



Universitetet  
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

## MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Risikostyring	Vårsemesteret, 2020  Åpen
Forfatter: Irene Helle	..... (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Roger Flage  Veileder(e): Roger Flage	
Tittel på masteroppgaven:  En evaluering av dagens risikoanalysemetoder – læring fra inntrufne hendelser  Engelsk tittel: An evaluation of today's risk analysis methods – do these capture actually occurring events and how can they better do so?	
Studiepoeng: 30 stp.	
Emneord:  QRA  HAZOP  ORA  Granskingsrapporter	Sidetall: 51  Stavanger, 15. Juni 2020

## Innholdsfortegnelse

Forord.....	3
Sammendrag.....	4
1. Introduksjon.....	5
1.1 Bakgrunn.....	5
1.2 Målsetting og forskningsspørsmål.....	5
1.3 Avgrensning.....	5
1.4 Forkortelser.....	6
2. Teori.....	7
2.1 Risiko.....	7
2.2 Risikovurdering.....	7
2.3 Gransking og granskingsmetodikk.....	14
3. Kontekst for rapporten.....	16
3.1 Petroleumstilsynet.....	16
3.2 NORSOK Z-013.....	16
3.3 Risikonivået i norsk petroleum.....	16
4. Metode.....	18
4.1 Dokumentanalyse.....	18
5. Nødvendig data fra utvalgte granskingsrapporter og risikoanalyser.....	21
5.1 Oppsummering av granskingsrapportene.....	21
5.2 Analyseverktøyene QRA og HAZOP, ORA.....	27
6. Resultat.....	28
6.1 Oppsummering.....	28
6.2 Analysedel.....	31
7. Diskusjon og kritisk refleksjon.....	37
7.1 Diskusjon rundt funnene.....	37
7.2 Forslag til forbedringspunkt.....	41
7.3 Svar på forskningsspørsmål.....	43
7.4 Svakheter med metoden.....	44
7.5 Antagelser, inklusjon- og eksklusjonskriterier, hva kunne vært bedre?.....	44
7.6 Hva trengs videre?.....	46
8. Konklusjon.....	47
9. Referanser.....	48

## Forord

Jeg vil benytte anledningen til å takke min veileder Roger Flage for å stille meg kritiske spørsmål, gi gode råd om struktur, oppsett og tips til litteratur. Dette har vært uvurderlig hjelp som jeg er takknemlig for i en krevende, men lærerik periode mens en skriver masteroppgave. Spesielt i en tid hvor jeg har vært avhengig av å ha god kontakt på mail og Skype grunnet korona har veileder stilt opp og svart så fort det lot seg gjøre.

I samarbeid med Aker BP har jeg fått låne de relevante risikoanalysene og god støtte fra de ansatte som har hjulpet meg med spørsmål og kommet med gode innspill. Takk til Aker BP for å ha lånt ut risikoanalysene og gitt meg muligheten til å kunne spørre ansatte med stor ekspertise innen området.

En stor takk til Malene Sandøy, Karianne Eidesen og Fredrik Sirevaag som har gått systematisk gjennom oppgaven, korrekturlest og stilt relevante spørsmål som har hjulpet meg til å komme i mål med oppgaven.

Stavanger, 12.06.2020

Irene Helle

## Sammendrag

Risikoanalyser og metoder for å etablere et risikobilde er i konstant utvikling. I fagmiljøet erkjennes det at det eksistere svakheter og forbedringspotensialer i analysemetodene. Dette medfører at det er en kontinuerlig forbedringsprosess av metodene med hensikt å redusere risikoen for at alvorlige hendelser oppstår.

I denne rapporten sammenligner en hendelser ved bruk av granskingsrapporter fra Petroleumstilsynet og utvalgte risikoanalyser. Hensikten med dette er å se om det eksisterer svakheter i dagens risikoanalyser. Rapporten begrenser seg til å fokusere på hydrokarbonlekkasjer.

Metoden som blir brukt for å undersøke dette er dokumentanalyse. Data og nødvendig dokumentasjon ble hentet inn og analysen ble gjennomført ved å sammenligne granskingsrapportene med risikoanalyser. En nøye gjennomgang av granskingsrapportene for å mulig avdekke avvik og om disse kunne knyttes til potensielle svakheter i dagens metoder. Analysene som blir sett på er Quantitative Risk Assessment (QRA), hazard and operability study (HAZOP) og operasjonell risikovurdering (ORA). For en QRA blir det vurdert om hendelsene er identifisert og beskrevet. For en HAZOP er det vurdert om relevante veiledningsord er tatt med og at disse kunne avdekke mulige avvik. For en ORA, som er en analyse av barrieresvekkelser, blir det fokusert på om det ville være mulig å avdekke hendelsene, i tillegg blir det vurdert om kunnskapsnivået til personellet som gjorde risikovurderingen er gode nok.

Rapporten avdekker noen forbedringspunkter i dagens risikoanalyser. For en QRA blir det vanskelig å implementere nye forslag da denne analysen fokuserer på tiden etter en hendelse har inntruffet. I en HAZOP er det foreslått nye veiledningsord. Planlegging kan være et veiledningsord som vil være med å identifisere avvik. De kan oppstå under «risikotopper» som vedlikehold, planlagte prosjekter og i drift. I tillegg kom det frem at det er viktig å ha kvalifisert personell som utfører HAZOP-analysen. Personellets kvalifikasjoner vil gi en bredde i kunnskap og en forståelse for å se helheten når en skal identifisere potensielle avvik. Et viktig forbedringspunkt for en ORA er å ta med konsekvenser som er blitt identifisert i en HAZOP-analyse. Årsaken til dette er fordi det er en grundigere gjennomgang av konsekvenser i en HAZOP-analyse enn for en ORA. Å implementere dette kan være med å strukturere slik at riktige konsekvenser blir tatt med i ORAen. I tillegg til dette er det særs viktig at riktig personell utfører en ORA. Analysegruppen må evne å identifisere mulige konsekvenser som ikke er fra HAZOP-analysen.

Den menneskelige faktoren er vanskelig å dekke i dagens risikoanalyser. Årsaken til dette er fordi denne faktoren er uforutsigbar og vanskelig å modellere. Det ble lagt frem forslag til forbedringspunkter som kan bidra til å ta hensyn til denne faktoren. Å øke kunnskapen til personell vil være et viktig bidrag til at menneskelig feil reduseres. Da vil personellet få en bedre risikoforståelse og alvorlige hendelser kan dermed unngås i høyere grad.

Veien videre vil være å fokusere på andre alvorlige hendelser enn hydrokarbonlekkasjer og undersøke mulige forbedringspotensialer i risikoanalyser av disse. Å ha ekspertise i tillegg er noe som kan hjelpe for å avdekke svakheter, da erfaring og bred kunnskapsforståelse er viktig.

# 1. Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn

Det norske oljeeventyret startet med oljefunnet på Ekofisk i 1969. Dette gjorde at Norge for alvor ble en viktig nasjon innen olje og gass industrien. I 1980 skjedde den første storulykken på norsk sokkel, det var den fatale ulykken på Alexander Kielland 27 mars. Før ulykken var hovedfokuset på å produsere mest mulig olje. Etter ulykken ble fokuset i norsk petroleumsvirksomhet skiftet. Myndighetene begynte å få en større forståelse at det er viktig å redusere risiko for at ulykker skjer for å unngå tap av menneskeliv, men også tap av dyrebar produksjonstid. Det ble satt krav til risikoanalyser som skulle være med å redusere risikoen for at hendelser som Kielland-ulykken unngås i fremtiden, [1]. Målet om å redusere risikoen til det er så lavt som praktisk mulig er noe som har blitt jobbet med gjennom 40 år. For å kvalitetssikre analyser som skal gå gjennom det viktigste for å unngå at alvorlige ulykker skjer på norsk sokkel. Utviklingen av risikoanalyser er en kontinuerlig prosess for å stadig sikre en robusthet mot farer på en innretning, [2].

En risikoanalyse skal beskrive risikoen en må håndtere på en innretning, [3]. Denne analysen skal hjelpe å få en forståelse på hvilke farer som eksisterer og hvilke konsekvenser disse farene kan føre til. Etter kravet om risikoanalyser kom på norsk sokkel ble det fokusert spesielt på konsekvenser. I årenes løp har det kommet en faglig utvikling hvor en gjør et skille på konsekvensene, [4],[5] . Nå skilles det mellom spesifiserte konsekvenser og faktiske konsekvenser. Spesifiserte konsekvenser er konsekvensene som blir antatt i analysene og faktisk konsekvenser er de som faktisk skjedde. Analysene spesifiserer ulike konsekvenser som kan skje, men det er ikke 100 % sikkert at disse dekker den faktiske konsekvensen om en hendelse inntreffer. Spørsmålet blir da om de spesifiserte konsekvensene fanger opp faktiske konsekvenser som kan inntreffe etter en hendelse.

## 1.2 Målsetting og forskningsspørsmål

Målsettingen med rapporten er å se om risikoanalyser kan identifisere svakheter som fører til at hendelser inntreffer på norsk sokkel. Fokuset skal være på reelle caser med tilgang til granskingsrapporter og risikoanalyser. Det blir spesifikt sett på tre av dagens risikoanalyser; HAZOP, QRA og ORA. Følgende forskningsspørsmål skal bli besvart i løpet av denne rapporten:

- Fanger dagens risikoanalysemetoder, nærmere bestemt QRA, HAZOP og ORA, opp hendelser som inntreffer på norsk sokkel; og kan det identifiseres forbedringsforslag for disse metodene basert på en studie av inntrufne hendelser?

## 1.3 Avgrensning

I denne rapporten har det blitt gjort en viktig avgrensning. Det eksisterer flere typer storulykker som er identifisert og brukes i den norske olje og gass industrien. Hydrokarbonlekkasjer er den største bidragsyteren til uønsket hendelser på norsk sokkel. Derfor vil det fokuseres på hydrokarbonlekkasjer i rapporten.

En annen grunn til denne avgrensingen er hvor omfattende det ville blitt å gå gjennom flere storulykker. Dermed begrenset en det til kun en av ulykkene.

#### 1.4 Forkortelser

- Ptil – Petroleumstilsynet
- QRA – Quantitative risk assessment
- HAZOP - Hazard and Operability studies
- ORA – Operasjonell risikovurdering
- FMEA – Failure Modes and Effects Analysis
- ESDV – Emergency shutdown valves
- FAR – Fatal accident rate
- RS – Risikokilde
- A – Hendelse
- B – Barriere
- C – Konsekvens

## 2. Teori

Dette kapittelet presenterer ulike teorier som er nødvendig for å forstå innholdet og analysen i denne rapporten.

### 2.1 Risiko

Diverse litteratur og fagfelt gir mange definisjoner på risiko. Hva som blir fokusert på kan være alt i fra sannsynlighet, usikkerhet og/eller de potensielle konsekvensene til det en skal prøve å forstå. Aven beskriver risiko som følgende: «*The risk concept (C,U) covers (i) that the activity leads to some consequences, C, and (ii) that these consequences are not known (U)*» [3]. I denne rapporten skal granskingsrapporter fra Petroleumstilsynet bli analysert. Det er da viktig å forstå Petroleumstilsynet sin definisjon av risiko. Før 2015 la Petroleumstilsynet vekt på konsekvens og sannsynlighet av risiko. I 2015 ble det gjort en endring og fokuset ble lagt over på konsekvensen, C, og usikkerheten som tilhører denne konsekvensen, U. Petroleumstilsynet sin definisjon kan leses i tråd med Aven sin: *Risiko er konsekvensene av virksomheten, med tilhørende usikkerhet.* ". [3], [6]

Notasjonen (C,U) kan utvides til (A,C,U) hvor A er hendelsene. Men for å beskrive risiko brukes det (C',Q,K). C' er spesifiserte konsekvenser. Q er en beskrivelse av usikkerheten, det vanligste som blir brukt er sannsynlighet, ofte subjektiv sannsynlighetsbestemmelse. K er kunnskapen som ligger bak; dette kan være alt fra antagelser, modeller og eksisterende data, som Q og C' er basert på. Notasjonen kan utvides med (A',C',Q,K) hvor A' er spesifiserte hendelser. En risikoanalyse bør dekke disse ulike elementene.

I denne rapporten skal en se på om faktisk inntrufne hendelser A er beskrevet i risikoanalysene sine spesifiserte hendelser A'. En risikobeskrivelse som består av (RS',A',B',C') vil bli brukt for å se på dette. RS' er kilden til risikoen, A er spesifikke hendelser, B' er en barriere. Denne notasjonen vil bli brukt i form av QRA, HAZOP og ORA, her vil risikoanalysen være risikobeskrivelsen som skal dekke de ulike elementene. Dette vil bli sammenlignet med hva som faktisk skjedde, (RS,A,B,C) i form av granskingsrapportene. For å komme med et eksempel: RS kan være vedlikehold, A kan være lekkasje, B alarmer og gassdeteksjon og C kan være dødsfall. Denne fremgangsmåten skal bli brukt videre i analysedelen for å ha en gjennomgang av granskingsrapportene og se om (A',C',Q,K) har tatt med tilstrekkelig informasjon. [5]

For å få forstå hva en risikoanalyse er og hvilke vurderinger som ligger bak, vil det i neste del være en gjennomgang av dette.

### 2.2 Risikovurdering

Mennesker møter farer hver eneste dag. Et eksempel på dette: Når en går over en vei bør det ses begge veier før en går over veien. Først blir det identifisert farer (kan få en kollisjon mellom bilist og fotgjengeren), gjort en analyse (sjekker at veien er klar) og evaluert om det er klart å gå eller ikke. Dette er en form for risikovurdering som mange gjør i løpet av en dag. Risikovurderinger er brukt i flere industrier som olje og gass [7], kjernekraftverk [8] og romfartsindustrien [9]. Risikovurderinger er et verktøy for å gi en bedre forståelse av de forskjellige uønskede hendelser/konsekvenser som kan inntreffe og den tilhørende evaluering av risikoen. [10]

## 2.2.1 Risikoanalyse

En av hovedoppgavene til en risikoanalyse er å identifisere risiko, hvilke uønskede hendelser som kan inntreffe, hvilke konsekvenser disse kan gi og hvor sannsynlig disse er. Analysen skal gi et bilde av hvilke farer som eksisterer. Risikoanalysen er der for å gi beslutningstakere en støttende hånd når det skal tas viktige valg i møte med farer og risiko. En risikoanalyse gir ikke hele svaret, det er etter nøye gjennomgang av analysen, bruk av ekspertvurderinger og erfaring beslutningstakere kommer frem til en konklusjon. Petroleumstilsynet beskriver risikoanalyser som følgende [11]:

*Risikoanalyser er beslutningsstøtteverktøy som inngår som en del av grunnlaget for å styre risiko. Gjennom risikoanalyser og utredninger søker en å skaffe seg mest mulig kunnskap om virksomheten, også kunnskap om kunnskapsmangler.*

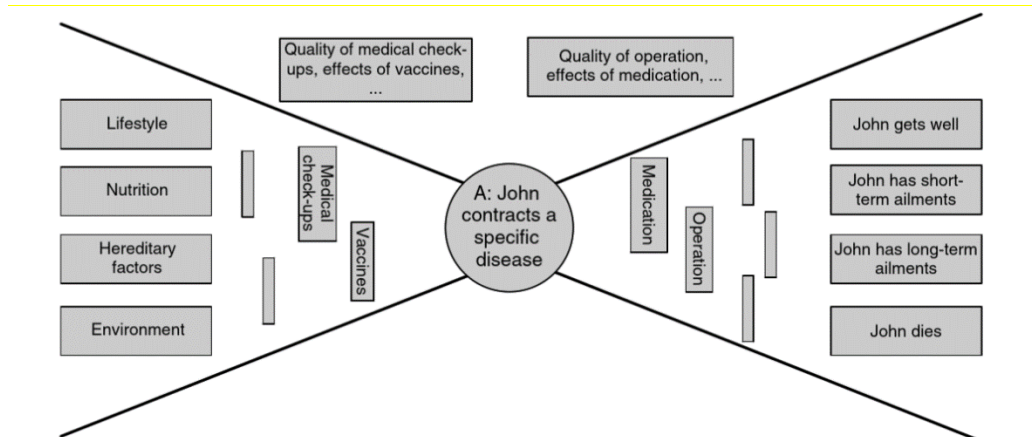
Risikoanalyse er en proaktiv tilnærming som behandler eksisterende informasjon for å identifisere farer og anslå risikoen før hendelser oppstår. Risikoen er en ukjent størrelse som risikoanalysen skal estimere. En risikoanalyse skal besvare tre spørsmål i analysen [12]:

1. Hva kan gå galt?  
Det må defineres hva som skal beskyttes. Dette kan være mennesker, miljø, økonomiske verdier og mye mer. Når en har funnet ut hva som skal beskyttes vil det være til hjelp å identifisere relevante farer som kan føre til skader.
2. Hva er sannsynligheten for at det skjer?  
Her må det bli gjort en analyse av de identifiserte farene og den tilhørende sannsynligheten for at faren kommer til å skje. Dette skal bli gjort for hver enkelt faktor som blir vurdert.
3. Hva er konsekvensene?  
Etter identifisering og analyser er det viktig å vurdere konsekvensene til farene. For å unngå konsekvenser vil det etter analysen være et svar på hvor en må implementere ulike barrierer som reduserer sannsynligheten for at en fare utvikler seg til en konsekvens, men det er også viktig å finne sannsynligheten for at en hendelse utvikler seg til en alvorlig konsekvens.

[12], [13]

En god måte å vise hvordan spørsmålene vil bli besvart er å se på en sløyfe (bow-tie). Sløyfen er en konseptuell modell som viser hvordan en risikoanalyse gjennomføres. I midten av sløyfen er hvor hendelsen skal være, se figur 1. Barrierer på venstre side er hinder som skal unngå at risikokilden utvikles til en hendelse, på høyre side er barrierer etter hendelsen har inntruffet og er der for å dempe en eventuell konsekvens av hendelsen. En sløyfe gir en bedre forståelse for tankegangen bak en risikoanalyse og hvordan den kan gjennomføres, se figur 1. Hvordan en kommer frem til konsekvensene vil være forskjellig for ulike risikoanalyser. [14]





Figur 1 Eksempel på sløyfe (bow-tie) [14]

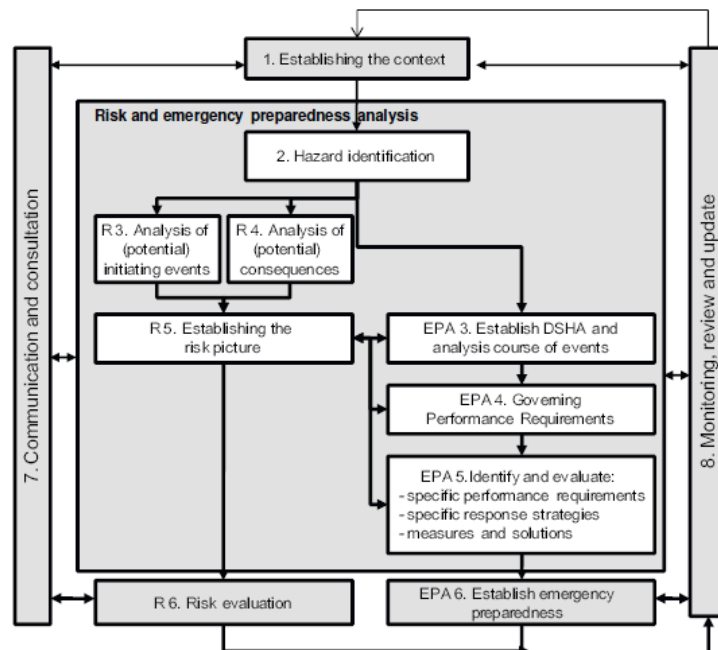
I neste avsnitt vil det være en gjennomgang av risikoanalysene som blir brukt i denne rapporten.

### 2.2.2 QRA, HAZOP og ORA

I denne rapporten er det tre typer risikoanalyser som er valgt ut og tre spesifikke risikoanalyser av disse er brukt. Analysene er som følgende QRA, HAZOP og ORA.

#### Quantitative risk assessment (QRA)

En velkjent forklaring på hva QRA er: “*QRA systematizes the knowledge, including uncertainty on the process, system, activities and phenomena that gets analyzed.*” [15]. I følge NORSOK Z-013 skal risikovurderingsprosessen gjennom tre steg; etablere kontekst, analysedel og risikoevaluering. I rapporten er det fokusert på analysedelen. Analysedelen inneholder; identifisering av farer, analysevurdering av risikoen og etablere et risikobilde, se figur 2. Etter disse farene er identifisert, vil det bli gjort en risikoanalyse for potensielle hendelser og konsekvenser. Til slutt kommer det en oppsummering for å etablere et totalt risikobilde for å kunne evaluere risikoen. [7]



Figur 2 Risikoanalyseprosessen [7]

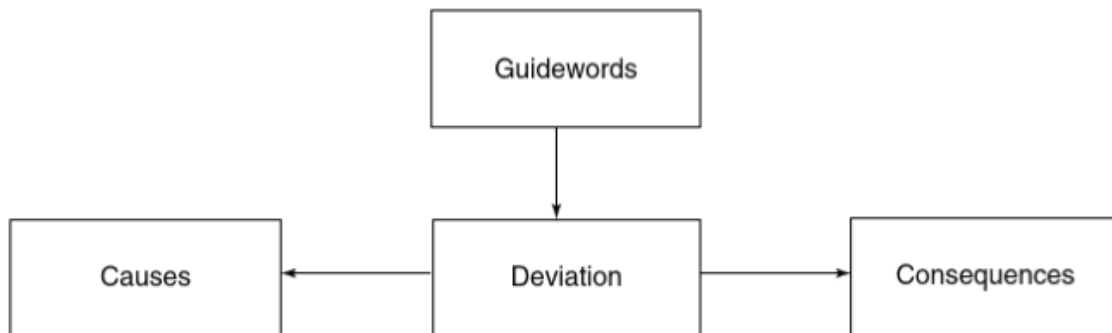
Et eksempel på et oppsett på en QRA fra olje og gass industrien er en av Aker BP sine analyser [16]. En antar at QRA-analysene til alle operatørselskap vil ha noenlunde lik fremgangsmåte. I oppsettet fra Aker BP deles rapporten inn slik at det er et hovedsammendrag som oppsummerer de viktigste funnene. QRAen er delt opp i ti storulykker som eksisterer på en innretning. Disse blir delt opp i flere appendikser hvor det er en systematisk gjennomgang av analyser av starthendelse og potensielle konsekvenser. Tre relevante appendikser for hydrokarbonlekkasjer er stigerør- og rørulykker, utblåsning og «well release» samt prosessulykkene. Appendiksene er strukturert på en slik måte at det først blir sett på risikomodellen som er brukt, konsekvensmodellering av lekkasjen med tenning eller eksplosjon, beskrivelse av ulike scenarioer, resultater som har kommet etter modelleringen, sensitivitet og robusthet. I olje og gass industrien blir en QRA brukt for å identifisere ulykkeshendelser og kvantifisere risikobidraget fra disse ved å dimensjonere utstyr for ulykkeslaster og kvantifisere risikonivået. Dette er lasten et eller flere barriereelementer skal motstå i et tidsrom for å klare akseptkriteriene for risiko for å unngå eskalering og klare å beskytte rømningsmulighetene. Å kvantifisere risikoen vil si å få målbare størrelser, en tallverdi på risikoen på en innretning. Ofte brukes FAR-verdi, som er fatal accident rate. Dette er et risikomål (en forventningsverdi) som ser på antall døde per 100 millioner eksponerte timer. [7] [16]

### Hazard and Operability studies, HAZOP

Hazard and Operability studies (HAZOP) er en kvalitativ metode for risikoanalyse. Denne metoden skal identifisere mulige farer og svakheter med en prosessinstallasjon. Studien ser på operasjonelle, prosessuelle eller andre systemer hvor det skal være detaljert nok beskrivelse om systemet som gir nok informasjon. Under utførelsen av HAZOP- analysen skal det være et team som inneholder alle disiplinene som er nødvendig for studien. HAZOP-metoden bruker et sett av veiledningsord, ord som skal hjelpe å stille de riktige spørsmålene slik at mulige avvik blir identifisert. Eksempel på veiledningsord vises til tabell 1. Denne analysemetoden er en systematisk analyse som går inn på hvert avvik fra design spesifikasjonen for systemet, ser på potensielle konsekvenser og hva som er bakgrunnen til at avvikene kan oppstå. Se figur 3 for hovedprinsippet bak HAZOP-analysen. Teamet skal se etter eventuelle

operasjonsproblemer i tillegg til det tekniske. Dette kan være alt fra menneskelige faktorer, sikkerhet, kvalitet, finansielle tap eller designfeil. Operasjonsproblemer vurderes i tillegg til potensielle farer, dette er med på å redusere faren for at en alvorlig ulykke kan oppstå. [3], [17]

Hvis det kommer frem flere avvik fra veiledningsordene bør det bli gjort en grundigere analyse. Kvantitative analyser er typisk brukt for å få en bedre forståelse av effekten og alvorlighetsgraden av konsekvensene, i tillegg beregne sannsynligheten for at det skjer. [17]



Figur 3 Prinsippet bak HAZOP-analysen[3]

Tabell 1 Eksempel på meningsfull kombinasjon av parametere og veiledningsord[17]

<i>Parameter</i>	<i>Guidewords That Can Give a Meaningful Combination</i>
Flow	None; more of; less of; reverse; elsewhere; as well as
Temperature	Higher; lower
Pressure	Higher; lower; reverse
Level	Higher; lower; none
Mixing	Less; more; none
Reaction	Higher (rate of); lower (rate of); none; reverse; as well as/other than; part of
Phase	Other; reverse; as well as
Composition	Part of; as well as; other than
Communication	None; part of; more of; less of; other

De nevnte risikoanalysene er proaktive – før en hendelse har skjedd. I neste avsnitt skal en gå inn på en analyse av barrieresvekkelser. Denne analysen er en vurderingsform som blir gjort underveis i driften etter det har oppstått en barrieresvekkelse.

## **Operasjonell risikovurdering, ORA**

En barrieresvekkelse på en innretning er en svekkelse som kan utgjøre en risiko for helse, miljø og sikkerheten til personellet. I tilfeller hvor barrieresvekkelser oppstår er det vanlig å bruke en ORA, operasjonell risikovurdering. I en ORA blir det gjort vurderinger om svekkelsen er alvorlig nok og om den kan føre til ødeleggende konsekvenser. Hvilke svekkelser som kan utgjøre en risiko eller stenge driften er noe som må bli tatt med i vurderingen. En ORA blir brukt etter en barrieresvekkelse og vil være en sentral del før en eventuell hendelse eller konsekvens oppstår. En ORA er en analyse av barrieresvekkelsene. I flere hendelser kan det være flere svekkelser som er utløsende for at hendelsen oppstår. Derfor er det viktig at det utføres en operasjonell risikovurdering, og at disse vurderingene blir gjort på de riktige svekkelsene. En ORA skal ivareta visse punkt som et minimum[18]:

- Etter en barrieresvekkelse, må riktig ekspertise involveres for å gjøre riktige vurderinger.
- Må alltid ta i betraktning at usikkerheten er en del av risikoen og/eller hvilket risikopotensial svekkelsen har.
- Ekspertisen skal komme med anbefalinger om å eventuelt stenge driften, fortsette drift med et annet tiltak eller isolere bort et eller flere segment hvor svekkelsen er utbredt.
- Nye tiltak for å lage permanente korrigeringer etter svekkelsen for å forsikre at barrieresvekkelsen ikke skjer igjen.

I en ORA er det en gjennomgang av årsak til svekkelsen, hendelsen som kan skje og eventuelle konsekvenser. En nøye gjennomgang hvor ansvarlige og teknisk ekspertise går gjennom spørsmål som skal besvares. Disse skal konkluderes før det kan avgjøres om normal drift kan fortsette, implementere nødvendige tiltak eller stenge ned produksjonen.

## **Kunnskap**

Som nevnt tidligere i risikoformatet så er K kunnskapen om situasjonen. Denne kunnskapen kan basere seg på data, ekspertise, modeller og antagelser. I risikoanalyser er denne kunnskapen viktig for å ha nok informasjon til å kunne brukes. Ved bruk av forskjellig «typer» kunnskap som nevnt over kan det medføre at det dannes forskjellige risikobilder ut ifra hvem eller hva som ligger bak. [19]

For en QRA er det stor variasjon og bredde i hvilken kunnskap som ligger bak konklusjonen på risikoresultatene. Vanligvis vil det være samlet inn gode vurderinger; data med modeller og simuleringer, gode og gjennomtenkte antagelser og ekspertvurderinger. I en HAZOP vil det være en begrensning i kunnskapen, hvor en er mer avhengig av analyseteam, antagelser og ikke like mye på data. I en ORA vil kunnskapsdelen være avhengig av ekspertenes kunnskapsnivå, denne analysen er den med størst begrensning i kunnskapsdelen. Ettersom HAZOP og ORA er mer ekspertavhengig vil det være svært viktig at riktig personell utfører analysene.

### 2.2.3 Sorte svaner

Det er spesielt to kjente definisjoner på sorte svaner fra henholdsvis Taleb og Aven. Taleb refererer til en sort svane som en hendelse med tre egenskaper, [20]:

1. First, it is an outlier, falling outside the realm of regular expectations because nothing in the past can convincingly point to this possibility.
2. Second it carries an extreme impact.
3. Third, in spite of its outliers, human nature makes us concoct explanations for its occurrence after the fact, rendering it explainable and predictable.

I rapporten er det Aven sin definisjon en kommer til å følge. Han definerer sorte svaner som følgende: « A black swan is seen as a surprising extreme event relative to the present knowledge/beliefs.»[21]. En sort svane deles inn i tre kategorier[21]:

- a) Ukjent – ukjent – hendelser som er fullstendig ukjent for alle
- b) Ukjent – kjent – hendelser som er kjent for noen, men ukjent for de fleste.
- c) Kjent – sannsynligheten er så lav at en neglisjerer det.

Den første sorte svanen er ekstreme hendelser som er vanskelig å forutsi og det ofte ligger stor usikkerhet ved. Ett virus som forskningsmiljøet ikke kunne forutse er et eksempel på dette. Ukjent-ukjent sort svane er umulig å få inn i risikoanalyser, fordi de er svært vanskelig å forutse og ukjent for alle. Dermed er det vanskelig å få inn denne typen svane i proaktive analyser. Sort svane som er ukjent-kjent er kjent for noen, men ukjent for de fleste. Et eksempel på den andre sorte svanen er 22 juli, denne var kjent for noen (en person) og ukjent for resten. Den tredje svanen forklares med at sannsynligheten er så lav for at hendelsen vil skje, at en velger å neglisjere denne. Katastrofen i Fukushima er et eksempel på den tredje sorte svanen. I Fukushima visste ekspertene at et jordskjelv kunne ødelegge en av kjernereaktorene, men sannsynligheten var så lav at det ikke ble tatt høyde for i utbyggingen av reaktorene. Hendelsen i Fukushima var en overraskelse for de som jobbet på kraftverket og de som bodde rundt, men for eksperter og ledelse var dette kjent. [21]

Sorte svaner av typene b) og c) er overraskelser mennesker kan prøve å unngå i høyest mulig grad. I olje og gass industrien er disse sorte svanene i fokus, formålet er å ha et høyt beredskap mot overraskelser av disse typene. Dette vil minimere sjansen for at en sort svane i kategori a) vil skje, selv om det ikke er mulig å forutsi denne typen sort svane.

En sort svane er en overraskende og ekstrem hendelse som kan føre til en ulykke, men hva skjer etter en hendelse? I denne rapporten skal fokuset være på hendelser på norsk sokkel. Etter at en hendelse har skjedd på en innretning er det viktig å granske hendelsen for å få bredere forståelse og læring til fremtidige situasjoner. Mer om dette i neste avsnitt.

## 2.3 Gransking og granskingsmetodikk

### 2.3.1 Gransking

Når det først har skjedd en ulykke, er det nødvendig å undersøke hva som gikk galt før ulykken inntraff (dette gjelder hendelser også). Gransking gir læring til fremtidige hendelser og kan være en av flere barrierer for å unngå ulykker i fremtiden. Når det skal granskes er det ulykker som har påvirket et større antall mennesker/en organisasjon, brudd på regelverk, miljø, menneskeliv har gått tapt eller hendelser med potensial for alvorlige konsekvenser. Gransking er gjort av organisasjoner selv for å finne ut hva som har skjedd. I noen industrier vil det være et kontrollorgan og politiet som involveres i granskingen når alvorlige hendelser, som storulykker, har skjedd. [22]

Petroleumstilsynet beskriver gransking som[23]:

*I ei gransking samlar vi inn fakta og avdekkar årsaksforhold. På bakgrunn av dette vurderer vi kva verkemiddel som må nyttast for å bringe verksemda i samsvar med regelverket og førebygga liknande hendingar.*

I figur 4 er det en gjennomgang av granskingsprosessen til Petroleumstilsynet. De viktigste punktene her er planlegging, gjennomføring, tiltakshåndtering og evaluering. [22]



Figur 4 Granskingsprosessen[22]

Fra figur 4 kan en observere at i noen tilfeller er det en uavhengig granskingskommisjon. I Norge, hvis det er en alvorlig hendelse vil det være myndighetene som gransker hendelsen. For olje og gass industrien vil dette være Petroleumstilsynet. Mer om Petroleumstilsynet og hva de gjør i kapittel 3.

### 2.3.2 Old vs. New

I følge Dekker[24] har det vært et skifte i hvordan årsaker til ulykker og ulykker blir sett på. Dekker skriver at det går fra et gammelt perspektiv og til et nytt perspektiv som omhandler at forståelser av systematiske faktorer og kompleksitet blir tatt med i betraktningen. Det gamle perspektivet fokuserte mer på menneskelige feil og at den eneste upålitelighetskilden som eksisterte er mennesket som påvirker systemet. Dekker mener dette er noe som industrien har gått bort ifra. I det nye perspektivet er ikke mennesket den eneste upålitelige kilden, mennesket gjør det de kan med den informasjonen, opplæringen og kunnskapen de har på det tidspunktet ulykken skjer. Det ligger en dypere faktor når mennesker gjør feil. Dekker mener det er et symptom av noe dypere og systematisk som er knyttet opp til oppgavene menneskene skal gjøre, operasjonelle omgivelser og ulike verktøyer de har tilgjengelig. [22], [24]

Menneskelig feil gir oss ikke en konklusjon, men heller en start på en gransking av hva som gikk galt. En spør ikke seg selv «hvorfors gjorde de feil?», men heller «hvorfors gjorde menneskene som de gjorde, hvorfors ga det mening at de gjorde det?». Dette er med på å få økt læringen og øker robustheten til systemet slik at en minimerer sjansen for en ny hendelse oppstår på systemet. [24]

### 2.3.3 Læring

Som nevnt i tidligere avsnitt er hovedgrunnen til gransking å ta lærdom av hendelsen og motvirke at ulykker skjer i fremtiden. Læring er der for å skape endring i system, men også tankesett for personellet som jobber med systemet. Åpenhet rundt hendelsen, hva som skjedd og hva som må bli gjort videre er viktig. Dette for å få en dypere forståelse og øke kunnskapen rundt det. Læring kan være med å redusere slike hendelser i fremtiden grunnet økt kunnskap. Ut i fra notasjonen (C',Q,K) er læring viktig for komponenten K. Etter endt hendelse er et mål å lære, læring øker kunnskap og med dette gi en økt bakgrunnskunnskap som fører til en bredere forståelse og gjør en mer beredt til en ny potensiell hendelse. [22]

For å lære av en hendelse brukes det ulike granskingsmetodikker, mer om det i neste avsnitt.

### 2.3.4 Granskingsmetodikk – MTO analysen

MTO-analysen er metoden som petroleumstilsynet bruker når de går inn og gransker hendelser. Denne analysemetoden deler inn ulike årsaker på organisatoriske (O), tekniske (T) og menneskelige (M) faktorer når det har skjedd en hendelse. Metoden lager en rett linje av ulike hendelser som har forårsaket den alvorlige hendelsen og det blir da et troverdig hendelsesforløp. En ulykkesmodell tar for seg hendelsen og jobber seg bakover for å finne grunnen til at hendelsen skjedd og hvilke barrierebrudd som har oppstått. [22]

I korte trekk inneholder MTO disse elementene [25]:

- Lineær hendelseskjede av flere bakenforliggende hendelser som har ført til hendelsen. Grafisk fremstilling av hendelsen.
- Årsaksanalyse: fremstiller årsakene til enkelthendelser i sekvensen. Denne analysen vil være med å avdekke avvik og/eller endringer i normal arbeidsmåte.
- Barriereanalyse: kartlegger om barrierer har sviktet, innenfor operasjonelle, administrative eller tekniske barrierer.

[25]

Selv om det blir utført granskninger og en tar lærdom av hendelser som har skjedd, kan det skje ulykker som vi ikke kan forutsi, dette er nevnt i 2.2.3 om sorte svaner.

I neste del kommer det nødvendig kontekst til rapporten.

## 3. Kontekst for rapporten

### 3.1 Petroleumstilsynet

Petroleumstilsynet (Ptil) er et statlig organ som skal være et tilsyn- og forvaltningsorgan. Ptil har et reguleringsansvar innenfor sikkerhet, arbeidsmiljø, beredskap og helse i olje og gass industrien. [26]

Et ansvarsområde til Ptil er å avgjøre hvilke parameter og grenser petroleumsnæringen skal holde seg innenfor. Ptil skal følge opp at parameterne er riktig og brukes som de skal. De har et ansvar fra staten til å gjøre valg innenfor petroleumsindustrien, dette kan være alt fra å stenge ned operasjoner, administrative valg i pålegg, samtykke, tvangspålegg, forbud osv. Når alvorlige hendelser inntreffer vil Ptil gå inn for å være transparente og åpne om hvorfor hendelsen skjedde. Dette for å gi lærdom til organisasjonen, men også hele den norske sokkel, slik at den type hendelse ikke skjer igjen. Tilsynsansvaret til Ptil er viktig for norsk sokkel, de er en beskyttelse for personell og miljø. De følger opp om arbeidsmiljøforhold, ytre miljø og eventuelle granskinger. Ptil er der for å forsikre at alt som blir gjort på norsk sokkel innenfor olje og gass industrien er gjort på en forsvarlig måte. [26]

Alvorlige hendelser kan skje på norsk sokkel og granskingsprosessen er viktig for Ptil. Å vurdere om det er nok at organisasjonen har egne interne granskingsrapporter som blir sendt til Ptil, eller om Ptil skal kjøre egne granskinger i samarbeid med politiet er en vurderingssak Ptil gjør etter hendelse. Dette gjelder for hendelser som er såpass store at hendelsene kunne ført til en storulykke, i tillegg til tap av menneskeliv. En storulykke er en ulykke som har store konsekvenser for alvorlige personskader og tap av liv, skade på miljøet og store finansielle tap. [27]

Ptil bruker norske standarder som veiledning og referanser når de skal granske. Mer om en viktig standard i neste delkapittel.

### 3.2 NORSOK Z-013

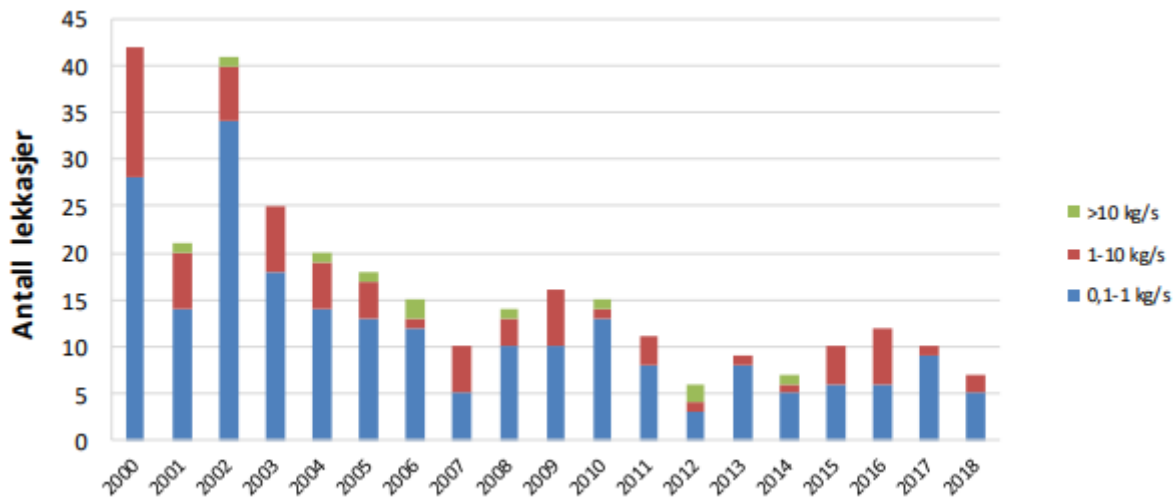
De norske standardene oppsto for å erstatte interne spesifikasjoner i bedrifter, gå fra et regelverk med detaljkrav til et regelverk med funksjonskrav og for erfaringsoverføring mellom organisasjoner i industrien. Petroleumstilsynet bruker norske standarder som referanseverdier hvis de skal inn å granske for å se om bedriftene har brukt det de skal. En standard som blir brukt i norsk olje og gass er NORSOK Z-013. Denne standarden har krav som er relatert til hvordan det effektivt planlegges og utføres risiko- og/eller beredskapsanalyser. NORSOK Z-013 er grunnmuren for QRA.[7]

### 3.3 Risikonivået i norsk petroleum

Årlig kommer det en hovedrapport fra Ptil som forteller hvordan risikonivået i norsk petroleum har vært året før. Hovedrapporten fra Ptil omhandler flere punkter og flere mulige storulykker. Her vil det bli fokusert på den delen som inneholder hydrokarbonlekkasjer. Den viser hvor ofte det skjer lekkasjer på norsk sokkel og når Ptil går inn og gransker. Hovedrapporten er med her for å gi en oversikt over hvor ofte hydrokarbonlekkasjer skjer på norsk sokkel.



Delen som omhandler hydrokarbonlekkasjer inneholder antall lekkasjer det har vært på norsk sokkel i løpet av året. Den viser at det er flere lekkasjer innen et år, men ikke store nok for at Ptil velger å gå inn å granske selv. Antall lekkasjer fra 2000 har vært synkende frem til 2018. For å bruke et eksempel: i 2000 var det cirka 42 lekkasjer, mens i 2018 var det kun 6/7 lekkasjer. I tillegg viser figuren at det har vært færre av de større lekkasjene, over > 10 kg/s, se figur 5. [28]



Figur 5 Antall lekkasjer på norsk sokkel fra 2000-2018 [28]

Trenden som vises på figur 5 er positiv i den forstand at det er synkende antall lekkasjer. Hendelser som har kommet fra hydrokarbonlekkasjer er betraktelig lavere enn i 2000. En av grunnene til dette er at Ptil har hatt god oppfølging, strengere krav for hvordan en håndterer lekkasjer og større fokus på å redusere det. I tillegg har industrien selv gjort en innsats på å redusere hydrokarbonlekkasjer.[28]

Norsk olje og gass nevner at de vanligste årsakene til hydrokarbonlekkasjer på norsk sokkel er [29]:

- 59 % manuell intervensjon (menneskelig faktor)
- 25 % teknisk degradering (korrosjon og erosjon)
- 13% designfeil
- 2 % prosessforstyrrelse (dette kan være for høyt trykk for eksempel)
- 1 % ytre last (skipskollisjon)

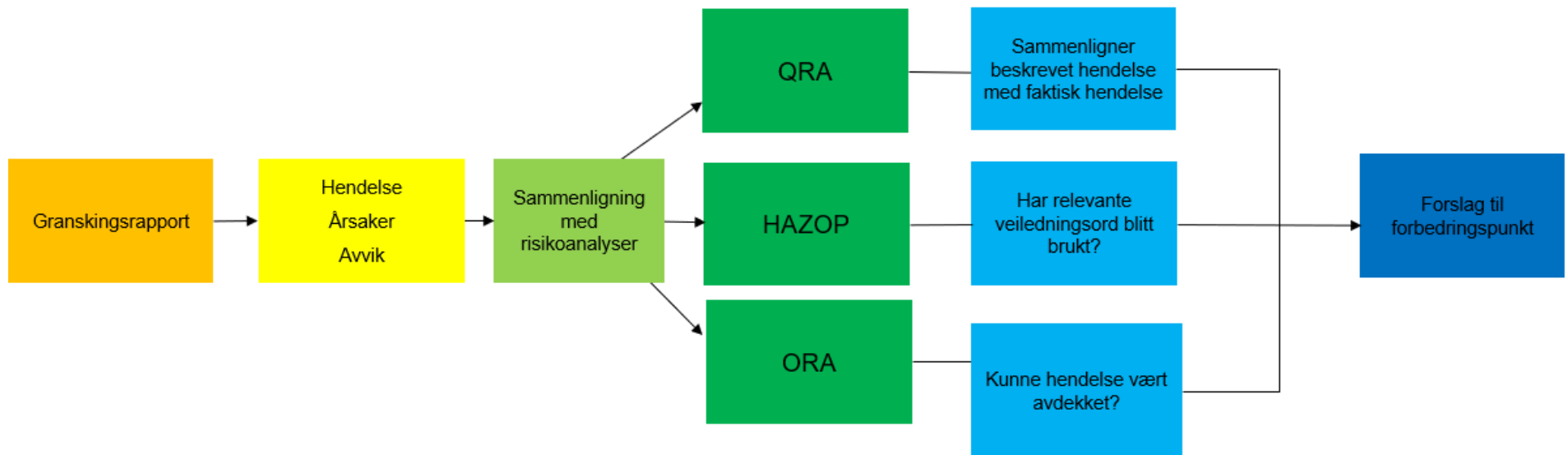
## 4. Metode

### 4.1 Dokumentanalyse

Dokumentanalyse er en type metode som ikke har en spesifikk fremgangsmåte. Denne analysemetoden ser på konkrete objekter, skriftlige/visuelle rester og fysiske ting. Innholdet i dokumentene skal analyseres. Det dreier seg om hvor god kvalitet dokumentet har i forhold til problemstillingene forfatteren ser på, kildekritikk og å være kritiske til dokumentene. Kildekritisk og kontroll av kildene er for å sikre at dokumentene som blir brukt er av høy kvalitet og de rette dokumentene. Å stille spørsmål til dokumentets opprinnelse, forfatterens påstand og innhold i dokumentet er viktig. Dokumentene som blir brukt skal derfor vurderes ut ifra fire kriterier i tillegg til at en skal være kildekritisk: autentisitet, troverdighet, representativt og betydning i forhold til forskningsspørsmålet. [30]

Utførelsen av dokumentanalysen ble gjort som følgende, se også figur 6:

- Hentet ut granskingsrapportene fra Ptil sin hjemmeside og mottok de nødvendige dokumentene fra Aker BP.
- Samlet inn alt av nødvendig informasjon fra granskingsrapporter, dokumenter fra Aker BP og nødvendig teori.
- Gjennomgang av dokumentene.
- Laget en kort oppsummering av funn.
- Analyse av funnene.
- For risikoanalysene ble det sett på følgende:
  - QRA: Her ses det på om hendelse er beskrevet i analysen i forhold til den faktiske hendelsen.
  - HAZOP: Har relevante veiledningsord vært nok for å fange opp hendelsen
  - ORA: I denne risikoanalysen blir det fokusert på om hendelsen kunne blitt avdekket i ORAen. I tillegg er det gjort en rangering av kunnskapen til personellet fra lav til høy. Fra granskingsrapportene blir det sett på om hvordan kunnskapshåndteringen har vært. Dette er en skjønnsmessig vurdering og dermed blir det gjort en del tolkninger.
    - For å få lav må det være viktige barrieresvekkelser med mangel på vurdering.
    - For medium har det vært en gjennomgang og vurdering, men likevel var det mangler i personell/ forståelsen av hendelsen.
    - For å få høy må det ha blitt gjort en god vurdering etter en svekkelse og høy forståelse etter svekkelsen.



Figur 6 Beskrivelse av metodeprosessen

### **Autentisitet**

Autentisitet handler om dokumentet er gyldig/opprinnelig i forhold til problemet. I granskingsrapportene er det viktig å observere om det faktisk er autentisk og at dokumentet svarer til det faktiske problemet. I granskingsrapportene blir det sett på hendelse og granskning av hendelse for å finne feil som har blitt gjort på innretningen, noe som støtter det faktiske problemet. [30]

### **Troverdighet**

En må vurdere hvor troverdig dokumentet er, oppriktighet og nøyaktighet er viktig. Graden av troverdighet vil bli avgjort ut ifra problemet i dokumentet og vurdering av forfatterens motiver og hvordan dokumentet har blitt brukt. Granskingsrapportene kommer fra et kontrollorgan fra myndighetene. Derfor kan en anta at granskingsrapportene er troverdige og oppriktige siden det kommer fra det øverste hold i myndighetene som kontrollerer petroleumsindustrien. [30]

### **Representativt**

Hvor representativt er dokumentet en har tilgang på er en viktig del av dokumentanalyse. Er det nok informasjon, hvor mye informasjon som er lagret eller har forsvunnet, hva er det som ikke er tatt med i dokumentet eller som man ikke har umiddelbar tilgang til. Hvis det blir slik at det materialet en har tilgang til er representativt for problemet, vil den være god i forhold til elementene og da vil dokumentet fremstå mer troverdig. I granskingsrapportene har Ptil hatt ansvar for å gå inn å granske. Åpenhet og fokus på at en skal forstå feilene som har skjedd er viktig for Ptil. Derfor kan det antas at dokumentene fra Ptil vil være representativt, da mye nødvendig informasjon ligger ute for de som skal bruke dem. [30]

### **Betydning i forhold til forskningsspørsmålet**

Betydning i dokumentanalyse menes at om teksten er forståelig. Det er viktig å få en forståelse for dokumentet som blir sett på. Dette er endepunktet til enhver dokumentanalyse og vil være målet til denne analysen.[30]

### **Feilkilder ved bruk av dokumentanalyse**

Når en bruker dokumentanalyse som metode er det satt høye krav til repliserbarhet av analysen. Dette betyr at det er tydelige forventning om at forskeren skal være nøytral og opprettholde en objektivitet i møte med dokumentene. [31] En viktig feilkilde er at forskeren kan bli påvirket av egen bakgrunnskunnskap og egne forventninger. Denne feilkilden kan være med å påvirke hvilke valg som blir gjort, antagelser, inklusjonskriterier og eksklusjonskriterier. Som det allerede er nevnt er det viktig å undersøke troverdigheten av dokumentene, er de pålitelige nok og kan en stole på det som kommer fra dokumentet.

## 5. Nødvendig data fra utvalgte granskingsrapporter og risikoanalyser

### Inklusjon- og eksklusjonskriterier

I denne rapporten har det blitt valgt ut ulike inklusjons- og eksklusjonskriterier. Å bruke inklusjons- og eksklusjonskriterier er gjort for å få en mer helhetlig og strukturert rapport. I tillegg vil kriteriene også sikre et homogent datasett som det kan gjøres sammenligninger på og vil hjelpe å si noe samlet om denne type hendelser. Kriteriene er valgt ut ifra: hendelsesår, hendelsestype og omfanget/alvorlighetsgrad på hendelse, og hvilke risikoanalyser som blir brukt, se tabell 2. Et av eksklusjonskriteriene er å holde tidsperioden på 10 år, alt før 2009 vil ikke bli fokusert på. Dette for å sikre at risikoanalysene som blir brukt har nokså likt oppsett med de samme hovedelementene i risikoanalysene som det var i 2009. Granskingsrapporter fra før 2009 kan være utdaterte risikoanalyser som ikke holder dagens standard, i form av hvilke hovedelementer som fokuseres på. Valget om å ekskludere andre typer risikoanalyser enn de som er nevnt er at sammensetningen av disse dekker store deler av innretningen og analysene er de vanligste for operatørselskapene. Analysene som blir brukt er en kvantitativ analyse som tar for seg typiske tallverdier, QRA, en kvalitativ analyse, HAZOP og en analyse som er operasjonell og følger driften til innretningen, ORA.

All informasjon fra risikoanalysene er lånt fra Aker BP. Spesifikke tallverdier er ikke av interesse, men heller det generelle oppsettet av analysene. En antar at den generelle informasjonen i analysene vil være det samme for hvert operatørselskap som utfører disse risikoanalysene.

**Tabell 2 Inklusjons- og eksklusjonskriterier**

	<i>Inklusjonskriterier:</i>	<i>Eksklusjonskriterier</i>
Hendelsesår	2009-2019	<2009
Hendelsestype	Hydrokarbonlekkasjer	Andre storulykkepotensialer
Omfang/alvorlighetsgrad	Gransket av et eksternt organ (i dette tilfelle Ptil)	Gransket av operatørselskapene
Risikoanalyser	HAZOP, QRA, ORA	Andre risikoanalyser

### 5.1 Oppsummering av granskingsrapportene

I tabell 3 er det en oppsummering av de forskjellige granskingsrapportene og her kan det observeres at de fleste hydrokarbonlekkasjene er fra Equinor (tidligere Statoil). Equinor har størst markedsandel og portefølje.

**Tabell 3 Oppsummering av granskingsrapportene**

Navn	Selskap	Dato	Granskingsrapport publisert	Lekkasjetype	Mengde, lekkasjerate og tid
Heimdal	Statoil	26.05.12	04.02.13	Gasslekkasje	3.5 tonn gass 16.9 kg/s N/A
Ula	BP	12.09.12	30.04.13	Gasslekkasje	1.6 tonn gass og 20 m <sup>3</sup> olje N/A
Oseberg A	Statoil	17.06.13	27.01.14	Gasslekkasje	85 kg gass 0.1 kg/s N/A
Statfjord C	Statoil	26.01.14	28.08.14	Oljelekkasje	48 m <sup>3</sup> olje 20.8 kg/s 37 min
Gudrun	Statoil	18.02.15	15.03.16	Gasslekkasje	2.8 tonn/4m <sup>3</sup> kondensat 8 kg/s N/A
Åsgard A	Statoil	10.03.17	11.09.17	Gasslekkasje	31 tonn gass og 1.6 tonn kondensat N/A
Gjøa	Engie	21.06.17	09.01.18	Kondensatlekkasje	1.25 m <sup>3</sup> 1.06 kg/s 30 min

## 5.1 Heimdal

All informasjon er hentet fra granskingsrapporten [32].

### Hendelse

I forkant av testing av to nødavstengningsventiler (ESDV) oppsto det en hydrokarbonlekkasje. Hendelsen førte til en lekkasjerate på 16.9 kg/s og en gasslekkasje som ble estimert til 3500 kg. Deteksjon av gass ble observert på større deler av innretningen.

### Årsak

Et rørsegment mot fakkelen skulle trykkavlaste for å forberede testing av to nødavstengningsventiler (ESDV). I dette segmentet var det en kuleventil som var den siste barrieren til fakkelen. Kuleventilen fikk et trykk på rundt 129 bar som den ikke tålte fordi den kun var lagt til å tåle 16 bar. Eksponeringen av trykket førte til at pakning i den ene flensen på ventilen sviktet.

Det finnes også flere bakenforliggende årsaker, men disse blir ikke omtalt her. De bakenforliggende årsakene kan leses i granskingsrapporten.

## **Avvik**

Petroleumstilsynet identifiserte flere avvik knyttet til granskingsrapporten [32]:

- Mangelfull designløsning
- Mangelfull designløsning var ikke identifisert
- Mangelfulle beskrivelser av hvordan arbeidet skulle utføres
- Svakheter ved Statoils dokumentstyring
- Svakheter ved risikovurdering i planleggingen
- Svakheter ved erfaringsoverføring og læring i Heimdalorganisasjonen etter tidligere hendelser
- Svakheter knyttet til kompetanse og risikoforståelse
- Utilstrekkelig kapasitet på brannvannsystemet
- Utilstrekkelig kapasitet på eksplosjonsvegg mellom produksjonsområdet og boreområdet

For mer informasjon refereres det til [32].

## **5.2 Ula P**

All informasjon er hentet fra granskingsrapporten [33].

### **Hendelse**

Svekkelse i bolter førte til brudd i ventilen. Bruddet førte til en lekkasje av hydrokarboner, 20 m<sup>3</sup> olje og 1600 kg gas. Lekkasje- og varighet er ikke beskrevet i rapporten.

### **Årsak**

Brudd i boltene var den direkte årsaken. Bruddet oppsto på grunn av svetting i ventilen som kom i kontakt med boltene. Boltene skulle aldri ha vært i kontakt med mediet, dette førte til spenningskorrosjon. Korrosjonen førte til en svekkelse av boltene og dermed brudd.

Det finnes også flere bakenforliggende årsaker, men disse blir ikke omtalt her. De bakenforliggende årsakene kan leses i granskingsrapporten.

## **Avvik**

Petroleumstilsynet identifiserte flere avvik knyttet til granskingsrapporten [33]:

- Mangelfull oppfølging av forutsetninger for materialvalg i ventilen
- Mangelfull dokumentasjon på ventilen
- Mangelfull gjennomføring av og oppfølging av egne analyser
- Mangelfull strategier og prinsipper for utforming, bruk og vedlikehold av barrierer
- Mangelfull passiv brannsikring
- Mangelfull eksplosjonsmotstand
- Mangelfull oppfølging av identifiserte avvik
- Mangler ved nødavstengningssystemet
- Mangler ved vedlikehold av prosessikringssystemet
- Mangler i beredskaps- og aksjonsplaner

- Mangelfull risikovurdering ved planlegging og gjennomføring normaliserings- og rengjøringsarbeidet

For mer informasjon, refereres det til [33].

### 5.3 Oseberg A

All informasjon er hentet fra [34].

#### Hendelse

Oseberg A var i normaldrift da hendelsen skjedde. To tandembrønner var koblet sammen til samme ventil på produksjons- og testmanifold. Brønn B-41 hadde en gassinjeksjon operasjon og brønn B-45 produserte til testseparator. Slugging fra B-45 førte til nedstengning av testmanifolden på grunn av høyt trykk. Etter trykkøkning måtte det være en trykkavlastning opp til fakkelen. Trykkavlastningslinjen eroderte, dette førte til et hull og gass lekket ut. Lekkasjeraten var på 0.1 kg/s med en total masse på 85 kg gass som lekket ut.

#### Årsak

Den direkte årsaken til denne hendelsen er det eroderte hullet på grunn av trykkavlastningen. Rundt år 2000 begynte Oseberg-feltet å produsere sand. Det var ikke sett på om anlegget kunne takle sandproduksjon. Sandproduksjonen førte til eskalering og tilslutt en gasslekkasje.

Det finnes også flere bakenforliggende årsaker, men disse blir ikke omtalt her. De bakenforliggende årsakene kan leses i granskingsrapporten.

#### Avvik

Petroleumstilsynet identifiserte fem avvik knyttet til granskingsrapporten [34]:

- Mangelfull overtrykkssikring av testmanifold
- Manglende risikovurdering i forbindelse med bruk av utjevnings- og trykkavlastningssystemet til gassinjeksjonen
- Mangelfulle arbeidsprosesser for drift av brønner og prosessanlegg
- Mangler ved inspeksjonsprogrammet
- Mangler ved design for å håndtere sandproduksjon

For mer informasjon, refereres det til [34].

### 5.4 Statfjord C

All informasjon er hentet fra granskingsrapporten [35].

#### Hendelse

Ptil skriver følgende om hendelsesforløpet[35]:

«Da hendelsen inntraff var man i ferd med å overføre stabilisert olje fra Statfjord A til Statfjord C. Samtidig pågikk det klargjøring for vedlikehold av en lastepumpe i skaftet. En isoleringsventil til lastepumpen holdt ikke tett og medførte at olje fylte opp pumpehuset. Oljen ble drenert til sumptank i bunnen av skaftet via en åpen dreneringsventil. Da nivået i sumptanken steg til 70 %, startet pumpen for overføring



av væsken i sumptanken til tank for oljeholdigvann under kjellerdekket. Ventilen for regulering av nivået på tanken for oljeholdigvann åpnet ikke og man fikk lekkasje av olje via væskelåser på kjeller dekk»

Lekkasjeraten var på 20.8 kg/s og 42 m<sup>3</sup> stabilisert olje lakk ut i cirka 37 minutter.

### **Årsak**

Grunnet vedlikehold på lastepumpe A, så var pumpen isolert. Dette gjorde at det ble en indre lekkasje i ventilen. Dreneringen av olje ble for mye for i sumptanken. Da denne overskredet grensen til hva den kunne inneholde. Av automatikk ble det pumpet til oljeholdig vann. En ventil åpnet ikke på returløpet for vannet, dette førte til at det ble fullt opp med olje og overliggende rørsystem ble også fylt opp av olje.

Det finnes også flere bakenforliggende årsaker, men disse blir ikke omtalt her. De bakenforliggende årsakene kan leses i granskingsrapporten.

### **Avvik**

Petroleumstilsynet identifiserte flere avvik knyttet til granskingsrapporten [35]:

- Mangelfull designløsning for dreneringssystem
- Mangelfulle analyser og vurdering av designløsning forut for endring i dreneringssystemet
- Konsekvensklassifisering av utstyr tilknyttet til dreneringssystemet gjenspeiler ikke faktisk konsekvens for sikkerheten
- Mangelfull planlegging, utføring, testing og overvåking av arbeidet av isoleringen av lastepumpe A
- Mangelfull styring av samtidige aktiviteter
- Mangelfull kvalifisering og oppfølging av kompetanse

For mer informasjon, refereres det til [35].

## **5.5 Gudrun**

All informasjon er hentet fra granskingsrapporten [36].

### **Hendelse**

Deteksjon av en gasslekkasje i M30-prosessmodulen på Gudrun 18 februar 2015. Et brudd i et 2 tommer rør i bypasslinje nedstrøms til 1. trinns separator førte til lekkasjen. Lekkasjeraten ble estimert til å være 8 kg/s og det totale utslippet på 2800 kg/4m<sup>3</sup> kondensat.

### **Årsak**

Den direkte årsaken til lekkasjen er bruddet på røret.

Det finnes også flere bakenforliggende årsaker, men disse blir ikke omtalt her. De bakenforliggende årsakene kan leses i granskingsrapporten.

### **Avvik**

Petroleumstilsynet identifiserte flere avvik knyttet til granskingsrapporten [36]:

- Ikke ivarettatt sitt ansvar for å sikre et designvalg som reduserer risikoen for alvorlige hendelser

- Mangelfull robusthet i utforming. Funksjonssvikt i reguleringsventil
- Mangler ved informasjonshåndtering og kompetanse
- Utilstrekkelig informasjon ved skift og mannskapsbytte
- Svakheter ved erfaringsoverføring og læring. Kunnskaper og erfaringer som kunne forhindre hendelsen ble ikke brukt på en hensiktsmessig måte
- Arbeidsutførelse på elektrisk anlegg. Varmekabel er ikke installert med tilstrekkelig beskyttelse mot unormale tilstander

For mer informasjon, refereres det til [36].

## 5.6 Åsgard A

All informasjon er hentet fra granskingsrapporten [37].

### Hendelse

Lekkasje på brønn S-4 oppsto når blindflensen ble fjernet. Brønnen var ikke i normaldrift, den var frakoblet og blindflens var installert på knyttingspunkt mot manifold. Dette førte til at 31 tonn gass og 1.6 tonn kondensat lekket ut.

### Årsak

Årsaken til at dette skjedde var for at blindflensen ble tatt av og isolasjonsventilen var åpen.

Det finnes også flere bakenforliggende årsaker, men disse blir ikke omtalt her. De bakenforliggende årsakene kan leses i granskingsrapporten.

### Avvik

Petroleumstilsynet identifiserte fem avvik knyttet til granskingsrapporten [37]:

- Det var ikke etablert barrierer for å hindre utslipp til sjø ved arbeid på havbunnsrammen
- I forbindelse med planlegging og gjennomføring av operasjonene på brønn S-4, var viktige bidragsyttere til risiko og endring av risiko ikke identifisert og behandlet
- Ansvar for testing av isoleringsventiler var ikke entydig definert og samordnet i forbindelse med de pågående operasjonene
- Krav til barrierer i styrende dokumentasjon for arbeid på brønnrammen var i liten grad kjent for involvert personell
- Relevante krav i styrende dokumenter angående isoleringsventiler blir ikke belyst i de operasjonelle prosedyrene.

For mer informasjon, refereres det til [37].

## 5.7 Gjøa

All informasjon er hentet fra granskingsrapporten [38].

### Hendelse

Kondensatlekkasje på Gjøas nedre dekk 21 juni 2017. Lekkasjen kom fra et brudd i en sveis på en rørstuss. Bruddet førte ikke til et «clean cut» av røret, men nok til at lekkasjeraten var på 1.06 kg/s. Total mengde som lekket ut var 1.25 m<sup>3</sup>.

### Årsak

To årsaker til hendelsen:

- Brudd på rør
- Feil ved nødavstengingssystemet

Brudd på røret vise seg å være en sveisefeil på indre del av rørstussen som førte til brudd.

Feil ved nødavstengingsventilene. Den ene ESD-ventilen stengte ikke, mens ESD-ventilen til fakkelen lot seg ikke åpne fra kontroll rommet. Tidsintervallet ble for lang og det medførte en eskalering av hendelsen. Grunnen til disse problemene var et resultat av korrosjon og vanninntrenging over lengre tid. Svekkelsene var allerede kjent i organisasjonen.

Det finnes også flere bakenforliggende årsaker, men disse blir ikke omtalt her. De bakenforliggende årsakene kan leses i granskingsrapporten.

### **Avvik**

Petroleumstilsynet identifiserte fire avvik knyttet til granskingsrapporten [38]:

- Mangelfull ivaretagelse og oppfølging av barrierer
- Mangelfullt vedlikehold og mangler i styrings- og vedlikeholdssystem
- Manglende tiltak og bruk av innsamlet data ved håndtering av vibrasjon over tid.
- Mangelfull utøvelse av roller og ansvar.

For mer informasjon, refereres det til [38].

For å kunne analysere funnene fra granskingsrapportene er det valgt ut tre risikoanalyser for å identifisere mulige svakheter. I delkapittel 5.8 kommer det en gjennomgang på hvorfor disse er relevante for denne rapporten.

### **5.2 Analyseverktøyene QRA og HAZOP, ORA**

QRAen som blir brukt i denne rapporten er fra 2019, [16]. Denne holder dagens standard på hva kvantitativ risikoanalyse skal inneholde. Som nevnt tidligere, er det appendiksene som inneholder storulykker relatert til hydrokarbonlekkasjer som er viktige.

HAZOP-analysen som blir brukt er fra 2018, [39]. Denne holder dagens standard for hva som blir brukt i en HAZOP av veiledningsord.

Operasjonell risikoanalyse – her blir oppsummeringen av hva en ORA skal inneholde og når det blir utført, [18]. Dette for å se om noen av hendelsene kunne være unngått hvis de hadde tatt eventuelle barrieresvekkelser på alvor. I tillegg til dette er det viktig å påpeke at en ORA er kun relevant hvis det har vært en barrieresvekkelse før en hendelse har oppstått.

I neste del av rapporten vil det bli sett på om hendelsen har blitt dekket i analysene. Det vil først bli en gjennomgang av hver hendelse med en diskusjon om analysene dekker den faktiske hendelsen. Tilslutt vil det være en oppsummering som diskuterer og ser om det er noe gjentakende som mangler.

## 6. Resultat

I denne delen skal det bli sett på om analysene dekker hendelsene som har skjedd. Her kommer det en oversikt over oppsummeringen etter analysen ble gjort. I analysedelen vil det først være en QRA-del, her blir det sammenlignet hendelsen som har skjedd og hva som er beskrevet i QRA. For HAZOP skal det bli sett på om veiledningsordene som er brukt er nok eller om det burde være flere for å fange opp hendelsen. I delen med ORA blir det sett på om kunnskapen bak beslutningen har vært gode nok, her vil det deles inn i høy, middels og lav kunnskap. Grunnen til at ORA blir rangert på denne måten er fordi en ORA baserer seg så og si kun på ekspertvurderinger og det er her eventuelle svakheter kan komme frem, dette skal bli diskutert mer etter gjennomgangen av analysen.

### 6.1 Oppsummering

Se tabell 4 for beskrivelse av risikoen og tabell 5 oppsummering av hva som ble gjort og fokusområdene til de forskjellige risikoanalysene i analysedelen.

**Tabell 4 Den faktiske hendelsen på et risikobeskrivende format**

<i>Innretning</i>	<i>RS (Risikokilde)</i>	<i>A (hendelse)</i>	<i>B (Barrierer)</i>	<i>C (konsekvens)</i>
Heimdal	Testing Trykkavlastning: En kuleventil tålte lavere trykk enn den ble utsatt for.	Hydrokarbonlekkasje	Kuleventil var siste barriere til fakkell.	Produksjonstap pga. nedstenging.
Ula P	Bruk av feilmateriale førte til brudd i ventil på grunn av svinging på boltene i ventilen.	Hydrokarbonlekkasje	Ventil	Utslipp av olje til sjø, materielle konsekvenser og produksjonstap pga. nedstenging.
Oseberg A	Produksjonen av sand førte til erosjon somaget et hull.	Hydrokarbonlekkasje	Testmanifoldens trykkavlastningslinje	Produksjonstap pga. nedstenging og materielle skader.
Statfjord C	Klargjøring for vedlikehold. En pumpe ble isolert, indre lekkasje i ventilen som drenerte oljen videre til en sumptank. Isoleringsventilen var ikke tett.	Hydrokarbonlekkasje	Isoleringsventil	Produksjonstap pga. nedstenging, utslipp til sjø.
Gudrun	Kraftig vibrasjoner førte til brudd på røret som førte til en lekkasje.	Hydrokarbonlekkasje	«Containment»	Utslipp til sjø, produksjonstap pga. nedstenging og ødelagt produkter.
Åsgard A	Planlagt aktivitet. Blindflensen ble tatt av og isolasjonsventilen var åpen. Isoleringsventilen skulle være den eneste barrieren. Ble ikke testet som en barriere før den ble tatt i bruk.	Hydrokarbonlekkasje	Isoleringsventilen	Utslipp av gass og kondensat i havet og atmosfæren. Produksjonstap pga. nedstenging.
Gjøa	Sveisefeil og korrosjon førte til brudd på røret og ESD-ventil ville ikke stenge pga. korrosjon og vanninntrenging.	Kondensatlekkasje	Nødvstengingssystem	Produksjonstap, kjemisk eksponering av personell og utslipp av kondensat til omgivelser og sjø.

**Tabell 5 Oppsummering og fokusområdet for de forskjellige risikoanalysene i analysedelen**

Innretning	QRA		HAZOP		ORA	
	Beskrivet i analysen (implisitt i lekkasjefrekvensen)	Faktisk hendelse	Relevante veiledningsord som blir brukt	Veiledningsord som kunne blitt brukt	Kunne hendelsen vært avdekket av en ORA?	Rangering av kunnskap/vurdering som ble gjort etter svekkelse
Heimdal	Designfeil/konstruksjonsfeil	En kuleventil tålte lavere trykk enn den ble utsatt for	Feil materiale	Planlegging	Ja	Lav
Ula P	Korrosjon	Korrosjon grunnet svetting i ventilen	Korrosjon	N/A	Ja	Medium
Oseberg A	Erosjon	Sandproduksjon førte til slugging og erosjon i trykkavlastningslinjen	Erosjon	N/A	Ja	Medium
Statfjord C	Vedlikehold	En pumpe skulle isoleres, isolasjonsventilen klarte ikke å holde det isolert og det ble en indre lekkasje	Vedlikehold	Planlegging	Ja	Medium
Gudrun	Vibrasjon	Vibrasjoner som har ført til brudd i rør på et kritisk punkt i prosessanlegget	Brudd	Vibrasjoner	Ja	Lav
Åsgard A	Planlagt aktivitet	Blindflensen på brønnen ble fjernet. Isoleringsventilen sto i åpen posisjon som førte til lekkasje ut til havet		Planlegging	N/A	N/A
Gjøa	Konstruksjonsfeil og korrosjon	Sveisefeil på indre del av rørstuss førte til brudd ESD-ventil klarte ikke å stenge pga. korrosjon og vanninntrenging over lenger tid	Korrosjon	N/A	Ja	Lav

## 6.2 Analysedel

I denne delen vil det være en mer detaljert gjennomgang av hendelsene.

### Heimdal

#### *QRA*

Fokuset i NORSOK Z-013 er å kvantifisere risikobidraget for storulykker, som oftest brukes FAR-verdi og frekvenser for tap av hovedsikkerhetsfunksjoner. [7]. Metodikken fokuserer på konsekvensene til årsakene. En lekkasje i QRA er analysert i detalj med hensyn til deteksjon, nødavstenging, trykkavlastning, spredning av gass, antenning, brannlaster, brannskillers motstand og eksplosjon osv. for å finne konsekvensen til lekkasjen. Sannsynligheten for en lekkasje settes basert på historiske lekkasjefrekvenser kombinert med faktisk utstyrsmengde på innretningen. Årsaker som design/konstruksjonsfeil og manuell intervensjon, som er tilfellet i denne hendelsen, er dekket indirekte ved den etablerte lekkasjefrekvensen som er basert på hendelsesdata som dekker design/konstruksjonsfeil. Med dagens metodikk med bruk av historiske frekvenser vil det være vanskelig å reflektere over hvor mye av sannsynligheten som skyldes «manuelle» feil, og sånn sett vil det ikke være en gevinst å gjøre tiltak på dette. Andre analyser som FMEA (failure modes and effects analysis), ser mer detaljert på hvert enkelt utstyr. Denne ser på hva som skjer hvis noe utstyr feiler og skal forutsi feileffekten det kan ha på systemet i en helhet. Fokuset er på årsaken til at komponenter feiler. [3]

Hensikten med QRA er ikke å peke på spesifikke årsaker, men å dimensjonere konsekvensene. En QRA er allerede svært detaljert og går nøye gjennom konsekvensdelen av en hendelse.

#### *HAZOP*

Et relevant veiledningsord som er brukt er feil materiale. I dette tilfellet ville det være vanskelig å vite at ventilen ikke ville tåle det trykket som kuleventilen ble tilført. Det ville vært krevende å sjekke alle ventiler på en innretning når HAZOP-analysen blir utført, selv om det finnes materialspesifikasjoner som skal kontrollere dette. Å kontrollere dette er svært ressurs- og tidkrevende. Dermed er ikke feil materiale nok for å identifisere slike problemer. Et mulig veiledningsord er planlegging. Ved bruk av planlegging som veiledningsord kan det være med å oppdage avvik eller svakheter under planlagte drifts- eller prosjektaktiviteter. Svakheter i områder hvor drifts- eller prosjektaktiviteter skal utføres kan bli oppdaget. Dermed er det lettere å spørre om materiale eller utstyret i det området på innretningen tåler det trykket ventilene i gitt område vil få påført under testing for eksempel. Å implementere planlegging inn vil være mindre ressurs- og tidkrevende enn å sjekke alle ventiler på hele innretningen. Muligheter til å finne avvik i planleggingene og rutinene før drifts- eller prosjektaktiviteter starter, om prosjektet er godt nok planlagt, er det avvik som de ikke har sett på i prosjektet osv. Implementeringen av planlegging kan være med å hjelpe å hindre fremtidige hendelser, det kan også være med på å sikre at prosjektet går som det skal uten at det skjer en alvorlig hendelse.

En annen mulighet kan være å ha planlegging i en undergruppe i veiledningsordet «operations/maintenance». I denne sammenhengen vil en da ha fremtidige operasjoner og

vedlikehold der planlegging er særskilt viktig for å unngå «risikotopper» som kampanjeaktiviteter kan medføre. Det er en vurderingssak om planlegging bør være et eget punkt eller i en undergruppe. Et argument for å bruke planlegging som et eget veiledningsord er at det kan gi bedre muligheter til å oppdage mulige avvik på fremtidige prosjekter. I tillegg vil det være en grundigere gjennomgang av planlagte operasjoner når det er et eget veiledningsord enn i en undergruppe og dette vil gi bedre mulighet til å oppdage mulige svikt og avvik.

#### *ORA*

På Heimdal har det vært barriereelementer som sviktet før lekkasjen oppsto. Når en svekkelse skjer skal det bli gjort vurderinger for å minimere sannsynlighet for at en hendelse oppstår og i verste fall utvikle seg til en konsekvens. I dette tilfellet har det enten blitt gjort en utilstrekkelig vurdering eller ikke vært en vurdering i det hele tatt om å innføre tiltak eller stoppe driften midlertidig. Granskingsrapporten oppgir at oppfølging av aktivitetene ikke har vært gode nok. Dette viser at vurderinger som har blitt gjort ikke har vært gode nok. Her har det vært ikke-tilfredsstillende oppfølging av svekkelsene. Med andre ord har de menneskelige vurderingene vært utilstrekkelige. Oppfølging av barrieresvekkelsene og dokumentasjon kunne vært med å avdekke hendelsen da det kom frem at ventilen ikke tålte et høyere trykk enn 16 bar. Dette burde vært oppdaget under oppfølging av barrieresvekkelsene.

#### **Ula P**

#### *QRA*

Henviser til Heimdal, men i dette tilfellet var teknisk degradering grunnen til at hendelsen skjedde. Dette er en årsak som er dekket indirekte ved den etablerte lekkasjefrekvensen som er basert på hendelsesdata som dekker vedlikehold.

#### *HAZOP*

Generelle og relevante veiledningsord har blitt brukt, en HAZOP kunne ha avdekket dette problemet.

#### *ORA*

På Ula P var det tidlig kjent at svetting på ventilene var et problem. Det ble gjort en risikovurdering som anslo at det kunne ventes med å skifte boltene til innretningen skulle ha vedlikehold. Her ble det gjort en risikovurdering etter svekkelsen hadde skjedd på boltene. Denne hendelsen er et godt eksempel på at mangel på riktig personell som utfører ORAen kan føre til at det blir gjort kritiske feilvurderinger. Hadde ekspertise innenfor det rette feltet vært tilstede på møtet kunne det kommet frem tidligere at boltene ikke ville tåle ventetiden og måtte skiftes ut med engang, da kunne hendelsen være unngått.



## **Oseberg A**

### *QRA*

Henviser til Heimdal, men i dette tilfellet var vedlikehold grunnen til at hendelsen skjedde. Dette er en årsak som er dekket indirekte ved den etablerte lekkasjefrekvensen som er basert på hendelsesdata som dekker vedlikehold.

### *HAZOP*

Generelle og relevante veiledningsord er brukt, en HAZOP kunne ha avdekket dette problemet.

### *ORA*

På Oseberg A var det tidlig kjent at innretningen produserte sand. Her har det ikke blitt videre oppfølging på problemet. Det ble ikke gjort tilstrekkelige vurderinger om Oseberg A kunne tåle sandproduksjonen over lenger tid. Sandproduksjonen er noe som burde blitt tatt i vurdering og gjort nøyere analyser før eventuelt videre drift. Denne hendelsen kunne vært unngått hvis personellet hadde vurdert konsekvensene av sandproduksjon og gjort tiltak for at olje og gass produksjonen skulle tåle sand.

## **Statfjord C**

### *QRA*

Henviser til Heimdal, men i dette tilfellet var vedlikehold grunnen til at hendelsen skjedde. Dette er en årsak som er dekket indirekte ved den etablerte lekkasjefrekvensen som er basert på hendelsesdata som dekker vedlikehold.

### *HAZOP*

Et relevant veiledningsord som er brukt er vedlikehold. Under dette veiledningsordet er det eksempler på avvik, dette kan for eksempel være isolasjon. I dette tilfellet har det ikke vært en grundig gjennomgang av veiledningsordet. Her hadde det vært viktig og stilt spørsmål om utstyret hadde tilstrekkelig kapasitet til å isolere bort de gjeldende krefter for å unngå lekkasjemuligheter. Et mulig veiledningsord er planlegging. Ved bruk av planlegging som veiledningsord kan det være med å oppdage avvik/svakheter under planlagte drifts- eller prosjektaktiviteter som vedlikehold. Dette kan hjelpe å finne svakheter i områdene hvor drifts- eller prosjektaktiviteter skal utføres og det kan være lettere å spørre om det eksisterer mulige svakheter i området. Dermed er det lettere å spørre om materiale eller utstyret i det området på innretningen skal være isolert under vedlikehold og at ventilene har tilstrekkelig dimensjonering til å stå isolert uten å medføre en lekkasje for eksempel. Dette vil være mindre ressurs- og tidskrevende enn å sjekke alt under vedlikehold og mulighetene for å finne avvik i planlegging og rutinene før drifts- eller prosjektaktiviteter starter. Om prosjektet er godt nok

planlagt og er det avvik som de har sett på i prosjektet er noen eksempler på spørsmål som kan brukes ved å bruke planlegging som veiledningsord. Implementeringen av planlegging kan være med å hjelpe å forhindre hendelser, det kan være med å sikre at prosjektet går som det skal uten at det skjer en alvorlig hendelse.

En annen mulighet kan være å ha planlegging i en undergruppe i veiledningsordet «operations/maintenance». I denne sammenhengen vil man da ha fremtidige operasjoner og vedlikehold der planlegging er særs viktig for å unngå «risikotopper» som kampanjeaktiviteter kan medføre. Det er en vurderingssak om planlegging bør være et eget punkt eller i en undergruppe. Et argument for å bruke planlegging som et eget veiledningsord er at det kan gi bedre muligheter til å oppdage mulige avvik på fremtidige prosjekter. I tillegg vil det være en grundigere gjennomgang av planlagte operasjoner når det er et eget veiledningsord, enn i en undergruppe, dette vil gi bedre mulighet til å oppdage svikt og avvik.

### *ORA*

I 2010 var det en lekkasje på Gullfaks B hvor en lignende hendelse hadde skjedd. Fra granskingsrapporten kom en frem til at organisasjonen ikke har klart å forbedre seg etter Gullfaks B hendelsen. At det ikke har blitt tatt tak i tidligere er problematisk, da det skjedde en ny lik lekkasje på en annen innretning. Dette gjelder verifikasjoner, utarbeidelse og godkjenning av isolasjoner. En ORA omhandler det som skjer på den faktiske innretningen. Men det er problematisk at en hendelse som har skjedd noen år før på en annen innretning ikke blir tatt på alvor i organisasjonen og videreføre nødvendig informasjon til andre innretninger. Organisatorisk læring og erfaringsdelinger er relevant og nødvendig i en organisasjon. Dette øker fokuset på risiko og en kan dele kritisk informasjon som kan være nødvendig for andre områder og innretninger.

### **Gudrun**

#### *QRA*

Henviser til Heimdal, men i dette tilfellet var det vibrasjon som var grunnen til at hendelsen skjedde. Dette er en årsak som er dekket indirekte ved den etablerte lekkasjefrekvensen som er basert på hendelsesdata som dekker vibrasjon.

#### *HAZOP*

Generelle veiledningsord er brukt, men det kommer frem fra granskingsrapporten at det manglet sjekkspørsmål på utfordringer som omhandler dimensjoneringen av reguleringsventilene. Vibration er ikke et generelt veiledningsord. Å bruke vibrasjon som et veiledningsord kan være med å skape bevissthet rundt det, spesielt rundt kritiske områder på innretningen. Vibrasjoner trenger ikke være et eget veiledningsord, men kan være et underord under strømning. Strømning er med å skape vibrasjoner og er derfor et punkt hvor avvik som vibrasjoner burde bli sett på. Samtidig kan det være for snevert å ha det under strømning, vibrasjoner kan spre seg på grunn av dårlig fundament, støy, feil i lager på utstyr, løse bolter osv. Dette er en vurderingssak om vibrasjon skal være eget eller en undergruppe i strømning.

## *ORA*

På Gudrun har det vært dårlig oppfølging i driftsfase etter signaler fra prosessanlegget. Oppfølging er viktig og det er derfor det eksisterer ORA, her skulle det blitt gjort en risikovurdering. Dårlig kommunikasjon hvor kunnskap ikke har blitt systematisert og gitt videre slik at driften av innretningen har den kunnskapen som trengs. Hadde det vært optimal kommunikasjon og god oppfølging i en ORA som gir godt grunnlag for risikovurderingene, kunne hendelsene vært unngått.

## **Åsgard A**

### *QRA*

Henviser til Heimdal, men i dette tilfellet var det manuell intervensjon som var grunnen til at hendelsen skjedde. Dette er en årsak som er dekket indirekte ved den etablerte lekkasjefrekvensen som er basert på hendelsesdata som dekker manuell intervensjon.

### *HAZOP*

Et mulig veiledningsord er planlegging. Ved bruk av planlegging som veiledningsord kan det være med å oppdage avvik under planlagte drifts- eller prosjektaktiviteter. Dette kan hjelpe å finne svakheter i områdene hvor drifts- eller prosjektaktiviteter skal utføres og det kan være lettere å spørre om det eksisterer mulige svakheter i området. Dermed er det lettere å spørre om materiale/utstyret i det området er skikket til det som skal bli gjort. Dette vil være mindre ressurs- og tidskrevende enn å sjekke hele innretningen. Det kan være muligheter til å finne avvik i planlegging og rutinene før drifts- eller prosjektaktiviteter starter, er prosjektet godt nok planlagt, er det avvik som de ikke har sett på i prosjektet osv. Implementeringen av planlegging kan være med å hjelpe å forhindre hendelser, det kan være med å sikre at prosjektet går som det skal uten at det skjer en alvorlig hendelse.

En annen mulighet kan være å ha planlegging i en undergruppe i veiledningsordet «operations/maintenance». I denne sammenhengen vil man da ha fremtidige operasjoner og vedlikehold der planlegging er særs viktig for å unngå «risikotopper» som kampanjeaktiviteter kan medføre. Det er en vurderingssak om planlegging bør være et eget punkt eller i en undergruppe. Et argument for å bruke planlegging som et eget veiledningsord er at det kan gi bedre muligheter til å oppdage mulige avvik på fremtidige prosjekter. I tillegg vil det være en grundigere gjennomgang av planlagte operasjoner når det er et eget veiledningsord enn i en undergruppe og dette vil gi bedre mulighet til å oppdage svikt og avvik.

## *ORA*

N/A

## **Gjøa**

### *QRA*

Henviser til Heimdal, men i dette tilfellet var det korrosjon, konstruksjonsfeil som kom fra vibrasjon som var grunnen til at hendelsen skjedde. Dette er en årsak som er dekket indirekte ved den etablerte lekkasjefrekvensen som er basert på hendelsesdata som dekker både korrosjon, konstruksjonsfeil og vibrasjon. I dette tilfellet var det svikt i nødavstengingssystemet. En QRA skal dekke dette.

### *HAZOP*

Her hadde det ikke vært oppfølging av sikkerhetskritisk utstyr og barrierer. En HAZOP kunne ha avdekket dette problemet.

### *ORA*

På Gjøa var det tidlig problemer med vibrasjoner på pumpa. Det ble gjort vurderinger om en skulle løse problemet og det ble valgt vekk. Her var det feilvurderinger over hvor problematiske vibrasjonene var. Hadde det vært riktig personell som gjorde ekspertvurderingene kunne kritisk informasjon kommet frem og hendelsen kunne ha vært unngått.

## 7. Diskusjon og kritisk refleksjon

I dette kapittelet kommer det en diskusjon rundt funnene, deretter kommer det forslag til forbedringspunkt og en refleksjon rundt forskningsspørsmålet. Videre vil det være et delkapittel om metoden og ulike kriterier som ble brukt. Helt til slutt avsluttes det med et avsnitt om veien videre.

### 7.1 Diskusjon rundt funnene

Diskusjonen rundt funnene vil være i fokus i dette delkapittelet. Her vil det være en diskusjon rundt funnene fra kapittel 6 med hensyn til risikoanalysene som har blitt brukt. Videre blir det en diskusjon om kunnskap og den menneskelige faktoren.

#### *QRA*

En QRA er en omfattende og svært detaljert risikoanalyse som fokuserer på konsekvenser etter en hendelse har oppstått. Å se om QRA kunne hindre at en hendelse ville skje er vanskelig. En QRA fokuserer på tiden etter hendelsen har oppstått. Dermed vil ikke denne metoden gi en bedre risikoforståelse for å avdekke hendelser før de oppstår, da den ikke fokuserer på dette området.

I en QRA er metodikken å se på konsekvenser av hendelsene. Her er det en nøye og svært detaljert gjennomgang av konsekvensene av en hydrokarbonlekkasje og hva som kan utvikle seg. Dette blir sett på med hensyn til FAR-verdi. I figur 1 er fokuset til en QRA den høyre side av sløyfen (bow-tie). Ut ifra risikoformatet fra kapittel 2.1 og sløyfen vil en QRA ikke dekke RS' eller B' som den forebyggende barrieren (på venstreside av sløyfen) eksplisitt, det den faktisk dekker er A' hendelsene, B' som den konsekvensreducerende barrieren og C' konsekvensen beskrevet. Årsakene som manuell intervensjon, teknisk degradering og designfeil m.m. er dekket implisitt ved den etablerte lekkasjefrekvensen som er basert på hendelsesdata som dekker disse årsakene. Dermed er det vanskelig å finne svakheter i en QRA i forhold til en granskingsrapport, da det fokuseres på to forskjellige sider av sløyfen.

En QRA er svært detaljert, hvis det lar seg gjøre å ta med årsaker så kan det føre til enda mer variasjon i dimensjonerende laster på de ulike innretningene for operatørselskapene på norsk sokkel. I verste tilfelle kan robustheten ved senere oppdateringer bli svakere. En allerede detaljert nok analyse som detaljeres mer kan bli for mye. Det eksisterer allerede andre analyser som fokuserer på venstreside av sløyfen. Et annet punkt er at det er svært tids- og ressurskrevende å utføre en QRA, tid er penger og om en skal bruke enda mer ressurser på å gjøre en QRA kan det føre til at snarveier blir tatt og det blir mindre rom for å fokusere på den faktiske essensen i analysen. Som er å få ut en pålitelig kvantitativ risikoverdi som gir en FAR-verdi for konsekvensene på innretningene.

På den andre siden, hvis årsaker blir med og det utføres på en korrekt og kvalitetssikret måte kan det være med på å redusere FAR-verdien mer. Først og fremst kan årsaks-fokuset være med å gi høyere kvantitativ verdi i starten. Grunnen til dette er fordi en vil ha flere faktorer som kan være med å påvirke risikoen, dermed vil utgangspunktet være en høyere risikoverdi. En økt startverdi kan være med å bidra til å redusere mulighetene for at årsakene oppstår i utgangspunktet, fordi fokuset vil være med å redusere verdien. Da minimeres sjansen for at

det i det hele tatt kan bli en hendelse og i verste tilfelle en konsekvens av hendelsen. Å minimere risikoverdien til et minimum er noe organisasjoner ønsker, men det er en fin balanse mellom å ville redusere denne kvantitative verdien og økonomi. Å investere for mye penger vil være bortkastet og det kan ende opp med at reduksjonen av FAR-verdien er minimal. Det eksisterer allerede analyser som fokuserer på årsaker (FMEA), en QRA bør fokuserer på konsekvensene som den allerede gjør i dag.

### *HAZOP*

I en HAZOP er fokuset på å identifisere avvik, dermed er dette en analyse som burde klare å avdekke flere av svakhetene og avvikene før hendelsene inntraff. I risikoformat perspektiv skal en HAZOP dekke hele formatet hvis en ser det slik at RS' er for eksempel høyt trykk, A' ventilen stenger og da vil det bli sett på hvilke konsekvenser dette medfører og tilhørende barrierer. En HAZOP tar for seg hele sløyfen. En av grunnene til at denne metoden ikke klarte å avdekke hendelsene før de traff kan ha vært mangel på riktige veiledningsord.

Nye generelle veiledningsord er et forbedringspunkt for en HAZOP. Dette er for å gi en bedre oversikt og forståelse som kan være med å identifisere svakheter som ikke har blitt identifisert før og dermed hindre fremtidige hendelser. Et viktig nytt veiledningsord som kom frem i denne rapporten er planlegging. Planlegging vil gi et overblikk og forståelse når fremtidige prosjekter er planlagt. Tanken bak dette er å ha en oversikt og en mulighet til å se på svakheter i det spesifikke område prosjektet skal utføres i. I stedet for å gå gjennom alle ventiler på hele innretningen, vil det da kun være fokusert på det området det skal være et prosjekt på. Å implementere planlegging vil være tidsbesparende og kan være med å øke sikkerheten på innretningen.

En HAZOP skal i teorien fokusere på menneskelig faktor i tillegg til det tekniske. I alle granskingsrapportene kommer det frem at det er manglende vurderinger og forståelse på risiko. Det er noe som må bli fokusert på og dermed er det noe som burde bli implementert. Manuell intervensjon er et av de viktigste punktene for lekkasjer og dermed er noe som må bli fokusert mer på. Å få dette implementert i analysen kan være vanskelig, men er noe som må vurderes om det skal være et eget veiledningsord og ikke bare være i en undergruppe under «operations/maintenance». Hvis det blir et eget veiledningsord vil det vise at dette er noe som skal bli tatt i betraktning og kan være med å øke risikoforståelsen. Dette kan gi en forståelse på at mennesket selv er en barriere for å unngå hendelser.

Tid er penger og det å implementere inn flere veiledningsord og forsikre at alt er med vil ta tid og en HAZOP er allerede tidkrevende. Det er en vurderingssak om det skal fokuseres mer på dette. Men når det kommer opp gang på gang at menneskelig vurdering og den menneskelige faktoren er problematisk er dette noe som burde fokuseres mer på.

### *ORA*

Et viktig punkt å få frem for en analyse av barrieresvekkelsene, som ORA er, er at den kun er relevant dersom det var en kjent svakhet på forhånd av hendelsen. For mange av hendelsene var det barriereelementer som var svekket eller et kjent problem før hendelsen inntraff.

I en ORA skal hele risikoformatet være beskrevet. Denne skal dekke RS'-årsaker, A'-hendelser, C'- konsekvenser og ha en vurdering på hvilke barrierer som er svekket og hvilke

som er i drift og eventuelt nødvendige tiltak. En ORA skal dekke alt på venstreside av sløyfen da den beskriver dette, men fokuset er på høyreside for hvilke konsekvenser det kan oppstå hvis en barriere er svekket og hvilken alvorlighetsgrad den kan ha. Dermed er det svært viktig at personellet har nok bredde i kunnskap og overblikk over situasjonen. For en ORA er det vurderinger etter en barrieresvekkelse har oppstått. Her skal det vurderes fortløpende for å minimere faren for en konsekvens. Kvaliteten av en ORA avhenger av personellet som utfører analysen. Her er det svært kritisk å tenke gjennom konsekvensene da det kan med feilvurderinger føre til alvorlige hendelser og i verste fall konsekvenser. For å gjøre det på en strukturert måte og ha et oppsett under alle ORAer burde det hentes inn konsekvenser fra HAZOPen. Dette for å sikre at de viktigste konsekvensene er tenkt på. Personell i en HAZOP har ofte mer og bredere kunnskap angående situasjonen enn når en ORA utføres. En må påpeke at personellet også må tenke utenfor boksen og se om det kan være andre konsekvenser enn de som er nevnt i en HAZOP. Å bruke konsekvensene fra en HAZOP kan være tidsbesparende da disse allerede eksisterer.

Personellet som utfører analysen er viktig, disse må ha god kunnskap, forståelse og bredde for å vurdere konsekvensene. Hvis ikke kan det bli svikt i vurderingene sånn som hendelsen på Ula P, hvor det manglet ekspertvurdering som kunne ha slått fast at boltene burde ha blitt byttet ut så fort som mulig.

### *Kunnskap*

Bredden av kunnskap har vært forskjellig for risikoanalysene. I en QRA er det en solid bredde med kunnskap og informasjon fra flere hold. I en HAZOP reduseres det kraftig og for en ORA er det kun ekspertvurderingene som gjelder. Innskrenking av kunnskapsgrunnet i HAZOP og ORA fører til at de er mer avhengig av at riktig personell utfører analysen. Dette fordi de kan miste kritiske elementer av analysen hvis personellet ikke har god nok kunnskap.

Lærdom av hendelser er nøkkelen for å unngå fremtidige hendelser, [22]. Da er det viktig å få den økte kunnskapen ut i organisasjonen, med organisasjonslæring, erfaringsdeling og være transparent blant organisasjoner. Denne læringen vil være med å øke K i risikoformatet (C',Q,K). Økt kunnskap og hvordan en årsak utvikler seg til en konsekvens og følgende til denne kan være med å gjøre risikoanalyser mer solide. Derfor er det viktig at dette blir tatt med i betraktning. Kunnskapen vil bli mer solid av mer lærdom og kunnskap vil være spesielt viktig i de sterkt personellavhengige HAZOP og ORA verktøyene. For en ORA vil det være viktig at de som utfører har et overblikk og forståelse av utviklingen av en barrieresvekkelse og hvordan en svekkelse kan føre til en konsekvens. Dette for å sikre at riktig informasjon kommer frem og at analysen vil være mer robust. Som nevnt, for å gjøre det mer troverdig er et alternativ å ta konsekvensen fra HAZOP. En bredere kunnskapsdel vil bli tatt med i ORAen og det baseres ikke kun på ekspertvurderinger.

Et eksempel på læring innad i organisasjonen er etter hendelsen på Staffjord C. Her kom det frem at det hadde vært en lignende hendelse på Gullfaks B. Åpen kommunikasjon innad i organisasjonen og riktig personell hadde fått denne informasjonen som var nødvendig etter hendelsen på Gullfaks B, kunne hendelsen på Staffjord C vært unngått. Læring på tvers av operatørselskaper er også viktig for å øke kunnskapen. En skaper mer solide risikoanalyser og informasjon som kan være viktig for alle organisasjoner og kan føre til at alvorlige hendelser unngås.

### *Den menneskelige faktoren, hvorfor fortsetter det å skje?*

Å implementere den menneskelige faktoren i risikoanalyser er krevende, [40] [41]. Dette er en faktor som er vanskelig å forutsi, [42]. Organisasjonen på innretningen avhenger av hvert individ, en organisasjon er ikke sterkere enn sitt svakeste ledd. Derfor må det være et stort fokus på den menneskelige faktoren. I 2.3.2 blir det nevnt at det har vært skifte i å konkludere med at mennesket gjorde feil, til og heller granske på hvorfor gjorde mennesket som det gjorde. I dag er det innforstått at mennesket feiler ut ifra situasjon og kunnskap den sitter på. Kunnskap og forståelse kan hjelpe mot eksterne påvirkninger som stress for eksempel, i tillegg til å redusere konsekvenser av mennesket som feiler. Dermed er det viktig å få inn høyere kunnskapsforståelse for de som utfører arbeidet, da vil sannsynligheten for en hendelse reduseres. Å få til en reduksjon i denne faktoren er optimal for hele industrien, men spørsmålet blir da hvorfor blir det ikke fokuseres mer på mennesket i analyser. I en QRA blir det kun sett på ved hensyn til data for lekkasjefrekvensen, i en HAZOP er det et underord av et veiledningsord og i ORA er det svært avhengig av personellet som gjør vurderingene.

Fra granskingsrapportene observeres det at den menneskelige faktoren går igjen i form av risikovurderinger, forståelsen for det som skal bli utført, kommunikasjonen blant personellet, generelle vurderinger og mangelfull risikoforståelse. Dette er avvik som kunne til en viss grad vært unngått ved at alle hadde en solid kunnskap for hva som skulle blitt gjort, men også et risikoperspektiv for å få en bredere forståelse av situasjonen og farer som kan oppstå. Å implementere denne faktoren inn i risikoanalyser kan være svært krevende da det er en uforutsigbar faktor som kan være vanskelig å forutse.

Å få implementert dette kan være krevende da mennesket kan feile i så mangt, [43]. I de tre analysene som en har sett på i denne rapporten har alle risikoanalysene den menneskelige faktoren med til en viss grad. Det er mange spørsmål og områder som må dekkes for at dette skal være mulig. Derfor er det viktig å spørre om dette er noe som industrien er villig til å jobbe med for å komme frem til en god implementeringsmåte. Så lenge mennesker fortsetter og jobber på innretninger er dette noe som vil fortsette å skje. Å øke kunnskapen vil kanskje være det viktigste punktet for å klare å redusere den menneskelige faktoren. Selv om dette er en stor svakhet som skjer gang på gang og blir observert i granskingsrapporter er det vanskelig å få hele årsaks-kilden dekket. Dermed, som det er tidligere nevnt, en økt bredde i kunnskapen og forståelsen av hva som blir gjort den største muligheten for å redusere faren for at hendelser skjer. Derfor gjelder det å sikre at riktig personell utfører analyser som HAZOP og ORA. Å få en bred forståelse av risiko på innretningene når operasjoner utføres er det innforstått at ting kan skje. Det eksisterer allerede nøye gjennomganger før det utføres en operasjon på en innretning, all personell skal gå gjennom en plan slik at alle forstår konsekvensen involvert. Likevel skjer det svikt i forståelse når det utføres operasjoner. Dette er noe som må jobbes med og øke kunnskapen enda mer for å prøve å unngå at hendelser oppstår.

En påvirkning er sorte svaner av typen b og c. Det en mener her er at dette er overraskelser som er kjent og enten neglisjerte eller ikke videreført med informasjonen for personell som utfører oppgavene. Å kunne få inn sorte svaner i analyser er svært ønskelig. Disse typen sorte svaner kan basere seg på tolkninger og forståelser som kan være vanskelig å dekke i analysene. Her står det på mennesket som har informasjonen og hva mennesket mener er viktig. Få inn dette i analysen vil nærmest være umulig, det er derfor det kalles sorte svaner.



Hensikten med en risikoanalyse er å redusere faren for at en sort svane eller hendelse skjer. Derfor er det viktig at selv om dette er en faktor som er vanskelig å dekke i eksisterende analyser er det nødvendig å ha en åpen og transparent kommunikasjon på innretningen, i organisasjonen og industrien. Da kan sannsynligheten for sorte svane b og c bli redusert. Å dekke omfanget av sorte svaner og menneskelig faktor vil være svært omfattende og er en stor svakhet til risikoanalyser, da disse er uforutsigbare faktorer. Simulerings verktøy og andre metoder eksisterer for å unngå dette, men dette vil ikke klare å dekke disse faktorene i full grad. Det er umulig å kunne dekke alle faktorer og disse svakhetene er svært vanskelig å få inn i dagens risikoanalyser.

Lenger inn i fremtiden, kanskje om 20-30 år vil det bli vanligere å bruke mer robotikk på norsk kontinentalsokkel. Allerede i dag er mye av det menneskelige arbeidet blitt erstattet med robotikk, [44]. For eksempel har nordsjødykkere blitt erstattet med fjernstyrte undervanns farkoster slik at mennesket skal slippe å utsette seg for slike farer som det er å dykke ned til havbunnen. Men lenger inn i fremtiden vil det være utbredt i et større spekter av operasjoner. Hvis det blir sett lenger inn i fremtiden så er det ikke vanskelig å anta at nye innretninger vil være uten mennesker og kanskje da vil den menneskelige faktoren som fører til alvorlige hendelser bli fjernet eller redusert.

## 7.2 Forslag til forbedringspunkt

Etter å ha utført analysen har en kommet frem til at det er noen forbedringspunkt til risikoanalysene. Helt til slutt vil det komme en kort oppsummering av disse.

Som nevnt tidligere i QRA-delen er hendelsene dekket eksplisitt, mens årsakene er dekket implisitt gjennom data som brukes til å angi frekvenser som inneholder slike årsaker. Metodemessig er det mulig å beskrive årsaker, men for en QRA blir det ikke gjort, grunnet praktiske hensyn. Hvis en beskrev årsakene i en QRA kunne det kanskje være lettere å unngå hendelser før de eventuelt utviklet seg til en konsekvens. Dette for å få en bedre forståelse av hendelser og konsekvenser. Fokuset kunne vært mer på manuell intervensjon som er den årsaken med størst prosentandel. Hvis en QRA detaljeres mer med årsak når den fokuserer på konsekvenser så kan dette gi enda mer variasjon i dimensjonerende laster mellom ulike innretninger og dette kan i verste tilfelle føre til mindre robusthet med tanke på senere oppdateringer. Grunnen til dette er at årsaker er som regel veldig spesifikke når det gjelder områder og utstyrskombinasjoner. Ingen innretninger er like og vil dermed ha forskjeller og dermed kan dette være med å øke de dimensjonerende lastene. Siden analysen brukes til å dimensjonere utstyr, da er det en fordel at analysen er mulig å reproducere. Det vil si at et annet analyseteam ikke kommer opp med et helt annet resultat, derfor kan det være hensiktsmessig å standardisere mye av analysen. En QRA er en solid og detaljert gjennomgang av konsekvensdelen som er krevende nok. Hvis det blir mer detaljfokus på sannsynligheter før en hendelse har skjedd kan dette føre til økt tids- og ressursforbruk og i verste tilfelle kan det gjøre analysen mindre nøyaktig, [45].

For HAZOP er det noe vanskeligere å komme frem til direkte svakheter i analysen. En HAZOP er mer avhengig av personellet som utfører analysen. Risikoforståelsen til personellet som utfører analysen er særs viktig. Men det finnes forbedringspunkter i denne risikoanalysen Etter samtale med personell i Aker BP, [46], kom det frem at «operations/maintenance» skal dekke denne menneskelige faktoren. Det er tydelig at dette

ikke er dekket godt nok. I tillegg er planlegging og vibrasjoner ord som kan bli implementert inn som veiledningsord. Spesielt planlagte drifts- eller prosjektaktiviteter som er kjent når en HAZOP-analyse skal utføres burde bli tatt med i betraktningen. Under slike kampanjebaserte aktiviteter kan det medføre nye «risikotopper» som ikke vil være en risiko under vanlig drift. Personellet som utfører HAZOPen kunne sett på ulike konsekvenser med dårlig planlegging, hvilke konsekvenser og feil som kan skje hvis det ikke er grundig planlagt. Vibrasjoner kan være et eget veiledningsord, men eventuelt også under et annet veiledningsord, som strømning for eksempel.

Å finne direkte svakheter i en ORA er på lik linje med en HAZOP vanskelig. I en ORA baserer analysene seg mer på tolkning enn for en QRA for eksempel. Personellet er svært viktig i denne typen analyse. En gruppe bestående av personell med god bredde i fagkunnskap og spisset kompetanse på situasjonen som skal evaluere er viktig for å legge til rette for at alle relevante konsekvenser kommer frem og blir vurdert. Kunnskapsbredden er ikke like bred for personellet i en ORA som det er for en HAZOP, dette kan være problematisk, [46]. Et forbedringspunkt kan være at etter det har skjedd en svekkelse og en skal se på hvilke konsekvenser denne barrieresvekkelsen kan føre til bør det være normalt at konsekvensene fra den oppdaterte HAZOPen er med. Å bruke konsekvenser fra HAZOPen kan bidra til en god struktur på hvilke konsekvenser som er identifisert fra før og sikre at alle de nødvendige blir tatt med. I tillegg er det viktig å få frem at det bør bli gjort egne vurderinger under ORA-møtet.

For å oppsummere forbedringspunktene:

## QRA

- Granskingsrapportene fokuserer på årsak og hendelse, mens denne fokuserer mest på konsekvensene av hendelsene. Hvis det skal bli et fokus på årsaker i tillegg til konsekvenser kan dette bli svært tids- og ressurskrevende.
- Hvis en QRA detaljeres mer med årsak når den fokuserer på konsekvenser så kan dette gi enda mer variasjon i dimensjonerende laster mellom ulike innretninger og dette kan i verste tilfelle føre til mindre robusthet med tanke på senere oppdateringer.

## HAZOP

- Vurdere å implementere nye generelle veiledningsord som vibrasjon og planlegging.
- Ha mer fokus på menneskelig faktor og hvordan det kan påvirke innretningen, ikke bare et underpunkt.
- Personell som utfører analysen har en god nok risikoforståelse til å se hendelser i perspektiv og avdekke en bredde av konsekvenser.

## ORA

- Vurdere å bruke konsekvenser fra den nyeste HAZOPen som er utført. Strukturering av konsekvenser og dermed redusere avhengigheten på personellet som utfører ORAen til å finne frem til disse på ny. Viktig å tenke gjennom konsekvenser og vurdere om det eksisterer andre som ikke er vurdert tidligere.
- Personell som utfører har nok kunnskap, forståelse og bredde for å vurdere mulige hendelser og konsekvenser.

### 7.3 Svar på forskningsspørsmål

I dette avsnittet skal det komme et spesifikt svar på om en har klart å svare på forskningsspørsmålet.

- Fanger dagens risikoanalysemetoder, nærmere bestemt QRA, HAZOP og ORA, opp hendelser som inntreffer på norsk sokkel; og kan det identifiseres forbedringsforslag for disse metodene basert på en studie av inntrufne hendelser?

I en QRA er ikke fokuset å fange opp hendelser, her gjelder det å se på ulike konsekvenser og effekten av disse. Dermed fokuseres det ikke eksplisitt på inntrufne hendelser og hvordan de kan oppstå. Denne analysen er ikke en analyse som kan være med å bedre risikoforståelsen for årsaker og inntrufne hendelser, og dermed hindre at hendelser skjer, da den fokuserer tiden etter en hendelse har oppstått.

Ved flere av hendelsene kunne en HAZOP ha identifisert mulige avvik og svakheter som kunne ha gjort at hendelsene ville vært unngått. For noen av granskingsrapportene burde en HAZOP ha fanget opp mulig hendelse før den inntraff. For andre hendelser kom det frem forslag til veiledningsord som kunne hjulpet å identifisere hendelsene.

En ORA kan avdekke en hendelse før den inntreffer, det er viktig å påpeke at da må barrieresvekkelsen være kjent før hendelsen skjedde. I denne rapporten har det vært flere barriereelementer som har sviktet eller allerede vært et eksisterende problem. Dermed er dette noe som kunne vært oppdaget i ORA som skal analysere barrieresvekkelser. Risikoforståelsen på svekkelsene eller problemet har ikke vært gode nok og dermed kan dette ha ført til at hendelsen inntraff.

For HAZOP og ORA var det klare forbedringspunkt, henviser til 7.2 for disse, mens for en QRA var det vanskelig å finne forbedringspunkt da denne risikoanalysen ikke eksplisitt fokuserer på årsaker og tiden før en hendelse oppstår, henviser til 7.2 for mer informasjon.

Et annet viktig punkt som kom frem var avhengigheten til personellet som utfører analysen. Begrepet «mangelfull på risikoforståelse» går igjen i mange av granskingsrapportene. Mangelen på god forståelse og en bredde i kunnskapen kan føre til at feil beslutninger blir tatt

i kritiske situasjoner. Å detaljere analysene enda mer trenger ikke være svaret på mangelfull risikoforståelse, her burde læring og økt kunnskap til personellet være i fokus. Personell med solid erfaring og en bred kunnskapsforståelse er viktig, slik at de kan se det større bildet av situasjonen. Den menneskelige faktoren er en av de største faktorene til at hendelser og ulykker skjer. Denne faktoren må fokuseres mer på, det er vanskelig å gi klare forbedringspunkt i de enkelte analysene for dette. Men ha et fokus på læring innad i innretningen, organisasjonen og på tvers av organisasjoner er viktig for å øke kunnskapen til personell og dermed redusere faren for at hendelser oppstår.

#### 7.4 Svakheter med metoden

I denne rapporten har det vært nødt til å bruke tolkning og skjønn for hva som har vært veiledningsord i en HAZOP og hvordan organisasjoner har vurdert under en ORA. Granskingsrapportene nevner sjeldent hva som ble gjort i analysen. I tillegg har det kun vært tilgang til én HAZOP-analyse som viser generelle veiledningsord fra Aker BP. Da har det vært nødvendig å anta at analysen har vært brukt i hele bransjen og at generelle ord som korrosjon og brudd er noe alle organisasjoner bruker. Dette er en viktig usikkerhet for rapporten da det ikke ble sett på spesifikke risikoanalyser til innretningene. Dermed kan det være viktige faktorer som ikke er sett i lys av hendelsen. Tolkninger kunne vært unngått og dermed kunne denne usikkerheten vært redusert hvis alle analysene til de spesifikke innretningene hadde blitt brukt. Derfor er det rimelig å anta at dette er vanlige veiledningsord som dukker opp på innretninger og allmenne problemstillinger.

##### *Rangeringen av kunnskapsstyrke (K) i tabellen*

Rangeringen av bredden av kunnskapstyrken vist i tabell 5 er basert på en skjønsmessig vurdering av tilgjengelig data. Ingen av granskingsrapportene tilsa at noen av innretningene skulle hatt en høy kunnskapsstyrke. Gjentakende i granskingsrapportene ble det nevnt at menneskelig vurdering ikke var god nok, har vært ikke-tilstrekkelige vurdering og oppfølging når svekkelsene har skjedd. Dette er faktorer som har vært med å vurdere hvor kunnskapen ligger i forhold til hendelsen. Forskjellen mellom lav og medium er basert på vurderinger av granskingsrapporten og om det har vært klare barrieresvekkelser som ikke har blitt fulgt opp. Her ligger det begrensninger i tilgjengelige datagrunnlag ettersom eventuelle ORAer fra de analyserte organisasjonen ikke har vært tilgjengelig for vurdering. Nivåsettingen innehar dermed en viss grad av usikkerhet knyttet til korrekt nivå. Konsekvensen av usikkerheten er at alt baseres på tolkning og dermed er det vanskelig å vite at det er den rette tolkningen som har blitt gjort. Denne påvirkningskraften er viktig og kan svekke noe av troverdigheten på rapporten.

#### 7.5 Antagelser, inklusjon- og eksklusjonskriterier, hva kunne vært bedre?

I rapporten har det blitt brukt et tidsintervall på 10 år. Dette kan være med på å skape begrensninger og feilkilder. Kritisk informasjon fra tidligere rapporter kan da ikke ha blitt tatt med. Samtidig må det bli tatt i betraktning at eldre granskingsrapporter kan være satt opp på en annen måte og risikoanalysene som ble brukt for mer enn 10 år siden kan være utdatert og mangle nødvendig informasjon som brukes i dagens standard. I tillegg kom den gjeldene NORSOK Z-013 rev. 3 ut i 2010. Dette gir grunnlag for å sikre at risikoanalyser har fulgt dagens standard når organisasjonene har utført risikoanalyser.

En antagelse som ble gjort i rapporten var at oppsettet til alle operatørselskapene sine risikoanalyser er relativt like. Denne antagelsen burde holde da alle selskaper følger de kravene som eksisterer for hvordan en risikoanalyse skal utføres, men dette kan en ikke si med 100 % sikkerhet da det ikke har vært tilgang til andre operatørselskaper sine risikoanalyser. Begrensningen av dette må bli tatt i betraktning siden det kun har blitt gjort vurderinger på et sett av risikoanalyser fra samme selskap.

Tre risikoanalyser har blitt brukt i denne rapporten, men det finnes flere andre typer risikoanalyser som tar for seg forskjellige risikomomenter og farer på en innretning. Relevante deler kan være tapt grunnet ekskludering av andre risikoanalyser. Med andre ord avhenger denne rapporten av hvilke risikoanalyser som ble valgt og ut ifra dette hvilke forbedringspunkt en kom frem til. En må påpeke at QRA, HAZOP og ORA er de vanligste og mest brukte analysene på norsk sokkel. Derfor er disse valgt ut og blir sett på som særs troverdige og at disse dekker store deler av innretningen. Betydningen av å se på analyser av situasjoner som er forskjellig fra hendelsene i granskingsrapporten kan være utslagsgivende for denne rapporten. En kan ikke si med sikkerhet at det som står i Aker BP sine analyser er det som står i de andre operatørselskapenes analyser. Med andre ord kan det være gjort feil tolkninger og begrunnet feil i analyseprosessen i denne rapporten fordi tilgangen var innskrenket.

Granskingsrapporten gir ikke all informasjon som trengs. Å vurdere hvor god kunnskapsnivået har vært i vurderingene i ORAene er kun basert på tolkning. Dette er en svakhet da det ikke var tilgjengelig på alle analysene som tidligere nevnt.

Granskingsrapportene ga noe informasjon, men det står ikke hvordan de utførte ORAen hvis det hadde vært svekkelse eller noe som hadde vært oppdaget tidligere. Hadde det vært mulig med dialog med alle operatørselskapene kunne en hatt mer solide argumenter, men ut ifra den informasjonen tilgjengelig var det dette som ble brukt.

Å være uerfaren i industrien kan være med å gi nytt innblikk fordi det blir sett på med ferske øyne. Svakheter som eksperter ikke får med seg kan være noe en som er relativt ny kan oppdage eller stille spørsmål ved, dette gjelder også hvordan tolkningen av granskingsrapportene og analysene har blitt gjort. Eksperter kan være påvirket av mange års erfaring og et tankesett som er påvirket av dette og dermed ikke ser det med «nye øyne», denne tankegangen vil ikke en person som er «ny» ha. Ferske øyne i denne forstand vil være positivt, men flere synspunkter kan være med å bygge en solid struktur og finne svakheter i risikoanalyser. Det burde være et samarbeid mellom uerfarne og eksperter med mange års erfaring som kan se alt fra et bredere perspektiv hvis det blir en revidering av dagens risikoanalysemetoder

Den menneskelige faktoren var en av svakhetene som var forventet skulle dukke opp i løpet av analysedelen. Det er en velkjent problemstilling, men dette kan være med å påvirke tankegangen og jakten etter andre svakheter, fordi fokusert har vært på menneskelige feil. Dermed kan andre faktorer som ikke har blitt plukket opp i rapporten grunnet en låst tankegang om dette. Selv om det er naturlig å tenke at den menneskelige faktoren vil være en stor påvirkning til at hendelser oppstår. Derfor er det viktig å forstå at en kan ha vært påvirket av et tankesett før denne rapporten.

## 7.6 Hva trengs videre?

Svakheter i risikoanalyser er forskning som flere eksperter må fortsette med, [47]. Det finnes flere storulykker som ikke har blitt vurdert i denne rapporten. Å fortsette videre arbeid innenfor dette feltet kan være med å kvalitetssikre risikoanalysene enda mer og forsikre at andre faktorer ikke er oversett. For andre storulykker er dette noe som på høy grad burde bli tatt tak i og fokusert på. For en videre oppgave kan fokuset være på andre storulykker som ikke er prosessbasert. Dette for å gi et perspektiv som ikke fokuserer på prosessdelen. Å få en variasjon og bredde i å finne svakheter i dagens analyser er svært viktig.

En partssammensatt gruppe med eksperter innenfor relevante felt fra andre relevante serviceselskap, operatørselskap og Ptil som undersøker dette videre kunne vært ønskelig. I mine øyne burde det også være noen «ferske øyne» i teamet som potensielt får frem nye vinklinger på problemstillinger som burde vært i fokus. Grunnen til at en skriver det er fordi av og til kan en låse seg fast i et tankesett og miste «kreativiteten» når en har jobbet med det samme etter flere år. Ekspertteamet bør fokusere på hver enkel storulykke og systematisere det i en grundig rapport, denne rapporten burde bli gitt til en gruppe som skal fokusere på å identifisere mulige svakheter i risikoanalyser. Å ha et ekspertteam fra flere hold kan hjelpe i den forstand at det kan komme en oversikt over alle risikoanalysene (QRA, HAZOP, ORA, men også andre risikoanalyser som kan være relevante) og dermed kan de få et overblikk om det eksisterer forskjellige antagelser eller vurderinger i de utvalgte analysene. Dette kan være med å gjøre forskningen mer robust før eventuelle nye anbefalinger.

## 8. Konklusjon

For en QRA ble det ikke identifisert forbedringspunkter. En QRA fokuserer konsekvensen eksplisitt. I granskingsrapportene som har vært analysert har fokuset vært på en hendelse som ikke har utviklet seg til en konsekvens. Disse rapportene fokuserer på årsaker og hva årsaker til at hendelsen oppsto. Hvis en skal velge å fokusere på årsaker i tillegg til konsekvenser i en QRA kan dette ende opp å bli en for omfattende prosess da en QRA er svært detaljert fra før. Det eksisterer allerede analyser som tar kun for seg høyre del av sløyfen (bow-tie) og fokuserer på årsakene til at hendelser oppstår.

Det er identifisert flere forbedringsforslag til HAZOP og ORA. I en HAZOP kom det frem at nye veiledningsord kan være nødvendig. Planlegging er et ord som kan komme inn da det kan dekke de spesifikke områdene et prosjekt er på og være tidsbesparende så lenge fremtidige prosjekter er kjent under en HAZOP-analyse. Å finne avvik under planleggingsfasen og kan være en viktig faktor for å unngå at hendelser skjer under prosjekter/drift /vedlikehold. En svakhet derimot er mangelen bredden på kunnskapen i både en HAZOP og en ORA. I en QRA er det flere kunnskapsdeler å spille på mens i en HAZOP og ORA er det mer personellavhengig. Riktig personell kan være med å avdekke viktige avvik som kan være med å redusere faren for hendelser. En forbedring til ORA var også å implementere konsekvenser fra en HAZOP, dette for å forsikre at de viktigste konsekvensene er tenkt på og at personell i en HAZOP har ofte mer kunnskap angående situasjonen enn personellet under en ORA. Det er viktig at personellet som utfører en ORA også ser det store bildet og kommer med egne forslag hvis de har det. I granskingsrapportene har det vist at det har vært mangel på forståelse når det har oppstått svekkelser og det ikke har vært kunnskap nok som har gitt det større bilde av hva en barrieresvekkelse kan føre til. Dermed er personellet som utfører særdeles viktig for å unngå at dette fortsetter å skje.

Den menneskelige faktoren er en viktig faktor til at hendelser oppstår. Dette er en faktor som er vanskelig å modellere og kalkulere i analyser da den kan være svært uforutsigbar. Organisasjoner kan investere mye for å forbedre analysene og få med den menneskelige svakheten på en mer strukturert måte enn i dag. Fokuset for å redusere hendelser grunnet manuell intervensjon og menneskelig faktor må være å øke kunnskapen til de involverte. Få et overblikk som gir et større bilde av situasjonen og dermed være med å redusere faren, enn å implementere dette på en omfattende måte i proaktive risikoanalyser.

Deler av rapporten kunne vært forbedret. Hadde en hatt tilgang til alle analysene for de spesifikke hendelsene kunne det hjulpet å redusere tolkning fra granskingsrapportene. En skulle hatt mulighet til å diskutere med de som gjorde spesifikke vurderinger på innretningene etter det oppsto barrieresvekkelser. Dette ville gitt en bredere forståelse på hvorfor personellet har vurdert som det ble vurdert og ført til mindre tolkning og sikrere forslag til forbedringspunkt.

For veien videre bør en fortsette å fokusere på andre mulige storulykkene. Her bør det bli gjort dypere analyser for å oppdage andre mulige svakheter som eksisterer i dagens risikoanalyser. Det å ha ekspertise som er med i vurderingene vil være nyttig. Erfaring er noe som kan hjelpe for å finne mulige svakheter og forbedringspotensialer i dagens risikoanalysemetoder.

## 9. Referanser

- [1] Ø. Midttun, “Fem tiår med forbedring,” *Dialog, Petroleumstilsynet*, p. 19, 2019.
- [2] Petroleumstilsynet, “Integrert og helhetlig risikostyring i petroleumsindustrien,” Ptil, Stavanger, Norge, 1, 2018.
- [3] T. Aven and Wiley Staff, *Risk Analysis*. New York, United Kingdom: John Wiley & Sons, Incorporated, 2015.
- [4] Society for Risk Analysis, “Resources : SRA.” <https://www.sra.org/resources> (accessed Jun. 02, 2020).
- [5] T. Aven and V. Kristensen, “How the distinction between general knowledge and specific knowledge can improve the foundation and practice of risk assessment and risk-informed decision-making,” *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 191, p. 9, 2019.
- [6] Petroleumstilsynet, “Risikobegrepet i petroleumsvirksomheten,” pp. 1–18, 2016.
- [7] Standard Norge, “Norsok Z-013,” no. 3rd edition, 2010.
- [8] M. Cunningham, C. Lui, G. Pangburn, and W. Reckley, “A Proposed Risk Management Regulatory Framework,” Risk Management Task Force, USA, 1, Apr. 2012.
- [9] National Aeronautics and Space Administration, “Risk Management Handbook,” NASA, USA, 1, 2011.
- [10] T. Aven, *Foundations of risk analysis*, 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley, 2012.
- [11] “Risiko og risikoforståelse.” <https://www.ptil.no/om-oss/rolle-og-ansvarsomrade/risiko-og-risikoforstaelse/> (accessed Jan. 28, 2020).
- [12] S. Kaplan and B. J. Garrick, “On The Quantitative Definition of Risk,” *Risk Anal.*, vol. 1, no. 1, pp. 11–27, Mar. 1981, doi: 10.1111/j.1539-6924.1981.tb01350.x.
- [13] M. Rausand, *Risk Assessment*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [14] T. Aven, “What is a risk analysis?” John Wiley & Sons, Ltd, 2015.
- [15] T. Aven, *Quantitative risk assessment: the scientific platform*. Cambridge: University Press, 2011.
- [16] DNV GL, “Valhall Quantitative risk assessment,” Aker BP, 2, Jan. 2020.
- [17] F. Crawley and B. Tyler, *HAZOP: Guide to Best Practice*. Saint Louis, United States: Elsevier, 2015.
- [18] R. K. Fauskanger, “Operasjonell risikovurdering (ORA),” Aker BP, 4, Jun. 2019.
- [19] T. Aven, *The Science of Risk Analysis: Foundation and Practice*. Routledge, 2019.
- [20] N. N. Taleb, *The black swan: the impact of the highly improbable*, Rev. ed. New York: Random House Trade Paperbacks, 2010.



- [21] T. Aven, *Risk, Surprises and Black Swans*. Routledge Ltd.
- [22] Petroleumstilsynet, “Læring etter hendelser,” Ptil, Stavanger, Norge, 2c, 2019.
- [23] Petroleumstilsynet, “Kva er granskinger?,” 2013.  
<https://www.ptil.no/tilsyn/granskingsrapporter/om-granskinger/> (accessed Jan. 28, 2020).
- [24] S. Dekker, *The Field Guide to Understanding Human Error*, 1. Sweden: Ashgate, 2006.
- [25] R. K. Tinmannsvik and U. Kjellén, “Granskning etter hendelser,” SINTEF, NTNU, Trondheim, 2018.
- [26] Petroleumstilsynet, “Rolle og ansvarsområde.” <https://www.ptil.no/om-oss/rolle-og-ansvarsomrade/> (accessed Feb. 27, 2020).
- [27] Petroleumstilsynet, “Risikonivå i norsk petroleumsvirksomhet,” Ptil, Stavanger, Norge, 2009.
- [28] Petroleumstilsynet, “Hovedrapport - Risikonivå i norsk petroleumsvirksomhet 2018,” Petroleumstilsynet, 2018. [Online]. Available: <https://www.ptil.no/fagstoff/rnnp/rnnp-2019/eldre-rapporter/rnnp-2018/hovedrapport/>.
- [29] Norsk olje & gass, “Hva er årsakene til hydrokarbonlekkasjer.” <https://norskoljeoggass.no/drift/storulykkerisiko/hydrokarbonlekkasjer/arsakene-til-hc-lekkasjer/> (accessed Apr. 07, 2020).
- [30] P. Duedahl and Michael. Hviid Jacobsen, *Introduktion til dokumentanalyse*, vol. 394. Odense: Syddansk Universitetsforlag, 2010, p. 154.
- [31] Ø. Bratberg, *Tekstanalyse for samfunnsvitere*, 2. utg. Oslo: Cappelen Damm akademisk, 2017, p. 216.
- [32] Petroleumstilsynet, “Statoil - Heimdal - Granskning av hydrokarbonlekkasje,” Petroleumstilsynet, 2013. Accessed: Jun. 08, 2020. [Online]. Available: <https://www.ptil.no/tilsyn/granskingsrapporter/2013/statoil---heimdal---granskning-av-hydrokarbonlekkasje/>.
- [33] Petroleumstilsynet, “BP-Ula-Granskning av hydrokarbonlekkasje,” Petroleumstilsynet, 2013. [Online]. Available: <https://www.ptil.no/tilsyn/granskingsrapporter/2013/bp---ula---granskning-av-hydrokarbonlekkasje/>.
- [34] Petroleumstilsynet, “Statoil - Oseberg A - Granskning av hydrokarbonlekkasje,” Petroleumstilsynet, 2014. [Online]. Available: <https://www.ptil.no/tilsyn/granskingsrapporter/2014/statoil---oseberg-a---granskning-av-hydrokarbonlekkasje/>.

- [35] Petroleumstilsynet, “Statoil - Statfjord C - Gransking av hydrokarbonlekkasje,” Petroleumstilsynet, 2014. [Online]. Available: <https://www.ptil.no/tilsyn/granskingsrapporter/2014/statoil---statfjord-c---gransking-av-hydrokarbonlekkasje/>.
- [36] Petroleumstilsynet, “Statoil - Gudrun - Gransking av hydrokarbonlekkasje,” Petroleumstilsynet, 2016. [Online]. Available: <https://www.ptil.no/tilsyn/granskingsrapporter/2016/statoil---gudrun---gransking-av-hydrokarbonlekkasje/>.
- [37] Petroleumstilsynet, “Statoil - Åsgard - Gransking av HC-lekkasje fra brønn S-4 10.3.2017,” Petroleumstilsynet, 2017. [Online]. Available: <https://www.ptil.no/tilsyn/granskingsrapporter/2017/statoil-asgard-a-gransking-av-hydrokarbonlekkasje/>.
- [38] Petroleumstilsynet, “Engie - Gjøa -Gransking av kondensatlekkasje,” Petroleumstilsynet, 2018. [Online]. Available: <https://www.ptil.no/tilsyn/granskingsrapporter/2018/engie-gjoa-gransking-av-kondensatlekkasje/>.
- [39] O. J. Narvestad, “Aker BP additional requirements to perform HAZOP and LOPA,” Aker BP, Norge, 2, Jan. 2018.
- [40] S. Einarsson and B. Brynjarsson, “Improving human factors, incident and accident reporting and safety management systems in the Seveso industry,” *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 21, no. 5, pp. 550–554, Sep. 2008, doi: 10.1016/j.jlp.2008.05.004.
- [41] M. Demichela and R. Pirani, “Human Factor Analysis Embedded in Risk Assessment of Industrial Machines: Effects on the Safety Integrity Level,” *Chem. Eng. Trans.*, vol. 33, pp. 451–456, Jul. 2013, doi: 10.3303/CET1333076.
- [42] J. E. Skogdalen and J. E. Vinnem, “Quantitative risk analysis offshore—Human and organizational factors,” *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 96, no. 4, pp. 468–479, Apr. 2011, doi: 10.1016/j.ress.2010.12.013.
- [43] J. Reason, *Human Error*. Cambridge University Press, 1990.
- [44] I. Andersen, “Nå overtar robotene alle operasjoner på boredekket,” 2016. <https://www.tu.no/artikler/na-overtar-robotene-alle-operasjoner-pa-boredekket/276456> (accessed May 13, 2020).
- [45] Personell fra Aker BP, “Personlig kommunikasjon,” Apr. 20, 2020.
- [46] T. Selanger, “Personlig kommunikasjon,” Apr. 07, 2020.

- [47] M. Røyksund and R. Flage, “When Is a Risk Assessment Deficient According to an Uncertainty-Based Risk Perspective?,” *Risk Anal.*, vol. 39, no. 4, pp. 761–776, 2019, doi: 10.1111/risa.13195.