ulykkeshendelsen. Videre, som omtalt i delkapittel 4.2, viser Figur 8 at granskningen består av å identifisere de aktive feilene i ulykken for så å gå nedover i pyramiden (Reason 1997). For å gi leseren et innblikk i forskerens tolkninger i analysene, er følgende valg tatt for analysen av fallulykken. Se Figur 38 i delkapittel 7.2.3 for selve analyseresultatet.

Farekilden og tapet er definert for hver analyse i de respektive delkapitlene. Resten av analysene med OAM er gjort slik at årsaksfaktorene som bidro til ulykkeshendelsen er delt inn i enten aktive feil, lokale arbeidsfaktorer eller organisatoriske faktorer. Det ble konkludert av forskeren at den beste måten å vise dette på var en punktliste i tekstformat.

For alle analysene er det også gjort et forsøk på å sortere informasjonen i kronologisk rekkefølge for å lette forståelsen for leseren. KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen består av mange aktører, så for denne analysen ble informasjonen også delt basert på hvilken aktør det omhandlet.

Et eksempel på en aktiv feil for fallulykken er at riggmannen ikke så utsparingen da han løftet på sikringslemmen. Videre kan dette skyldes at han hadde lite kompetanse og var ny på byggeplassen. En organisatorisk faktor som bidro til denne hendelsen kan derimot være at det verken var en standard for hvordan sikringslemmen skulle se ut, men også at det ikke var en standard for merking av sikringslemmen. Det ble derfor vanskelig for riggmannen å vite at lemmen ikke bare var rot som måtte ryddes vekk.

Et annet eksempel fra fallulykken er manglende RUH fra rørleggeren dagen før hendelsen som da kan plasseres i alle kategoriene. Den kan bli sett på som en aktiv feil ved at rørleggeren bevisst ikke meldte fra om hendelsen. Den kan være en lokal arbeidsfaktor om det for eksempel var travelt og det ikke var tid nok for å melde i fra. Eller det kan være en organisatorisk faktor, som den er plassert for denne analysen, med bakgrunn i svikt i ledelsen, rutiner og sikkerhet- og rapporteringskultur.

Et eksempel på et valg tatt for analysen av KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen er plasseringen av følgende informasjon. Dialogen mellom Kystverket og Sjøforsvaret angående bruk av Warship AIS stoppet opp før retningslinjen for bruk av systemet kom på plass. Hvis fregatten hadde brukt W-AIS ville sjøtrafikksentralens overvåkningssystem vist AIS-informasjonen. Denne faktoren kan både gå som mangelfull kommunikasjon (lokale arbeidsfaktorer) og som en organisatorisk faktor fordi det gjelder prosedyrer og standarder på høyere nivå. Her ble det likevel valgt å føre denne faktoren inn under lokale arbeidsfaktorer.

6.2.3 STAMP CAST

I en ulykkesgranskning vil det å fokusere på og identifisere en enkeltstående rotårsak eller tildele skyld begrense både omfanget og effektiviteten av granskningen. I stedet bør målet med granskningen være å lære av tapshendelsen for å forebygge fremtidige hendelser (Leveson 2019, side 33). En teknikk ved ulykkesanalyse som maksimerer læring fra ulykkeshendelsen bør i følge Leveson (2019) ha følgende mål:

1. Inkluder alle årsaker (optimaliser læringen) og ikke fokuser på et fåtall av rotårsaker eller andre sannsynlige årsaker.
2. Reduser etterpåklokskap.
3. Se på menneskelig atferd fra et systemperspektiv.
4. Gi en skyldfri forklaring på hvorfor tapet skjedde; vurder «hvorfor» og «hvordan» i stedet for «hvem».
5. Benytt en omfattende ulykkesårsaksmodell som belyser hvorfor kontrollene som ble implementert for å forhindre den spesifikke tapstypen ikke var effektive i den aktuelle situasjonen og hvordan sikkerhetskontrollstrukturen kan styrkes for å forhindre lignende tap i fremtiden.

CAST er en strukturert metode for å analysere ulykkesårsaker fra et systemperspektiv (Leveson 2019). CAST er en analysemetode, ikke en etterforskningsteknikk, med den kan utføres som en del av granskningsprosessen for å identifisere de relevante spørsmålene som må besvares og den nødvendige informasjonen som må samles inn. Dette bidrar til å gi en omfattende forklaring på hvorfor ulykken oppstod og gir grunnlag for anbefalinger som kan forebygge fremtidige ulykker. I STAMP defineres en ulykkesårsak som en svikt i sikkerhetskrollstrukturen som ikke klarte å håndheve nødvendige sikkerhetsbegrensninger (Leveson 2019). Derfor er målet med granskningen å identifisere hvorfor sikkerhetskrollstrukturen ikke var i stand til å håndheve disse begrensningene og å foreslå nødvendige endringer i kontrollstrukturen for å forebygge lignende hendelser i fremtiden.

Leveson (2019) har beskrevet de grunnleggende komponentene og trinnene i en CAST-analyse, som er oppført nedenfor. De to første trinnene bidrar med viktig informasjon som er relevant for resten av analysen. De neste trinnene trenger derimot ikke å gjennomføres i en bestemt rekkefølge, da analysen er en kontinuerlig prosess hvor resultater endres og spørsmål besvares. Målet ved slutten av etterforskningen er å kunne besvare alle spørsmålene eller fastslå at noen av de er umulige å svare på. Svarene på disse spørsmålene vil gi en forklaring på «hvorfor» hendelsen oppstod.

Grunnleggende komponenter i en CAST-analyse (Leveson 2019, side 35):

1. Samle inn grunnleggende informasjon for å utføre analysen:
 - (a) Definer systemet som er involvert og grensen for analysen.
 - (b) Beskriv tapet og den farlige tilstanden som førte til det.
 - (c) Ut ifra faren, identifiser sikkerhetsbegrensningene på systemnivå som kreves for å forhindre faren (systemets sikkerhetskrav og begrensninger).
 - (d) Beskriv hva som skjedde (hendelsene) uten konklusjoner eller skyld. Generer spørsmål som må besvares for å forklare hvorfor hendelsene oppstod.
 - (e) Analyser det fysiske tapet med tanke på det fysiske utstyret og kontrollene, kravene på den fysiske utformingen for å forhindre faren, de fysiske kontrollene (nød- og sikkerhetsutstyr) inkludert i designet for å forhindre denne typen ulykker, feil og usikre interaksjoner som fører til faren, manglende eller utilstrekkelige fysiske kontroller som kan ha forhindret ulykken, og eventuelle kontekstuelle faktorer som påvirket hendelsene.

Målet med resten av analysen er å identifisere begrensningene til sikkerhetskrollstrukturen som tillot tapet og hvordan det kan styrkes i fremtiden.

2. Modeller den eksisterende sikkerhetskrollstrukturen for denne typen fare.
3. Undersøk komponentene i kontrollstrukturen for å finne ut hvorfor de ikke var effektive i å forhindre tapet: Start nederst i kontrollstrukturen og vis rollen som hver komponent spilte i ulykken og forklaringen på oppførselen deres (hvorfor de gjorde hva de gjorde og hvorfor de trodde det var det rette å gjøre på den tiden).
4. Identifisere feil i kontrollstrukturen som helhet (generelle systemiske faktorer) som

bidro til tapet. De systemiske faktorene spenner over de enkelte systemkontrollstrukturkomponentene.

5. Lag anbefalinger for endringer i kontrollstrukturen for å forhindre et lignende tap i fremtiden. Hvis det er aktuelt, utform et kontinuerlig forbedringsprogram for denne faren som en del av ditt overordnede risikostyringsprogram.

En CAST analyse starter med å identifisere farekildene som førte til tapet, og de sikkerhetsbegrensningene («safety constraints») som må være tilfredsstillt i både design og operasjon av systemet for å forhindre disse farekildene. Leveson (2016) omtaler farekilder som tilstander av systemet som, når kombinert med de verste miljøforholdene, fører til ulykker eller tap. Tapet kan inkludere hvilke som helst uønskede konsekvenser, slik som: død eller skader på mennesker, skader på fysisk utstyr, produksjonstap eller til og med skade på omdømme. Å identifisere sikkerhetsbegrensningene (steg 1.c og e) som kreves for å forhindre faren ble sett på som unødvendig av forskeren, da dette er gitt i anbefalingene i granskningsrapportene av ulykkene. Det er likevel mer aktuelt å gjøre dette steget i en etterforskning. Steg 1. d) handler om å identifisere hendelsesforløpet for ulykken. Dette er kun gjort for KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen da denne granskningsrapporten inneholdt nok informasjon. Det ble også sett på som nødvendig av forskeren for å kunne presentere kommunikasjonen mellom aktørene i ulykken, som bidrar til å identifisere systemiske faktorer. Granskningsrapporten for jordskredet inneholdt allerede et hendelsesforløp i form av et STEP-diagram. Det var derfor ikke nødvendig for denne ulykken. (Leveson 2019) mener at hendelsesforløpet vil hjelpe etterforskeren med å generere spørsmål som må besvares i løpet av granskningen. Dette var heller ikke nødvendig for ulykkene med jordskredet og KNM Helge Ingstad fordi analysen gjøres på bakgrunn av sekundære kilder.

Etter identifisering av farekilder og barrierer (sikkerhetsbegrensninger), kan den hierarkiske sikkerhetskontrollstrukturen som var på plass under ulykken, modelleres. Målet er å identifisere hvorfor sikkerhetskontrollstrukturen ikke forhindret ulykken. Leveson (2019) mener at dette kan gjøres detaljert eller enkelt, etter behovet til forskeren. En detaljert beskrivelse kan inkludere myndigheter og lovverk blant annet. For analysene i denne oppgaven er det valgt å modellere kontrollstrukturen enkel på grunn av begrensningen av informasjon og ressursene som var til rådighet.

Kontrollstrukturen blir definert ved å beskrive rollene og ansvaret til hver aktør i systemet, samt kontrollene og tilbakemeldingene som er tilgjengelig for dem (Leveson 2019). For å holde kontrollstrukturen enkel ble det valgt å kun oppgi roller og ansvar til systemkomponentene i steg 3.

Prosessen videre i analysen er å undersøke hver av aktørene av sikkerhetskontrollstrukturen på ulykkestidspunktet for å fastslå hvordan de kan ha bidratt til ulykken. Prosessen stopper heller ikke etter en rotårsak er identifisert, men fortsetter til alle medvirkninger er forstått. Målet er ikke å tildele skyld, men å identifisere svakheter i sikkerhetskontrollstrukturen slik at endringer kan hindre fremtidige ulykker i å oppstå (Leveson 2016). Leveson (2019) har ikke et standard oppsett for hvordan dette skal presenteres grafisk, men det er brukt en lik tilnærming som Underwood og Waterson (2014) og Kim, Nazir og Øvergård (2016).

Systemkomponentene består av sikkerhetsrelatert ansvar, usikre beslutninger og kontrollhandlinger, årsaker til usikre beslutninger og kontrollhandlinger («Process model flaws»), og kontekst. De to første vil i følge Leveson (2019) forklare «hva» som skjedde, og de to siste vil forklare «hvorfor» ulykken oppstod. Her er det også kun nødvendig å liste opp punkter som er relevant for ulykkeshendelsen.

Siden det er utenfor oppgavens omfang å komme med anbefalinger under analysene, blir siste steg i CAST-analysene å identifisere feil i sikkerhetskontrollstrukturen som en helhet ved å granske/etterforske de systemiske faktorene som bidro til tapet. Leveson (2019) har ingen eksakt måte å presentere disse funnene på, men for analysene i denne oppgaven er det valgt å kun nevne de systemiske faktorene i korte trekk. De systemiske faktorene som bidro til ulykkene er allerede nevnt i de respektive granskningsrapportene. Systemiske faktorer kan for eksempel være feil i kommunikasjon og koordinering, dårlig sikkerhetskultur i organisasjonen og endringer i systemet og miljøet over tid (Leveson 2019).

Siden ulykkesrapporten for fallulykken inneholder lite informasjon, fører dette til at CAST-analysen hovedsakelig består av spørsmål som må besvares. En detaljert og nyttig CAST-analyse er ikke mulig når ulykkesrapporten inneholder så lite informasjon (Leveson 2019, side 102). For fallulykken blir CAST-analysen da bestående av mange spørsmål som må besvares. Å besvare disse spørsmålene vil trolig generere bedre anbefalinger enn det firmaet allerede har kommet med i rapporten.

7 Resultat

Dette kapittelet vil presentere de ni analysene som er gjort av de tre ulykkene. For ordens skyld er underkapitlene delt opp basert på ulykkesmodellene, nettopp fordi modellene skal sammenlignes opp mot hverandre. Dette får også frem hvordan modellene brukes og viser frem hvordan de forskjellige ulykkene vil variere med tanke på deres kompleksitet. Delkapittelene er delt opp slik at STAMP er den første modellen og MLCM er den siste. Slik vil delkapittelene og analysene gå fra analysen med mest informasjon, til analysen med minst informasjon. Dette vil lette forståelsen for leseren gjennom kapittelet.

7.1 STAMP CAST

7.1.1 STAMP CAST-analyse av KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen

Etter CAST-stegene omtalt i delkapittel 6.2.3 og informasjonen tilgjengelig fra granskningsrapporter er følgende analyse gjennomført for KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen. Steg 1 er besvart her:

- Systemgrensen satt for denne ulykken er sjøtrafikk i Norge.
- Farekilder: skade på skip, tap av båt, miljøskader og personskafer.
- Tapet: KNM Helge Ingstad fikk en stor skade langs styrbord skuteside (og ble senere erklært tapt og hogget opp). Hele mannskapet på 137 personer måtte evakuere fra fregatten, hvor 7 ble lettere skadet. Sola TS fikk mindre skader (ett lite hull). 284 m^3 marin diesel fra fregatten lakk ut i Hjeltefjorden, men effektene på marint miljø var liten. Det har også i ettertid vært skade på omdømme for vaktsjefen ombord fregatten.

Tabell 1 viser hendelsesforløpet for natten 8. november 2018 fra kl. 02:38 da VS på KNM Helge Ingstad meldte til trafikklederen i posisjon nord på Fedje sjøtrafikksentral at de entret tjenesteområdet, til kollisjonen mellom Sola TS og KNM Helge Ingstad oppstod kl. 04:01:15. Hendelsesforløpet inneholder handlinger fra både trafikklederen i posisjon nord, bromannskapet på KNM Helge Ingstad og bromannskapet på Sola TS da dette gir et mer helhetlig bilde av situasjonen og gir leseren den virkelige dialogen som foregikk på ulykkesnatten. Her kan det påpekes at ingen av de involverte brukte markørord (for eksempel «Warning») for varsling av farer slik protokollene tilsier.

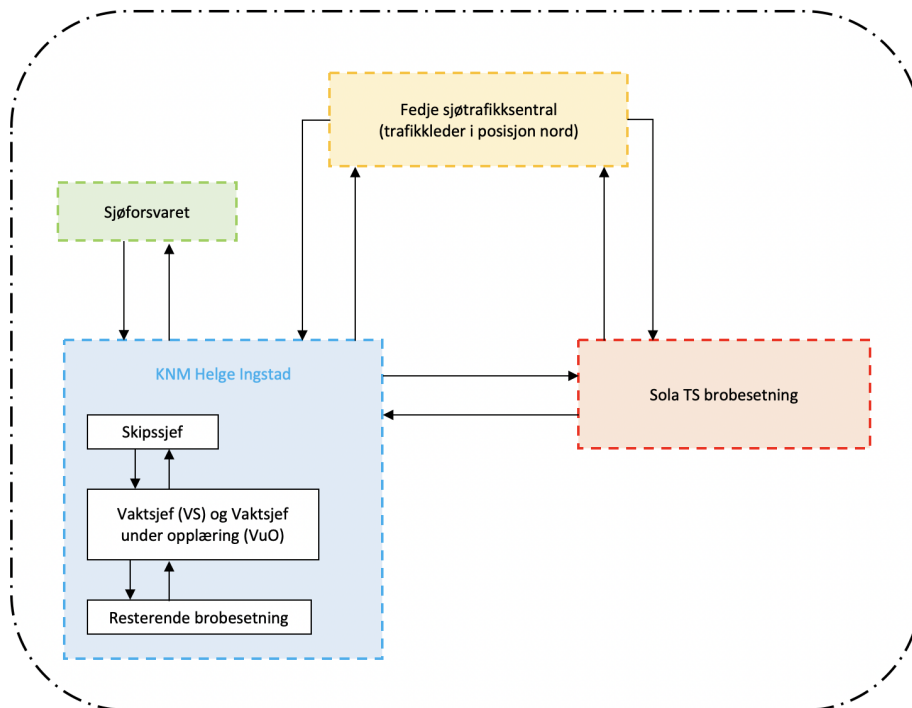
Av relevans for følgende hendelsesforløp er det viktig å vite at før KNM entret Fedje sjøtrafikksentral sitt tjenesteområde i nord var AIS satt på passiv modus (kun mottak, ingen utsendelse av egen AIS-informasjon) og fartøyets lanterner var tent (to topplanterner, akter- og sidelanterner). Trafikksentralen mottok derfor ikke automatisk informasjon om fartøyets identitet og kurs-/fartsvektor på systemet siden AIS var i passiv modus.

Tabell 1: Hendelsesforløpet fra kl. 02:38 til kollisjonen kl. 04:01:15.

Klokkeslett	Hendelse
Kl. 02:38	VS ringte på mobiltelefonen til Fedje sjøtrafikksentral og informerte at de ville entre tjenesteområdet i nord, og videre seilingsrute for KNM Helge Ingstad.
Kl. 02:40	Trafikklederen i posisjon nord på Fedje sjøtrafikksentral kvitterte og loggførte beskjeden i trafikksentralens loggføringssystem. Han så et radarekko på oversiktskjermen som ble antatt å være marinefartøyet.
Kl. 02:50	KNM Helge Ingstad entret Fedje sjøtrafikksentral sitt tjenesteområde i nord. Fregatten ble ikke plottet på radar av trafikklederen.
Like før kl. 03:00	Kapteinen på Sola TS skrudde av dekklysene som vendte akterover og beholdt de forovervendte dekklysene påslått for å gi lys til ryddearbeidet på dekket forut.
Kl. 03:13	Losen på Sola TS kalte opp Fedje sjøtrafikksentral på VHF kanal 80 og informerte at de forberedte avgang fra Stureterminalen. Ingen av radarene eller ECDIS på Sola TS var skalert slik at skjermene dekket områdene med skipstrafikk i nord og sør.
Kl. 03:41-03:48	SBU gikk ned i spisemessa og overtok som BBU når han kom tilbake. BBU overtok som RM.
Kl. 03:45-03:53	Påtroppende VS kom på bro og gjennomførte vaktoverlevering med avtroppende VS. De diskuterte at «objektet» med mye lys kunne være kaia på terminalen, et fiskeoppdrett eller en rigg/plattform. «Objektet» hadde AIS-signal, men ingen fartsvektor, så de antok at det lå i ro. Det ble derfor ikke målfølgt på fartøys radar. VuO seilte fartøyet og tok ikke aktiv del i overleveringen.
Kl. 03:45	Losen på Sola TS meldte avgang fra Stureterminalen til Fedje sjøtrafikksentral på VHF kanal 80. Trafikklederen kvitterte for mottatt melding. Kapteinen på Sola TS skrudde av dekklysene i midtskipsmastene (som vendte forover). Trafikklederen zoomet inn på Stureterminalen på hovedarbeidsskjermen (de tre motgående fartøyene vist på skjermen, men det gjorde ikke KNM Helge Ingstad).
Kl. 03:48	RM overtok roret. RM oppfattet sola som et fartøy, men trodde VS og VSA var klar over dette og at fregatten hadde god klarering.
Kl. 03:49-03:56	Påtroppende VSA kom på bro og gjennomførte vaktoverlevering med avtroppende VSA. Radaren (MFD 2) som VSA opererte hadde siden kl. 02:50 stått på seks nautiske mil skalaen og off-sentrert.
Kl. 03:51-03:59	RM som skulle overta som SBU gikk ned i spisemessa.
Ca kl. 03:53	VS hadde fokus på de tre motgående fartøyene på babord side, men sjekket aldri navnet deres. VS informerte broteamet om de tre motgående fartøyene, og ba de si ifra dersom de så noe mer. BBU trodde «objektet» med flombelysning var en kai (hadde ikke sett noen lanterner med kikkerten, fokus var på de tre nordgående fartøyene på babord side).
Kl. 03:57:25	Losen på Sola TS var klar over ekkoet til et sørgående fartøy og spurte kapteinen om AIS detaljer. Kapteinen svarte at fartøyet ikke sendte ut AIS-informasjonen.
Kl. 03:58:03	Losen på Sola TS kalte opp Fedje sjøtrafikksentral på VHF kanal 80 for å spørre om det motgående fartøyet. Trafikklederen svarte at de ikke hadde opplysninger om fartøyet.
Kl. 03:58:54	Trafikklederen la inn et plott på radaren på ekkoet uten AIS og så at vektoren viste en kollisjonskurs.
Kl. 03:59:47	Trafikklederen husket at KNM Helge Ingstad meldte seg inn i området tidligere (kl. 02:38) og ringte Sola TS på VHF kanal 80.
Kl. 03:59:02	Losen på Sola TS ba kapteinen om å bruke Aldis-lampen for å signalisere til KNM Helge Ingstad. De endret også kurs, 20° styrbord for å vise at de gjorde en vikemanøver. Dette ble ikke observert på KNM Helge Ingstad.
Kl. 03:59:56	Losen på Sola TS kalte opp KNM Helge Ingstad: «Helge Ingstad, hører du Sola TS?».
Kl. 04:00:02	VS på KNM Helge Ingstad svarte: «Helge Ingstad».
Kl. 04:00:04	Losen på Sola TS svarte: «Er det du som kommer her?».
Kl. 04:00:06	VS på KNM Helge Ingstad svarte: «Ja det stemmer».
Kl. 04:00:08	Losen på Sola TS svarte: «Du må svinge styrbord med en gang».
Kl. 04:00:11	VS på KNM Helge Ingstad svarte: «Nei da går vi for nærmere e...blokkene/båkene».
Kl. 04:00:15	Losen på Sola TS svarte: «Sving styrbord over hvis det er du som kommer her».
Kl. 04:00:27	VS på KNM Helge Ingstad svarte: «Jeg ... et par grader styrbord over så fort vi har passert e..., passert e... plattformen vi har om styrbord».
Kl. 04:00:44	Trafikklederen skjønnte ikke hvorfor KNM Helge Ingstad svarte at de ikke kunne gå styrbord. Han ville heller ikke gripe inn i situasjonen fordi Sola TS og KNM Helge Ingstad var i radiokontakt. Han kalte likevel opp KNM Helge Ingstad på nytt: «Helge Ingstad du må gjøre noe. Du begynner å nærme deg veldig». VS på KNM Helge Ingstad forsto plutselig at det lysende «objektet» var i bevegelse og at de var på direkte kollisjonskurs.
Kl. 04:01:03	Trafikklederen kalte opp KNM Helge Ingstad igjen: «Helge Ingstad, det blir en kollisjon det der».
Kl. 04:01:15	De to fartøyene kolliderte utenfor Stureterminalen i Hjeltefjorden.

Det kan også nevnes at kapteinen på Sola TS beordret «stop engines» kl. 04:00:30, og maskineri full akterover kl. 04:00:50. Dette hadde ingen vesentlig effekt da tiltakene ble utført kort tid før sammenstøtet, da det var ca. 250 meter mellom fartøyene. I tillegg ga VS rorordre kl. 04:00:50 da han skjønnte at fartøyene var på kollisjonskurs, men effekten var at KNM Helge Ingstad endret kurs fra 147,2° til 145,7°. Dette utgjorde ingen betydelig effekt før kollisjonen.

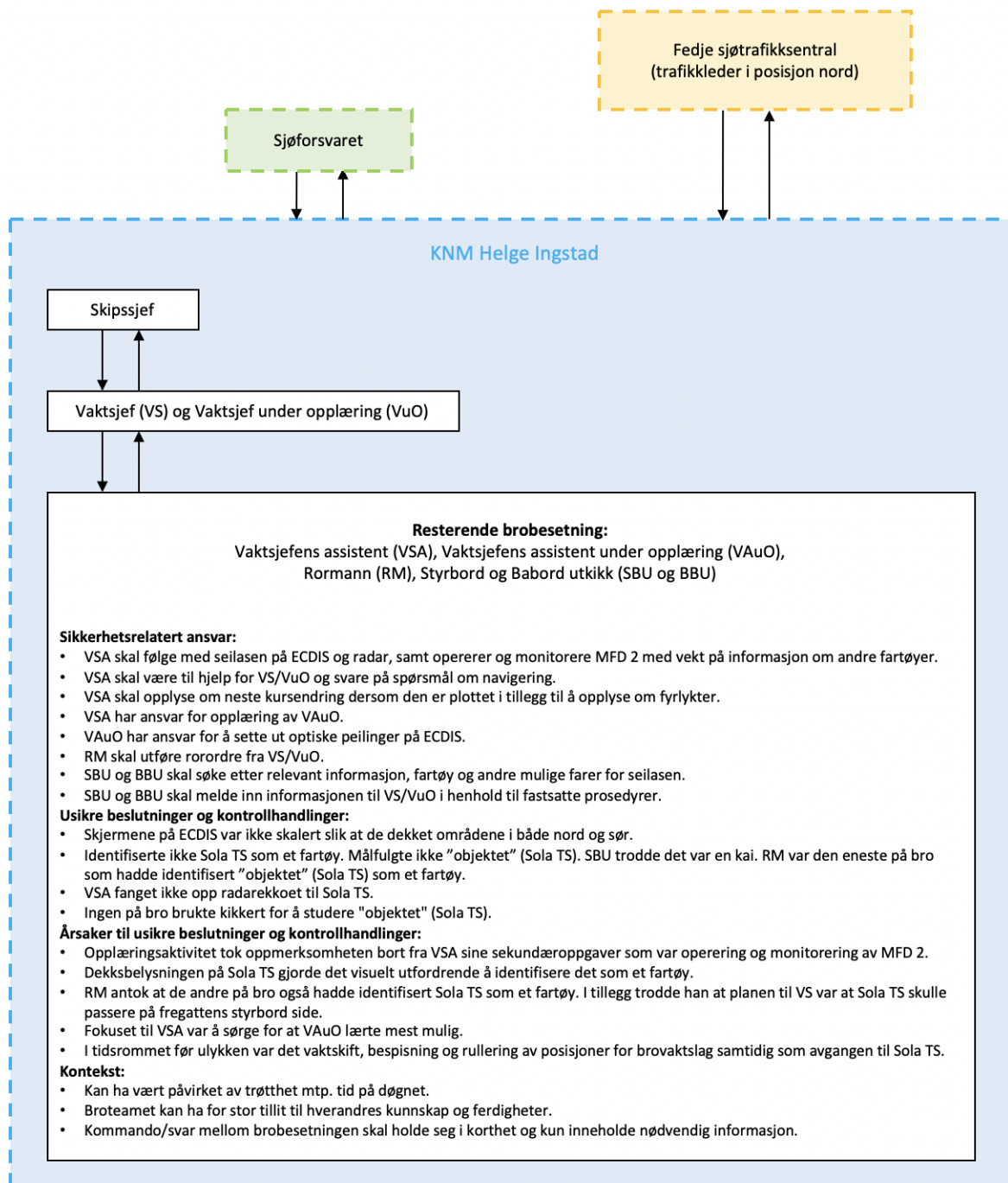
For denne ulykken er sikkerhetskontrollstrukturen basert på Figur 10 og informasjonen gitt i granskningsrapporten av Statens havarikommisjon (2019). Dette er steg 2 som omtalt i delkapittel 6.2.3. Den hierarkiske kontrollstrukturen på ulykkestidspunktet besto av flere organisatoriske funksjoner som hadde et ansvar for å ivareta sikkerheten på sjøen. Deriblant sjøtrafikksentraltjenesten (fokus på trafikkleder i posisjon nord), KNM Helge Ingstad (fokus på avtroppende brobesetning), Sola TS´s brobesetning og Sjøforsvaret, se Figur 24. Pilene i figuren viser kommunikasjonen og tilbakemeldingen mellom systemkomponentene. På grunn av begrenset informasjon fra granskningsrapporten blir brobesetningen til Sola TS sett på som en enhet og brobesetningen til KNM Helge Ingstad er delt inn i tre funksjoner.



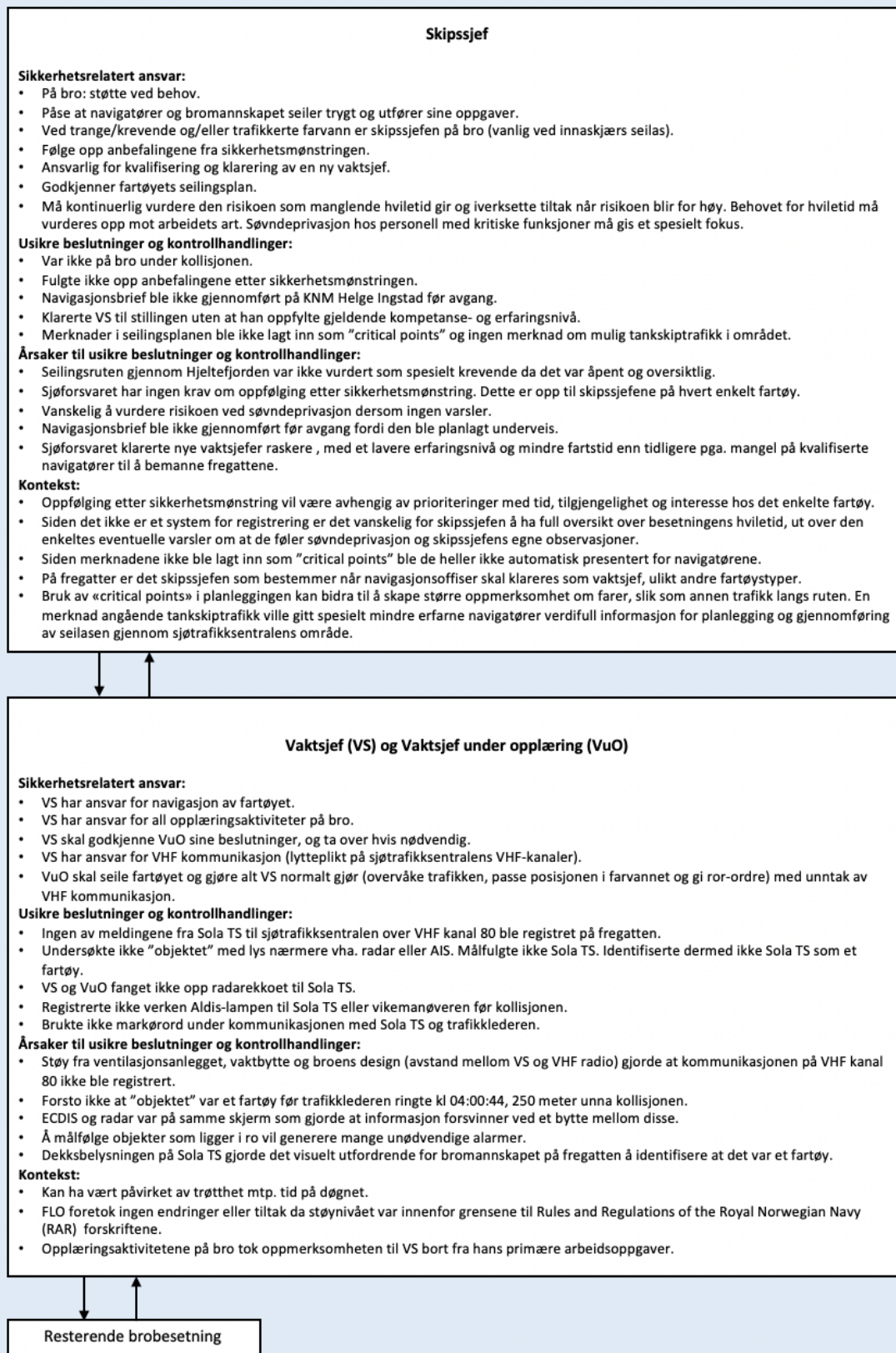
Figur 24: Den hierarkiske sikkerhetskontrollstrukturen som var på ulykkestidspunktet. Kun de mest involverte aktørene som blir omtalt videre i analysen er vist her.

Proessen videre i analysen, steg 3, er å undersøke hver av aktørene av sikkerhetskontrollstrukturen på ulykkestidspunktet for å fastslå hvordan de kan ha bidratt til ulykken. Prosessen stopper heller ikke etter en rotårsak er identifisert, men fortsetter til alle medvirkninger er forstått. Målet er ikke å tildele skyld, men å identifisere svakheter i sikkerhetskontrollstrukturen slik at endringer kan hindre fremtidige ulykker i å oppstå (Leveson 2016).

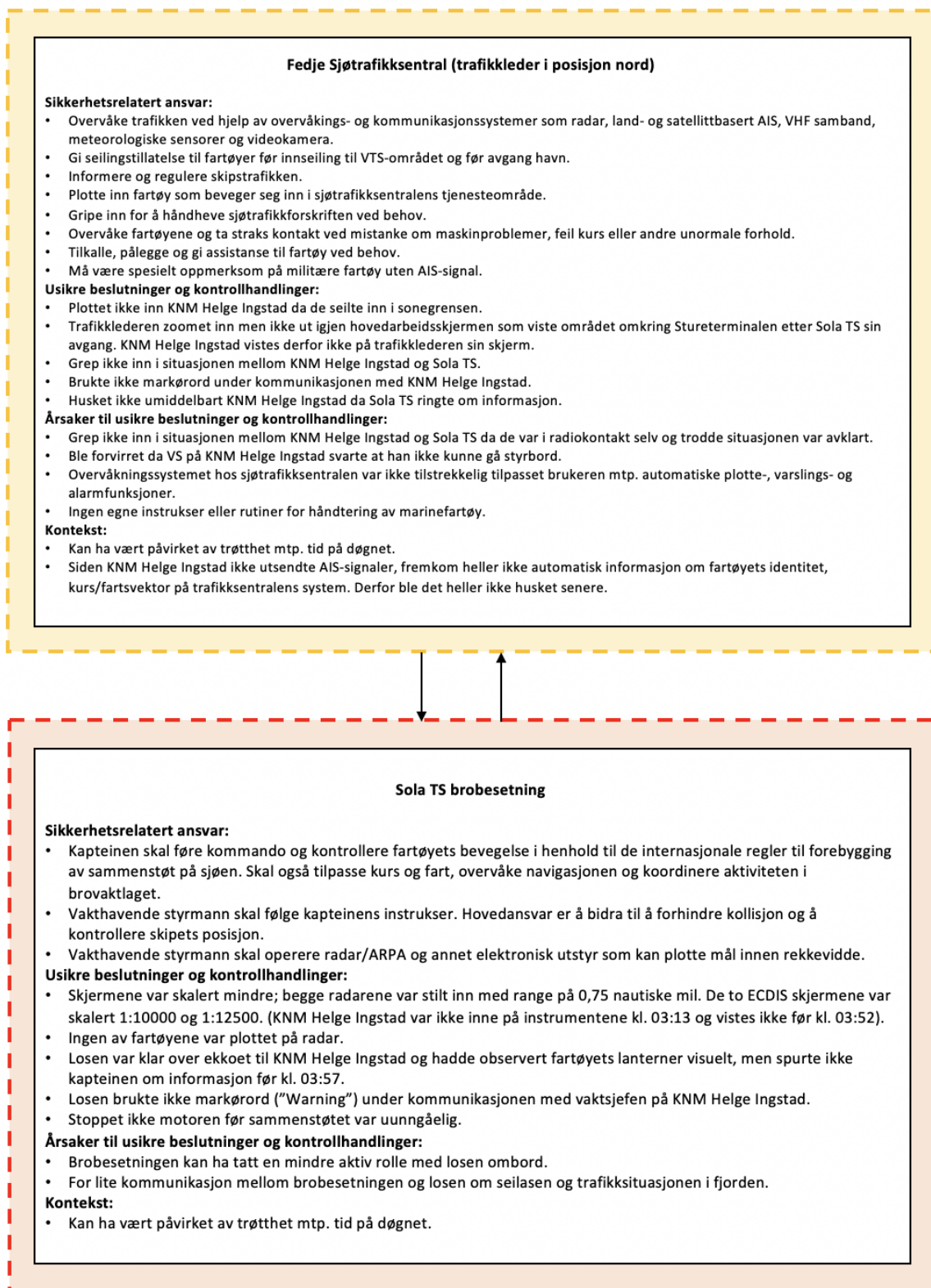
Analysen av systemkomponentene som er antatt å ha hatt størst påvirkning på denne ulykken er vist i Figurene 25, 26, 27 og 28, hvor analysen starter med systemkomponenten på laveste nivå som i dette tilfellet er den resterende brobesetningen på KNM Helge Ingstad.



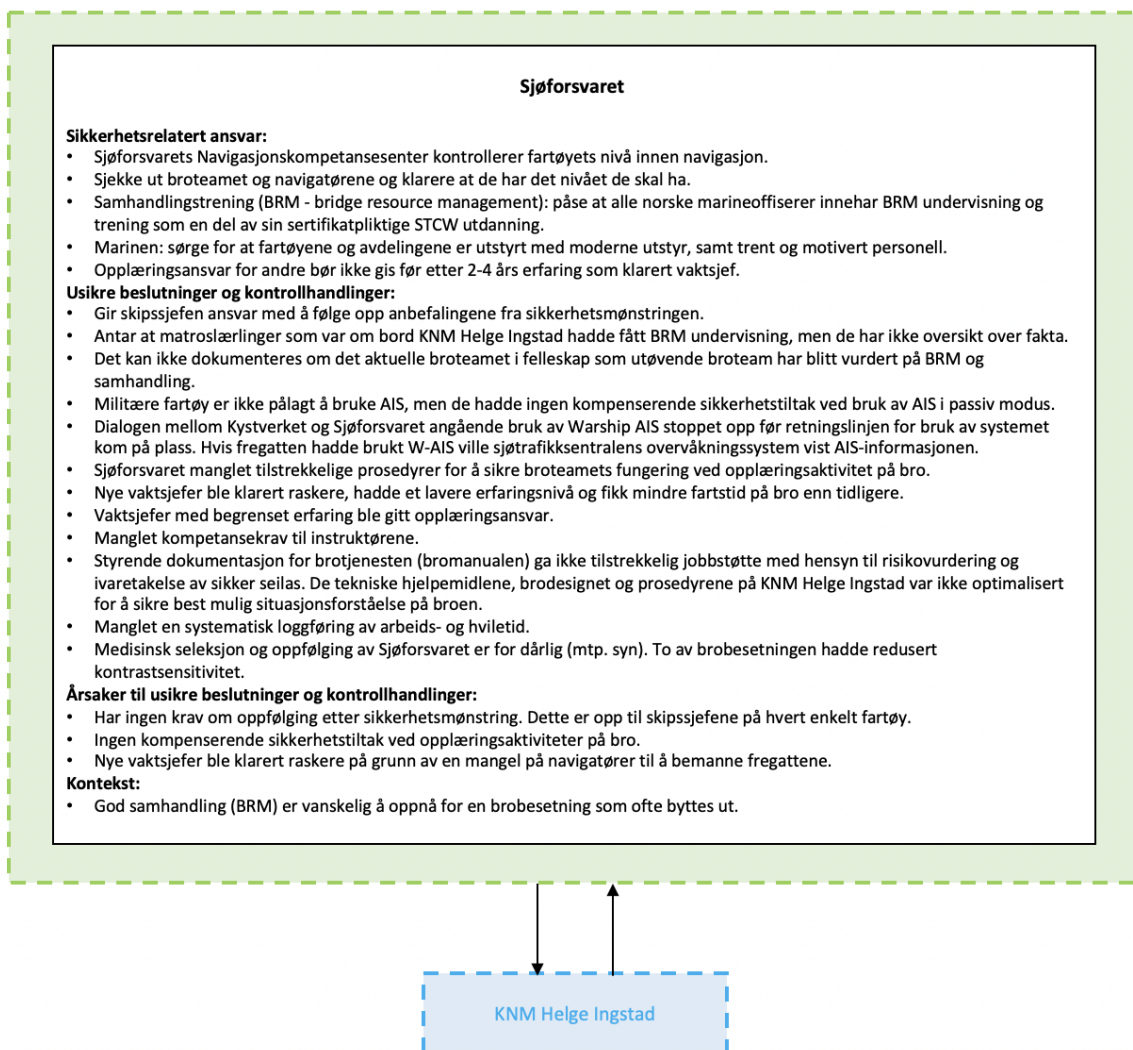
Figur 25: Systemkomponentene på laveste nivå, altså den resterende brobesetningen på KNM Helge Ingstad.



Figur 26: Systemkomponentene som viser skipssjefen, vaktstjefen og vaktstjefen under opplæring på KNM Helge Ingstad.



Figur 27: Systemkomponentene som viser Sola TS sin brobesetning og Fedje sjøtrafikksentral.



Figur 28: Systemkomponenten på høyeste nivå, altså Sjøforsvaret.

Det siste steget i analysen, steg 4, er å identifisere de systemiske faktorene i systemet som en helhet bidro til ulykkeshendelsen. Dette vil blant annet være kommunikasjonsproblemene, spesifikt bruken av markørord, sammensetning av brobesetningen i tillegg til god samhandling. Videre manglet Sjøforsvaret kompetansekrav, klarerte offiserer raskere enn kravet og bromanualen ga ikke tilstrekkelig jobbstøtte.

7.1.2 STAMP CAST-analyse av jordskredet

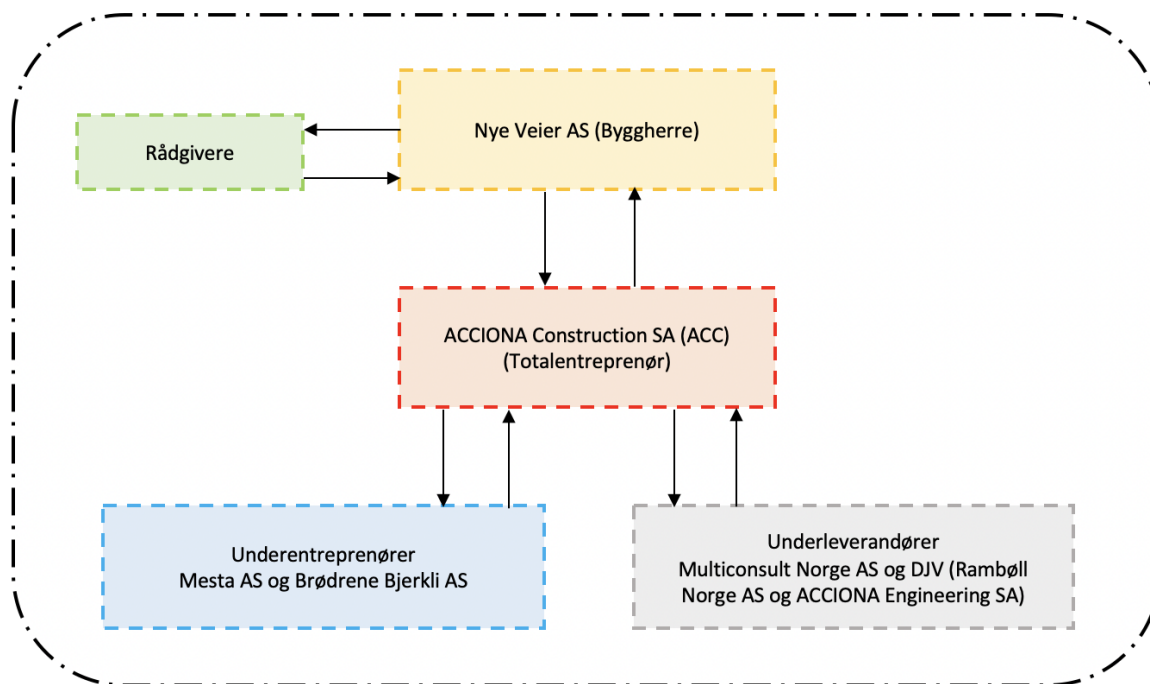
Etter CAST-stegene omtalt i delkapittel 6.2.3 og informasjonen fra granskningsrapporten av Kvitsand et al. (2023) er følgende analyse gjennomført for jordskredet ved Stavsjøfjelltunnelen øst 4. Mai 2022. Steg 1. er besvart her:

- Systemgrensen satt for denne ulykken er veiprojektet E6 Ranheim-Værnes av Nye Veier AS.
- Farekilder: Skredfare, ustabil grunn etter skredene 15. og 20. april 2022.
- Tapet: Jordskred, ca. 6000 m^3 med masse, hvor 10% havnet på E6 veibane. Strøm- og styringskabler i tunnelen ble skadet. Formann fra underentreprenøren ble tatt av skredet i bilen, men skrevet ut fra sykehuset påfølgende dag. Beboere i 96 husstander nord for E6 ble evakuert for noen timer. E6 ble stengt i seks dager.

Nye Veier AS er et statseid aksjeselskap underlagt Samferdselsdepartementet, med ansvar for planlegging, utbygging, drift og vedlikehold av deler av det norske riksveinettet. E6 Ranheim-Værnes er ett av ni delprosjekter. Veiprojektet er en totalentreprise som vil si at byggherren, Nye Veier AS, påtar seg både prosjektering og utførelse. ACCIONA Construction SA (ACC) ble gjennom en anbudsrunde hentet inn som totalentreprenør. Fram til 1. mai 2020 er Multiconsult AS en underleverandør for ACC, men Rambøll Norge AS erstatter de. Så splittes ACC opp til ACCIONA Engineering SA (AE) og ACCIONA Construction SA (AC). Rambøll og AE slår seg så sammen til Design Joint Venture (DJV).

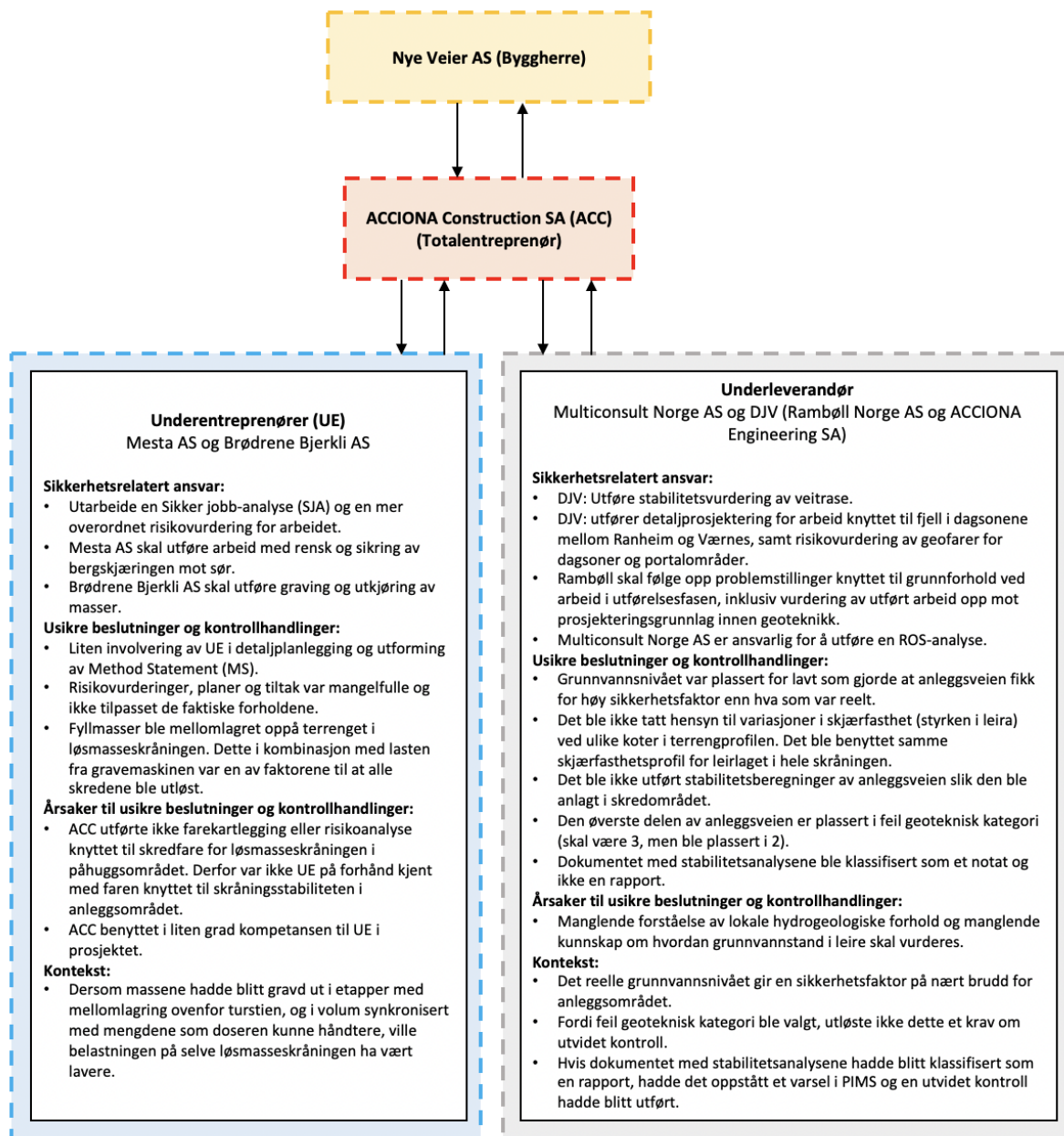
Det er ikke nødvendig å lage et hendelsesforløp for jordskredet fordi granskningsrapporten inneholder allerede dette i form av et STEP-diagram (Sequentially Timed Events Plotting).

AFRY, Dr. Techn. O. Olsen og Sweco Norge AS utgjør rådgiverne på veiprojektet. De var ansvarlig for prosjekteringskontroll og utførelseskontroll, men Kvitsand et al. (2023) har ikke identifisert usikre beslutninger og kontrollhandlinger fra disse aktørene. De er derfor kun med i Figur 29, steg 2., som viser den hierarkiske sikkerhetskontrollstrukturen på ulykkestidspunktet, men er ikke med videre i analysen. Pilene i figuren viser kommunikasjonen og tilbakemeldingen mellom aktørene.

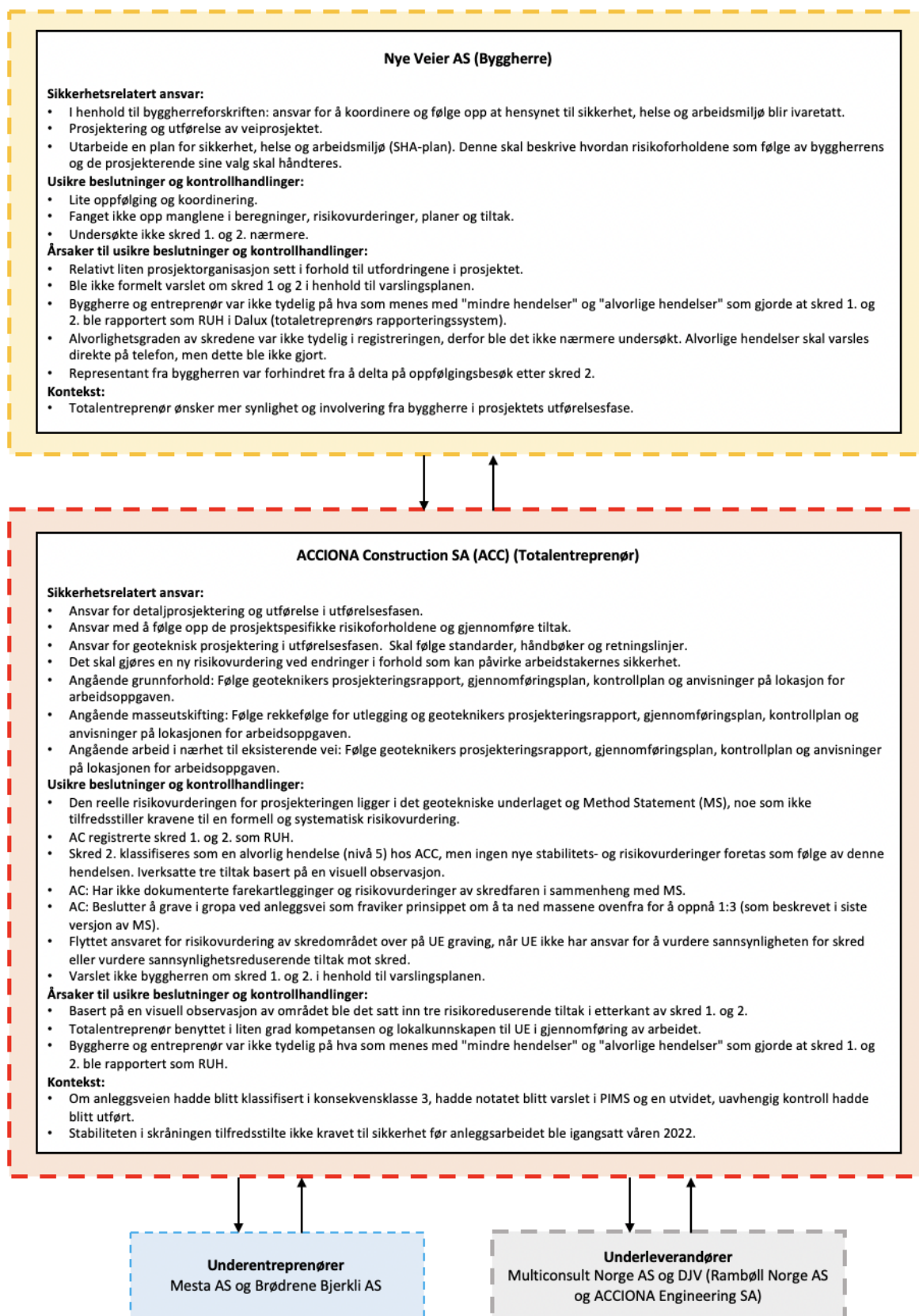


Figur 29: Den hierarkiske sikkerhetskontrollstrukturen som var på ulykkestidspunktet. Rådgiverne blir ikke omtalt videre i analysen.

Analysen av systemkomponentene, steg 3., som er antatt å ha hatt størst påvirkning på denne ulykken er vist i Figurene 30 og 31, hvor analysen starter med systemkomponenten på laveste nivå som i dette tilfellet er underentreprenørene og underleverandørene på vei prosjektet.



Figur 30: Systemkomponentene på laveste nivå, altså underentreprenørene og underleverandørene.



Figur 31: Systemkomponentene på høyeste nivå, altså ACC og Nye Veier AS.

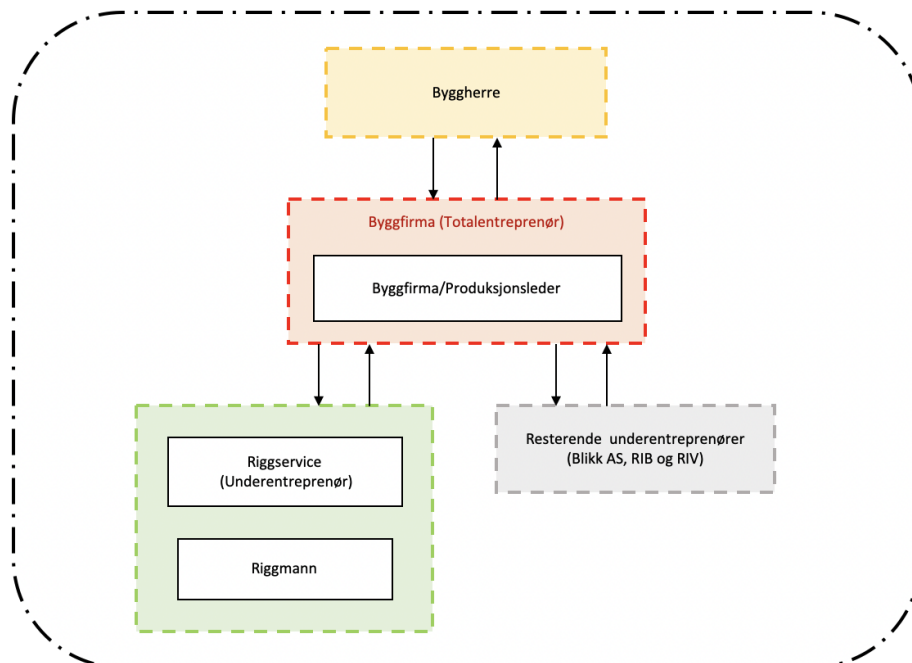
Det siste steget i analysen, steg 4., er å identifisere de systemiske faktorene som en helhet bidro til ulykkeshendelsen. Her er det verdt å nevne kommunikasjonsproblemer, helt fra arbeidsplassen og opp til ledelsen (byggherren). Det har også vært mangelfulle rapporteringer av hendelser som tyder på en dårlig rapportering- og sikkerhetskultur. Risikostyringen har også hatt mangler gjennom hele prosjektet.

7.1.3 STAMP CAST-analyse av fallulykken

Etter CAST-stegene omtalt i delkapittel 6.2.3 er følgende analyse gjennomført for fallulykken. Steg 1. er besvart her:

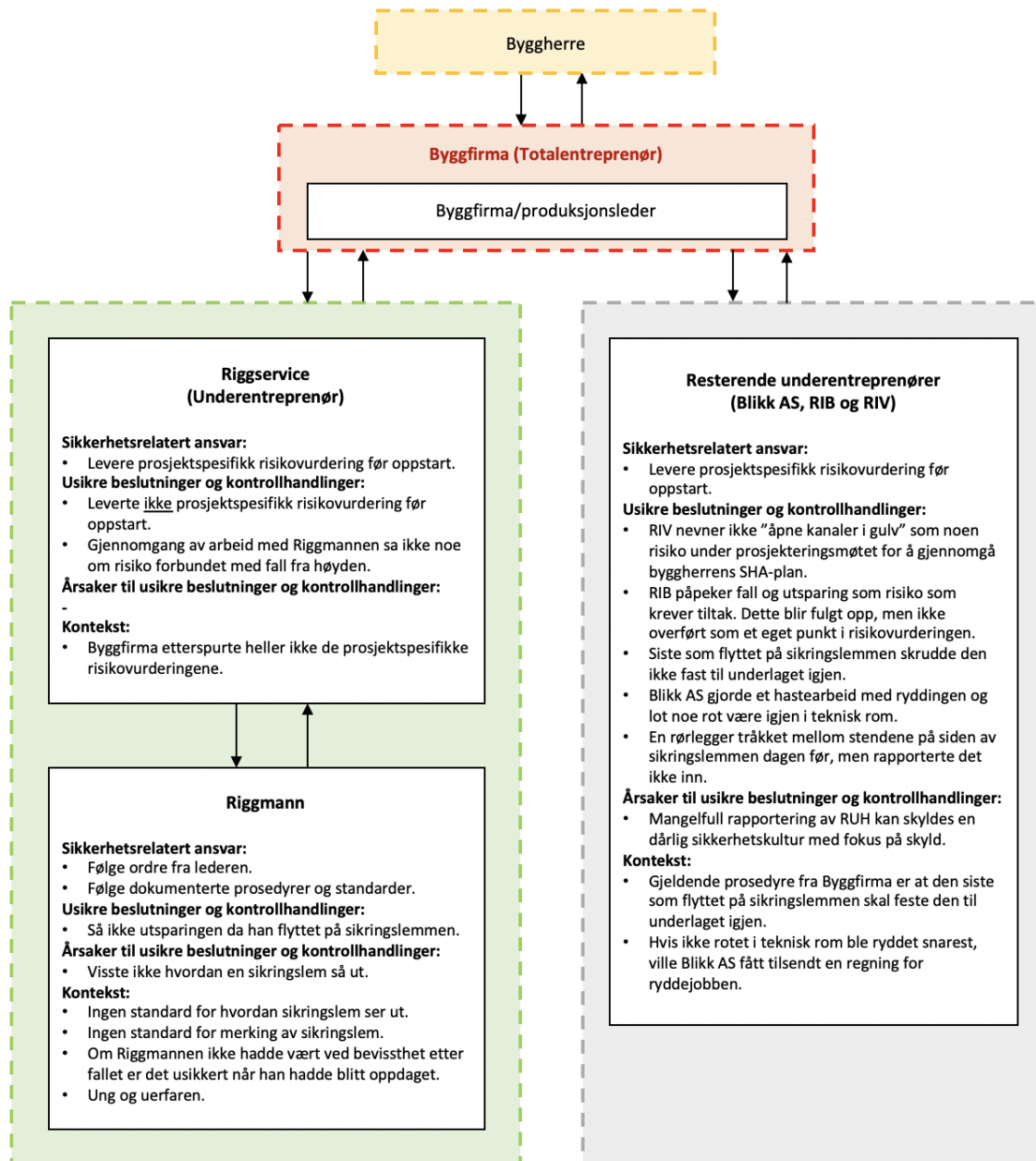
- Systemgrensen satt for denne ulykken er det gjeldende byggeprosjektet.
- Farekilder: Ventilasjonskanal på 10,8 meter fra gulvet i teknisk rom.
- Tapet: Mindre kuttskader på riggmannen og to hull i tak/vegg i ventilasjonskanalen. Riggmannen var sykemeldt i en uke.

For denne ulykken er sikkerhetsk kontrollstrukturen basert på Figur 10 og informasjonen gitt i ulykkesrapporten som er gjengitt i delkapittel 5.1. Den hierarkiske kontrollstrukturen, steg 2., på ulykkestidspunktet besto av byggherren, Byggfirma som er totalentreprenøren, Riggservice som er en underentreprenør og de resterende underentreprenørene, se Figur 32. Av informasjonen som er gitt i ulykkesrapporten inkluderer de resterende underentreprenørene firmaene Blikk AS, RIV og RIB. Pilene i figurene viser kommunikasjonen og tilbakemeldingen mellom aktørene.

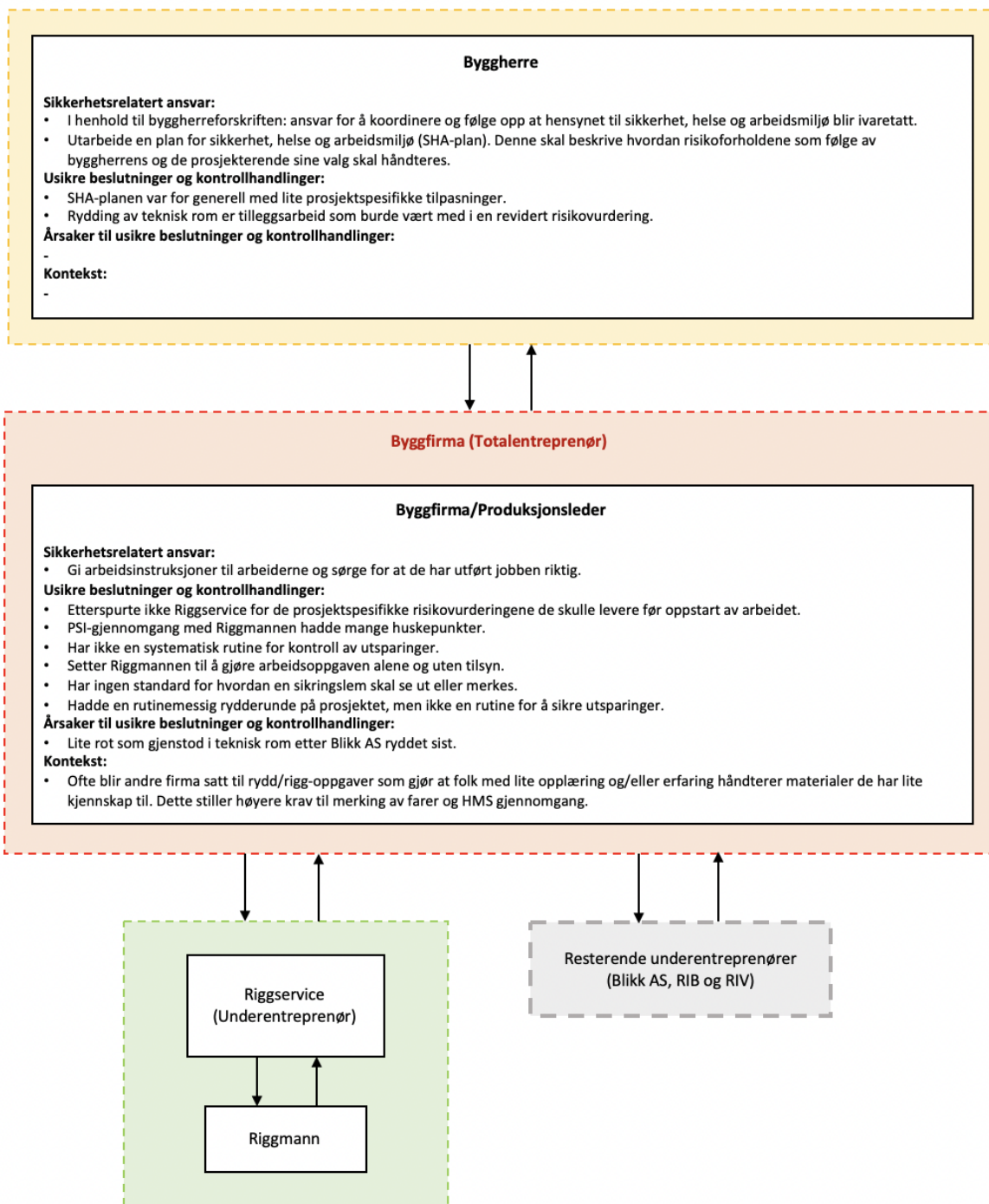


Figur 32: Den hierarkiske sikkerhetsk kontrollstrukturen på ulykkestidspunktet for fallulykken.

Analysen av systemkomponentene, steg 3., som er antatt å ha hatt størst påvirkning på denne ulykken er vist i Figurene 33 og 34. Analysen starter med systemkomponenten på laveste nivå som i dette tilfellet er Riggservice (både firmaet og riggmannen) og de resterende underentreprenørene.



Figur 33: Systemkomponentene på laveste nivå.



Figur 34: Systemkomponentene på høyeste nivå.

Det er ikke nok informasjon i ulykkesrapporten til å identifisere de systemiske faktorene, steg 4., som bidro til fallulykken av riggmannen. Det er altså mange spørsmål som må besvares for å fullføre CAST-analysen og forstå årsaken til denne ulykken. Dette inkluderer:

- Hvorfor var SHA-planen til Byggherren for generell og manglet tilpasninger til dette prosjektet?

- Hvorfor leverte ikke Riggservice prosjektspesifikk risikovurdering før oppstart?
- Hvorfor ble ikke risikovurdering fra Riggservice etterspurt av Byggfirma?
- Hvorfor inneholder ikke RIV sin risikovurdering sikring av utsparinger i gulv?
- Hvorfor ble ikke risiko ved fall og utsparing videreført i risikovurderingen til RIB?
- Hvorfor nevnte ikke Riggservice fall fra høyder under gjennomgangen?
- Hvorfor ryddet ikke Blikk AS alt rotet i teknisk rom?
- Hvorfor ble ikke risikovurderingen fra Byggherren revidert mtp. rydding av teknisk rom?
- Hvorfor ble Riggmannen som var ung og uerfaren satt til gjøre en arbeidsoppgave alene og uten tilsyn? Hadde han ikke vært ved bevissthet etter fallet er det usikkert når han hadde blitt oppdaget.
- Hvorfor var ikke lemmen sikret av den siste som brukte den?
- Hvorfor er det ikke en standard for merking av sikringslem?
- Hvorfor er det ikke en standard for hvordan en sikringslem ser ut?
- Fall fra utsparinger har skjedd tidligere. Hvorfor hadde ikke Byggfirma en runde med fokus på sikring av utsparinger?
- Hvorfor rapporterte ikke rørleggeren inn hendelsen som skjedde dagen før ulykken? Er det en dårlig sikkerhetskultur i firmaet med fokus på skyld?
- Hvorfor stilles det ikke høyere krav til merking av farer og HMS-gjennomgang når det er mange faggrupper involvert på prosjektet hvor også unge og uerfarne personer skal håndtere materialer de ikke har kjennskap til?
- Hvorfor ble skylden plassert på den lavest rangerte arbeideren, i dette tilfellet Riggmannen, og ikke hans overordnede?

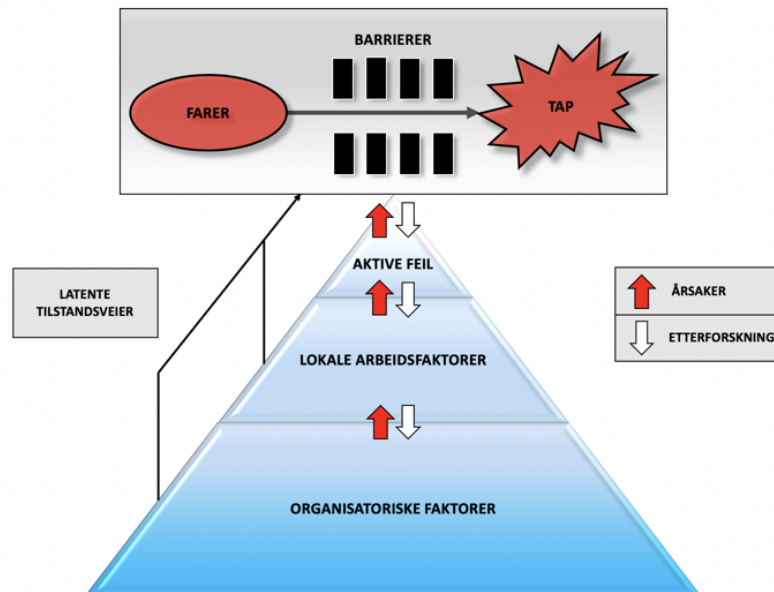
7.2 OAM

7.2.1 OAM-analyse av KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen

Starter analysen av KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen ved bruk av OAM med å identifisere faren og tapet:

- Faren: Kollisjon
- Tapet: KNM Helge Ingstad fikk en stor skade langs styrbord skuteside (og ble senere erklært tapt og hogget opp). Hele mannskapet på 137 personer måtte evakuere fra fregatten, hvor 7 ble lettere skadet. Sola TS fikk mindre skader (ett lite hull). 284 m³ marin diesel fra fregatten lakk ut i Hjeltefjorden, men effektene på marint miljø var liten.

De barrierene som feilet i form av aktive feil, lokale arbeidsfaktorer og organisatoriske faktorer er oppgitt i Figurene 35 og 36. Som vist i figurene ble det for mye informasjon og analysen ble derfor splittet.



Aktive feil:

- Alle de involverte kan ha vært påvirket av trøtthet mtp. tid på døgnet.
- Ingen bruk av markørord. "Warning" ble ikke brukt av noen. (Kystverket hadde et tiltak implementert for trafikklederne).

KNM Helge Ingstad:

- To av brobesetningen hadde redusert kontrastsensitivitet på synet som kan ha medvirket til at Sola TS ikke ble identifisert som et fartøy.
- Verken VS eller VSA valgte å målfølge "objektet" (Sola TS).
- Ingen på bro brukte kikkert for å studere "objektet" (Sola TS).
- Ingen av meldingene fra Sola TS til sjøtrafikksentralen over VHF kanal 80 ble registret på fregatten.
- Ingen andre enn RM identifiserte Sola TS som et fartøy.

Sola TS:

- Manglende plotting av fartøy på radar hos Sola TS.
- Begge radarene og begge ECDIS skjermene hos Sola TS var skalert slik at de ikke dekket de fire fartøyene i området (kl. 03:13).

Fedje sjøtrafikksentral:

- Trafikkleder plottet ikke KNM Helge Ingstad på radar da fartøyet entret Fedje sjøtrafikksentral sitt tjenesteområde i nord.
- Trafikklederen zoomet inn men ikke ut igjen hovedarbeidsskjermen som viste området omkring Stureterminalen etter Sola TS sin avgang. KNM Helge Ingstad vises derfor ikke på trafikklederen sin skjerm.
- Forsinket handling: Trafikklederen grep ikke inn i situasjonen umiddelbart fordi Sola TS og KNM Helge Ingstad var i radiokontakt.

Figur 35: OAM anvendt på KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen. (Del 1)

Lokale arbeidsfaktorer:

KNM Helge Ingstad:

- Navigasjonsbrief ble ikke gjennomført på KNM Helge Ingstad før avgang siden den ble planlagt underveis.
- Merknadene i seilingsplanen ble ikke lagt inn som "critical points" og ble derfor ikke automatisk presentert. Andre kommentarer må hentes frem av navigatøren. Ingen merknad om mulig tankskiptrafikk i området.
- Brodesign var ikke optimalt; all kommunikasjon foregikk sideveis, VS var ikke nærme nok både håndsettet og MFD 1, ingen andre enn VS hørte nøyaktig hva som ble sagt på VHF kanal 80.
- Brosystemet var slik at ved bytte mellom ECDIS og radar på MFD 1 mistet man informasjon. ECDIS og radar burde være på separate skjermer for VS.
- Ventilasjonssystemet på bro er så høylytt at det er vanskelig for brobesetningen å kommunisere på normalt vis.
- VS oppfylte ikke kompetanse- og erfaringsnivå for stillingen.
- Mange var unge og hadde lite erfaring: VS og VuO var offiserer, mens resten på bro var vernepliktige eller personer med lærlingekontrakt som utdannet seg til f.eks. matros. Gjennomsnittsalderen for brobesetningen var 22,4 år.
- Fregattens organisering av broteamet var ikke hensiktsmessig; i tidsrommet før ulykken var det vaktskift, bespising og rullering av posisjoner for brovaktslag samtidig som avgangen til Sola TS.
- Kulturen med definerte roller og ansvar gjør at de på bro kan ha for stor tillit til hverandres ferdigheter, som kan ha ført til mangel på nødvendig samarbeid og involvering før ulykken.
- Når medlemmer av brobesetningen ofte byttes ut er det utfordrende å oppnå god samhandling (BRM).
- Manglende oppfølging av anbefalinger etter sikkerhetsmønstringen fra skipssjefen.
- Bromanualen ga ikke tilstrekkelig jobbstøtte med hensyn til risikovurdering og ivaretagelse av sikker seilas. Den må oppdateres mtp. funksjonen VSA har, bruk av kikkert og nattseilas m.m.

Sola TS:

- Dekksbelysningen på Sola TS gjorde det visuelt utfordrende for bromannskapet på fregatten å identifisere at det var et fartøy.
- Losen og brobesetningen på Sola TS kommuniserte i liten grad om selve seilassen og fartøyene i området rundt seg.

Fedje sjøtrafikksentral:

- Overvåkningssystemet hos sjøtrafikksentralen var ikke tilstrekkelig tilpasset brukeren mtp. automatiske plote-, varslings- og alarmfunksjoner.

Sjøforsvaret:

- Dialogen mellom Kystverket og Sjøforsvaret angående bruk av Warship AIS stoppet opp før retningslinjen for bruk av systemet kom på plass. Hvis fregatten hadde brukt W-AIS ville sjøtrafikksentralens overvåkningssystem vist AIS-informasjonen.

Organisatoriske faktorer:

- Forsvarets Logistikkorganisasjon (FLO) foretok ingen tiltak eller endringer basert på DNV GLs bemerkninger om at ventilasjonssystemet gjør det vanskelig for brobesetningen å kommunisere på normalt vis, da støynivået var innenfor grensene til Rules and Regulations of the Royal Norwegian Navy (RAR) forskriftene.

KNM Helge Ingstad:

- De tydelig definerte rollene på bro gjorde at RM ikke var instruert i å varsle om fartøy. Det skal ikke være unødvendig informasjon mellom mannskapet på bro.
- Pga. manglende folk blir uerfarne satt i lederposisjoner (og til opplæring av andre).
- På fregatter er det skipssjefen som bestemmer når navigasjonsoffiser skal klareres som vakt sjef, ulikt andre fartøystyper.
- Gjeldende prosedyrer er at skipssjefen selv velger å følge opp anbefalingene fra sikkerhetsmønstringen eller ikke.

Sola TS:

- Mangler kompensere sikkerhetstiltak mtp. at dekkbelysningen kan redusere synligheten av lanterner på natt.

Fedje sjøtrafikksentral:

- I følge den interne instruks for trafikkorganisering for Fedje sjøtrafikksentral må trafikkledere være spesielt oppmerksom på militære fartøy uten AIS. Utover dette er det ikke egne instruksjoner eller rutiner for håndtering av marine fartøy.

Sjøforsvaret:

- Kan ikke dokumentere at broteamet har blitt vurdert innen samhandling (BRM) i felleskap.
- Mangler tilstrekkelige prosedyrer ved opplæringsaktivitet på bro. I dette tilfellet var det opplæring av to vaktfunksjoner samtidig som tok fokus vekk fra trafikkbildet.
- Mangler kompetansekrav til instruktørene.
- Satte VS med begrenset erfaring til opplæring av andre.
- Hadde ikke gitt VSA tilstrekkelig opplæring og kompetanse til å samtidig betjene viktige brosystemer og lære opp VAuO.
- Klarerte nye vaktsejfer raskere, med et lavere erfaringsnivå og mindre fartstid enn tidligere pga. mangel på kvalifiserte navigatører til å bemanne fregattene.
- Medisinsk seleksjon og oppfølging av Sjøforsvaret er for dårlig (mtp. syn). To av brobesetningen hadde redusert kontrastsensitivitet.
- Mangler en systematisk loggføring av arbeids- og hviletid.
- Har ikke gitt spesifikke føringer om kompensere sikkerhetstiltak for militære fartøy med AIS i passiv modus.

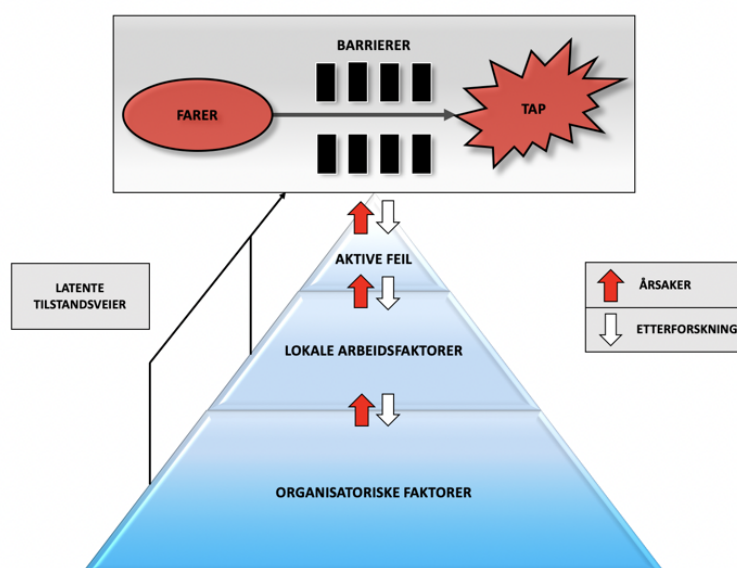
Figur 36: De lokale arbeidsfaktorene og organisatoriske faktorene funnet ved analyse av KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen. (Del 2)

7.2.2 OAM-analyse av jordskredet

Starter analysen av jordskredet ved bruk av OAM med å identifisere farene og tapet:

- Faren: Skredfare, ustabil grunn etter skredene 15. og 20. april.
- Tapet: Jordskred, ca. 6000 m^3 med masse, hvor 10% havnet på E6 veibane. Strøm- og styringskabler i tunnelen ble skadet. Formann fra underentreprenøren ble tatt av skredet i bilen, men skrevet ut fra sykehuset påfølgende dag. Beboere i 96 husstander nord for E6 ble evakuert i noen timer. E6 ble stengt i seks dager.

De barrierene som feilet i form av aktive feil, lokale arbeidsfaktorer og organisatoriske faktorer er oppgitt i Figur 37.



Aktive feil:

- Arbeidet utførtes ikke i henhold til planene for sikkerhetsstyring i prosjektet.
- Øverste del av anleggsveien ble klassifisert i konsekvensklasse 2 (CC2) men skulle vært klassifisert i konsekvensklasse 3 (CC3).
- Skred 1 og 2 ble rapportert som RUH.

Lokale arbeidsfaktorer:

- Temperaturstigning og regn førte til teleløsning som sammen med brått skråningsvinkel og påførte masser utløste skred 1.
- Økt teleløsning, økt vanntilførsel og påførte masser utløste skred 2.
- Labil grunn som følge av høy grunnvannstand og påført last fra masser og gravemaskin utløste skred 3.
- Øverste del av anleggsveien skulle vært klassifisert i konsekvensklasse 3 (CC3) som ville ha ført til en varsling i PIMS og dermed utvidet kontroll.
- Grunnvannsnivået er lagt for lavt i beregningsprofilene for stabilitetsanalysen som totalentreprenøren fikk utført.
- Byggherren ble ikke formelt varslet om skred 1 og 2 i henhold til varslingsplanen.
- De risikotiltakene som ble gjennomført etter skred 1 og 2 var ikke basert på en systematisk risikovurdering, men basert på en visuell observasjon av området.
- Totalentreprenør benyttet i liten grad kompetansen og lokalkunnskapen til UE i gjennomføring av arbeidet.
- Kommunikasjonsproblem: å overføre informasjon til de som skal gjøre jobben ute på anleggsplassen (for mye informasjon blir gitt). Også noe problemer pga. språk og kultur.
- Dårlig rapporteringskultur fordi de involverte frykter konsekvenser.

Organisatoriske faktorer:

- Liten prosjektorganisasjon sett i forhold til utfordringene i prosjektet.
- Byggherreorganisasjonen var for dårlig tilpasset utfordringene i prosjektet og burde hatt tettere oppfølging.
- Byggherre og entreprenør var ikke tydelig på hva som menes med "mindre hendelser" og "alvorlige hendelser" som gjorde at skred 1 og 2 ble rapportert som RUH i Dalux (totalentreprenørs rapporteringssystem).
- Rapportering, varsling og oppfølging av uønskede hendelser har vært mangelfulle.
- Kun alvorlige hendelser (rapporter, ikke notater) ble varslet i PIMS.
- Det var mangler ved farekartleggingen før oppstart av anleggsarbeidet. Dette medførte at skredfarene ikke var kjent og at videre risikovurdering, planer og tiltak var mangelfulle og dårlig tilpasset de faktiske forholdene.
- Det ble ikke gjennomført en vurdering og dokumentering av profil opp mot sikringstiltak. Terrenget i anleggsområdet var brattere enn største tillatte helning i følge kravene i Statens vegvesen håndbok N200.
- Analysen med 2D-programmet SLIDE viser at stabiliteten i skråningen ikke tilfredsstilte kravet til sikkerhet før anleggsarbeidet startet.
- Ingen ny risikovurdering etter skred 1 og 2, som bryter med lovdatabelegg. Heller ingen nye stabilitetsberegninger for å vurdere skråningsstabiliteten.
- Byggherren skal følge byggherreforskriften, men fanget ikke opp manglene i beregninger, risikovurderinger, planer og tiltak.
- Totalentreprenør ønsker mer synlighet og involvering fra byggherre i prosjektets utførelsesfase.
- Totalentreprenør mener kommunikasjon er vanskelig fordi BH og TE har ulik oppfattelse av ansvar i prosjektet.
- Det var utfordringer med kommunikasjonen "oppover i systemet".

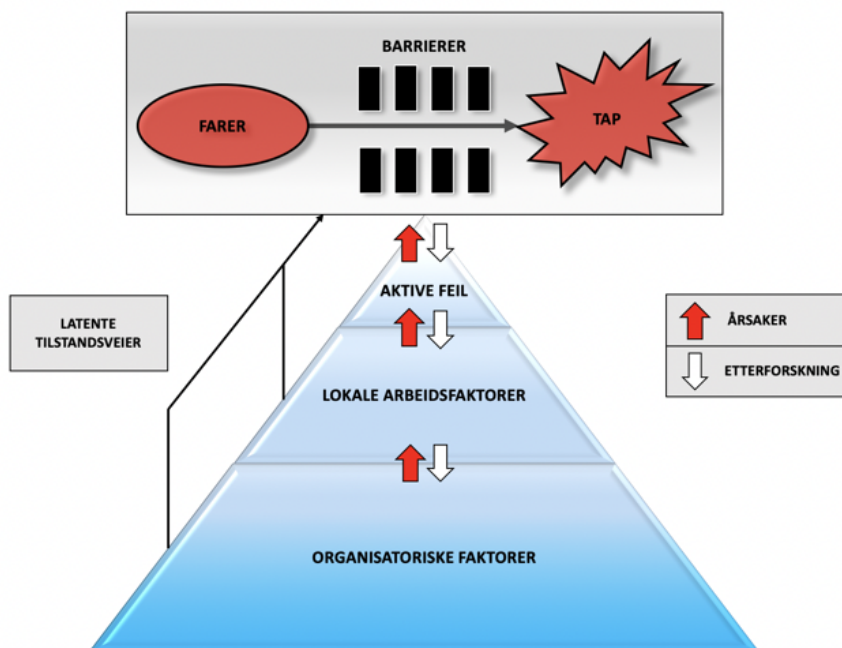
Figur 37: OAM anvendt på jordskredet.

7.2.3 OAM-analyse av fallulykken

Starter analysen av fallulykken ved bruk av OAM med å identifisere farene og tapet:

- Faren: utsparingen i gulvet med en lem som ikke er sikret til underlaget i henhold til prosedyrene satt av Byggfirma. Utsparingen er en ventilasjonskanal på 10,8 meter fra gulvet i teknisk rom til taket i 1. etasje.
- Tapet: mindre kuttskader på riggmannen som ble sykemeldt i en uke. De materielle tapene var to hull/beskjæringer i tak og vegg inn til ventilasjonskanalen for å hente ut riggmannen.

De barrierene som feilet i form av aktive feil, lokale arbeidsfaktorer og organisatoriske faktorer er oppgitt i Figur 38.



Aktive feil:

- Riggmannen så ikke utsparingen da han løftet på sikringslemmen.
- Sikringslemmen var ikke skrudd fast i underlaget.
- Ingen merking av sikringslem (men ingen krav om dette).

Lokale arbeidsfaktorer:

- Riggmann har lite kompetanse og erfaring (ung og ny på byggeplass, 20 år, jobber deltid og har kun jobbet der noen måneder).
- Dårlig opplæring: generell gjennomgang som ikke sa noe om risiko forbundet med fall fra høyden. Byggfirma gir PSI-gjennomgang hvor sikring av utsparing er en av mange huskepunkter.
- Satt til å gjøre oppgaven alene (Ingen regler på at to bør jobbe sammen). Om riggmannen ikke hadde vært i bevisst tilstand etter fallet er det usikkert når han hadde blitt funnet.
- Vernerunden var kun mht. rot, ikke sikring.
- Blikk AS lot noe rot være igjen i teknisk rom etter ryddingen.
- Hastearbeid: Etter vernerunde fikk Blikk AS beskjed om at teknisk rom skulle ryddes snarest, om ikke ville Riggservice bli satt til rydding og en regning sendt til Blikk AS.
- Gjeldende prosedyre: Lemmen skulle vært sikret av den siste som flyttet på den, mange fagarbeidere har gjort arbeid i rommet de siste ukene før hendelsen og det er ukjent hvem som sist flyttet på sikringslemmen.
- Ofte blir andre firma satt til rydd/rigg-oppgaver som gjør at folk med lite opplæring og/eller erfaring håndterer materialer de har lite kjennskap til. Dette stiller høyere krav til merking av farer og HMS gjennomgang.

Organisatoriske faktorer:

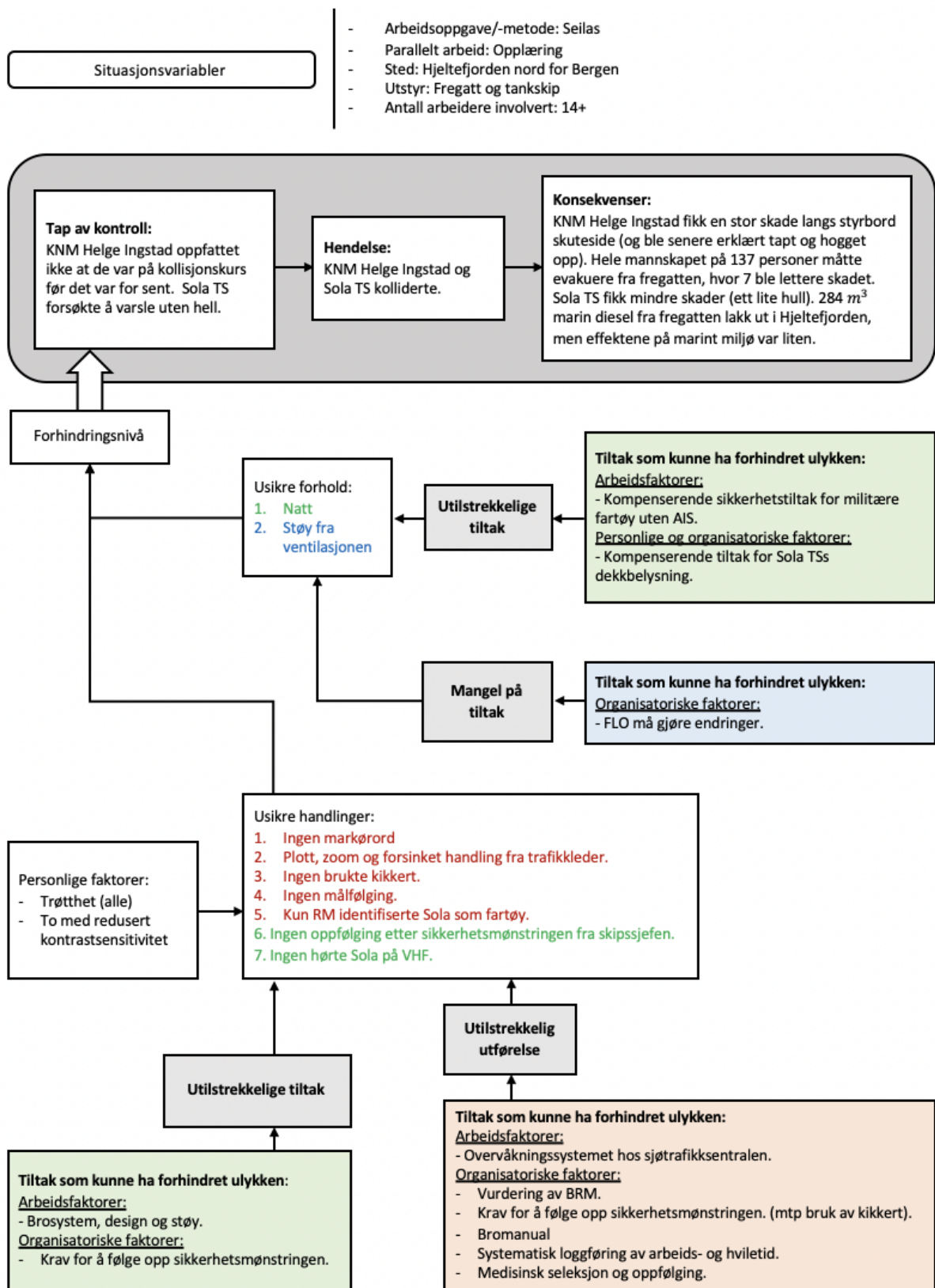
- Byggherrens SHA-plan (risikovurdering) er for generell med lite tilpasninger til det spesifikke prosjektet. Og utsparinger er kun nevnt ifm. takarbeid hvor det står at utsparinger skal dekkes til og sikres. Rydding av teknisk rom er tilleggsarbeid som burde vært med i en revidert risikovurdering.
- RIB påpeker risiko ved fall og utsparinger. Dette ble fulgt opp, men ble ikke videreført som risiko for prosjektering og utførelse.
- RIV sin risikovurdering av prosjekteringsfasen inneholder ikke sikring av utsparinger i gulv.
- Riggservice leverer ikke prosjektsesifikk risikovurdering før oppstart av arbeid.
- Byggfirma etterspør ikke prosjektsesifikk risikovurdering fra Riggservice.
- Vernerunden hadde fokus på rot og det ble derfor ikke fanget opp at sikringslemmen ikke var sikret/skrudd fast i underlaget.
- Mangelfull RUH: Dagen før trakk et rør mellom stenderne på siden av sikringslemmen, dette ble ikke rapportert men kom opp ifm. granskingen.
- Byggfirma har ikke en systematisk rutine for kontroll av utsparinger.
- Ingen standard for hvordan sikringslem skal se ut. På tross av at en ny sikringslem ble designet.
- Ingen standard for merking av sikringslem.

Figur 38: OAM anvendt på fallulykken.

7.3 MLCM

7.3.1 MLCM-analyse av KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen

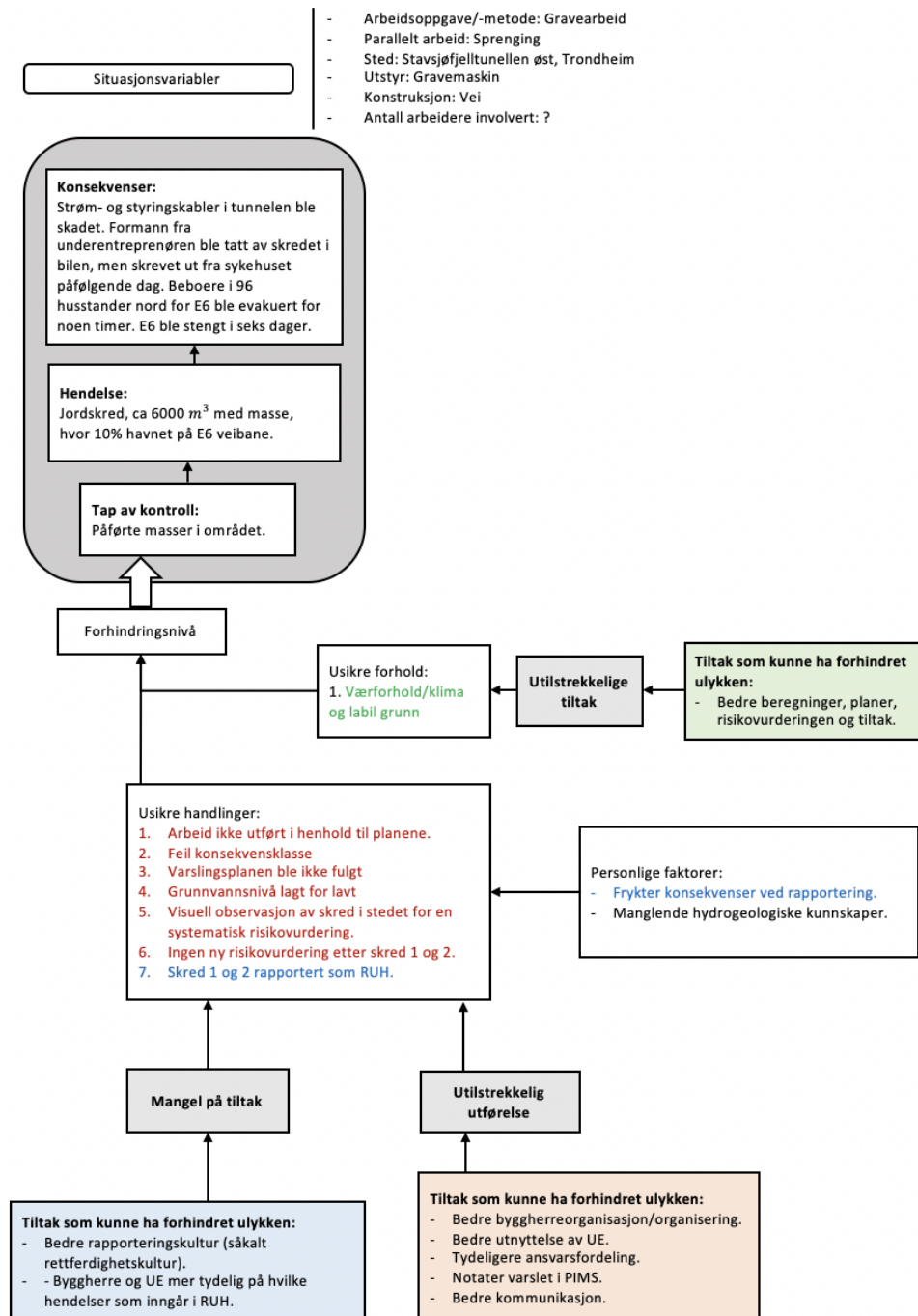
Analysen av kollisjonen mellom KNM Helge Ingstad og Sola TS ved bruk av MLCM er vist i Figur 39. Antall involverte er regnet ut i fra de som var på bro på ulykkestidspunktet og kommuniserte med hverandre, altså syv personer på KNM Helge Ingstad, seks personer på Sola TS og en trafikkleder (posisjon nord).



Figur 39: MLCM anvendt på KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen.

7.3.2 MLCM-analyse av jordskredet

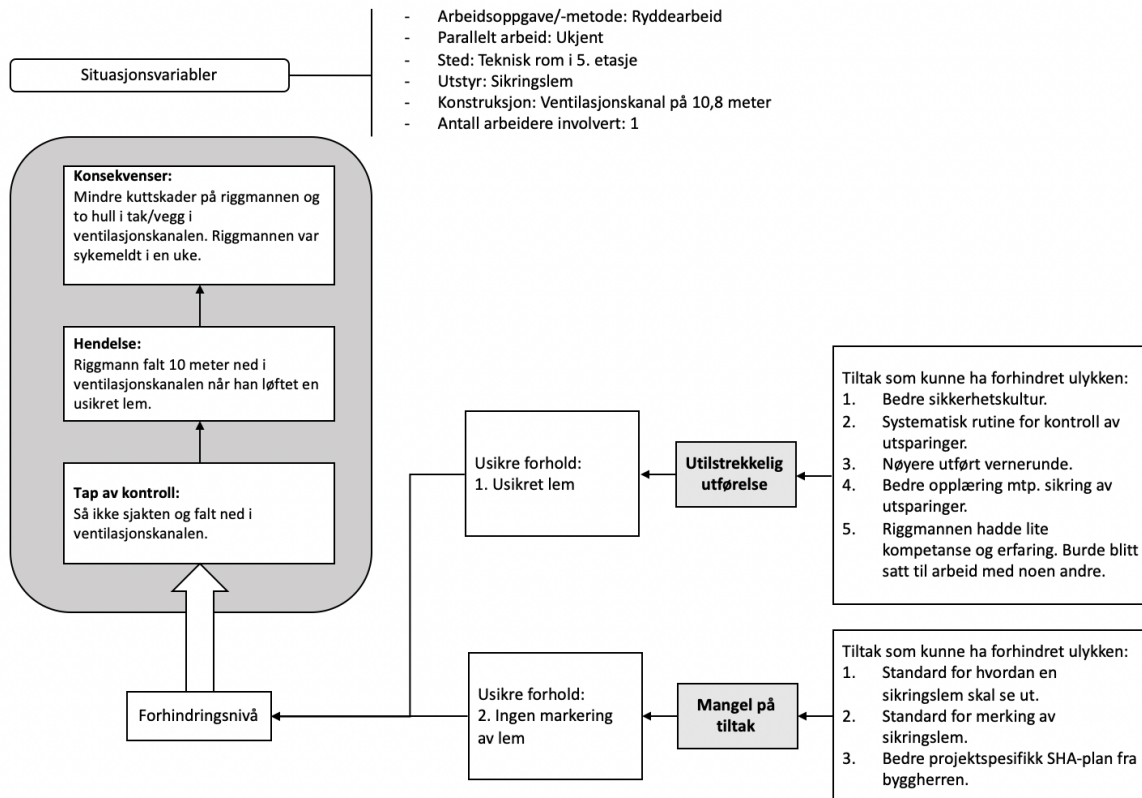
Analysen av jordskredet ved bruk av MLCM er vist i Figur 40. Ut i fra informasjonen fra granskningsrapporten, Kvitsand et al. (2023), er det vanskelig å si nøyaktig hvor mange som var involvert i ulykkeshendelsen. Det var fem personer på anleggsområdet og 96 husstander ble evakuert.



Figur 40: MLCM anvendt på jordskredet.

7.3.3 MLCM-analyse av fallulykken

Analysen av fallulykken ved bruk av MLCM er vist i Figur 41. Det var kun en person tilstede på ulykkestidspunktet, altså riggmannen, selv om flere har påvirket utfallet.



Figur 41: MLCM anvendt på fallulykken.

8 Diskusjon

Dette kapittelet vil presentere funnene i oppgaven ved å sammenligne analysene presentert i Kapittel 7 opp mot hverandre. Det vil bli presentert funn relatert til praktisk bruk av ulykkesmodellene, kategoriene av ulykkesmodellene, ulykkesårsaker og kompleksitet.

Forskningsspørsmålene var:

1. Hvordan påvirker likheter og forskjeller mellom ulykkesmodellene bruk av systemtenkning i teori og praksis?
2. Hvordan påvirker kompleksiteten til ulykkene analysene?

8.1 Sammenligning av modellene

For å gjøre en komparativ sammenligning av analysene med ulykkesmodellene er det utarbeidet nye spørsmål basert på forskningsspørsmålene over.

8.1.1 Hvordan sammenlignes ulykkesmodellene med hensyn til grafisk fremstilling, datakrav og brukervennlighet?

En grafisk fremstilling av en ulykke er nyttig ved at den tydeliggjør forholdet mellom systemkomponentene og enkelt kommuniserer funnene av komplekse granskninger (ATSB 2007). I løpet av granskningen kan det også bidra til å identifisere hull og svakheter i analysen (Underwood og Waterson 2014). STAMP CAST, OAM og MLCM er alle ulike når det kommer til grafisk fremstilling av ulykkesanalysene. Dette vises gjennom omfanget av den grafiske fremstillingen, hvordan modellene velger å vise frem innholdet og ikke minst hva som vises og relasjonene mellom disse. Underwood og Waterson (2014) mener at det grafiske resultatet fra en ulykkesmodell vil påvirke evnen til en etterforsker (eller et team) til å gjennomføre analysen. Det er også viktig å vurdere hvilke ressurser som kreves for å grafisk beskrive ulykken. For analysene i denne oppgaven ble det valgt å tegne alle i Microsoft PowerPoint, som gjorde at den grafiske fremstillingen ble både enklere og mer fleksibelt. Underwood og Waterson (2013b) poengterer at det er viktig å vurdere fordeler og ulemper ved valg av en ulykkesmodell, spesielt om en modell krever en spesiell programvare for den grafiske fremstillingen.

Ved alle analysene med bruk av MLCM, se delkapittel 7.3, er den grafiske fremstillingen av ulykkene representert i kun en figur. Og analysene viser tydelig at omfanget kan komprimeres til en enkel grafisk fremstilling. Dette gjør at leseren får raskt og enkelt oversikt over årsakene til ulykken og som omtalt av Leveson (2004) vil de derfor være godt egnet for å få en felles referanseramme av ulykkesbildet. Et positivt trekk ved MLCM er at analysene viser hele hendelsessekvensen for ulykken, fra tap av kontroll og til konsekvensene. Dette er ulikt de andre modellene som kun får frem farekilder og tap. Ved å gjøre dette blir leseren raskt klar over hva som faktisk skjedde i ulykkeshendelsen. Enda et positivt trekk ved MLCM sammenlignet med OAM og STAMP er at MLCM får frem situasjonsvariablene for ulykkeshendelsen. Dette tydeliggjør blant annet hvilken arbeidsoppgave som ble utført, hvor mange som var involvert i ulykken og parallelt arbeid som foregikk samtidig, uten at leseren trenger å lese seg opp på dette før man ser på figuren. Chua og Goh (2004) sier selv at situasjonsvariablene er viktig for å fremheve konteksten for ulykkeshendelsen. I tillegg vil

denne informasjonen være spesielt nyttig for BA-næringen eller andre næringen som i stor grad er prosjektbaserte da disse variablene kan brukes i en database eller for statistisk analyse, slik at læringspunktene kan bli anvendt på lignende situasjoner i fremtiden.

OAM havnet i skyggen av sveitserostmodellen av Reason (1997), som omtalt i delkapittel 4.2, og er derfor ikke blitt brukt akademisk i stor grad. OAM vises som en figur, men det er ikke spesifisert hvordan analysen av en ulykkeshendelse skal presenteres. Det er derfor opp til hver enkel preferanse hvordan man vil presentere analysen grafisk. Som omtalt i delkapittel 6.2.2 ble det valgt å presentere ulykkesårsakene som punkter fordelt i de tre kategoriene: aktive feil, lokale arbeidsfaktorer og organisatoriske faktorer. Dette gjør at den grafiske fremstillingen blir i stor del tekstbasert. Videre ble det valgt å presentere årsakene i kronologisk rekkefølge, så langt dette var mulig. I henhold til denne måten å vise frem modellen på, er det derfor vanskelig å vise interaksjoner mellom komponentene og sammenhenger mellom årsakene uten å forklare dette.

STAMP presenterer funnene i analysen over flere sider, hovedsakelig som tekst, og er derfor ikke egnet til en enkel grafisk fremstilling av en ulykke (Leveson 2012). Grafisk kommunikasjon av funnene er derfor ikke like effektiv som det MLCM er for analysene. Dette er tydelig i alle analysene, se delkapittel 7.1. Likevel får STAMP frem noe de andre modellene ikke gjør, som er den hierarkiske kontrollstrukturen, altså relasjonene, roller og ansvar, og kommunikasjon og tilbakemelding mellom de relevante aktørene for ulykkeshendelsen. STAMP går altså mer i dybden. Leveson (2012) mener selv at å kommunisere funnene gjennom den grafiske representasjonen av ulykken kan være utfordrende til en person som ikke har ekspertise om STAMP.

Ethvert resultat av en analyse vil være avhengig av mengden og kvaliteten på informasjonen som blir brukt (Underwood og Waterson 2014). Herrera og Woltjer (2010) og Waterson og Jenkins (2010) understreker viktigheten av hvordan en modell behandler informasjonen og datakravet. Spesielt siden dette kan påvirke hvordan bevis blir samlet inn under en granskning. Ved analysene av ulykkene er det observert at resultatet var avhengig av både mengden informasjon og nøyaktigheten til de som gransket ulykkene. Dette kan knyttes opp mot bruken av sekundære kilder. For STAMP-analysen av KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen, se delkapittel 7.1.1, er det tydelig at analyseresultatet for denne ulykken er betydelig større enn for de andre ulykkene. Granskningsrapporten, Statens havarikommisjon (2019), var betydelig mer detaljerik enn granskningsrapportene for de andre ulykkene. Som derfor også hadde en betydning for resultatet. Det kan også nevnes at STAMP-analysen av fallulykken ikke ble komplett, nettopp fordi ulykkesrapporten ikke inneholdt nok informasjon til å besvare alle spørsmålene som ble stilt under analysen. For å kunne fullføre analysen må spørsmålene som er listet opp i delkapittel 7.1.3 besvares. Ulykkesrapporten for fallulykken inneholdt derimot nok informasjon til å fullføre analysene med både MLCM og OAM.

Underwood og Waterson (2013a) mener at resultatet fra en ulykkesmodell vil kunne påvirkes av dens tilgjengelighet og brukerveiledning. En mindre strukturert brukerveiledning vil øke fleksibiliteten av analysen og gi brukeren mer frihet. Dette kan være bra for en etterforsker, men kan være en ulempe for en med mindre erfaring da det kan påvirke konsisten av resultatet. Underwood og Waterson (2014) mener også at det må gjøres et kompromiss mellom grundigheten i en analyse og de tilgjengelige ressursene for å

fullføre den. Kongsvik et al. (2018) mener også at av kapasitet- og nytteverdi hensyn kan ikke alle ulykker granskes like grundig. Systemmodeller vil kreve en grundigere prosess og er derfor ressurskrevende. Wien et al. (2017) konkluderer med at fra et forretningsperspektiv, er systemmodeller både for dyrt til å bruke på analyser av ulykker og hendelser og for ressurskrevende. Kostnaden vil dermed overveie fordelene.

Som omtalt tidligere krever STAMP mye informasjon for å gjøre gode analyser, dette gjør at modellen er både vanskelig å anvende i praksis og den er ressurskrevende med tanke på tidsbruken. Leveson (2016, 2019) har flere detaljerte brukerveiledninger og eksempler for anvendelse av både STPA og CAST, men det er mye informasjon og forskeren brukte lang tid på å lære analysemetodene. Spesielt sammenlignet med de andre ulykkesmodellene i denne oppgaven. Underwood og Waterson (2013b) har undersøkt gapet mellom forskning og praksis når det kommer til bruk av systemmodeller. I tillegg til de faktorene som allerede er nevnt vil personlige egenskaper og tenking også påvirke personen til å velge en teknikk fremfor en annen.

8.1.2 Hvordan vil en sekvensmodell, en epidemiologisk modell og en systemmodell analysere de samme ulykkene?

For å besvare dette spørsmålet vil det være nødvendig å knytte teori og kunnskap om kategoriene av ulykkesmodeller, se delkapitlene 3.2.1, 3.2.2 og 3.2.3, opp mot analysene som er gjort i Kapittel 7.

Figur 22 av Rønne (2023) viser kategoriseringen av forskjellige ulykkesmodellene. Her ble MLCM plassert som en epidemiologisk modell basert på informasjonen fra Chua og Goh (2004). Som fortalt i delkapittel 4.1 er MLCM en modifisert versjon av ILCI-modellen og dominoteorien. Begge disse er kategorisert som sekvensmodeller (Kjellén og Albrechtsen 2017). Til tross for sin modifikasjon viser analysene med MLCM at den ikke får frem det komplekse samspillet mellom ulykkesfaktorene. Akkurat som sekvensmodeller får MLCM kun frem det lineære årsak-virkningsforholdet til ulykkeshendelsen. Dette vises spesielt godt for MLCM-analysen av KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen i delkapittel 7.3.1. Til tross for ulykkens mange interaksjoner mellom aktørene vises ikke dette i analysen. Derfor blir MLCM videre omtalt som en sekvensmodell i denne oppgaven.

Ulike ulykkesmodeller, og spesielt ulike kategorier av ulykkesmodeller, gir forskjellige «briller» som vil påvirke måten vi identifiserer, forstår, analyserer og gir anbefalinger på (Hovden, Albrechtsen og Herrera 2010). Lundberg, Rollenhagen og Hollnagel (2009) sier selv «hva du ser etter er hva du finner», som refererer til at valget av en ulykkesmodell er avgjørende for hvilke årsaker en analyse vil identifisere. Hver av de tre ulykkesmodellene har ulike tilnærminger for analysene samt har ulik fokus på ulykkesårsaker. Det er derfor lett å konkludere med at de analyserer de samme ulykkene på totalt ulike vis.

For MLCM-analysene i delkapittel 7.3 ser vi at modellen kun fokuserer på et fåtall av faktorer. I følge Khanzode, Maiti og Ray (2012) vil dette føre til en generalisering av ulykkesårsaker. I tråd med denne teorien ble det erfart at noe informasjon måtte «tvinges» til å passe i en av faktorene. Dermed kan det oppstå en misforståelse og feiltolkning av ulykkeshendelsen (Rathnayaka, Khan og Amyotte 2011). For ulykken med KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen er det noen årsaker som ikke ble inkludert i analyseresultatet nettopp fordi det ikke «passet» med faktorene eller de tidligere sekvensårsakene. Flere av de

direkte årsakene kan sies å ha flere feil i sikkerhetsstyringssystemet, for eksempel ved bruk av markørord. Kystverket hadde ett tiltak implementert for trafikkledere, men det kommer ikke opp i granskningsrapporten om dette er brukt før hendelsen. Uavhengig ble markørord ikke brukt av noen av de involverte som kommuniserte med hverandre. Det er usikkert om Sola TS har implementert tiltak for dette, så her kan det være mangel på tiltak. Sjøforsvaret hadde en sikkerhetsmønstringen som fanget opp dette, men det er ingen krav om at skipssjefen skal følge opp anbefalingene. Det kan derfor klassifiseres som et utilstrekkelig tiltak. Derimot fulgte ingen personer instruksjonen om å bruke markørord, så det kan også plasseres som utilstrekkelig utførelse.

Sammenlignet med sekvensmodeller representerer epidemiologiske modeller bedre påvirkningen av organisatoriske faktorer på ulykkesårsaker (Underwood og Waterson 2013a). Mange modeller er derimot fortsatt basert på årsak-virkning prinsippet til sekvensmodeller, da de beskriver en lineær retning av ulykkesårsaker (Hollnagel 2004). Analysene ved bruk av OAM viser at denne modellen også i praksis har en lineær sekvens av ulykkesårsaker. Spesielt siden modellen ikke viser de interaksjonene og forholdene mellom aktørene i selve analysen. De sammenhengene av ulykkesårsaker som er nødvendig for en dypere forståelse av ulykken, forsvinner i stedet i teksten. Analysene i delkapittel 7.2 får likevel frem de latente forholdene som ligger til grunn for at ulykken oppstod. De avdekker spesielt mangler i prosedyrer, ledelse og sikkerhetskultur, som Wienen et al. (2017) er enig i. Videre mener Wienen et al. (2017) at konseptet av barrierer gir ledelsen et klart referansepunkt for hvilket problem som må fikses for å forbedre sikkerheten av systemet.

Ulikt sekvensmodeller og epidemiologiske modeller gir systemmodeller en dypere forståelse av ulykkeskausalitet fordi de ser på systemet som en helhet og ikke kun på et fåtall av systemkomponenter (Zhang et al. 2022). De fokuserer dermed ikke på å identifisere årsakene til en ulykke, men på å forstå ulykken. Ved dette perspektivet vil ikke nødvendigvis en ulykke forebygges kun ved å fjerne en rotårsak fra systemet (Underwood og Waterson 2013a). Av analysene i delkapittel 7.1 er det tydelig at STAMP både analyserer systemkomponentene og systemet som en helhet, som OAM og MLCM ikke gjør. STAMP utmerker seg ved at ansvaret og handlingene til hver systemkomponent blir forklart og viser dette opp mot et større perspektiv. Dermed vises de interaksjonene og forholdene som er nødvendig for å forstå ulykkeshendelsen (Leveson 2012).

8.1.3 Kan forskjellige modeller konkludere med de samme ulykkesårsakene?

For å besvare dette spørsmålet er det nødvendig å se på anvendelsen av systemteori i praksis og hvordan ulykkesmodellene fokuserer på menneskelige feilhandlinger og organisatoriske faktorer som årsaker til ulykkeshendelsen.

Alle de tre ulykkesmodellene har forskjellige tilnærminger til å analysere og forstå menneskelige feilhandlinger. Selv om Chua og Goh (2004) ikke spesifikt legger skyld på menneskelige feilhandlinger som årsaken til ulykken i MLCM-modellen, er det vanskelig å ikke fokusere på dette når det får mye fokus i figuren, spesifikt «usikre handlinger». Chua og Goh (2004) utviklet MLCM spesifikt for å forbedre sikkerheten i BA-næringen. Kongsvik et al. (2018) forklarer at dette er en næring hvor det er store energipotensialer som kan «komme på avveie». Den høye ulykkesstatistikken i denne næringen forklarer dette. Innenfor BA-næringen er det spesielt et fokus på ulykkesårsaker i den «skarpe enden», altså

de manuelle arbeidsoppgavene, siden næringen er dynamiske av natur (Chua og Goh 2004). Dette kan være en faktor til at menneskelige feilhandlinger har en slik fokus i modellen.

Reason (1997) sin OAM-modell ser på menneskelige feilhandlinger innenfor en bredere kontekst av organisatoriske faktorer og systemsvikt. Menneskelige feil oppstår som følge av lokale arbeidsfaktorer og organisatoriske faktorer (Qureshi 2008). De menneskelige feilhandlingene (aktive feil) vil derfor ikke nevnes i OAM uten å nevne de lokale arbeidsfaktorene og organisatoriske faktorene (latente forhold) som var tilstede før ulykkeshendelsen.

I delkapittel 5.3 ble det omtalt at vaksjefen på KNM Helge Ingstad var den eneste enkeltpersonen som ble dømt etter ulykkeshendelsen. Dette strider i mot meningen til Leveson (2016) som forteller at å tildele skyld ikke bør være et mål for en ulykkesgranskning. Fokuset bør heller være på å identifisere hvorfor systemet og kontrollstrukturen feilet.

Alle de tre ulykkesmodellene krever at systemhierarkiet som var gjeldende på ulykkeshendelsen, til en viss grad analyseres. OAM og MLCM beskriver kun hendelser, handlinger og forhold, i stedet for en beskrivelse av systemkomponentene. Dette gjør at analysene inneholder lite informasjon om kontrollstrukturen og dens grense til det aktuelle systemet. Ved mange systemkomponenter/aktører vil OAM og MLCM også bli «rotete». Dette kan observeres i analysene av KNM Helge Ingstad ulykken ved bruk av OAM og MLCM. I analysen med OAM valgte forskeren å sortere ulykkesårsakene i kronologisk rekkefølge og inndelt basert på aktører. Likevel med mange aktører blir resultatet av analysen at det er vanskelig å få en god oversikt over ulykkeshendelsen og de latente forholdene. I analysen med MLCM var det tilnærmet umulig å fordele ulykkesårsakene basert på tidspunkt og aktør.

STAMP gir derimot en full oversikt over sikkerhetskontrollhierarkiet og hvilke roller og ansvar hver systemkomponent eller aktør har for å opprettholde sikkerheten i systemet (Leveson 2012, 2019). Forskeren mener selv at denne måten å strukturere informasjonen på gir et godt utgangspunkt for å lette forståelsen for leseren videre i analysen. For en ulykke med mange aktører er dette også til en viss grad nødvendig.

Som fortalt i delkapittel 6.2.3 inkluderer Leveson (2019) forklaringer på både «hva» som skjedde og «hvorfor» det skjedde i analysen av hver enkel systemkomponent. Dette gjør at miljøet blir tatt hensyn til når kontrollfeil blir identifisert, som forklarer usikre handlinger og valg mer klarere (Salmon, Cornelissen og Trotter 2012). Dette hjelper også forskeren til å ikke tildele skyld, for uavhengig av hvilke usikre beslutninger og handlinger enkeltpersonen har tatt forklares dette i analysen. Slik blir det også lettere å forklare de systemiske feilene i ulykkeshendelsen.

8.1.4 Har kompleksiteten til ulykkene en innvirkning på analysene?

Ingen enkel ulykkesmodell eller metode kan korrekt vise kompleksiteten til et system, for per definisjon er en ulykkesmodell kun en simplifisert representasjon av virkeligheten (Kjellén og Albrechtsen 2017). Underwood og Waterson (2013a) mener at en ulykkesmodell ikke nødvendigvis er passende for å analysere hvert aspekt av en ulykke. Det er muligens nødvendig å bruke flere modeller og metoder slik at styrken til en vil kompensere for svakheten til en annen. Som eksempel vil sekvensmodeller egne seg best til å analysere

individuelle komponentfeil eller menneskelige feilhandlinger (Leveson 2012; Qureshi 2008).

For å besvare spørsmålet om kompleksiteten til ulykkene er det først nødvendig å definere akkurat hvor komplekse de er. Ved å se på Figur 20 fra delkapittel 5.4 ser vi at ulykkene som ble valgt for denne oppgaven har forskjellig frekvens og konsekvens basert på teoriene til Rasmussen (1997) og Reason (1997) om forskjellene mellom individulykker og organisasjonsulykker. Basert på statistikken til Mostue et al. (2022) og Winge og Albrechtsen (2018) er fallulykker den mest frekvente ulykkestypen i Norge for BA-næringen. For fallulykken i denne oppgaven var offeret, riggmannen, både agenten og offeret basert på teorien til Reason (1997), som gjør at ulykken kan klassifiseres som en individulykke og småskala-ulykke. I henhold til denne fremgangen ble jordskredet klassifisert som stor-ulykke og KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen ble klassifisert som et mellomstadium mellom stor-ulykke og storskala-ulykke.

Teoriene til Reason (1997) og Rasmussen (1997) kan direkte kobles til Perrow (1984) sin teori om at ulykker er uunngåelige for komplekse, teknologiske systemer med tette koblinger og komplekse interaksjoner. KNM Helge Ingstad ulykken hadde et stort tap ved at fregatten måtte vrakes, men likevel klassifiseres ulykken som en mellomstadium mellom stor-ulykke og storskala-ulykke fordi sjøtransport etter Perrow (1984) sin definisjon ikke har komplekse interaksjoner i systemet. Etter Perrow (1984) sin klassifisering vil fallulykken og jordskredet, som opererer i byggebransjen, bli klassifisert med løse koblinger og lineære interaksjoner. I Figur 2 av Underwood og Waterson (2013a) vil lineære interaksjoner gå som høy håndterbarhet. Etter denne figuren vil fallulykken og jordskredet best analyseres med en sekvensmodell, og KNM Helge Ingstad vil best analyseres med en epidemiologisk modell. Ut i fra analyseresultatene for denne oppgaven er forskeren uenig i dette da STAMP-analysen av KNM Helge Ingstad ulykken ga best resultat. Tilsvarende ga OAM-analysen av jordskredet og MLCM-analysen av fallulykken best resultat. Figur 3 av Wienen et al. (2017) viser at et system med tette koblinger med en sosiotechnisk kontekst best vil analyseres med en systemmodell.

Kompleksiteten til ulykkesmodellene har vist seg å ha stor betydning for analyseresultatene. Fallulykken var en relativ «enkel» ulykke som ikke ble ferdig analysert ved bruk av STAMP på grunn av manglende informasjon fra granskningsrapporten. Likevel er det her et poeng å ta fram spørsmålet om det faktisk er hensiktsmessig å analysere en enklere ulykkeshendelse med en komplisert og omfattende ulykkesmodell, slik som STAMP? Underwood og Waterson (2013a) er enig i dette. MLCM var derfor en ganske passende modell for å analysere fallulykken.

KNM Helge Ingstad og Sola TS kollisjonen var en ulykke med mange aktører involvert. Dette gjorde at en analyse med MLCM for denne ulykken ikke korrekt klarte å beskrive ulykkeshendelsen og årsakene slik som STAMP da gjorde. Forskeren mener selv at STAMP-analysen ga et bra resultat selv om ulykkeshendelsen var kompleks, inneholdt mye informasjon og var tidkrevende. Johansson og Lindgren (2008) mener også at bruken av systemmodeller er komplisert og at dette vil være en hindring i praktisk anvendelse. Sammenlignet med sekvens- og epidemiologiske modeller er systemmodeller fortsatt ung og har derfor fortsatt mye potensial og rom for forbedring (Zhang et al. 2022). I fremtiden vil det derfor være nyttig å forbedre det sosiotechniske aspektet for sekvensmodeller og forbedre systemmodeller for bruken i praktisk anvendelse.

9 Konklusjon

Samfunnet har i de siste tiårene hatt en teknologisk utvikling som blant annet innebærer økt systemkompleksitet. Tidligere har ulykkesmodeller vært en viktig del av sikkerhetsstyring da de kartlegger årsaker til ulykkeshendelser, som gjør at organisasjoner kan implementere de mest nyttige tiltakene for å forebygge ulykker. Økt systemkompleksitet fører derimot til nye farekilder ved at samspillet mellom mennesker, teknologi og organisasjon blir endret. Det er derfor tvil om hvorvidt de første ulykkesmodellene fortsatt gir et representativt bilde av ulykkeshendelser.

I denne oppgaven er tre ulykker av varierende kompleksitet analysert med ulykkesmodellene MLCM, OAM og STAMP. I denne sammenhengen er analysene sammenlignet med hverandre for å avdekke forskjeller og likheter mellom ulykkesmodellene. Det er også diskutert hvorvidt de bruker systemteori i praksis og dermed klarer å representere kompleksiteten til ulykkene.

Arbeidsoppgaver i den «skarpe enden», altså det manuelle arbeidet, er i liten grad forandret av den teknologiske utviklingen. På dette nivået er det derfor fortsatt et behov for enkle ulykkesmodeller som viser et klart årsak-virkningsforhold. Disse er godt egnet for rapportering av hendelser, for å få en felles kommunikasjon og for ledelsen til å foreta strakstiltak i organisasjonen. For kompliserte systemer med vil ikke lenger de enkle ulykkesmodellene kunne vise et representativ bilde av ulykkeshendelsen da det blir en generalisering av ulykkesårsakene. Trolig vil ikke bruken av ulykkesmodeller minke, men det er et behov for å forbedre de eldre modellene slik at de også kan dekke systemteori i praksis.

Til nå har systemmodeller blitt mest brukt i akademisk forskning og ikke i praksis. Ved gjennomføring av analysene er det avdekket at systemmodeller er ressurskrevende, både tidsmessig og med tanke på krav til data, og grafisk gir de ikke et enkelt overblikk over ulykkeshendelsen. Fordelene er derimot at de kan vise systemet i sin helhet og tar høyde for de komplekse interaksjonene mellom systemkomponentene. Systemmodeller viser den hierarkiske kontrollstrukturen for et system, roller og ansvar, sikkerhetsbegrensninger og tilbakemeldinger. Det som er spesielt fordelaktig for STAMP er at analysen viser konteksten og årsaken til de usikre beslutningene og kontrollhandlingene. Dette gjør at leseren får en dypere forståelse av ulykkeshendelsen enn ved bruk av OAM og MLCM.

9.1 Videre arbeid

Denne masteroppgaven presenterte ni analyser med tre forskjellige ulykkesmodeller, som kan brukes som startpunkt/inspirasjon for videre arbeid. Å analysere tre ulykker med tre ulykkesmodeller er ikke nok til å fastslå hvordan økt kompleksitet i systemer påvirker analyser av ulykker. Det er derfor nødvendig å bruke flere ulykkesmodeller for å analysere flere ulykker for å oppnå en generalisering av resultatene.

For videre forskning vil det blant annet være interessant med flere studier knyttet til bruk av systemmodeller i granskning av komplekse ulykker, som inkluderer forskning på ressursbruk og kost-nytte. Denne oppgaven gjorde analyser med sekundærkilder, og det er derfor interessant å gjøre like analyser, men med bruk av primærkilder.

Referanseliste

- ATSB (2007). *Analysis, causality and proof in safety investigations*. Report AR-2007-053. Australian Transport Safety Bureau, Canberra.
- Bellamy, L.J. et al. (2019). *Organisational, management and human factors in quantified risk assessment: A theoretical and empirical basis for modification of risk estimates*. Chapman og Hall/CRC, s. 70–79. DOI: <http://dx.doi.org/10.1201/9780203710425-5>.
- Bird, F.E., Germain, G.L. og Clark, M.D. (1990). *Practical loss control leadership*. International Loss Control Institute Loganville, GA.
- Chen, L. et al. (2017). Combining accident modeling and quantitative risk assessment in safety management. *Advances in Mechanical Engineering* 9.10, s. 1687814017726002. DOI: <https://doi.org/10.1177/1687814017726002>.
- Chua, D.K.H. og Goh, Y.M. (2004). Incident causation model for improving feedback of safety knowledge. *Journal of construction engineering and management* 130.4, s. 542–551. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2004\)130:4\(542\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:4(542)).
- Gausen, S., Langved, Å. og Myhre, S.M. (2023). *Vaktsjefen på KMN Helge Ingstad dømt etter fregatthavariet*. Tilgjengelig fra: <https://www.aftenposten.no/norge/i/zEbXr0/vaktsjefen-paa-kmn-helge-ingstad-doemt-etter-fregatthavariet> (Hentet: 20. juni 2023).
- Haddon, W. (1968). *The changing approach to the epidemiology, prevention, and amelioration of trauma*. 58:1431–1438.
- Haslam, R.A. et al. (2005). Contributing factors in construction accidents. *Applied Ergonomics* 36.4. Ergonomics in Building and Construction, s. 401–415. ISSN: 0003-6870. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2004.12.002>.
- Heinrich, H.W. (1959). *Industrial accident prevention: A scientific approach*. 4th ed. New York: McGraw-Hill, s. 12–17.
- Hem, K. et al. (2016). *Rapport - Kostnader ved arbeidsrelaterte sykdommer og skader*. Rapport nr. A27430 Sintef.
- Herrera, I. A. og Woltjer, R. (2010). Comparing a multi-linear (STEP) and systemic (FRAM) method for accident analysis. *Reliability Engineering & System Safety* 95.12, s. 1269–1275.
- Hide, S. et al. (2003). Causal factors in construction accidents. DOI: <https://hdl.handle.net/2134/2558>.
- Hollnagel, E. (2002). Understanding accidents-from root causes to performance variability. *Proceedings of the IEEE 7th conference on human factors and power plants*. IEEE, s. 1–1. DOI: <https://doi.org/10.1109/HFPP.2002.1042821>.
- (2004). *Barriers and accident prevention*. eng. Aldershot: Ashgate. ISBN: 9780754643012. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315261737>.
- (2012). *FRAM, the functional resonance analysis method: modelling complex socio-technical systems*. Ashgate Publishing, Ltd.

- Hollnagel, E. og Goteman, O. (2004). The functional resonance accident model. *Proceedings of cognitive system engineering in process plant 2004*, s. 155–161.
- Hollnagel, E. og Speziali, J. (2008). Study on Developments in Accident Investigation Methods: A Survey of the State-of-the-art.
- Hovden, J., Albrechtsen, E. og Herrera, I. A. (2010). Is there a need for new theories, models and approaches to occupational accident prevention? *eng.* 48.8, s. 950–956. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.06.002>.
- Jacobsen, D.I. (2015). *Hvordan gjennomføre undersøkelser? Innføring i samfunnsvitenskapelig metode*. 3. utg. Oslo: Cappelen Damm akademisk. ISBN: 978-82-02-48188-9.
- Johannessen, A., Christoffersen, L. og Tufte, P.A. (2004). *Forskningsmetode for økonomisk-administrative fag*. Oslo: Abstrakt Forlag.
- Johansson, B. og Lindgren, M. (2008). A quick and dirty evaluation of resilience enhancing properties in safety critical systems, s. 28–30.
- Johnson, C. W. og Holloway, C. M. (2003). The ESA/NASA SOHO mission interruption: Using the STAMP accident analysis technique for a software related 'mishap'. *Software: Practice and Experience* 33.12, s. 1177–1198.
- Katsakiori, P., Sakellaropoulos, G. og Manatakis, E. (2009). Towards an evaluation of accident investigation methods in terms of their alignment with accident causation models. *Safety science* 47.7, s. 1007–1015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.11.002>.
- Khanzode, Vivek V, Maiti, Jhareswar og Ray, Pradip Kumar (2012). Occupational injury and accident research: A comprehensive review. *Safety science* 50.5, s. 1355–1367. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.12.015>.
- Kim, T., Nazir, S. og Øvergård, K.I. (2016). A STAMP-based causal analysis of the Korean Sewol ferry accident. *Safety science* 83, s. 93–101. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.11.014>.
- Kjellén, U. (2000). *Prevention of accidents through experience feedback*. CRC Press.
- Kjellén, U. og Albrechtsen, E. (2017). *Prevention of accidents and unwanted occurrences, Theory methods and tools in safety management*. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Kongsvik, T. et al. (2018). *Sikkerhet i Arbeidslivet*. Bergen: Fagbokforlaget.
- Kvitsand, H. M. L et al. (2023). *Uavhengig gransking av jordskred ved Stavsjøfjelltunnelen øst, 4. mai 2022 E6 Ranheim-Værnes*. (Rapport nr: 2023:00142). Sintef. Tilgjengelig fra: <https://www.nyeveier.no/nyheter/nyheter/flere-arsaker-til-raset-over-e6-i-malvik/> (Hentet: 06.februar 2023).
- LaPorte, T.R. og Consolini, P.M. (1991). Working in practice but not in theory: theoretical challenges of "high-reliability organizations". *Journal of Public Administration Research and Theory: J-PART* 1.1, s. 19–48. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jpart.a037070>.

- Leveson, N. G. (2001). Evaluating accident models using recent aerospace accidents, part 1: Event-based models. DOI: <http://hdl.handle.net/1721.1/102726>.
- (2002). System safety engineering: Back to the future. *Massachusetts Institute of Technology*.
- (2004). A new accident model for engineering safer systems. *Safety science* 42.4, s. 237–270. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(03\)00047-X](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(03)00047-X).
- (2012). *Engineering a Safer World - Systems Thinking Applied to Safety*. MIT.
- (2016). CAST Analysis of the Shell Moerdijk Accident. MIT.
- (2019). *CAST HANDBOOK: How to Learn More from Incidents and Accidents*. MIT Press.
- Leveson, N. G. og Thomas, J. P. (2018). *STPA handbook*. Cambridge, MA, USA: MIT.
- Lindberg, A., Hansson, SO. og Rollenhagen, C. (2010). Learning from accidents – What more do we need to know? *Safety Science* 48.6, s. 714–721. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2010.02.004>.
- Lundberg, J., Rollenhagen, C. og Hollnagel, E. (2009). What-You-Look-For-Is-What-You-Find – The consequences of underlying accident models in eight accident investigation manuals. *Safety science* 47.10, s. 1297–1311. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2009.01.004>.
- Marais, K., Dulac, N. og Leveson, N. G. (2004). Beyond normal accidents and high reliability organizations: The need for an alternative approach to safety in complex systems, s. 1–16.
- Mostue, B. A. et al. (2022). *Ulykker i bygg og anlegg – rapport 2022*. Rapport nr. 1 2022 Arbeidstilsynet.
- Moura, R. et al. (2017). Learning from accidents: Interactions between human factors, technology and organisations as a central element to validate risk studies. *Safety Science* 99, s. 196–214. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.05.001>.
- O’Hare, D. (2000). The ‘Wheel of Misfortune’: A taxonomic approach to human factors in accident investigation and analysis in aviation and other complex systems. *Ergonomics* 43.12, s. 2001–2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00140130050201445>.
- Patriarca, R. et al. (2022). The past and present of System-Theoretic Accident Model And Processes (STAMP) and its associated techniques: A scoping review. *Safety science* 146. 105566. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105566>.
- Perrow, C. (1984). *Normal accidents : living with high-risk technologies*. New York: Basic Books.
- Pickvance, C.G. (2001). Four varieties of comparative analysis. *Journal of housing and the built environment* 16, s. 7–28. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1011533211521>.
- Qureshi, Z. H. (2008). A review of accident modelling approaches for complex critical sociotechnical systems.

- Rasmussen, J. (1997). Risk management in a dynamic society: a modelling problem. *Safety science* 27.2-3, s. 183–213. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(97\)00052-0](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(97)00052-0).
- Rasmussen, J. og Svedung, I. (2000). *Proactive risk management in a dynamic society*. Swedish Rescue Services Agency.
- (2002). Graphic representation of accident scenarios: mapping system structure and the causation of accidents. *Safety Science* 40.5, s. 397–417. ISSN: 0925-7535. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(00\)00036-9](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(00)00036-9).
- Rathnayaka, S., Khan, F. og Amyotte, P. (2011). SHIPP methodology: Predictive accident modeling approach. Part I: Methodology and model description. *Process safety and environmental protection* 89.3, s. 151–164. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2011.01.002>.
- Reason, J. (1990). *Human error*. Cambridge university press.
- (1997). *Managing the risks of organizational accidents*. Aldershot: Ashgate. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315543543>.
- Reason, J., Hollnagel, E. og Paries, J. (2006). Revisiting the Swiss cheese model of accidents. *Journal of Clinical Engineering* 27.4, s. 110–115.
- Rønne, P. (2023). *Ulykkesmodeller til bruk i maskinlæring - kategorisering, styrker og svakheter*. TIØ4521 - Fordypningsprosjekt, NTNU.
- Salas-Gulliksen, C. (2022). *Forsvarsdepartementet ilagt foretaksstraff på ti millioner*. Tilgjengelig fra: <https://www.nrk.no/vestland/forsvarsdepartementet-ilagt-foretaksstraff-pa-ti-millioner-etter-knm-helge-ingstad-havariet-1.16020118> (Hentet: 23. mai 2023).
- Salmon, P.M., Cornelissen, M. og Trotter, M.J. (2012). Systems-based accident analysis methods: A comparison of Accimap, HFACS, and STAMP. *Safety science* 50.4, s. 1158–1170. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.11.009>.
- Sidek, S., Ibrahim, S. og Jaharuddin, NS. (2014). The alignment between theory and practice of road accident prevention program. *Management Science: A Collection of Reading, Jaharuddin, NS and S. Ibrahim*, s. 18–34.
- Statens havarikommisjon (2019). *Sjøfart rapport 2019/08 - Delrapport 1 om kollisjonen mellom fregatten KNM Helge Ingstad og tankbåten Sola TS utenfor Stureterminalen i Hjeltefjorden, Hordaland, 8. november 2018*. (Rapport nr. A27430 Sintef). Statens havarikommisjon. Tilgjengelig fra: <https://havarikommisjonen.no/Sjofart/Avgitte-rapporter/2019-08> (Hentet: 01. februar 2023).
- Underwood, P. og Waterson, P. (2012). A critical review of the STAMP, FRAM and Accimap systemic accident analysis models. *Advances in human aspects of road and rail transportation* January 2016, s. 385–394.
- (2013a). *Accident analysis models and methods: guidance for safety professionals*.

- (2013b). Systemic accident analysis: Examining the gap between research and practice. *Accident Analysis & Prevention* 55, s. 154–164. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.02.041>.
 - (2014). Systems thinking, the Swiss Cheese Model and accident analysis: A comparative systemic analysis of the Grayrigg train derailment using the ATSB, AcciMap and STAMP models. *Accident Analysis & Prevention* 68, s. 75–94. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2013.07.027>.
- Waterson, P. og Jenkins, D.P. (2010). Methodological considerations in using AcciMaps and the Risk Management Framework to analyse large-scale systemic failures. *5th IET International Conference on System Safety 2010*. IET, s. 1–6.
- Wiegmann, D.A. og Shappell, S.A. (2003). *A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis: The Human Factors Analysis and Classification System*. 1. utg. Abingdon: Routledge. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315263878>.
- Wienen, H. C. et al. (2017). Accident Analysis Methods and Models - a Systematic Literature Review. *Centre Telematics Inf Technol*. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.11592.62721>.
- Winge, S. og Albrechtsen, E. (2018). Accident types and barrier failures in the construction industry. *Safety science* 105, s. 158–166. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.02.006>.
- Winge, S., Albrechtsen, E. og Mostue, B. A. (2019). Causal factors and connections in construction accidents. *Safety science* 112, s. 130–141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.10.015>.
- Zhang, Y. et al. (2022). Systems theoretic accident model and process (STAMP): A literature review. eng. *Safety science* 152. 105596. ISSN: 0925-7535. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105596>.

A Vedlegg

Styrker og svakheter													
	Kompleksitet		Menneskelige feil		Før ulykken		Når (prosess)		Etter ulykken		Brukerinstruks	Type årsaker	Karakteristikk
	Enkel	Kompleks	Stor grad	Liten grad	Før ulykken	Ulykken	Når (prosess)	Ulykken	Etter ulykken				
Dominoteorien	x		x		x		x		x		-	Påvirkende faktorer og rotårsaker	Miljø og menneskelige feil
ILCI	x		x		x		x		x		-	Påvirkende faktorer og rotårsaker	Organisasjon, menneskelige feil, arbeidsmiljø
MLCM		x		x	x		x		x		x	Påvirkende faktorer og rotårsaker	Tilbakemeldingsløkker, organisasjon, sikkerhetsstyringsystem, arbeidssituasjon
ConAC		x		x	x		x		-		x	Påvirkende faktorer og rotårsaker	Interaksjoner, utstyr, materialer, mennesker, arbeidsteam og organisatoriske handlinger
Accimap	x		x		x		x		x		-	Påvirkende faktorer og rotårsaker	Sosio-teknisk miljø
MORT	x		x		x		x		x		x	Påvirkende faktorer og rotårsaker	Barrierer, organisasjon
Sveitserostmodellen	x		x		x		x		-		-	Aktive feil og latente betingelser	Barrierer
STAMP		x		x	x		x		-		-	Aktive feil, latente betingelser og rotårsaker	Sosio-teknisk miljø, tilbakemeldingsløkker
Tripod beta	x		x		x		x		-		x	Aktive feil, latente betingelser og rotårsaker	Menneskelig feil, arbeidsmiljø, ledelse, sikkerhetsstyringsystem
FRAM		x		x	x		x		-		x	Aktive feil og latente betingelser	Sosio-teknisk miljø, funksjoner, interaksjoner
HFACS	x		x		x		x		-		x	Aktive feil og latente betingelser	Organisasjon, ledelse, utrygge handlinger
SMORT	x		x		x		x		-		-	Påvirkende faktorer og rotårsaker	Arbeidssystem, ledelse, organisasjon og sikkerhetsstyringsystem
ATSB		x		x	x		x		-		x	Påvirkende faktorer og rotårsaker	Organisasjon, miljø, risikokontroll
Fiskebeinsdiagrammet	x		x		x		x		-		-	Rotårsaker	Utstyr, materialer, mennesker, prosess
Work behavior model	x		x		x		x		-		x	Påvirkende faktorer	Økonomi, arbeidsbelastning og menneskelig feil
OARU	x		x		x		x		x		-	Bestemmende og medvirkende faktorer	Organisasjon, arbeidsmiljø og barrierer
Haddon's ti strategier	x		x		x		x		x		-	Påvirkende faktorer	Barrierer
Energimodellen	x		x		x		x		-		-	Påvirkende faktorer	Barrierer
ARCTM	x		x		x		x		-		x	Rotårsaker	Oppklæring, holdninger og ledelsesprosedyrer
Constraint-response model		x		x	x		x		x		x	Påvirkende faktorer og rotårsaker	Interaksjoner i form av begrensninger og respons, organisasjon og arbeidsmiljø
Accident causation model		x		x	x		x		x		x	Påvirkende faktorer og rotårsaker	Tilbakemeldingsløkker, menneskelige handlinger, uforutsigbarhet

Figur A.1: Styrker og svakheter ved ulykkesmodellene inkludert karakteristiske trekk, av Rønne (2023).

