



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering:

OFFSHORETEKNOLOGI
Industriell teknologi og driftsledelse

Høstsemesteret, 2009-2010

Åpen

Forfatter: Kristoffer Hellestveit Soldal

.....
(signatur forfatter)

Faglig ansvarlig: Jan Erik Vinnem

Veileder(e): Helge Stangeland og Bjørnar Heide

Tittel på masteroppgaven: Presentasjon av risikoanalyse – et tilnæringsproblem

Studiepoeng: 30

Emneord: Prediktiv Bayesiansk tilnærming
Relativ frekvensbasert tilnærming
Usikkerhet
ALARP
Kost/nytte-, kost/effektivitetsanalyse
Beslutningsstøtte

Sidetall: _____
+ vedlegg/annet: _____

Stavanger, 15. februar 2010

Forord

Denne oppgaven omfatter 30 studiepoeng og er blitt utarbeidet gjennom høstsemesteret 2009-2010. Den markerer min avslutning på en toårig mastergrad innen industriell teknologi og driftsledelse, offshoreteknologi ved Universitetet i Stavanger.

Oppgaven ble gjort i samarbeid med SafeTec Nordic AS med eksterne veiledere Helge Stangeland og Bjørnar Heide, og faglig ansvarlig Jan Erik Vinnem ved UiS.

Ønsker å takke Helge Stangeland og Marie J. Saltskjel for nyttige samtaler og innspill.

Jeg vil også rette en spesiell takk til Bjørnar Heide og Vidar Kristensen ved Petroleumstilsynet.

Kristoffer Hellestveit Soldal
Universitetet i Stavanger, 15. februar 2010

Sammendrag

En av hovedoppgavene til risikoanalysen er å støtte beslutningstaking. Den største utfordringen er kanskje å støtte beslutningstaking ved å skaffe til rette relevant informasjon. Usikkerhet er fokuset i oppgaven, men den blir ikke behandlet i den klassiske tilnærmingen. Ordet blir bare delvis nevnt for å vise omfanget at det *er* usikkerhet i det som er blitt gjort i analysen. Den prediktive Bayesianske tilnærmingen har en helt annen retning med tanke på usikkerhet. Her er det kun de fremtidige observerbare størrelsene som er usikre.

Målet med oppgaven var å sammenligne ulike tilnærminger til risiko og usikkerhet. En prediktiv Bayesiansk tilnærming til risiko og usikkerhet, ble sett opp mot en tradisjonell, klassisk tilnærming. Sistnevnte er perspektivet som typisk sees på som en industripraksis. Det fokuseres på hvordan usikkerheten kvantifiseres og spesielt rundt området kommunisering og presentering av resultatet, å identifisere hvordan usikkerhet behandles.

Hver dag møter vi beslutninger som har element av risiko og usikkerhet. Evnen til å analysere, predikere og forberede nivået av risiko som følger disse beslutningene, er således en av de mer vitale kunnskaper en analytiker eller leder trenger. Risikoanalyse kan tenkes som en systematisk bruk av informasjon for å identifisere farer og trusler, med tilhørende årsak og konsekvens, for så å uttrykke risiko. For å utvikle en slikt vellykket bruk av systematisk informasjon, må de som analyserer risiko forstå fundamentale konsepter innen risikoanalyse og være kyndig innen flere metoder og teknikker.

Risiko er et såpass abstrakt og komplekst begrep, derfor er det ingen konsensus for hvordan den bør uttrykkes og tolkes. Denne mangelen av overensstemmelse skyldes mer eller mindre fundamentale tema som i) hvordan uttrykke sannsynlighet og risiko og ii) hvordan behandle usikkerhet

Risikoanalysene har allerede krav om å beskrive usikkerhet, men blir dessverre ofte nedtonet eller neglisjert. Viktigheten ligger i å synliggjøre viktigheten av å fremstille usikkerhet på en helhetlig måte ved bruk av en prediktiv Bayesiansk tilnærming. Resultat i QRA fra inneholder kun forventningsverdier. Ved bruk av en prediktiv Bayesiansk tilnærming kan en fremstille resultatet som sannsynlighetsfordelinger.

Flere brukere av dagens risikoanalyser setter spørsmålstegn til innholdet og resultatene i analysene. Ord som FAR, PLL og AIR betyr i korte trekk relativt lite for brukergruppen analysen er tilegnet for. Problemstillingen ligger i å presentere et helhetlig risikobilde slik at flere forstår innholdet, samtidig som identifiserte tiltak reflekteres etter gjeldende kravspesifikasjoner og anbefalinger.

INNHALDSFORTEGNELSE

1	INNLEDNING	- 1 -
1.1	BAKGRUNN	- 1 -
1.2	FORMÅL	- 2 -
1.3	INNOLD	- 2 -
1.4	PROBLEMSTILLING	- 3 -
1.5	FORUTSETNINGER.....	- 3 -
1.6	BEGRENSNINGER.....	- 4 -
1.7	FORKORTELSER OG TERMINOLOGI.....	- 5 -
2	RISIKOTEORI OG METODER.....	- 7 -
2.1	RISIKOBEGREPET	- 7 -
	Risiko i en analysesammenheng.....	- 11 -
	Definisjoner på risiko.....	- 12 -
2.1.1	<i>Tilnærming til risiko og usikkerhet</i>	- 16 -
2.1.1.1	Relativ frekvensbasert tilnærming	- 17 -
2.1.1.2	Bayesianske tilnærminger	- 20 -
2.2	SIKKERHETS- OG RISIKOSTYRING	- 22 -
2.3	RISIKOANALYSEPROSESSEN.....	- 25 -
2.3.1	<i>Planlegging</i>	- 26 -
2.3.2	<i>Risikovurdering</i>	- 27 -
2.3.2.1	Risikoanalyse	- 27 -
	Fareidentifisering.....	- 29 -
	Årsaksanalyse	- 30 -
	Konsekvensanalyse.....	- 30 -
2.3.3	<i>Risikoevaluering</i>	- 33 -
2.3.4	<i>Risikohåndtering</i>	- 33 -
3	PRESENTASJON AV RISIKOBILDET	- 34 -
3.1	RESULTAT FRA QRA	- 34 -
4	VURDERING AV USIKKERHET.....	- 40 -
4.1	BAKGRUNN	- 40 -
4.2	USIKKERHETSANALYSE	- 42 -
4.2.1	<i>Klassisk tilnærming</i>	- 43 -
4.2.2	<i>Prediktiv Bayesiansk tilnærming</i>	- 45 -
	Retningslinjer.....	- 47 -
4.3	PRESENTASJON AV ET MER NYANSERT RISIKOBILDE	- 47 -
4.3.1	<i>Eksempel: gasslekkasje</i>	- 47 -
4.3.2	<i>Eksempel: helikopterulykke</i>	- 49 -
5	VURDERING AV RISIKOREDUKSJON.....	- 54 -
5.1	RISIKOREDUKSJON	- 54 -
5.1.1	<i>Risikoakseptkriterier</i>	- 58 -
5.1.1.1	Retningslinjer.....	- 59 -
5.1.2	<i>ALARP-prinsippet</i>	- 60 -
	Begrensninger	- 62 -
5.2	FORSLAG TIL LØSNING	- 63 -
6	DISKUSJON OG KONKLUSJON	- 65 -
7	KONKLUSJON	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
7.1	VIDERE ARBEID	- 68 -

8	REFERANSER	- 69 -
9	VEDLEGG	- 73 -
9.1	VEDLEGG I.....	- 73 -
9.2	VEDLEGG II.....	- 77 -
9.3	VEDLEGG III.....	- 81 -
9.4	VEDLEGG IV	- 84 -
9.5	VEDLEGG V.....	- 86 -
9.6	VEDLEGG VI.....	- 93 -
9.7	VEDLEGG VII.....	- 94 -
9.8	VEDLEGG VIII.....	- 97 -

Tabelloversikt

Tabell 1 – Forkortelser	- 5 -
Tabell 2 - Terminologi	- 6 -
Tabell 3 - Eksempel på tiltak som brukes i beslutningsprosessen.....	- 26 -
Tabell 4 - Ulike definisjoner på risikoanalyse	- 27 -
Tabell 5 - Kategorier av risikoanalyse.....	- 31 -
Tabell 6 - Eksempel på et enkelt risikobilde.....	- 35 -
Tabell 7 - Eksempel på risikomatrise	- 36 -
Tabell 8 - Lekkasjestørrelser.....	- 38 -
Tabell 9 - Enkel beregningskjede.....	- 45 -
Tabell 10 - Antall ulykker i perioden 1990-1998.....	- 50 -
Tabell 11 - Kriteriegrunnlag til pålitelighets- og validitetsanalyse	- 66 -
Tabell 12 - Oppsummering av pålitelighets- og validitetsanalyse	- 66 -
Tabell 13 - Beskrivelse av risiko	- 93 -
Tabell 14 - Fordeling av faser	- 94 -
Tabell 15 - Fordeling av statistikk i tidsavhengige og faseavhengige ulykker.....	- 95 -
Tabell 16 - Frekvens av ulykker for begge faser	- 95 -
Tabell 17 - Andel dødsulykker for begge faser	- 95 -
Tabell 18 - Andel dødsfall for begge faser	- 95 -
Tabell 19 - Sammendrag av parametre	- 96 -

Figuroversikt

Figur 2-1 - Eksempel på risikokategorisering.....	- 9 -
Figur 2-2 - FAR-sammenligning mellom vanlig flyvning og helikopterbruk	- 9 -
Figur 2-3 - Ulike typer ulykker	- 10 -
Figur 2-4 - Typisk risikooppfatning.....	- 11 -
Figur 2-5 - Generell risikomodell.....	- 12 -
Figur 2-6 - Generell ulykkeskjede	- 14 -
Figur 2-7 - Enkel ulykkeskjede	- 14 -
Figur 2-8 - Struktur av risikovurdering ifølge en klassisk tilnærming basert på beste estimat	- 18 -
Figur 2-9 - Struktur av risikovurdering ifølge en klassisk tilnærming med usikkerhetsvurdering	- 19 -
Figur 2-10 - Struktur av risikovurdering ifølge en prediktiv Bayesiansk tilnærming	- 21 -
Figur 2-11 - Modell for beslutningstaking under usikkerhet	- 23 -
Figur 2-12 - Forenklet modell av risikoanalyseprosessens ulike trinn	- 25 -
Figur 2-13 - Eksempel på bowtie-diagram med tilhørende metoder.....	- 28 -
Figur 2-14 - Modell for risikoanalyse	- 29 -
Figur 3-1 - FAR vektet over driftmoder	- 34 -
Figur 3-2 - Eksempel på en sannsynlighetsfordeling gitt en uønsket hendelse	- 35 -
Figur 3-3 - Risikobeskrivelse av to hendelser med tilhørende usikkerhet.....	- 39 -
Figur 4-1 - Struktur basert fra usikkerhetsanalyse	- 42 -
Figur 4-2 - Struktur til et modifisert rammeverk.....	- 42 -
Figur 4-3 - Eksempel på hendelsestre	- 48 -

Figur 4-4 - Risikofordeling mellom helikoptertransport og vanlig flyvning.....	- 49 -
Figur 4-5 - Illustrasjon av observerte verdier for en hendelse og prediksjonsintervall	- 51 -
Figur 4-6 - Variasjon mellom tids- og faseavhengighet for GIR	- 53 -
Figur 4-7 - Effekt på FAR	- 53 -
Figur 5-1 - E[NV] som funksjon av forventet antall drepte	- 56 -
Figur 5-2 - Kostnadsoptimalt punkt for risikoreduksjon	- 57 -
Figur 5-3 - Illustrasjon av ALARP-prinsippet.....	- 61 -
Figur 5-4 - ALARP-prinsippet typisk illustrert etter norsk regelverk	- 62 -
Figur 5-5 - Tradisjonelt perspektiv	- 63 -
Figur 5-6 - Anbefalt perspektiv	- 64 -
Figur 9-1 - Risikostyringsprosess fra ISO 31000:2009	- 73 -
Figur 9-2 - Generell modell for risikoanalyse	- 74 -
Figur 9-3 - Prosess for risikovurdering fra NS 5814.....	- 76 -
Figur 9-4 - Sannsynlighet gitt populasjon.....	- 86 -
Figur 9-5 - Illustrasjon av en prediktiv Bayesiansk tankegang.....	- 92 -

1 INNLEDNING

Hensikten med dette kapittelet er å forklare målet rundt gjeldende problemstilling og beskrive bakgrunnen ved valgt oppgave, med de begrensninger og forutsetninger som er gjort.

1.1 Bakgrunn

Både kvalitative og kvantitative risikoanalyser forutsetter en god presentasjon av et informativt og balansert risikobilde for å være et tilstrekkelig beslutningsverktøy. Viktigheten av dette nyanserte risikobildet gjenspeiles når vi ser på den videre styringen av sikkerhet og risiko. Styringsprosessen tar sikte på å fremheve behovet for å få frem budskapet fra risikoanalysene. Slike analyser skal gi et grunnlag for beslutninger angående valg av sikkerhetsmessige løsninger, og inkluderer en systematisk identifikasjon og kategorisering av risiko for:

- Mennesker
- Ytre miljø
- Materielle verdier

Disse løsningene sees i forhold til virksomhetens mål og visjoner, med det mål å finne den rette balansen mellom ulike hensyn, enten det gjelder effektivitet, sikkerhet eller kostnader. Styringsforskriftens § 15 om kvantitative risikoanalyser [48] beskriver at risikoanalyser (og beredskapsanalyser) skal utføres slik at resultatene gir et nyansert og mest mulig helhetlig bilde av risikoen.

Dette har resultert i en økende forventning til beslutningstaker. Folk tolererer rett og slett ikke risiko med mindre de forstår den, hvilken sannsynlighet den innebærer og risikoens potensielle virkning. For å møte disse forventningene, er risikokommunikasjon og -forståelse blitt en sentral del av styringsprosessen. Å kommunisere risiko handler mye om å prøve finne et slags felles språk [17] mellom alle interessenter, det være analytikere, prosjektledere, personell m.m. Det er essensielt innen helse, miljø og sikkerhetsområdene at det etableres en helhetlig strategi som videre kan brukes ved risikovurderingene. På grunnlag av dette, bør risikobegrepet brukes i en videre betydning enn slik industrien praktiserer i dag. Begrepet bør i all vesentlighet inkludere potensialet til å representere ”alle” uønskede hendelser som kan forekomme i forbindelse med en aktivitet og bør reflektere mer systematisk de usikkerhetene som er gjeldende. Poenget bør være å fremme eksistensen, karakteren, formen, alvorligheten og selve begrepet *aksept* av risiko. Risiko er et såpass abstrakt og komplekst begrep, derfor er det ingen konsensus for hvordan den bør uttrykkes og tolkes.

Denne mangelen av overensstemmelse skyldes mer eller mindre fundamentale tema som i) hvordan uttrykke sannsynlighet og risiko og ii) hvordan behandle usikkerhet.

Begrepet viser nemlig til en usikkerhet om hvorvidt denne uønskede hendelsen vil inntreffe eller ikke. Ord som sannsynlighet og usikkerhet er viktige element som må beskrives mer omfattende. Sannsynlighet er et spesielt følsomt tema, med mye uenighet angående meningen av ordet.

For å utdype begrepet kan det hovedsakelig nevnes to meninger av sannsynlighet [23]:

- Statistikerens mening, som gjerne rettes mot en frekvens eller fraksjon. Den refererer til utfallet av gjentagende forsøk, som for eksempel et myntkast.
- Bayesiansk mening av sannsynlighet er en grad av tro, som ikke eksisterer i den virkelige verden. Dette har resultert i at mange bruker betegnelsen subjektiv sannsynlighet.

Det er selvsagt ingen overraskelse at det har vært kommunikasjonsproblemer. En kan si at de som kommuniserer risiko og usikkerhet ikke har vært flinke nok. Flere eksperter på området mangler en fundamental forståelse av hva disse begrepene uttrykker, og da kan en heller ikke forvente at kommunikasjonen blir særlig bra [2]. Det vurderes og kommuniseres også i ulik grad rundt begrep som usikkerhet, derfor er det et større behov for en mer systematisk tilnærming.

1.2 Formål

Formålet med oppgaven er å se på hvordan eksisterende tilnærming til risiko og usikkerhet brukes i tradisjonelle risikoanalyser, og sammenligne det opp mot en prediktiv Bayesiansk tilnærming.

1.3 Innhold

Beskrivelse av innholdet i de forskjellige kapitlene.

Kapittel 2 vil forklare grunnleggende persepsjoner, beskrivelser og forklaringer rundt begrepet risiko. Den vil også gå i dybden på prosessen ved å utarbeide en kvantitativ risikoanalyse, samt beskrive generell risikoteori.

Kapittel 3 viser et enkelt eksempel for hvordan presentere resultatet ut fra valgt tilnærming.

I kapittel 4 vil vi diskutere bruk av en tilnærming som ikke bare relaterer usikkerhet opp mot sannsynligheter og forventningsverdi, men som holder selve usikkerheten som en hovedkomponent av risiko. Det er også vist hvordan kvantifisere usikkerhet i en klassisk og prediktiv Bayesiansk tilnærming.

Kapittel 5 adresserer risikoreduksjon, risikoakseptkriterier og ALARP-prinsippet, og viser en enkel beregning med bruk av kost/nytte/effektivitetsanalyse.

Kapittel 6 oppsummerer fordeler og ulemper med klassisk og prediktiv Bayesiansk tilnærming, og videre arbeid.

1.4 Problemstilling

I en risikoanalysesammenheng er det typisk tre fundamentale spørsmål som må forklares og beskrives:

- Hva er risiko?
- Hvordan beskrive risiko?
- Hva er sikkert nok?

Problemet ligger i å beskrive disse tre spørsmålene på en slik måte at resultatene fra en risikoanalyse kan brukes og bli forstått av de interessenter som trenger denne informasjonen.

Problemstillingen for denne oppgaven er å vise hvordan resultat fra risikoanalysen kan presenteres på en alternativ måte til den tradisjonelle analysen, slik at vi får et mer helhetlig, informativt og balansert bilde av risikoen.

1.5 Forutsetninger

Det er flere forutsetninger som må forklares ved oppgaven:

- Oppgaven bygger for det meste på faglig litteratur og lærebøker. Det vil derfor være visse aspekt som beskrives mer kynisk og direkte ut fra litteraturen enn hva som er vanlig industripraksis. Dette er særdeles viktig å vurdere ved gjennomlesing.
- Oppgaven vil adressere fordeler og ulemper med ulike tilnærminger til risiko og usikkerhet. Således er det prøvd å være nøytral med tanke på hvilken tilnærming som er mest nyttig. Likevel, på grunnlag av forutsetningen over, viser det seg vanskelig å rettferdiggjøre den tradisjonelle tilnærmingen.
- Hovedfokuset ligger ved kvantitative risikoanalyser, men det vises også til retninger som bygger på mer bruk av både kvalitative og kvantitative former av analysen.
- Beskrivelser og metodikk vil først og fremst omhandle petroleumsrelatert regelverk og krav i Norge.

1.6 Begrensninger

Områdene begrenses til følgende for denne oppgaven:

- Vurdering av tilnærming til risiko og usikkerhet

Innen disse ser vi kort på:

- endring fra forventningsverdi til sannsynlighetsfordeling
- vurdering av risikoreduksjon, med akseptkriterier og ALARP
- sensitivitetsanalyser
- usikkerhetsanalyser
- bruk av kost/nytte- og kost/effektivitetsanalyser

Rapporten er ment som innføring til en tankegang som adresserer en alternativ tilnærming til risiko og usikkerhet i forhold til dagens tradisjonelle perspektiv. Det ikke snakk om et fasitsvar, men om muligheter til forbedring. Andre begrensninger er:

- Risikoanalyser har hatt størst anvendelse i konsept- og planleggingsfasen. I oppgaven vil vi betrakte både design-, engineering- og driftsfaser m.m. Risikoanalyser er brukbare i alle faser, men metodene som anvendes må tilpasses bruken.
- Oppgaven er til tider direkte rettet mot petroleumsindustrien og hvordan de bruker kvantitative risikoanalyser, men diskusjonen vil likevel være mer generell og omhandler i all hovedsak andre industrier også.
- Miljøaspektet i risikoanalysene, med de hensyn og krav det medfører, vil ikke vektlegges i oppgaven.

1.7 Forkortelser og terminologi

Ord og uttrykk benyttet i denne oppgaven er nærmere forklart i Tabell 1 og 2:

Tabell 1 – Forkortelser

ALARP	ALARP-prinsippet (<i>As Low As Reasonably Practicable</i>) fokuserer på at risikoen skal reduseres så langt praktisk mulig
BAT	Best tilgjengelig teknologi
BORA	Barriere og operasjonell risikoanalyse
DSB	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap
FAR	<i>Fatal Accidental Rate</i> er et uttrykk for å beskrive det statistisk forventede antall tap av liv per 100 millioner (10 ⁸) eksponerte timer
FMECA	Failure Modes and Effect Criticality Analysis
GIR / AIR	<i>Group Individual Risk / Average Individual Risk</i> et gjennomsnittlig individs risiko for dødsfall i løpet av et gitt tidsrom (typisk ett år)
HAZOP	Hazard and Operability Analysis
HMS	Helse, miljø og sikkerhet
HSE	Health and Safety Executive
IR	<i>Individual Risk</i> er sannsynligheten for at et tilfeldig individ skal omkomme i løpet av et gitt tidsrom (typisk ett år)
MORT	Management Oversight & Risk Tree analytical logic diagram
PHA	Preliminary Hazard Analysis (grovanalyse)
PLL	<i>Potential Loss of Life</i> er det statistisk forventede antall tap av liv i løpet av et gitt tidsrom (typisk ett år)
PRA / PSA	<i>Probabilistic risk analysis / Probabilistic safety analysis</i> er eksempel på kvantitative analyser som er mye brukt i kjernekraftindustrien
QRA	En kvantitativ risikoanalyse - brukes gjerne om både <i>Quantitative Risk Analysis</i> og <i>Quantified Risk Assessment</i>
RIM	Risk Influencing Modeling
SWIFT	Structured What-If Technique

Tabell 2 - Terminologi

Akseptkriterium	Akseptkriteriene gir uttrykk for det risikonivået som operatøren beslutter er akseptabelt i en gitt fase eller periode av virksomheten. Kriteriene kan uttrykkes kvantitativt og/eller kvalitativt, avhengig av den type risiko de gjelder for, og hvilke risikoanalytiske metoder som benyttes [37]
Arbeidsulykker	Ulykker forbundet med andre farer enn hydrokarbongass eller olje under trykk, som fall og klemme ulykker [37]
Beredskap	Alle tekniske, operasjonelle og organisatoriske tiltak som hindrer at en inntrådt faresituasjon utvikler seg til en ulykkessituasjon, eller som hindrer eller reduserer skadevirkningene av inntrådte ulykkessituasjoner [20]
Beredskapsanalyse	Systematisk fremgangsmåte som har til hensikt å tilpasse virksomhetens beredskap til de definerte fare- og ulykkessituasjonene, i henhold til virksomhetens spesifikke krav til beredskap [37]
Deterministisk	Baseres på at tilstanden er fullstendig bestemt, på grunnlag av tidligere tilstand
Fare	Handling eller forhold som kan føre til en uønsket hendelse [4]
Frekvens	Frekvens angir et gjennomsnittlig antall hendelser pr. tidsenhet eller pr. operasjon. Frekvens kan, i motsetning til sannsynlighet, uttrykkes i tallstørrelser større enn 1
Konsekvens	Mulig følge av en uønsket hendelse, uttrykt kvalitativt og/eller kvantitativt [4]
Ontologi	Teorier og læren om hvordan virkeligheten faktisk ser ut og det som eksisterer [52]
Storulykke	Hendelser med svært alvorlige konsekvenser som kan være årsak til/eller medfører skade på mennesker, miljø eller materielle verdier
Trussel	Med trussel forstås ethvert forhold eller enhver enhet med et potensial til å forårsake en uønsket hendelse [7]
Ulykke	En eller flere hendelser som kan være årsak til/eller medfører skade på mennesker, miljø eller materielle verdier [49]
Uønsket hendelse	Irreversibel ukontrollert hendelse eller tilstand som kan medføre skade på mennesker, miljø eller materielle verdier

2 RISIKOTEORI OG METODER

Dette kapittelet vil forklare grunnleggende persepsjoner, beskrivelser og forklaringer rundt begrepet risiko. Kapittelet baseres på en litteraturstudie for å forklare hva vi legger i begrepet, hva det betyr og hvordan risiko bør tolkes, både generelt og gjennom oppgaven. Videre beskrives helt kort sikkerhets- og risikostyringen, og ulike tilnærminger til risiko. Kapittelet går også i dybden på prosessen for å utarbeide en risikovurdering, der de ulike elementene i risikoanalysen og evalueringen presenteres, samt beskrive annen risikoteori og bruk av velkjente analysemetoder.

2.1 Risikobegrepet

For å forstå hvordan risikoanalyser og da henholdsvis resultatene fra disse skal tolkes, må selve begrepet risiko forklares nærmere. Men hva er egentlig risiko? Spørsmålet i seg selv er relativt vanskelig å besvare – det foreligger så uendelig mange måter for hvordan risiko oppfattes og forstås av oss mennesker. I dagligtale er det ikke et enormt behov for å utvide begrepet spesielt, men i analysesammenheng er vi nødt til å være mer tydelig rundt beskrivelsen og bruken av ordet risiko.

Vi kommer nemlig ikke unna risiko. Enhver aktivitet eller hendelse innebærer risiko. Det forekommer aldri en situasjon uten risiko og det vil alltid foreligge en viss usikkerhet for hva konsekvensene kan bli. I følge Aven, et al., [12] vil ingen oppleve en absolutt sikkerhet mot farer. Det å leve er i og for seg basert på risiko. En fare i denne sammenheng kan oppsummeres som noe der kan skape uheldige og skadelige resultat. Det er således en fellesbenevning¹ for vår oppfatning av risiko i denne oppgaven at det er *et uttrykk for en fare som en hendelse representerer for mennesker, miljø og økonomiske verdier* [19]. Man kan derfor si at det ligger latent i oss mennesker, at vi ønsker at denne omkringliggende risikoen er på et akseptabelt nivå, eller med andre ord *så lav som mulig*. Men hva som oppfattes som akseptabel eller lav risiko, er også vanskelig å presisere. Den vil i de fleste tilfeller være individavhengig, se [20,30,65] for mer utfyllende informasjon om menneskers forståelse og toleranse til risiko.

Ekspertene innen risiko, bruker gjerne ordet *sikkerhet* mot farer og skader. Fordi risiko og sikkerhet er komplementære størrelser, kan vi si at en høy risiko tilsvarer en lav sikkerhet, og en lav risiko tilsvarer en høy sikkerhet. Risiko og usikkerhet er derimot ikke like enkle å sammenligne. Her betyr nødvendigvis ikke en høy grad av usikkerhet at risikoen er høy, akkurat som en lav grad av usikkerhet ikke nødvendigvis betyr at risikoen er lav. Avhengig av aktivitet og ved hvilken situasjon ordet sikkerhet brukes, vil den ha forskjellig betydning. Aven [19] utvider sikkerhetsbegrepet og bruker uttrykket om evnen til å unngå skader og tap som følge av uønskede hendelser, enten disse skyldes tilfeldige eller bevisste handlinger. Total sikkerhet er et samlebegrep som innbefatter både tilfeldige og vilde handlinger.

Eksempel kan være sikkerhet mot skader og tap som følge av:

- Belastninger fra miljøet og feil på tekniske system
- Bevisste og ondsinnede menneskelige handlinger

¹ Merk at risikobegrepet i oppgaven ikke vil rettes mot noen form for (finansiell) gevinst.

- Fiendtlige handlinger
- Trygghet for egen situasjon

For risiko, er det vanlig å skille mellom såkalte perspektiv. Disse risikoperspektivene har mange ulike tilnærminger og er avhengig av områder som fag og disiplin. Renn [13] klassifiserer og kategoriserer bruken av risikobegrepet og nevner følgende typiske perspektiv:

- Ingeniørsammenheng
- Forsikring
- Medisin
- Økonomi
- Psykologi
- Sosiologi
- Kultur

Som vi ser fra perspektivene over, er det tydelig at risiko lett kan misforstås og bli tolket på forskjellige måter. Ekspertene innen disse feltene finner ingen konsensus for hvordan kommunisere risiko, og da hvordan vi forstår risiko. Generell terminologi om risiko innen en økonomisammenheng, vil således være annerledes enn hvordan den er innen medisin. Det samme gjelder tilgjengelig kunnskap og informasjon om sikkerhet og risiko, som gjerne varierer og har en stor spredning innen de forskjellige perspektivene. Imidlertid er ikke bare på grunnlag av perspektivene som skiller forståelsen. Risiko er også basert på for eksempel aktivitet og hvem som eksponeres for gitt aktivitet. Det kan sies at vi ønsker at risikoen for virksomheter og aktiviteter blir holdt på et nivå som er *akseptert*. Men hva som er akseptabel risiko er som tidligere nevnt ikke lett å bestemme. Den vil avhenge av hvem vi forholder oss til og er typisk basert på gjeldende verdier i samfunnet. Det akseptable kan relateres til oppfatning av normalitet [12] og vil være avhengig av type aktivitet, hvem som utfører aktiviteten og i hvilken sosial sammenheng denne foregår. Således er risiko ikke en statisk og iboende egenskap ved en aktivitet. Denne risikoen kan påvirkes og vil følgelig utvikle seg over tid, blant annet i takt med de aktivitetene som gjennomføres, iverksetting av tiltak, læring fra ulykker, feil og suksesser, anvendelse av ny teknologi, utvikling av arbeidsmetoder, oppdatering av regelverk og oppfølgingsaktiviteter både i næringens og myndighetenes regi [36].

Videre kan forståelsen relateres opp mot hensynet fra de tre siste punktene nevnt over, som vi primært forstår som kulturelle, sosiologiske og psykologiske faktorer – eller med andre ord en såkalt menneskelig opplevelse og persepsjon av risiko [45]. Risiko oppleves også forskjellig etter hvilken situasjon personen er i. Et kjennetegn, er at den gradvis vil endre seg over tid. Den baserer seg på personers holdning til risikosituasjoner og er naturlig nok avhengig av hvorvidt risikoen er selvvalgt eller påtvunget. Dette har mye med hvilken risiko noen har utsatt seg for og hvordan de opplever situasjonen.

Opplevelsen av risiko kan vanligvis deles mellom:

- der en har følelse av kontroll
- der en utsettes for en ufrivillig risiko

Her skilles det mellom en individuell og en grupperisiko. Grupperisiko relateres gjerne til større grupper av mennesker og kan i visse tilfeller sees forskjellig fra den individuelle risiko. Både individuell og grupperisiko innbefattes av om en utsettes for frivillig eller påtvunget

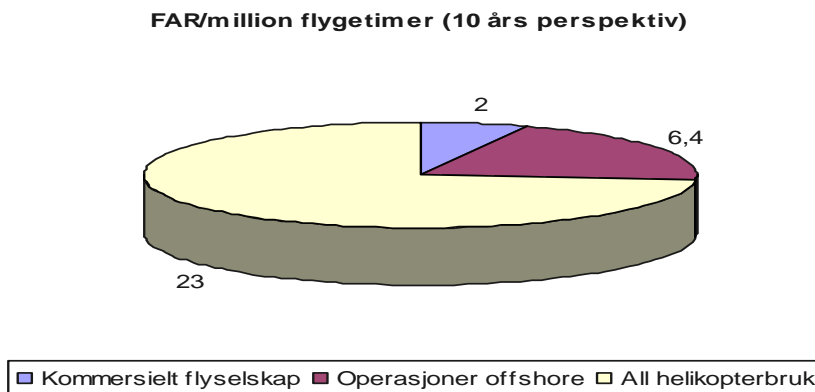
risiko. Risiko ved for eksempel røyking, er innenfor den frivillige risikokategorien. Tilsvarende er det for risikosøkende personer som driver ekstremспорт. Imidlertid er risiko assosiert med det å leve i et samfunn, der hendelser som kriminalitet kan forekomme, normalt ansett som den ufrivillige typen.

Figur 2.1 viser en enkel fremstilling av hvordan vi kan relatere inndelingen opp mot en frivillig eller ufrivillig risiko.



Figur 2-1 - Eksempel på risikokategorisering

Kriminalitet og brann er relativt enkle å anse som en påtvunget risiko. Verre er det å kategorisere risikoen assosiert med aktiviteter innen transport. Denne kan betraktes som frivillig, men det er et underliggende spørsmål er om det er korrekt hvis bruk av gjeldende fremkomstmidler er den eneste måten du kan komme deg fra A til B. Dette kan vi sammenligne med bruk av helikopter for å transportere folk til og fra installasjoner offshore. Enhver vurdering av disse aktivitetene, sammen med historiske tall, viser at dette er en stor bidragsyter for høye verdier på risiko. Figur 2-2 baserer seg på data fra [39-40], og viser følgende sammenligning mellom vanlig flyvning mot helikopterbruk:



Figur 2-2 - FAR-sammenligning mellom vanlig flyvning og helikopterbruk

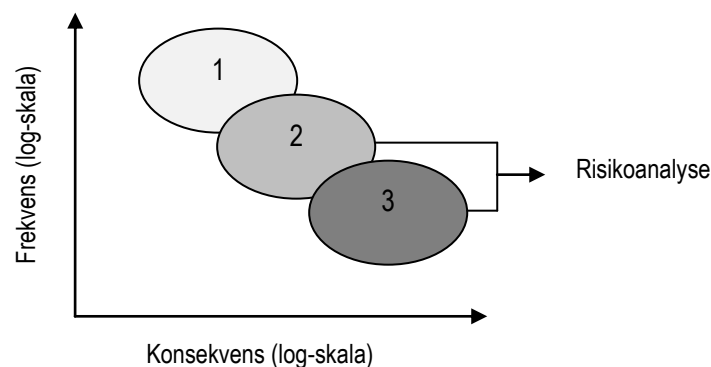
Spørsmålet melder seg om det så finnes bedre alternativ til helikopterbruk? Det har lenge vært et ønske å begrense denne trafikken, men alternativene har aldri blitt realisert. Fordelene med helikoptertransport er forholdsvis høye, derfor er risikonivået likevel akseptabelt [14]. I tillegg ønsker de fleste ansatte å benytte helikopter av tids- og bekvemmelighetshensyn. Det er blitt vurdert andre former for transport for offshorepersonell, men for norsk sokkel er det ikke per i dag realistiske alternativ [7]. Dette baserer seg på både avstander, vær- og sjøforhold. Et kritisk aspekt innen helikoptertransport, er de fåtall situasjoner der offshorepersonell føler at helikoptertransport og -skyttingen blir påtvunget. I slike tilfeller må det innarbeides system som reflekterer over dette.

En annen brukt inndeling er mellom reell og opplevd risiko. Noen vil åpenbart være mer redd for en potensiell fare, som for eksempel å fly. Dette kan by på problemer for rasjonell beslutningstaking ved blant annet risikokriterier, jf. kapittel 5.1.1. Det kan også være kulturelle aspekter bundet i opplevd risiko, som politiske, religiøse eller moralske oppfatninger. For å beskrive risiko i dette tilfellet, er det aktuelt å tenke seg tilbake i tid, og fra det ståstedet se frem i tid [8]. Selve risikoen, sett opp mot det som faktisk ble erfart, vil ofte være helt forskjellige [50]. At det i én situasjon gikk bra, betyr ikke nødvendigvis at risikoen var liten. Omfanget av dette vil ikke diskuteres videre i oppgaven, men er nevnt for å vise at det bør reflekteres over når det settes akseptkriterier [22].

Kunnskap om trusler og farer påvirker vår generelle risikoforståelse. Har vi kjennskap til interne, lokale eller til og med globale trusler og farer, påvirker det igjen vår oppfattelse av risiko. Det gjelder også i tilfeller der system eller personer tidligere har vært utsatt for en fare eller trussel. Motivasjonen og arbeidet med å beskytte seg mot denne faren økes i dette tilfellet, i forhold til teoretisk kunnskap om andre risiko. Vedlikeholdspersonell kan for eksempel fokusere mer på beskyttelse mot et kjent problem, men neglisjere kontinuerlig søken etter å redusere risiko og usikkerhet mot andre farer og/eller trusler. Sårbarhetsutvalget [7] viser til akkurat denne problemstillingen. Dette kan være uheldig og vil ofte resultere i en tilbakeskuende og hendelsesbasert beredskap. Dessverre vil gjerne neste fare eller trussel være av en helt annen kategori.

Storulykker er et eksempel i en annen kategori. De kan synes å være mindre akseptable i samfunnet enn mange ulykker med enkeltdødsfall, mye grunnet menneskers oppfatning av farlighet ved ulykker med lav sannsynlighet, men med store konsekvenser [8]. Dette gjenspeiles i hvordan samfunnet har ulik oppfatningen av ulykker. Petroleumsnæringen har erfart dette flere ganger, når en sammenligner oppmerksomheten ved for eksempel et dødsfall offshore, i forhold til andre mindre risikofylte virksomheter.

Figur 2-3 viser en inndeling av hvilke typer ulykker som er vanlige å beskrive [50]:



Figur 2-3 - Ulike typer ulykker

Ulykkeskategori 1

Høy frekvens og relativ lav konsekvens. Typiske ulykker som faller innenfor denne kategorien er trafikkuhell eller arbeidsulykker. Felles for hendelsene er at de oppstår forholdsvis regelmessig og er enkle å forutsi fra statistiske data for den nærmeste fremtid.

Ulykkeskategori 2

Disse hendelsene har en lavere frekvens i forhold til kategori 1, men en desto høyere konsekvens. Ulykker innenfor dette området, kan være større industriulykker. Disse ulykkene er derimot ikke like enkle anslå. Her må det gjennomføres risikoanalyser for å identifisere de farer som er relatert til det systemet² som studeres. Risikoen vurderes altså ut fra både statistikk fra tidligere hendelser, samt bruk av analytiske verktøy.

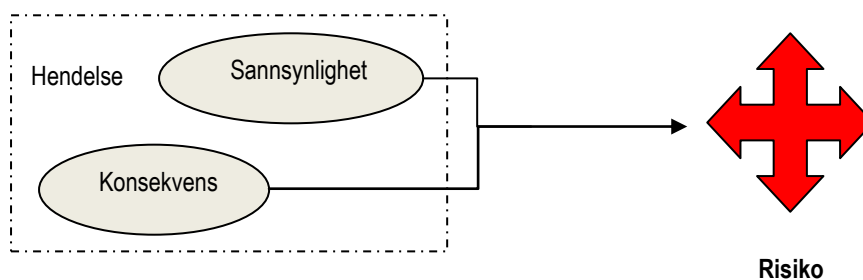
Ulykkeskategori 3

Ulykker innen denne kategorien har katastrofale konsekvenser, men særdeles lav frekvens. Eksempel på slike hendelser kan være krig eller kjernekraftulykker. Med et så begrenset datagrunnlag, gir det særdeles vanskeligheter med å anslå risikoen. Mennesker vises å være dårlige til å bedømme risiko i slike situasjoner, der konsekvensene er alvorlige, men sannsynligheten er lav [71]. Detaljerte risikoanalyser er nødvendig for å kunne si noe om risikoen. Et eksempel innen dette fenomenet er fra Stewart, et al., [22] som viser til en lavere samfunnsaksept for en storulykke med 100 dødsfall, i forhold til 100 forskjellige ulykker som hver involverer ett dødsfall. Slike forhold kan ha sammenheng med den oppfatningen folk har av risiko, hvor ulykker med liten sannsynlighet og stor konsekvens, oppleves som farligere enn ulykker med stor sannsynlighet og mindre konsekvens [8].

Som en oppsummering til figur 2-3, vil tradisjonelle risikoanalyser være gjeldende for kategori 2 og 3.

Risiko i en analysesammenheng

Går vi videre med den mer tradisjonelle måten å fremstille risiko på i en analysesammenheng, vil man snevre begrepet til å omhandle sannsynlighet for at en hendelse kan inntreffe, multiplisert med konsekvensen av gitt hendelse. Det er et todelt konsept, og begge delene må fremvises for at det skal gi mening. Den bygger hovedsakelig på funksjonen mellom disse to element som vist i figur 2-4.



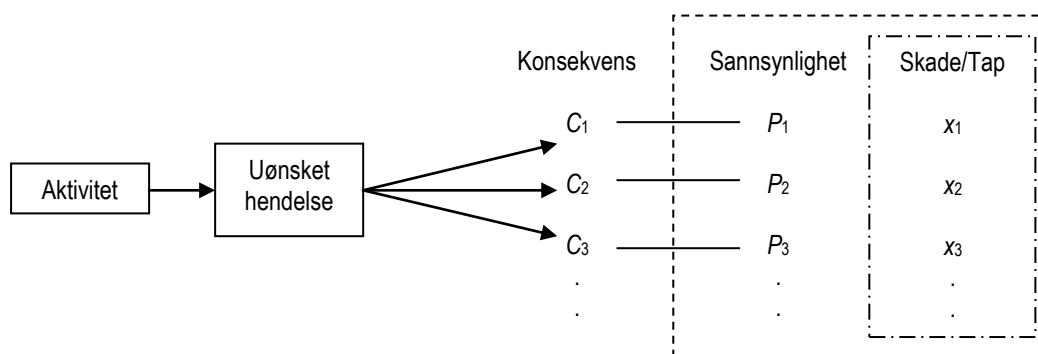
Figur 2-4 - Typisk risikooppfatning

For folk flest vil denne hendelsen ha en viss sannsynlighet for skade, og det er denne skaden som er av bekymring og ikke selve hendelsen, jf. figur 2-5. Det gjenspeiles i oppfatningen til Stewart og Melchers [22] at begrepet risiko simpelthen kan sees på som verdien av et objekt eller system. Den uttrykker en fare for tap av verdi som følge av uønskede hendelser. Denne

² System brukes i oppgaven som et felles uttrykk for installasjoner, anlegg, aktiviteter, operasjoner og faser [6].

sammenhengen kan ha konsekvensene gitt i økonomisk retning eller en annen verdsetting, som tap av informasjon, liv, renommé m.m.

Likevel ser vi mer og mer at den aksepterte definisjonen av begrepet risiko inkorporerer begge aspekt, der både hendelsen og skaden er av interesse. Derfor kan en risiko typisk defineres som sannsynlighet for bestemte konsekvenser, evaluert som sannsynlighet multiplisert med betydningen av konsekvensen, se figur 2-5.



Figur 2-5 - Generell risikomodell

Tar vi for oss ulykker som brann, gasslekkasje m.m., er denne matematiske fremstillingen fornuftig hvis det foreligger klare statistiske data for frekvens av tilsvarende hendelser. I tilfeller der det statistiske materialet er tynt eller manglende, kan slike beregninger være særdeles vanskelig. Slike situasjoner (for eksempel ulykkeskategori 3 i figur 2-3) der sannsynlighetsfaktorer er bortimot umulig å fastslå, eller der historiske data ikke kan fremskaffes innenfor de gjeldende tids- og kostnadsrammene [54], må risiko vurderes subjektivt i form av blant annet ekspertvurderinger.

For å få et overblikk over selve kommunikasjonsproblematikken i risikoanalysene, er en altså avhengig av å ha en solid forståelse for begrep og beskrivelser innen risiko og sikkerhet. Med risiko forstår vi altså som en hendelse, en konsekvens, en sannsynlighet og/eller usikkerhet. Det kan være av interesse å få en felles risikodefinitjon, men som følgende definisjoner viser, kan det være relativt vanskelig å få en samlet overensstemmelse. En begrepsmessig presisjon på risiko er derfor viktig.

Definisjoner på risiko

Kaplan [23] illustrerer kompleksiteten rundt defineringen av risiko på følgende måte:

“One of the first things the Society for Risk Analysis did was to establish a committee to define the word risk. This committee labored for 4 years and then gave up, saying in its final report, that maybe it is better not to define risk. Let each author define it in his own way, emphasizing that each should explain clearly what way that is.”

Som vi ser er det vanskelig å beskrive en kryssdisiplinær definisjon rundt selve risikobegrepet. Oppgaven vil likevel presentere et par typiske definisjoner som brukes i industrien og som er nevnt i norsk regelverk.

ISO/IEC [9] definerer risiko slik tidligere nevnt som kombinasjonen av sannsynlighet for at en hendelse skal inntreffe og hendelsens konsekvenser. Fra standarden NS 5814:2008 Krav til risikovurderinger [4], defineres risiko som:

”et uttrykk for kombinasjonen av sannsynligheten for og konsekvensen av en uønsket hendelse.”

Disse definisjonene er imidlertid litt diffuse, i og med at de ikke poengterer bruk av en sannsynlighetsdimensjon for konsekvensen av hendelsen [2]. De relateres også til kun én uønsket hendelse. På grunnlag av definisjonene over kan, risiko fremstilles kvantitativt og forenklet for én uønsket hendelse med ett utfall som:

$$R = p \times C$$

Kaplan [23] illustrerer en ”alternativ” måte å kvantifisere risiko, ved å identifisere et utvalg med scenarier, der fokuserer er å undersøke visse (og ikke alle) typer risiko, jf. vedlegg VI. I de følgende definisjoner, vil en ta for seg ”alle” mulige hendelser. Matematisk kan de beskrives som:

$$R = \sum_{i=1}^n (p_i \times C_i)$$

der:

p er sannsynlighet for ulykke

C er konsekvensen av ulykke

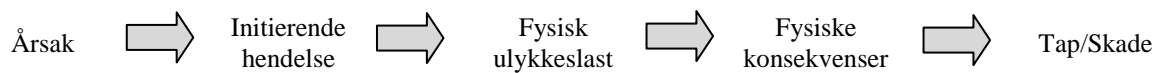
Denne fremstillingen har bare mening der alle utfallene kan uttrykkes med samme målestokk, som for eksempel i NOK [8]. I dette tilfellet uttrykkes risikoen typisk som det statistisk forventede utfallet, en forventningsverdi. Sannsynlighet kan uttrykkes på flere måter, for eksempel som $\frac{1}{4}$ eller én av hundre. Vi kan også uttrykke den på en kvalitativ måte, der vi deler de inn i kategorier som lav, middels, signifikant, neglisjerbar etc. Dette beskrives mer i kapittel 3 om risikopresentasjonen.

I noen tilfeller er det også vanlig å la p uttrykke frekvensen av C , for eksempel 10 tilfeller i løpet av ett år. Konsekvensene kan også beskrives på flere måter, som tap av liv eller en inndeling i personskader. I analysesammenheng er det flere eksperter som kun tenker på risiko som usikkerhet rundt forventningsverdien. Dette referansepunktet vil være logisk innen økonomiske aspekter, men bør ikke være rådende i risikoanalyser for petroleumsindustrien, der defineringen av risiko er av en helt annen dimensjon. Risikobegrepet bør ikke festes direkte kun ved bruk av forventningsverdien. Sannsynligheter, og da også forventningsverdier, er ikke reelle, objektive størrelser. De vil alltid være avhengig av tilgjengelig bakgrunnsinformasjon, og de antagelser og forutsetninger som gjøres, se vedlegg II og V. Det er også gjeldende i oppgaven at risikobegrepet blir utdypet med tilegget ”sårbarhet”. Forskjellen gjelder i korte trekk kombinasjonen av mulige konsekvenser og usikkerhet, gitt at systemet utsettes for en initierende hendelse, jf. kapittel 2.3.2.1 [2].

Generelt snakker vi altså om sannsynlighet når det gjelder om en hendelse vil inntreffe eller ikke, og frekvens om hvor ofte hendelsen vil inntreffe. Sannsynlighets- og

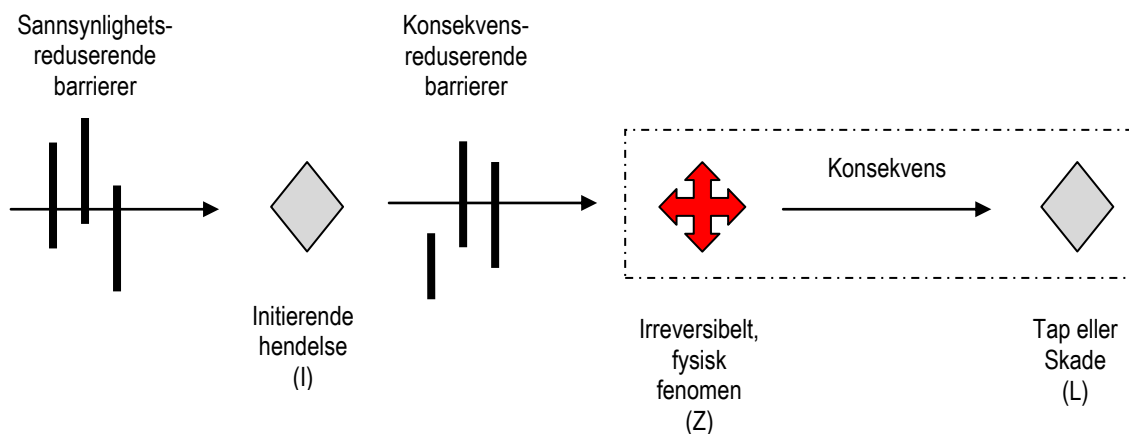
konsekvensbegrepet betyr at ordet risiko beskriver noe som kan skje i fremtiden – det forligger altså en viss usikkerhet om hva som kan skje i fremtiden. Det er relativt sjeldent vi finner det interessant å vite risikoen etter at en hendelse har oppstått, enten resultatet var positivt eller endte med katastrofe [50].

For å visualisere dette, kan vi ta utgangspunkt i figur 2-6 og 2-7. Disse viser en beregningskjede, fra en initierende hendelse til en ulykkesituasjon [5]:



Figur 2-6 - Generell ulykkeskjede

Begge figurene viser en kjede av delhendelser. Hvilken delhendelse som benyttes for å klassifisere initierende hendelse, er ikke alltid like lett å bestemme, men som en hovedregel defineres den uønskede hendelsen som det første avviket fra normal tilstand som kan lede til skade [8], gitt en irreversibel, fysisk hendelse.



Figur 2-7 - Enkel ulykkeskjede

Avviket fra normal operasjon starter med å passere en eller flere barrierer. Disse sannsynlighets- og konsekvensreducerende barrierene, introduseres for å redusere sannsynlighet for uønskede hendelser, samt begrense konsekvensene i slike tilfeller der de oppstår. Dette resulterer så i en irreversibel, fysisk størrelse, som blant annet kan gi skade på liv, materielle verdier m.m. I kvantitative analyser vil relevante størrelser være tilfeller som for eksempel brann eller lekkasje med tilhørende eksplosjon.

Går vi tilbake til definisjonen fra NS 5814, kan den sees på som manglfull, grunnet den ikke direkte nevner innføring av usikkerhet. Merk at vi ønsker å kommunisere betydningen så korrekt som mulig. For å beskrive risiko mer detaljert, må vi altså ta i betraktning både usikkerhet og konsekvens. Aven, et al., [1] og Aven [2] tar et steg videre med definisjonen og utvider den til å inneholde usikkerhet. En mer generell definisjon av risiko blir da:

"kombinasjon av mulige konsekvenser (utfall) og tilhørende usikkerhet."

"kombinasjonen av mulige fremtidige hendelser/konsekvenser og tilhørende usikkerhet (C, U)."

Dette forstår vi som en kombinasjon av hendelser A og konsekvensene C av disse hendelsene, med tilhørende usikkerheter U for hva utfallet vil bli. U relateres da opp mot C , som er avhengig av synspunktet til en analytiker og vil følgelig være noen sin usikkerhet om hva C vil bli [1]. Sannsynlighet betegnes ofte som et redskap for å uttrykke usikkerhet, men er tydelig mangelfull for å vise hele bildet. Det er viktig å presisere at vi ikke direkte kan erstatte usikkerhet U med sannsynlighet P . En av grunnene er relatert til usikkerhetene som kan ligge latent i bakgrunnskunnskapen K . Se [11,16] og videre diskusjon i vedlegg V om tilnærminger til risiko og usikkerhet.

På grunnlag av denne definisjonen kan vi oppsummerer de komponentene som er gjeldene for en risikobeskrivelse slik vi oppfatter risiko i oppgaven. Fra ISO/IEC [9] vil disse være [16]:

- Hendelser (A) – En hendelse er definert som en forekomst av en bestemt samling av omstendigheter. I en QRA vil den initierende hendelsen (I) være midtpunktet i et bow-tie-diagramm, jf. figur 2-13. Når konsekvensspekteret for en hendelse er negativ, betegner vi den gjerne videre som en uønsket hendelse³. Det er denne betegnelsen som i hovedsak brukes videre i oppgaven.
- Konsekvenser (C) – En konsekvens er definert som utfallet av en hendelse. Figur 2-7 viser sammenheng mellom fysiske størrelser (Z) og generelle tap (L), der adferden til det fysiske fenomenet som er involvert, danner et konsekvensnivå. Ut fra dimensjonen av denne fysiske størrelsen, kan tapet relateres til grad⁴ av konsekvens.
- Prediksjoner (C^*) – Prognose der en forutsier hvilken verdi C kan anta i virkeligheten.
- Usikkerhet (U) – Usikkerhet forstår vi som mangel av kunnskap om ukjente størrelser.
- Sannsynlighet (P) – Verktøy for å uttrykke usikkerhet rundt hendelser og konsekvenser.
- Bakgrunnskunnskap (K) – Risikobeskrivelsen avhenger av bakgrunnskunnskapen til analytikeren.
- Sensitivitet (S) – Sensitiviteten baserer seg på en analyse av risikouttrykkene, som undersøkes ved å endre informasjonsparametre (inndata) i en modell.

En generell beskrivelse av risiko vil inneholde elementene (A , C , U , P , K). Dette er de fem hovedkomponentene for å uttrykke. En mer sammenfattet beskrivelse vil inneholde alle komponentene (A , C , C^* , U , P , K , S). Hva dette risikoperspektivet innebærer, diskuteres mer omfattende i kapittel 2.1.

Definisjonen kan reformuleres [11] ved å uttrykke risiko assosiert med en aktivitet som:

”usikkerhet om og alvorligheten av konsekvensene for en aktivitet.”

³ Kan også betegnes som et sikkerhetsproblem, en fare, en topphendelse eller en nøds- og ulykkesituasjon.

⁴ Defineres typisk som alvorligheten til konsekvensen.

Denne alvorligheten brukes gjerne om intensitet, størrelser, omfang etc. av konsekvensene, og kan relateres opp mot noe som angår oss mennesker og gir det verdi. Gevinst og tap, for eksempel uttrykt med kroner eller antall dødsfall, er måter å definere graden av konsekvenser. Derfor kan vi si at risiko er lik usikkerhet om konsekvensene av en aktivitet, sett i forhold til alvorligheten av konsekvensene. Aven [11] påpeker at usikkerhetene relateres til konsekvensene C , mens graden kun er en måte å karakterisere konsekvensene.

Den siste defineringen er fra NORSOK Standard Z-013 [6] og ser på risiko som:

"kombinasjon av sannsynligheten for en skadeforekomst og alvorligheten av skaden."

Her er ordet usikkerhet forkastet, men som vi ser fra reformuleringen fra forrige definisjon, er det inneforstått at usikkerheten nå relateres til alvorligheten av konsekvensene.

Som dette kapitlet viser, foreligger det altså ingen konsensus for hvordan sannsynlighet og usikkerhet forstås og tolkes. Dette er særdeles uheldig, siden disse begrepene betyr såpass mye for vår oppfatning av ordet risiko. Næringen viser at det er mye forvirring og uenighet rundt omfanget av begrepene. Det betyr med andre ord at vi kan si at usikkerheter ikke behandles og beskrives tilstrekkelig for å opprettholde en god risikokommunikasjon. Tilnærmingene til risiko og usikkerhet typisk brukt i industrien, blir på ingen måte behandlet slik oppgaven foreslår i neste delkapittel.

2.1.1 Tilnærming til risiko og usikkerhet

For å presentere oppgavens oppfatning av risiko, må det etableres en bestemt tilnærming til risiko og usikkerhet. Det presiseres at det eksisterer flere perspektiv for hvordan tilnærme risiko, men at vi her kun enkelt beskriver metodene. Prinsipper og metoder for å analysere risiko er blitt utviklet gjennom mange år, imidlertid er det mye uenighet rundt terminologien, og da spesielt ordet sannsynlighet. Ekspertene har diskutert de vitenskapelige kvalitetene i risikoanalysen omfattende i en årrekke, men har enda ikke kommet fram til enighet. Filosofisk sett er sannsynlighet et vanskelig begrep som fagmiljøene ikke finner en felles konsensus for hvordan tilnærme.

Det diskuteres videre de ulike kvalitetsforskjellene som eksisterer mellom noen av tilnærmingene. Følgende kapittel er altså ment for å gi en innføring i relevante tilnærminger og fremlegge ett av dem som bør være rådende og som bør reflekteres ved utarbeidelse av fremtidige risikoanalyser. Således er det ikke et mål å påpeke hvilken tilnærming som er mest nyttig, men å vise fordeler og ulemper med de metodene som nevnes. Det legges spesielt fokus på å sammenligne en typisk klassisk tilnærming mot en prediktiv Bayesiansk tilnærming, se Vedlegg V for en mer utfyllende forklaring av tilnærmingene.

Tilnærminger

De to perspektivene som i litteraturen blir mest beskrevet er:

- Relativ frekvensbasert tilnærming
- Bayesianske tilnærminger

Avhengig av tilnærming som velges i en analysesammenheng, påvirker det hvordan målsettingen til analysen blir og resultatene som presenteres.

2.1.1.1 Relativ frekvensbasert tilnærming

Tilnærminger innen dette perspektivet betegnes ofte som en form av klassisk, tradisjonell statistisk eller frekventist-tilnærming. For å forenkle beskrivelser videre i oppgaven, vil perspektivene innen denne frekvensbaserte tilnærmingen ofte betegnes som klassisk.

En sannsynlighet tolkes som den relative fraksjonen av antall ganger en hendelse oppstår hvis situasjonen som analyseres gjentas hypotetisk sett et uendelig antall ganger under tilnærmede identiske forhold eller betingelser. Den underliggende sannsynlighet er ukjent og estimeres i risikoanalysen. Estimatet er usikkert, siden det kan være et stort gap mellom estimatet og den ”sanne” sannsynlighet. Vi ser på denne sannsynligheten som en egenskap ved forsøket.

Tilnærming i en risikoanalyse

Følgende er ment for å presentere hvordan tilnærmingen til beste estimat beskrives i en risikoanalyse [12,15].

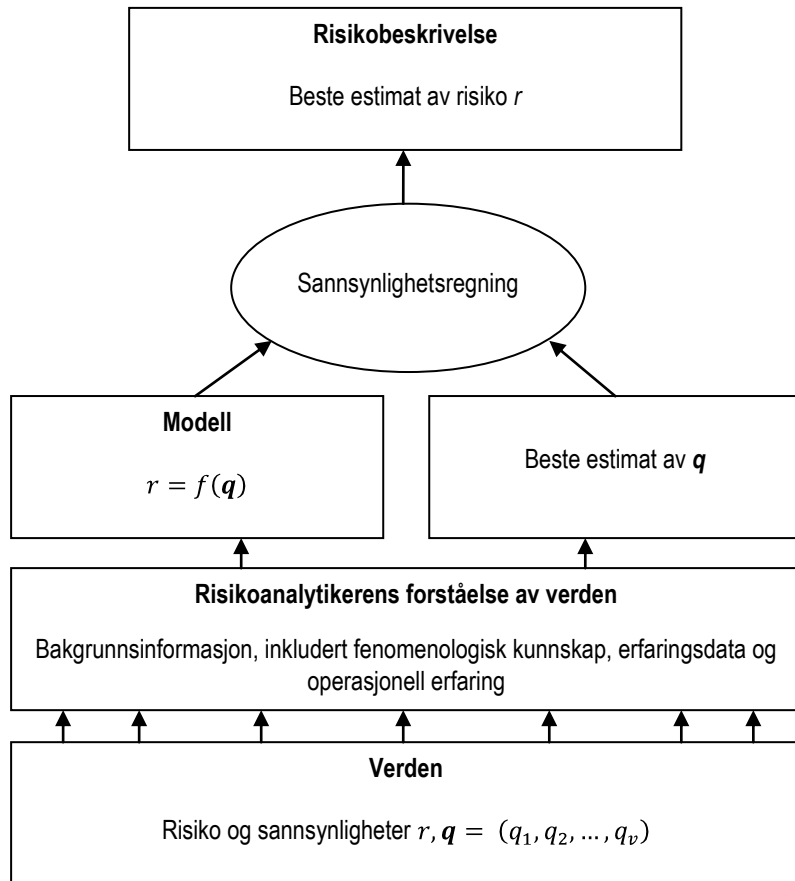
En analytiker eller en analysegruppe gjennomfører en risikoanalyse. Risiko er en funksjon av ukjente parametre \mathbf{q} som estimeres. Disse baserer seg på beste estimat. Ved bruk av statistiske metoder, blir estimatene utledet fra parametrene og en får estimater til de relevante risikomålene. r representerer et slikt risikomål, mens f er en modell som kobler r til visse parametre \mathbf{q} (q_1, q_2, \dots, q_v) på et mer detaljert nivå. I den klassiske tilnærmingen estimeres parametrene \mathbf{q} og gjennom modellen f , får vi et estimat av r . Typisk for denne tilnærmingen er at parametrene \mathbf{q} erstattes av estimatene $\hat{\mathbf{q}}$, slik at risikoen blir:

$$\hat{r} = \hat{f}(\hat{\mathbf{q}})$$

Tilnærmingen opererer her med en ”sann” verdi på \mathbf{q} og r . Modellen f er en forenkling av verden, derfor er ikke nødvendigvis denne spesifikke modellen korrekt for de sanne verdiene \mathbf{q} og r . På grunnlag av dette, vil det være usikkerhet i estimator r relatert til to punkt:

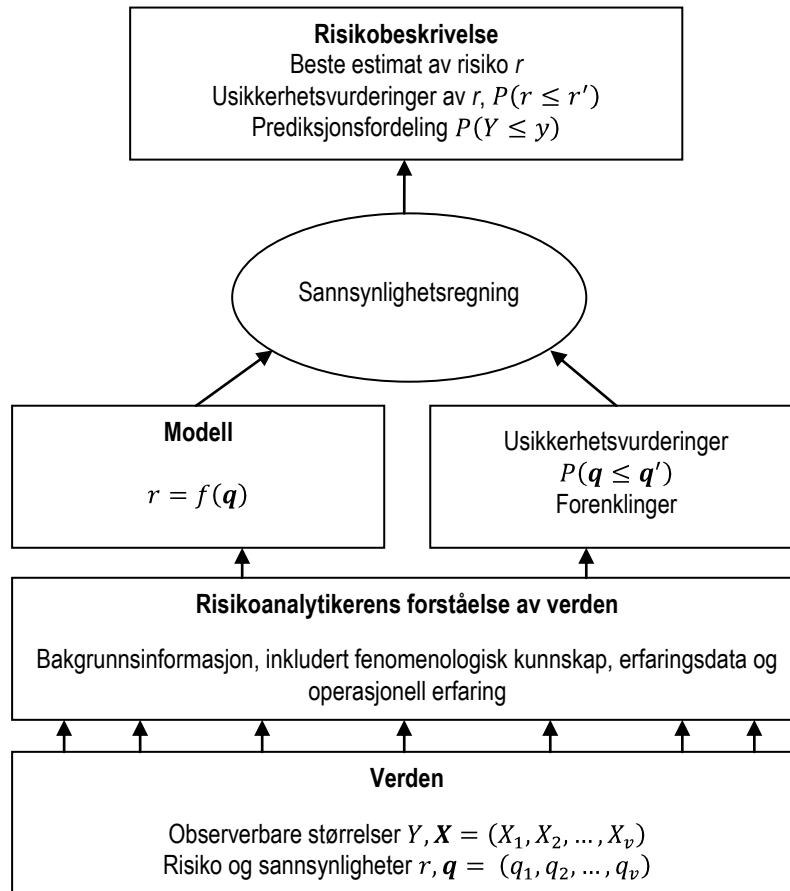
- Estimaten $\hat{\mathbf{q}}$
- Valg av modell \hat{f}

Innen disse vil det være mulighet for direkte beregningsfeil. Figur 2-8 illustrerer strukturen slik den oppfattes i en risikovurdering.



Figur 2-8 - Struktur av risikovurdering ifølge en klassisk tilnærming basert på beste estimat

Følgende er ment for å presentere hvordan klassisk tilnærming med usikkerhetsvurdering beskrives i en risikoanalyse.



Figur 2-9 - Struktur av risikovurdering ifølge en klassisk tilnærming med usikkerhetsvurdering

Klassisk tilnærming med usikkerhetsvurdering skiller seg fra den klassiske statistiske tilnærmingen primært ved hvordan den behandler usikkerhet. Usikkerhet i den klassiske statistiske tilnærmingen er begrenset til statistisk usikkerhet i data som brukes for å estimere parametrene i modellen.

Den klassiske tilnærmingen med usikkerhetsvurdering, tillater at usikkerhet i parametrene uttrykkes som subjektive sannsynlighetsfordelinger, se kapittel 4.2 for kvantifisering av usikkerhet. Disse fordelingene kan systematisk oppdateres hvis ny informasjon oppstår ved bruk av Bayes' teorem.

Sannsynlighet brukes her for subjektive sannsynligheter og frekvens for "objektiv" relativ frekvensbasert sannsynlighet. Epistemisk usikkerhet om de "sanne" risikoparametrene vurderes også som subjektive sannsynligheter.

2.1.1.2 Bayesianske tilnæringer

Sannsynlighet oppfattes som et mål for vår tro om utfallet av forsøket. Det er et mål på usikkerhet om fremtidige hendelser og utfall, sett gjennom en analysegruppe eller en analytiker. Den baseres på gitt bakgrunnsinformasjon og -kunnskap, med sannsynlighet som en subjektiv måling av usikkerhet.

Innen Bayesiansk tilnærming er det vanlig å skille mellom to typer [21]:

- *Bayesiansk tilnærming som estimerer ikke-observerbare parametre.* Det konstrueres en fiktiv, uendelig stor populasjon av element liknende de som studeres og det defineres ytelsesmål basert på gjennomsnittlig ytelse til populasjonen. Et ytelsesmål kan for eksempel være en gjennomsnittsverdi. Hensikten ved en Bayesiansk analyse er å estimere disse parametrene, basert på tilgjengelig kunnskap.
- *Prediktiv Bayesiansk tilnærming.* Her introduseres ingen fiktiv populasjon. Hovedfokuset er på fremtidige observerbare størrelser og formålet med analysen er å forutsi disse størrelsene og vurdere tilhørende usikkerheter. Subjektive sannsynligheter brukes for å vurdere disse usikkerhetene.

Det er den sistnevnte typen som vurderes gjennom oppgaven. Prinsippene som beskriver perspektivet oppsummeres fra Aven [12,58] og er som følger:

- Observerbare størrelser som uttrykker tilstanden til verden. De er ukjente, men vil hvis systemet som analyseres blir implementert, anta en fremtidig verdi og vil kunne bli kjent.
- Observerbare størrelser predikeres. Usikkerhet relatert til de observerbare størrelsene uttrykkes ved hjelp av sannsynligheter. Usikkerheten er epistemisk, dvs. et resultat av mangel på kunnskap.
- Modeller i en risikoanalysesammenheng er deterministiske funksjoner som kobler observerbare størrelser på ulike detaljnivå. Modellene er forenklede representasjoner av verden.

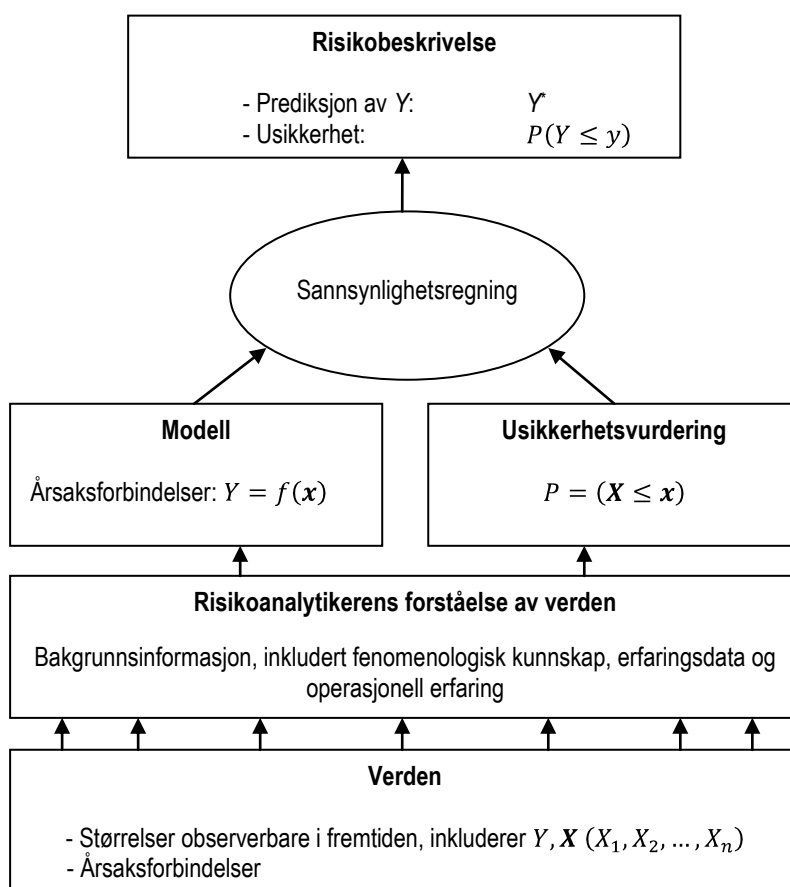
Tilnærming i en risikoanalyse

Følgende er ment for å presentere hvordan den sistnevnte tilnærmingen beskrives i en risikoanalyse [58,63,64].

En analytiker eller en analysegruppe gjennomfører en risikoanalyse. Fokuset er på fremtidige ytelser til systemet (verden) og visse størrelser som reflekterer ytelsen til system Y . Basert på analytikerens forståelse av verden, utvikles det en eller flere modeller som relateres til det generelle ytelsesmålet Y til X . Denne er gitt som en vektor av størrelser på et mer detaljert nivå.

Analytikeren vurderer så usikkerheten til X . Ved bruk av sannsynlighetsregning, vil usikkerhetsvurderingen til X , sammen med modellen f , gi resultatet av analysen. Dette vil være sannsynlighetsfordelingen til Y , som kan utledes til en prediksjon av Y .

Forskjellen i forhold til tilnærmingene nevnt over, er at usikkerhet nå er en hovedkomponent av risiko. Det gir ingen mening å diskutere modellusikkerhet i den prediktiv Bayesianske tilnærmingen. En videre beskrivelse er illustrert i figur 2-10.



Figur 2-10 - Struktur av risikovurdering ifølge en prediktiv Bayesiansk tilnærming

Fra et prediktiv Bayesiansk synspunkt, vil all usikkerhet betraktes som et resultat av mangel på kunnskap. Modellen i strukturen over er da bare en deterministisk representasjon av årsaksforbindelser som vurderes å være essensielle for analytikeren. Den danner grunnlaget for å kartlegge usikkerhet om de observerbare størrelsene av interesse, Y . Basisen er fra uttrykk for epistemisk usikkerhet relatert til de observerbare størrelsene X , og vil i seg selv ikke introdusere ytterligere usikkerhet.

2.2 Sikkerhets- og risikostyring

Sikkerhetsstyring

Veiledningen til NS 5814 [46], Rausand og Utne [8] beskriver sikkerhetsstyring som prosessen med å tilrettelegge planlagte og systematiske aktiviteter for å oppnå tilfredsstillende sikkerhet, unngå ulykkeshendelser og for å ivareta sikkerheten til enkeltmennesker og virksomheten. Den baserer seg på å sette spesifikke mål og akseptkriterier for risikoen. Ut fra overordnede målsetninger, utvikler en slike akseptkriterier. Disse kriteriene må defineres før en eventuell risikoanalyse starter. Resultatet fra analysen er nemlig med å vurdere om risikoen er over akseptkriteriene eller holdt på et akseptabelt nivå.

Risikostyring

Følgende baseres på Aven, et al., [1] og Aven [11], der risikostyring defineres som:

"Med risikostyring forstås alle tiltak og aktiviteter som gjøres for å styre risiko. Risikostyring handler om å balansere konflikten mellom å utforske muligheter på den ene siden, og å unngå tap, ulykker og katastrofer på den andre siden."

"Risikostyring inkluderer alle aktiviteter og tiltak som er designet og tatt i bruk for å lede og kontrollere en organisasjon med hensyn på styring av risiko."

Risikostyring handler hovedsakelig om vurdering og håndtering av risiko. Med det mener vi å etablere en strategi opp mot virksomhetens mål og visjoner, som strukturerer måten beslutninger gjøres i situasjoner med høy risiko og store usikkerheter. Utgangspunktet for strategien er et beslutningsproblem, der ulike alternativ må vurderes. Disse alternativene bringer igjen med seg kostnader, fordeler og risiko [23].

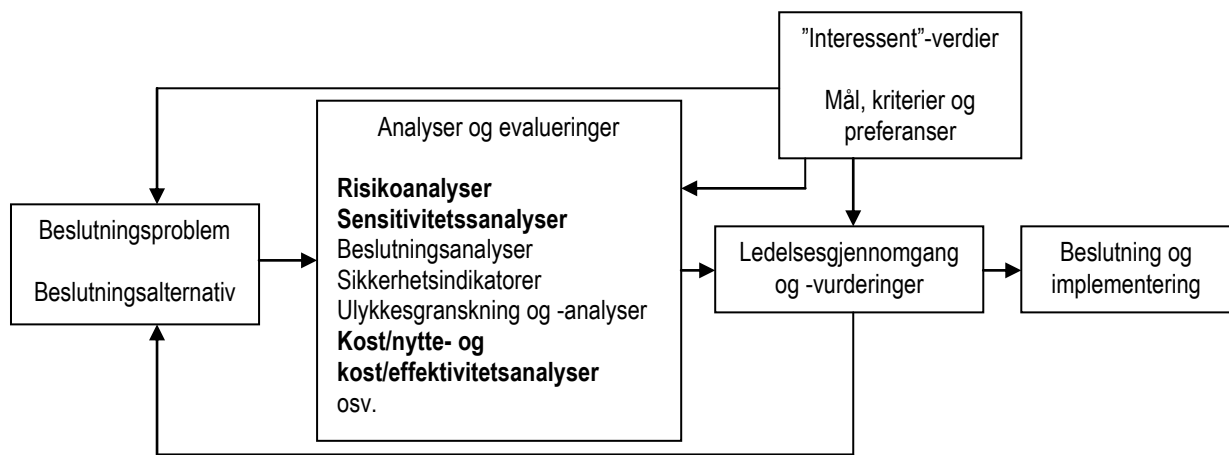
Risikoanalyser er støtteverktøy for beslutninger som inngår som en del av grunnlaget for å styre risiko [36]. Gjennom disse analysene, vil en samle så mye informasjon om virksomheten eller systemet som mulig, også informasjon som relateres direkte til mangel på kunnskap. Det må skilles mellom hva som er fakta, hva som er vurdering i forhold til risiko, og hva som er verdivurderinger og politikk [62]. Gjennomførelsen danner grunnlaget for å forstå hvordan en farlig situasjon kan oppstå og utvikle seg, slik at relevante tiltak kan realiseres, enten de er sannsynlighetsreducerende eller konsekvensreducerende tiltak. Dette gjøres ved beregninger av risiko, med basis i fakta. Resultatet fremstilles vanligvis som en kvantifisert risiko. Dette resultatet derimot er ikke fakta. Risikostyringen brukes da for å finne den rette balansen mellom ulike hensyn, som for eksempel usikkerheten i konsekvensene og hvordan *forsiktighets- og føre-var-prinsippet* kan brukes [2,62]. Et annet aspekt sentralt i risikostyringen, er problematikken rundt valg av tilgjengelige alternativ, som alle skal oppfylle virksomhetens mål og krav.

Beslutningsstrategiene tar hensyn til effekt på risiko slik den presenteres fra risikoanalysene, samtidig som uidentifisert usikkerhet belyses. Dette gir innsikt i risikoforhold, effekt av tiltak og grad av styrbarhet i risikoen [2]. Dette resulterer i beslutninger som baseres på beregnet risiko, diverse analyser og evalueringer (se figur 2-11) og bruk av forsiktighets- og føre-var-prinsippet. Etter ledelsesvurdering av fordeler og ulemper, velges de alternativ som best balanserer forholdene rundt det å utvikle og skape verdier, og det å unngå skader og tap. Dette byr selvsagt på vanskelige valg, så man må erkjenne at det beste en kan gjøre er å få

konfidens i å oppnå ønskelige resultat [57]. Valgt alternativ danner så grunnlaget for den videre beslutning som bestemmes.

Prinsippene nevnt over definerer beslutninger under usikkerhet, der det rådende skal være forsiktighet. Aven, et al., [1] beskriver føre-var som et prinsipp som innebærer at en ikke skal gjennomføre en aktivitet dersom det er betydelig vitenskapelig usikkerhet knyttet til konsekvensene av aktivitetene. Robust design, ”forsvar-i-dybden”, redundans og ALARP er element som begrenser den vitenskapelige usikkerheten [2,51]. Forsiktighet er underliggende i risikostyringen for all industri, så begrepene utvides ikke videre i oppgaven.

Figur 2-11 er hentet fra Aven [2] og viser en enkel modell for beslutningstaking under usikkerhet. De uthevede elementene beskrives nærmere i de følgende kapitler og vedlegg.



Figur 2-11 - Modell for beslutningstaking under usikkerhet

Beslutningsprosessen over er ment for å opprettholde ambisjoner i forhold til [2,47]:

- Gjennomskiktighet, der beslutning og kontekst identifiseres og forstås
- Diskusjon og kommunikasjon, der en involverer relevante interessenter
- Forbedre mål og løsninger, der kontinuerlig forbedring er rådende
- Erfaringsdata og vurderinger, der kunnskapsinnhenting betrakter vurderinger og analyser fra eksperter, samt synspunkter og vurderinger fra lekfolk

Beslutningsgrunnlag

Innen økonomisammenheng er det i prinsippet alternativene som maksimerer forventet nåverdi $E[NPV]$, som avgjør valg av løsning og tiltak, se vedlegg III. Dessverre er det slik at mange interessenter og analytikere vil kalkulere forskjellige verdier, som gjør den videre ledelsesgjennomgangen til en diskusjon om hva som er riktig angående kalkuleringsresultatet, i stedet for å vurdere hva det beste alternativet faktisk er. Forventet nytteteori er en annen metode som utgjør et teoretisk rammeverk [2] innen økonomifaget. Det innebærer at alternativet med høyest forventet nytte er det beste. Teorien kan formuleres som maksimering av forventet nytte gitt som $Eu(X)$, der X er et mulig utfall uttrykt som en vektor med forskjellige egenskaper (tap av liv, kostnad m.m.) og u er nyttefunksjonen. Denne spesifiseringen blir vanskeligere dess flere egenskaper som introduseres. Metoden brukes

ikke videre i oppgaven. Det er heller valgt å fokusere på bruk av kost/nytte- og kost/effektivitetsanalyser.

Hvilke kriterier skal så legges til grunn for beslutningen?

Analyser og evalueringer listet opp fra figur 2-11 kan være virkemidler som gir et beslutningsunderlag. I oppgaven vil følgende være aktuelt:

- Risikoanalyser
- Kost/nytteanalyse
- Kost/effektivitetsanalyse
- Akseptkriterier
- ALARP

Ved bruk av for eksempel kost/nytte- og kost/effektivitetsanalyser, kan beregnede størrelser gi et underlag for beslutningstaker. Analysene bistår beslutningsprosessen ved å sette en kroneverdi (myntverdi) på kostnader og fordeler, som muliggjør en sammenligning av tilsvarende størrelser. Slik kan analysen være til hjelp med velorienterte valg for ulike risikoreduksjonstiltak. Det presiseres at kost/nytteanalyser ikke kan utgjøre det eneste argumentet for en ALARP-beslutning, og kan heller ikke brukes for å undergrave eksisterende standarder og god praksis [29]. En annen form for å evaluere resultatene fra risikoanalysen, er ved bruk av risikoakseptkriterier, se kapittel 5.1.1.

Diskusjon

Som nevnt tidligere, skal risikoanalyser støtte beslutninger. Det er derfor av betydning å være klar over noen av begrensningene i analysen. Klassisk QRA kan inneholde faktorer som relateres til [11,15]:

- inadekvat informasjon om feil og hendelsesforekomster
- vanskelighetene med valg av egnethet til antagelser og forutsetninger
- vanskelighetene involvert i å forsøke å modellere komplekse og potensielle uforutsigbare fenomen, typisk for eskalering [3]

Denne tilnærmingen presenterer risikoanalysen som et sofistikert analytisk verktøy, typisk basert på et signifikant vitenskapelig grunnlag [67]. Men selv om noe av informasjonen i analysen har et vitenskapelig grunnlag, kan analysen i helhet undergraves av andre inndata som ikke har tilsvarende utgangspunkt. Derfor er det viktig at det utøves forsiktighet når resultatene fra analysen skal påvirke beslutninger av risikoreduserende tiltak.

Aven, et al., [1] og Aven [2] presiserer at selv om beslutningstaker har full tillit til de som gjør arbeidet, vil ikke beslutningen komme av seg selv. Grunnlaget baserer seg på den tilhørende usikkerhet enhver beslutning fører med seg. Vurderinger med hensyn på dette kan ikke delegeres tilbake til analytiker eller analysegruppe. Dette er opp til beslutningstaker, som må ta beslutninger som balanserer alle aspekt.

2.3 Risikoanalyseprosessen

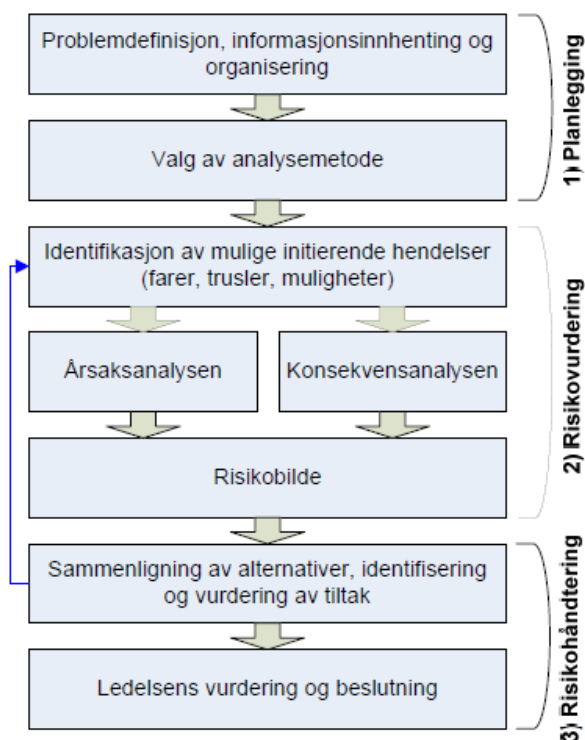
Risikoanalyseprosessen som fremstilles her, er basert på inndelingen fra Aven, et al., [1]. Den er en sentral del av risikostyringen og har en grunnstruktur som er uavhengig av bruksområdet.

NS 5814 [4,46] og NORSOK Standard Z-013⁵ [5,6] tar spesifikt for seg elementene i risikovurderingen; risikoidentifikasjon, risikoanalyse og risikoevaluering, se vedlegg I for en bedre skjematisk skisse av risikovurderingsprosessen.

Metode

Metodene for å beskrive en risikoanalyseprosess er mange, men de inneholder stort sett den samme inndelingen. Det er også flere måter å presentere prosessen, men strukturen vil typisk inneholde følgende element, jf. figur 2-12:

- Planlegging
- Risikovurdering
- Risikohåndtering



Figur 2-12 - Forenklet modell av risikoanalyseprosessens ulike trinn

⁵ NORSOK Z-013 rev. 3 er fremdeles på høring (februar 2010)

2.3.1 Planlegging

Planleggingsfasen for analysen inneholder i følge Aven [1] og NS 5814:

- igangsetting, problemdefinisjon, informasjonsinnhenting og målformulering
- organisering av arbeidet
- valg av analysemetode og datagrunnlag
- etablering av systembeskrivelse

Uten et klart formål og en tydelig formulert problemstilling, blir analysen ofte lite fokusert og gir ikke de svarene en trenger for å fatte gode beslutninger. En hensiktsmessig nedbryting av analyseobjektet er nødvendig for å forhindre at området som analyseres ikke blir for omfattende. Enhver analyse må derfor etablere klare avgrensninger for 1) hva den skal inneholde, 2) hva som skal analyseres og 3) hva som skal beskrives. Dette gjøres for at det ikke skal være tvil om hva resultatene gjelder og for å bestemme hvordan den skal brukes i beslutningsprosessen. Den gjennomføres for å balansere ulike hensyn, rettet mot for eksempel personell, miljø, og materielle verdier.

Klare og formålstjenlige målsettinger er en av forutsetningene for å få en god risikoanalyse [1]. Siden risikoanalyser alltid baserer seg i en viss grad på erfaringer og lignende forutsetninger, vil de dermed aldri kunne fremstille ”sannheten”. Risikoanalyser er derfor en faglig vurdering som krever dokumentering av alle forutsetninger og antagelser. Slike antagelser kan være av tekniske og/eller operasjonelle forhold, der resultatet fra risikoanalysen kun er gyldig når disse forutsetningene er oppfylt. En endring av en eller flere forutsetninger i ettertid, kan medføre en stor innvirkning på analyseresultatet.

Således er det viktig at det tilrettelegges like mye tid og ressurser i planleggingsfasen, som er typisk for risikovurdering og -håndtering.

Aven [1] lister opp følgende eksempler for hvordan analysen kan brukes i beslutningsprosessen, jf. kapittel 2.2:

Tabell 3 - Eksempel på tiltak som brukes i beslutningsprosessen

Se på endring i risiko	- som en vurdering av effekten risikoreduksjon har ved ulike løsninger eller tiltak
Kostnadseffektivitet	- kalkyle av forventet kostnad per forventet antall sparte liv fra et tiltak, ofte gitt som en kroneverdi
Kost/nytteanalyse	- beregner samlet gevinst og brukes for å systematisere fordeler og ulemper ved ulike løsninger og tiltak
Risikoakseptkriterier	- predefinerte grenser som bedømmer om risikoen er akseptabel eller ikke
ALARP-vurdering	- risikoen skal reduseres så langt som praktisk mulig

Fra NS 5814 skal valg av analysemetode baseres på hva som gir solid og robust beslutningsstøtte i forhold til rammebetingelsene, se Tabell 5 over ulike risikoanalyser. Faktorer som påvirker hvilken analyse som velges kan relateres til:

- problemstilling
- ressurser
- risikoakseptkriterier
- planlagt metodikk for risikohåndtering
- tilgang på data

2.3.2 Risikovurdering

Standarder og retningslinjer som er utarbeidet for utførelse av risikovurderinger og -analyser, benytter ofte begrep som sannsynlighet og usikkerhet på ulike måter [8]. Dette skaper problem for utførelsen av risikoanalyser og hvorledes disse resultatene tolkes

Risikovurdering er en todelt prosess, med elementene risikoanalyse og risikoevaluering. Formålet med en risikovurdering er systematisk å beskrive risiko ved å identifisere og vurdere mulige ulykkeshendelser som kan lede til skade på mennesker, miljø og materielle verdier [50], der resultatet så blir evaluert. Dette gjøres ved å systematisere og kartlegge erfaring, kunnskap og usikkerhet vi har til et system på en strukturert måte. For å forstå hva dette betyr, må vi vite hva begrepet risiko innebærer, jf. kapittel 2.1.

2.3.2.1 Risikoanalyse

Følgende avsnittet tar for seg forklaringen av hvordan risiko beskrives i en risikoanalyse ved å svare på fire grunnleggende spørsmål, basert på Kaplan [23]:

- | | | |
|-------------|---|---|
| Risikobilde | { | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hva kan gi uønskede hendelser? ▪ Hvordan og hvorfor oppstår uønskede hendelser? ▪ Hvilke konsekvenser kan uønskede hendelser medføre? |
| | ○ | Hva er sannsynlighetene til og for utfallet? |

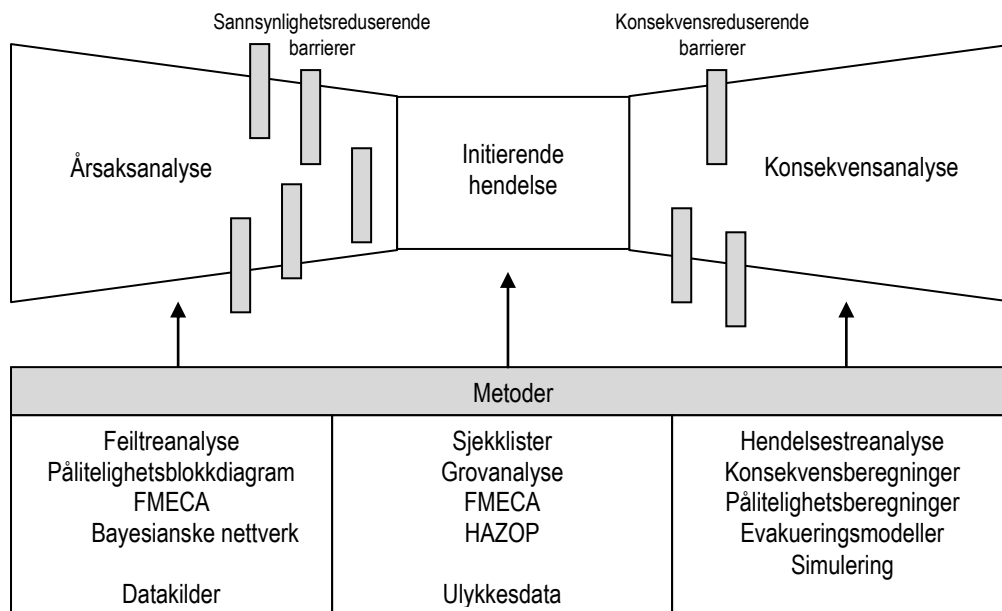
Standarder

Det er utviklet en rekke veiledninger og bransjespesifikke standarder for utførelse av risikoanalyser [50]. Tabell 4 lister opp tre anerkjente definisjoner på risikoanalyse fra standardene som er aktuelle for denne oppgaven:

Tabell 4 - Ulike definisjoner på risikoanalyse

ISO 17776:2000 [49]	Bruk av tilgjengelig informasjon for å identifisere farer og for å estimere risiko
NORSOK Standard Z-013 [6]	Strukturert anvendelse av tilgjengelig informasjon for å identifisere farer og for å beskrive risiko
NS 5814:2008 [4]	Systematisk fremgangsmåte for å beskrive og/eller beregne risiko. Risikoanalysen utføres ved kartlegging av uønskede hendelser og årsaker til og konsekvenser av disse

Beskrivelsene er relativt like i det at risikoanalysen skal bruke tilgjengelig informasjon for å identifisere og presentere risiko for mennesker, miljø og materielle verdier. Det grunnleggende i en risikoanalyse, er å benytte ulike metoder og teknikker for å identifisere en eller flere ulykkeshendelser, for så å finne et årsaks- og konsekvensspekter. De fire foregående spørsmålene danner essensen for å beregne og beskrive en (total) risiko som et risikobilde. Gjennomføringen av en risikoanalyse kan typisk illustreres ved et bowtie-diagram, se figur 2-13 [50].



Figur 2-13 - Eksempel på bowtie-diagram med tilhørende metoder

Figuren illustrerer hvordan en eller flere utløsende årsaker kan lede til en initierende hendelse og hvilke konsekvenser denne hendelsen kan medføre. Aven, et al., [1] nevner følgende forhold for hvorfor gjennomføre en risikoanalyse:

- Etablere et risikobilde
- Sammenligne ulike alternativer og løsninger med hensyn til risiko
- Identifisere forhold som har stor betydning i forhold til risiko
- Få frem hvilken effekt ulike tiltak har på risikoen

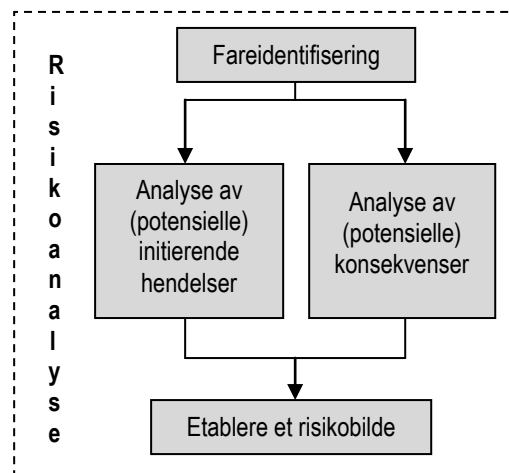
Det er ofte viktig å vurdere om det skal gjøres en grov risikovurdering før en utarbeider en detaljert risikoanalyse. Den gir en pekepinn til områder som bør prioriteres videre i en eventuell modellbasert risikoanalyse, ved å fremvise et relativt enkelt risikobilde.

Det er kravpålagt fra myndighetene at virksomheter innen olje- og gassnæringen skal gjennomføre risikoanalyser. Analysemetodikken brukes også for en hel rekke ulike bransjer, der muligheten for ulykker med store konsekvenser er gjeldende. Likevel er det behovet for å kunne ta bevisste beslutninger med hensyn på HMS, som bør være drivkraften for å gjennomføre analysen. Ved å bare tilfredsstille myndighetskrav og regelverk, utnyttes ikke det fulle potensialet til risikoanalysen.

Kvantitative risikoanalyser for offshorevirksomheter brukes både for nye og eksisterende system. Nye anlegg er til eksempel avhengig av QRA for å adressere nivå på beskyttende, forebyggende og skadebegrensede faktorer som kreves for de sannsynlige scenarioene til systemet [68]. For eksisterende plattformer, er fokuset å evaluere hvilke forbedringer som kreves. Således er det viktig at presisjonen og robustheten til QRA holdes på et høyt nivå.

Fareidentifisering

Første steg i en risikovurdering/analyse er en kreativ prosess, hvor målet er å identifisere hva som kan gå galt [23] og så kartlegge mulige initierende hendelser, jf. figur 2-14.



Figur 2-14 - Modell for risikoanalyse

I situasjoner der vi snakker om farer eller trusler med et visst risikopotensial, vil kartleggingen betegnes som en fare- eller trusselidentifikasjon. Hensikten er å identifisere alle mulige farer som kan oppstå under normal operasjon og/eller ved spesielle aktiviteter som utføres [68]. Det er også av interesse å se på faktorene som bidrar mest til risiko og videre beskrive effekt på risiko som følge av mulige tiltak. Aven, et al., [1] viser viktigheten med identifiseringen ved å si at *det du ikke har identifisert, kan du ikke håndtere*. Det betyr at hvis man i risikoanalysen ikke har identifisert alle usikkerhetsfaktorene, så kan en heller ikke sikre seg mot noe en ikke vet noe om. Slik er situasjonen i realitetenes verden [66].

Dessverre viser det seg at denne identifiseringen ofte er mekanisk og rutinepreget, selv om den kan sees på som en av de viktigste delene i risikoanalysen. Dette understreker hvor kritisk det er at gjennomføringen blir gjort strukturert og utført på en systematisk måte. Metoder innen fareidentifikasjon kan være:

- SWIFT
- HAZOP
- FMECA
- PHA
- MORT

Typisk for disse teknikkene er bruk av en strukturert idédugnad, der sjekklister, ledeord, erfaring fra tidligere studier etc. diskuteres mellom en analysegruppe med nødvendig kompetanse. Hensikten er å etablere et fareregister så komplett som mulig [1,68].

Årsaksanalyse

Analyse av potensielle initierende hendelser, kalles gjerne en årsaksanalyse. Her studerer man hva som kreves for at de uønskede hendelsene skal inntreffe [1]. Analysen kan altså kartlegge, enten fra historiske data eller ekspertvurderinger, hva som må til for at til eksempel tekniske problem oppstår. For de uønskede hendelsene estimeres det hvor sannsynlig denne hendelsen er. Noen av metodene for dette formålet er vist i figur 2-13.

De fleste tradisjonelle risikoanalyser har en begrenset årsaksside. Resultatene fra analysen omhandler identifisering av direkte årsaker til uønskede hendelser [50], men betrakter ikke bakenforliggende årsaker som menneskelige og organisatoriske forhold. Disse bør i all vesentlighet vurderes i en ”bedre” egnet risikoanalyse og beslutningsprosess. BORA er en slik metode, som inkorporerer både menneskelige og organisatoriske forhold. Den brukes primært som kvantitativ vurdering av risiko for olje- og gassindustrien. Analysen dekker tekniske og operasjonelle forhold, og modellerer endring i risiko ved hjelp av metoder som hendelsestre, feiltre, barriere-blokk-diagram og RIM.

Prediksjon av antall forekomster

Hvis det foreligger tilstrekkelig med historiske data (for feil), kan disse brukes for å predikere antall forekomster av en hendelse. Bruk av analysemetoder som feiltreanalyse og Bayesianske nettverk kan også fremstille slike prediksjoner [1]. I feiltreanalysen er det også vanlig å betegne tilstandene binært, dvs. at en tilstand enten er aktiv (1) eller ikke (0), se vedlegg V.

Rausand og Øien [50] viser at feiltreanalyser kun benyttes i en begrenset grad og hovedsakelig for enkelte av grenene i hendelsestreet. Likevel er metoden nyttig der en kan angi sannsynligheter for at de ulike hendelsene i treet skal inntreffe, og basert på modellen og sannsynlighetene kan sannsynligheten for den initierende hendelsen beregnes [1]. I de fleste offshore risikovurderinger, vil som sagt QRA formuleres på en slik måte at sannsynlighetene tolkes klassisk, dvs. som relative frekvenser og ikke som en grad av tro.

Konsekvensanalyse

Konsekvensene av en fremtidig uønsket hendelse kan typisk deles inn etter [50]:

- Skade på personer
- Skade på det ytre miljøet
- Skade på materielle verdier og økonomisk tap

De kan også ha innvirkning på drift og på virksomhetens renommé. Hensikten med en konsekvensanalyse er å gjøre en vurdering av hvilke potensielle tap og/eller skader man kan forvente å få dersom den uønskede hendelsen inntreffer. Konsekvensanalysen handler i stor grad om å forstå fysiske fenomener (jf. figur 2-6) og ulike typer modeller av fenomenene brukes [1]. NS 5814 viser at konsekvensanalysen skal angi både umiddelbare konsekvenser

og konsekvenser som viser seg etter en tid. Aven, et al., [1] nevner hendelsestreakanalyse som den vanligste metoden for å analysere konsekvens. Konsekvensanalysen er også en sårbarhetsanalyse i forhold til disse initierende hendelsene. Sårbarhetsutvalget [7] og NS 5814 definerer sårbarhet på følgende:

"Sårbarhet er et uttrykk for de problemer et system vil få med å fungere når det utsettes for en uønsket hendelse, samt de problemer systemet får med å gjenoppta sin virksomhet etter at hendelsen har inntruffet. Sårbarhet er knyttet opp til mulig tap av verdi. System kan i denne sammenhengen for eksempel være en stat, den nasjonale kraftforsyningen, en bedrift eller et enkeltstående datasystem. I stor grad er sårbarhet selvforskyldt. Det går an å påvirke sårbarheten, begrense og redusere den."

"Manglende evne hos et analyseobjekt til å motstå virkninger av en uønsket hendelse og til å gjenopprette sin opprinnelige tilstand eller funksjon etter hendelsen."

Aven, et al., [1] definerer sårbarheten til et system som:

"kombinasjonen av mulige konsekvenser og usikkerhet, gitt at systemet utsettes for en initierende hendelse."

Begrepet sårbarhet brukes når det er snakk om konsekvens, gitt at en hendelse har inntruffet. Når vi ser fremover i tid, er konsekvensene ukjente, og sårbarhet blir da å forstå som kombinasjonen av mulige konsekvenser og tilhørende usikkerhet, dvs. $(C, U | A)$ [1]. Det motsatte av sårbarhet er robusthet. Begrepene er således komplementære størrelser. Jo større evne et system har til å tåle påvirkninger som kan føre til skade, dess mer robust og mindre sårbart er systemet [8]. Robusthet refererer til følsomheten for endringer i forhold til normal tilstand. Tiltak for å bedre robusthet inkluderer i) bruk av konservatisme eller sikkerhetsfaktorer for å begrense variasjon, ii) introdusere redundant sikkerhetsutstyr, iii) redusere mottagelighet, iv) samt forbedre den organisatoriske muligheten for å innlede, fremtvinge, overvåke og revidere ledelsestiltak. Robusthet og motstandsdyktighet er knyttet til hverandre, men de er ikke identiske og krever delvis forskjellige typer handlinger og instrument [10,12]. I situasjoner der et system er sårbart, så menes det at sårbarheten er vurdert å være stor. Poenget er at vi vurderer kombinasjonen mulige konsekvenser og usikkerhet til å være høy, gitt at systemet utsettes for en initierende hendelse [1].

Risikoanalyser utarbeides altså for å gi et beslutningsunderlag angående valg av løsninger og tiltak. Risikoanalyser gir ikke direkte svar på hva som er den korrekte løsning eller det rette tiltaket, men gir en risikobeskrivelse som vil sørge for et grunnlag for videre valg og beslutninger. Det finnes en rekke forskjellige risikoanalysemetoder, flere med ulik detaljeringsgrad og presisjon. Hvilken teknikk som brukes, er mer eller mindre avhengig av formålet med analysen. Aven [1] og Wiencke, et al., [55] kategoriserer risikoanalysemetodene som følger:

Tabell 5 - Kategorier av risikoanalyse

Forenklet (kvalitativ) risikoanalyse	En forenklet risikoanalyse er en mindre formell analyse, typisk utarbeidet gjennom idédugnad og gruppediskusjoner for å etablere et risikobilde
Standard (kvalitativ eller kvantitativ) risikoanalyse	Standard risikoanalyse er en mer formalisert fremgangsmåte, der anerkjente teknikker for fareidentifisering og grovanalyse brukes. Risikomatriser er typisk brukt innen denne kategorien
Modellbasert (primært kvantitativ) risikoanalyse	Modellbasert risikoanalyse bruker gjerne teknikkene nevnt over, men består hovedsakelig av metoder som hendelsestre- og feiltreakanalyse for å beregne risiko

En tradisjonell kvantitativ risikoanalyse er en modellbasert risikoanalyse. Disse QRA er mye brukt innen olje- og gassindustrien, samt for kjernekraftindustrien [3,22]. I en QRA blir risiko typisk beskrevet ved hjelp av sannsynligheter og forventingsverdier. Sannsynligheter tolkes generelt som relative frekvenser, jf. kapittel 2.1.1.1, der risiko sees på som en objektiv egenskap. Risikoanalysen brukes for å estimere denne objektive risikoen. I den klassiske tilnærmingen er det da usikkerhet i modellene, estimatene m.m., se kapittel 4.2.

Å verne mennesker, miljø og materielle verdier mot skade og tap har alltid vært viktig for samfunnet. Risikoanalyser utføres for å støtte beslutningsprosessen i å oppnå dette målet, som en kontinuerlig prosess gjennom hele systemets levetid, der tiltak for risikoreduksjon vurderes fortløpende [4,5]. Risikoanalyser kan utføres ved forskjellige faser i livssyklusen til et system, fra tidlig konseptfase, gjennom de mer detaljerte planleggingsfaser og konstruksjonsfase, opp til operasjon og avslutningsfasen. Rausand og Øien [50] viser at tradisjonelle risikoanalyser som gjennomføres i andre bransjer enn kjernekraft, typisk sees på som ”statiske”. Dette betyr at analysene er mer egnet ved en konseptfase og at de egentlig ikke er passende som underlag for å treffe beslutninger knyttet til drift og vedlikehold [50]. For effektivt å nå målet, må den utføres i konsept- eller planleggingsfasen. Her eksisterer det få data, således er det vanlig å ta i bruk generiske erfaringsdata [8,36]. Generelt for risikoanalyser der det er få eller ingen relevante (historiske) data, er bruk av ekspertvurderinger.

Risikoen kan kvantifiseres ved ulike risikomål eller risikotall. Kvantifisering av konsekvenser kan imidlertid begrenses til effekt på personell, men vil vanligvis inkludere både miljø og materielle verdier. Rausand og Øien [50] nevner følgende problemområder som kjernekraftindustriens PSA har arbeidet med:

- Feildata for komponenter
- Frekvensdata for initierende hendelser
- Fellesfeil
- Usikkerhet
- Menneskelig interaksjon/menneskelig pålitelighet
- Konsistens og sammenlignbarhet av risikoanalysene

Disse områdene burde også blitt vurdert mer omfattende i en QRA.

En klassisk tolkning til sannsynlighet bør påvise at resultatene er statistisk signifikante [67]. Dette er fordi resultatene kan brukes på en beviselig, meningsfull måte. Siden det foreligger usikkerhetsfaktorer i det klassiske perspektivet, settes det spørsmålsteget til den statistiske betydning av resultatet. Det betyr at det er essensielt at alle relevante element som risikoanalysen inneholder, undersøkes åpent og kritisk for å avgjøre omfanget som hver av dem kan påvirke beslutningene om sikkerhetstiltak [67].

En prediktiv Baysiansk tolkning viser at risikoanalyser skal produsere et bredt risikobilde, samt fremheve usikkerhet utover forventingsverdier og sannsynligheter. Målet med risikoanalysen er å predikere ukjente fysiske størrelser, som eksplosjonstrykk, antall omkomne, kostnad etc., og vurdere tilhørende usikkerhet. En sannsynlighet er således ikke et perfekt verktøy for å uttrykke usikkerhetene [1]. Vi må erkjenne at sannsynlighetene er subjektive sannsynligheter, betinget med en viss spesifikk bakgrunnskunnskap K , og kan således produsere dårlige prediksjoner. Hovedkomponenten i risikoen er usikkerhet, ikke sannsynlighet. Dette blir videre diskutert i kapittel 4 om vurdering av usikkerhet.

Overraskelser relatert til sannsynlighetene kan oppstå og ved kun å adressere sannsynligheter kan slike overraskelser bli oversett [11].

2.3.3 Risikoevaluering

NORSOK Standard Z-013 definerer risikoevaluering som:

"Vurdering på basis av risikoanalysen og risikoakseptkriterier, hvorvidt en risiko er akseptabel."

I følge NS 5814 består risikoevalueringen av:

- Sammenligning av identifisert risiko med kriterier for akseptabel risiko
- Identifikasjon av tiltak og deres risikoreducerende effekt
- Dokumentasjon av arbeidet samt definering av anbefalinger

Risikoevalueringen diskuterer i bunn og grunn om risikoen er høy eller for høy, og inngår derfor hovedsakelige i risikohåndteringen.

2.3.4 Risikohåndtering

Risikohåndtering defineres av Aven, et al., [1] som:

"Proessen og implementeringen av virkemidler for å modifisere risiko, herunder virkemidler for å unngå, redusere, optimalisere og overføre risiko."

Følgende er basert på Aven, et al., [1] og viser at håndteringen deles inn i to aktiviteter: sammenligning av alternativer, identifisering og vurdering av tiltak, og ledelsens vurdering og beslutning.

En risikovurdering og -evaluering skal gi innspill til risikohåndtering. Det gjøres ved å se på endring i risiko, vurdere om risikoen er akseptabel og sammenligne ulike løsninger og tiltak. Risikovurderingen er en iterativ prosess, der effekten av foreslåtte risikoreducerende tiltak også vurderes. Det er også viktig å være oppmerksom på at det finnes elementer i risikovurderingsprosessen som det ikke eksisterer fullstendig konsensus om i fagmiljøet. Som presisert i kapittel 5.3.2 i NS5814, kan en risikovurdering være god selv om den på enkelte punkter avviker noe fra Norsk Standard, hvis man argumenterer godt for de metodiske avvikene som er gjort. Fra kapittel 2.3.1 vil andre eksempler være vurdering av kostnadseffektivitet, bruk av kost/nytteanalyser, risikoakseptkriterier og ALARP-prosesser. Risikobildet er basisen for å sammenligne alternativ, der risikoanalysen ofte kan gi et godt underlag for å anbefale et alternativ. Risikoanalysen kan brukes på flere måter for å gi beslutningsstøtte. Den gir ikke direkte svar på riktig løsning, men gir en systematisk risikobeskrivelse som videre kan støtte beslutningstaker. Ledelsen bør også involveres i risikostyringsprosessen, spesielt ved en ALARP-prosess.

For at håndteringen skal dekke alle forhold og bli best mulig, er det en forutsetning at man kan si noe om 1) hvor usikkerheten kommer fra, 2) hvordan den kan tenkes å arte seg og 3) hva vi kan se for oss av utfall [66].

3 PRESENTASJON AV RISIKOBILDET

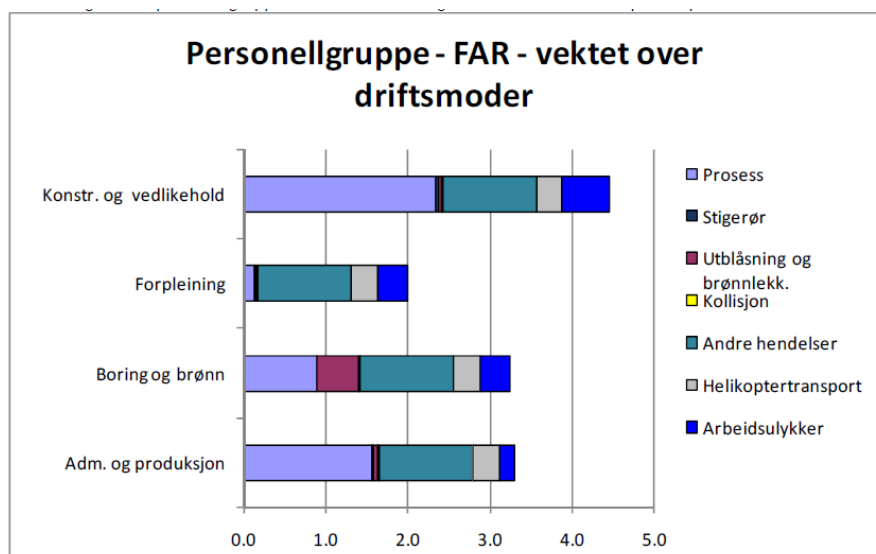
Utgangspunktet for å presentere et risikobilde, baseres i hovedsak rundt den generelle beskrivelse av risiko nevnt i kapittel 2.1, med elementene (A, C, U, P, K). Dette er de fem hovedkomponentene for å uttrykke risiko. En mer sammenfattet beskrivelse gjøres på grunnlag av et prediktivt Bayesiansk syn på risikoanalyse og vil inneholde komponentene (A, C, C^*, U, P, K, S). Med andre ord vil beskrivelsen typisk være avhengig av en analytiker eller analysegruppe som identifiserer mulige farer, med prediksjoner, som uttrykker usikkerhet og angir sannsynligheter gitt bakgrunnskunnskapen. Rausand og Utne [8] viser til konsekvensspekteret eller risikobildet for analyseobjektet som en opplisting av alle mulige konsekvenser knyttet til et analyseobjekt sammen med sannsynligheten for at de skal inntreffe. Fra Aven, et al., [1] dekker risikobildet da:

- Prediksjoner av de størrelser vi er interessert i
 - Sannsynlighetsfordelinger
 - Usikkerhetsfaktorer
 - Styrbarhetsfaktorer
- } → Beslutningsprosessen

Usikkerhets- og styrbarhetsfaktorer kan delvis knyttes direkte inn i (S) fra komponentene over. Faktorene diskuteres i hovedsak ved beslutningsprosessen, og består typisk av sensitivitets- og robusthetsanalyser.

3.1 Resultat fra QRA

Resultatene fra en kvantitativ risikoanalyse presenteres typisk som direkte forventningsverdier, såkalte risikomål [3]. Disse kan variere mellom bl.a. FAR, PLL, IR m.m. Figur 3-1 viser et eksempel med bruk av FAR-verdi for driftsmoder og de tilhørende $FAR_{personellgruppe}$.



Figur 3-1 - FAR vektet over driftsmoder

Denne formen å presentere resultat som en direkte forventningsverdi, er i overensstemmelse med klassisk tilnærming til risiko. Vi beregner sannsynlighetene objektivt, og presenterer resultatet som en forventningsverdi Ved å innføre en prediktiv Bayesiansk tilnærming, vil det ikke være like intuitivt for hvordan presentere resultatene. Her illustreres det et forslag for hvordan presentere et risikobilde ved denne alternative tilnærmingen.

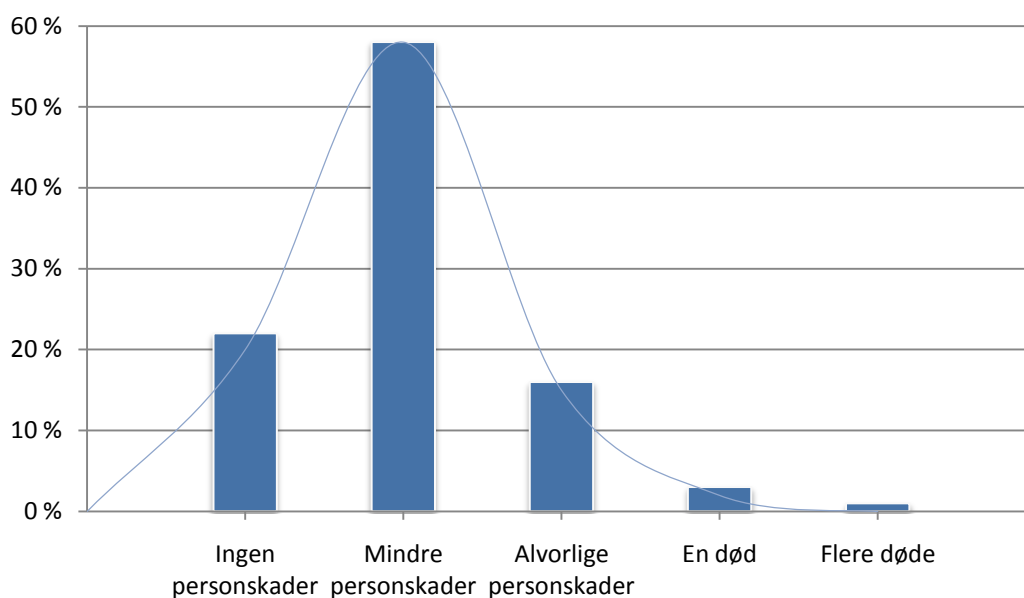
Eksempel

For å fremstille et risikobilde, brukes det en konsekvensanalyse for en uønsket hendelse. Her vil det være å se på forekomster av gasslekkasjer. Eksempelet blir videre brukt i kapittel 4.3.1.

Basert på erfaring, forventes det én gasslekkasje i løpet av et år. Dette blir da en prediksjon av hvor ofte man forventer en gasslekkasje i en gitt tidsperiode, der det foreligger en usikkerhet for hvilke konsekvenser en gasslekkasje medfører. Usikkerheten til konsekvensene tallfestes med sannsynligheter, jf. Tabell 6. Videre illustreres konsekvensene for personskader i figur 3-2.

Tabell 6 - Eksempel på et enkelt risikobilde

<i>i</i>	Konsekvens (C_i)	Sannsynlighet (p_i)
1.	Antent gasslekkasje med tilhørende eksplosjon, 10 dødsfall	10^{-6}
2.	Antent gasslekkasje med tilhørende eksplosjon, ett dødsfall	10^{-4}
3.	Antent gasslekkasje, 2 personer med langvarige skader	0,004
...
n.	Mindre materielle skader	0,6



Figur 3-2 - Eksempel på en sannsynlighetsfordeling gitt en uønsket hendelse

Sannsynlighetene viser prosentvis hvor trolig en viss konsekvens er. Denne uønskede hendelsen kan så presenteres i en risikomatrix som forventet konsekvens gitt hendelse $E[C|A]$, se Tabell 7. Risikomatrix er et verktøy for å fremstille risiko på en mer nyansert måte. Her endres alle forventningsverdiene til konsekvenskategorier, foruten en enkel samlet forventet konsekvens gitt uønsket hendelse. Som vi ser av konsekvensene, er det å sammenligne ”Ingen personskader” med antall døde å blande sammen konsekvenser i ulike dimensjoner. Det betyr at $E[C|A]$ styres av hvordan de ulike konsekvensdimensjonene vektet opp mot hverandre. Denne vurderes her fra konsekvensen ’Mindre personskader’, siden denne konsekvensen angir et tyngdepunkt, med omtrent 22% og 16% av sannsynlighetsmassen på hver side [1].

Følgende er basert på Aven, et al., [1] og [6]:

Tabell 7 - Eksempel på risikomatrixe

	Kategori	Ingen personskader	Mindre personskader	Alvorlige personskader	En død	Flere døde
		1	2	3	4	5
Prediksjon mer enn 10 hendelser i løpet av ett år	5	5	10	15	20	25
Prediksjon 1-10 hendelser i løpet av ett år	4	4	8	12	16	20
10-50 % sannsynlighet for en hendelse i løpet av ett år	3	3	6	9	12	15
1-10 % sannsynlighet for en hendelse i løpet av ett år	2	2	4	6	8	10
< 1 % sannsynlighet for en hendelse i løpet av ett år	1	1	2	3	4	5

▲ - forventet konsekvens fra figur 3-1, gitt uønsket hendelse.

☀ - sannsynlighet for konsekvens gitt uønsket hendelse

Risikomatrixen viser spekteret av ulike mulige konsekvenser, i forhold til bare å fremstille forventet konsekvens som vist i figur 3-1. Kategori i tabellen over representerer grad eller alvorlighet av konsekvens, jf. de to siste definisjonene i kapittel 2.1. Dette kan til eksempel være ubetydelig, tydelig, kritisk eller liten, middels, stor etc. Tallverdiene er således et mål på hva som representerer en større eller mindre risiko ved systemet eller aktiviteten som studeres.

Bruken av slike matriser kan gjøre det vanskelig å skille mellom de forskjellige risikoene, siden de er basert på heller grove kategorier. Likevel er risikomatrixer i mange tilfeller tilstrekkelig presise for å sørge for et overblikk av risikoen. Symbolene representerer konsekvenskategoriene og gir et mer nyansert bilde på risiko. Ofte ser en at risikomatrixen deles inn i tre områder, her presentert med ulike farger. Rød oppe til høyre er den ikke-tolererbare risikoen, grønt nede til venstre er den neglisjerbare risikoen, og gult i midten er en risiko som skal reduseres så langt som praktisk mulig. Bruk av risikomatrixe kan relateres opp mot risikoakseptkriterier, jf. kapittel 5.1.1. Avhengig av hvor forventet konsekvens i denne sammenheng faller, kan vi gjøre vurderinger opp mot ALARP.

Aven, et al., [1] nevner at

- Risikobildet er mer enn tallene i risikomatriksen.
- Alle sannsynligheter og forventningsverdier er gitt med en viss bakgrunnskunnskap K. Vi må passe på å inkludere bakgrunnskunnskapen i risikobildet og risikopresentasjonen. Sannsynlighetene er ikke perfekte redskaper for å uttrykke usikkerhet.
- Forutsetningene kan skjule usikkerhetsfaktorer, og vår kunnskap kan være mangelfull og føre til at sannsynlighetstallene gir grunnlag for dårlige prediksjoner.

I forhold til dette kan det være hensiktsmessig å ha etablert en standard eller referanseverdi som kan si hva som er typiske høye og lave verdier for risikoen [1]. Dette resulterer i en enklere sortering av hva som er viktige bidragsyttere til risiko. Risikoakseptkriterier bør ikke være gjeldende, men heller ALARP og en utvidet ledelsesvurdering slik vist i figur 5-6.

Rev. 3 av NORSOK Standard Z-013 lister opp en rekke krav som er gjeldende for presentasjon av risikobildet [6]:

- Hovedresultat og konklusjoner i enhver risikoanalyse skal presenteres som risiko for systemet som undersøkes, og skal være i overensstemmelse med risikoakseptkriterier og de relevante risikoelement. Risikobildet inkluderer:
 - Rangering av risikobidragsyttere
 - Identifisering av potensielle risikoreduserende tiltak
 - Viktige operasjonelle antagelser/tiltak for å kontrollere risiko
- Presentasjon av risikobildet skal inkludere dimensjonerende ulykkeslaster hvis det er av nødvendighet
- Presentasjon av mulige risikoreduserende tiltak
- Analysen skal presentere og beskrive ulykkesscenarioer relevant til vurderingen av beredskapen
- Presentasjon av sensitivitet i resultatet vedrørende variasjon i inndata og kritiske forutsetninger. Utgangspunktet for valgt sensitivitetsanalyse skal presenteres
- Resultatet i en QRA skal være sporbart gjennom analysen. Det skal være mulig å identifisere enhver mekanisme/utstyr som forårsaker store risikobidrag
- Resultatet skal presenteres slik at risikobidragsyttere kan spores gjennom analysen
- Antagelser og forutsetninger av betydning for resultatet av risikovurderingen, for beslutninger relatert til fremtidige prosjektutvikling eller implikasjoner for operasjon/vedlikehold, skal dokumenteres
- Antagelser, forutsetninger og resultat skal presenteres slik at de er egnet som input for å definere ytelseskrav for sikkerhets- og beredskapstiltak i senere prosjektfaser
- Antagelser, forutsetninger og resultat for miljørisiko skal presenteres slik at de er egnet som input for miljøberedskaps- og håndteringsanalyse.
- Alle tilrådinger i analysen skal listes separat med referanser til kalkuleringene

Diskusjon

1)

Tabell 8 - Lekkasje størrelser

Størrelse	Liten lekkasje	Medium lekkasje	Stor lekkasje
	0,1-1 kg/s	1-10 kg/s	>10 kg/s
Frekvens	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶

▲ - forventet konsekvens

I tilfeller der det kan være nyttig å informere om for eksempel gasslekkasjestørrelser, så bør beskrivelsen være mer omfattende enn kun å forklare lekkasjestørrelse i kg/s. Der vi kategoriserer faremoment som brann, lekkasje og trykk, vil det være fordelaktig å sammenligne disse faktorene da de ofte relateres til hverandre. La oss vurdere en lekkasje på 1kg/s, som vi sier ligger innenfor kategori *liten*, se Tabell 8. Hva forteller den om konsekvensene? For å presentere resultatet mer nyansert, kan man sammenligne lekkasjeraten opp mot følgende aspekt for et standardscenario:

- Omslutte og fylle en 100 m³ modul med gass på 7 min
- 7 meter høye flammer ved antennelse
- Skape et overtrykk ved eksplosjon lik 0,07 bar

Sistnevnte kan også beskrives med væskehøyde, for å vise omfanget av hva et overtrykk på 0,07 bar betyr. I dette tilfellet tilsvarer trykket en væskehøyde på 10 cm. Dette vil muligens forklare konsekvensbegrepet tydeligere for interessenter som bruker analyseresultatene.

2)

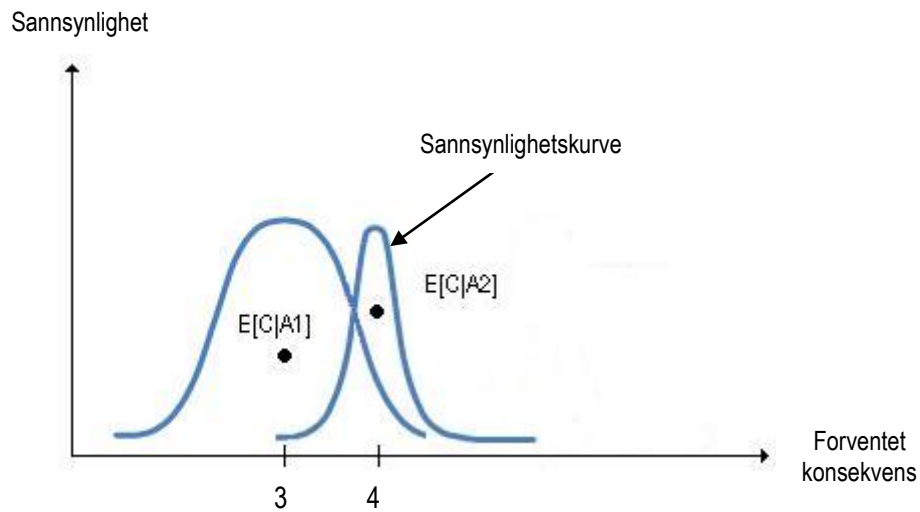
Figur 3-3 viser en risikobeskrivelse av to hendelser A_1 og A_2 , med sannsynligheter $P(A_1)$ og $P(A_2)$. Fra en klassisk tilnærming vil sannsynlighetene og konsekvensene kun relateres til forventningsverdien, som vist med $E[C|A_1]$ og $E[C|A_2]$. Her har vi usikkerhet i for eksempel hva som er riktig sannsynlighet, estimatene m.m. Forventningsverdien viser ikke slike betraktninger.

Vi betrakter nå situasjonen etter en prediktiv Bayesiansk tilnærming. Her gjør vi en enkel prediksjon, der resultatet blir den samme forventningen som i den klassiske. Forskjellen er at vi nå kun har usikkerhet til den observerbare størrelsen. Vi inkluderer bakgrunnskunnskapen i risikobildet og presenterer den som en usikkerhet. Dette er illustrert med sannsynlighetskurven i figuren.

Hvordan vurderer vi nå alternativene? Den klassiske måten å vurdere problematikken, tar kun for seg forventningsverdien. Her vil $E[C|A_2]$ være det "dårligste" alternativet av de to, hvis en kun betrakter sannsynlighet og konsekvens. Spørsmålet blir da hvordan vi vurderer alternativene ved en prediktiv Bayesiansk tilnærming.

På grunnlag av bakgrunnsinformasjon, ekspertvurdering m.m., har vi her en sannsynlighetsfordeling som viser hvor usikre vi er rundt forventningsverdiene. Som vi ser, er grafen mye smalere for alternativet $E[C|A_2]$, enn for $E[C|A_1]$. Det viser bare at vi vurderer det første alternativet som mer usikkert, mens vi påstår at usikkerhetsspredningen for det andre alternativet er mindre. Selv om forventet konsekvens mellom alternativene er i størrelsesorden én, viser usikkerheten at valget ikke er like rett frem. Her må vi gjennom beslutningsprosessen i kapittel 2.2 for å kunne gjøre nøye beslutninger.

I denne sammenheng blir det altså ikke like enkelt å bestemme hvilken av forventningsverdiene som utgjør størst bidrag til risiko, og således er det dårligste alternativet.



Figur 3-3 - Risikobeskrivelse av to hendelser med tilhørende usikkerhet

4 VURDERING AV USIKKERHET

Som innledningsvis nevnt i første kapittel, bør alle risikoanalyser presentere et helhetlig, informativt og balansert risikobilde for å gi et underlag for videre beslutninger med hensyn til valg av løsninger og tiltak. En viktig forutsetning for å oppnå dette, er å presentere og behandle usikkerheten mer systematisk. Dessverre viser det seg at det er stor variasjon rundt forståelsen av begrep som sannsynlighet og usikkerhet, både innad i industrien og blant eksperter.

I dette kapitlet vil det diskuteres bruk av en tankegang som ikke bare relaterer usikkerhet opp mot sannsynligheter og forventningsverdier, men som holder selve usikkerheten U som en hovedkomponent av risiko.

4.1 Bakgrunn

Hva er usikkerhet? Usikkerhet betyr at noe er usikkert - det vil si at vi ikke vet med sikkerhet hva verden har gitt oss eller hva den kommer til å gi oss. Fra kapittel 2.1 har vi at det aldri forekommer en situasjon uten risiko og at det alltid vil foreligge en viss usikkerhet for hva konsekvensene kan bli. Der risiko uttrykker den fare som uønskede hendelser representerer, er usikkerheten knyttet til manglende kunnskap og viten [11]. Usikkerhet som skyldes mangel på nødvendig kunnskap kan reduseres ved å 1) skaffe mer viten i form av nærmere undersøkelser, 2) få frem sentrale avgjørelser eller 3) dele problemet opp i mer håndterbare størrelser [66]. At verden er i forandring knyttes også opp mot noe usikkert. Begrepet betyr i så måte at man ikke har oversikt over et fremtidig hendelsesforløp og eventuelle konsekvenser av dette forløpet [66].

Det er mange omstridte definisjoner på usikkerhet. Som for risiko, foreligger det også liten konsensus for hvordan presentere og tolke usikkerhet. Det er ofte tilknyttet ukjente verdier og størrelser, som ikke kan måles eller som avhenger av hendelser som ikke har inntruffet enda. De kan være avhengig av situasjonen som beskrives, situasjonen når det sies eller geografiske og aldersmessige måter å uttrykke seg på [66]. Beslutninger under usikkerhet forutsier at det er en stor fordel å vite omfanget av disse verdiene eller størrelsene. Således vil enhver beslutningstaker vil ha en følelse av usikkerhet når resultat presenteres fra risikoanalyser. Det kan også være tilfeller der beslutningstakeren er usikker på egen evne til å vurdere hvilke alternativer som er best [12].

Tolkningen og forståelsen av innholdet i analysen, har mye med hva som er blitt beskrevet og presentert. Hvilken tilnærming til risiko og usikkerhet som er valgt er antageligvis den viktigste delen i denne sammenheng.

Austeng, et al., [66] prøver å dele inn årsakene til usikkerhet som følger:

- Verden forandrer seg
- Fremtiden er ny
- Naturen er uforutsigbar
- Mangel på eller feilaktig tolkning av fakta
- Probabilistisk vs. possibilistisk tenkemåte

- Grunnforutsetningene er beheftet med feil

Ved organisert sikkerhetsarbeid, er risikoanalyser svært viktige. Disse analysene uttrykker et nivå på risiko, og er dermed et beslutningsunderlag for valg av ulike sikkerhetsmessige tiltak. I tilfeller der beslutningsgrunnlaget er mangelfullt eller svært komplekst, vil usikkerheten være vanskelig å tallfeste. Da er det gjerne nødvendig å bruke ekspertvurderinger sammen med avanserte statistiske og analytiske beregninger for å ta en god avgjørelse.

Bruk av QRA viser at det er flere aspekter innen usikkerhet som må betraktes:

- Klar definisjon til risiko og usikkerhet
- Hvordan skal usikkerheten vektlegges ved en sammenligning til akseptkriteriet?
- Hvordan skal usikkerheten effektivt kommuniseres?

Det er ingen definitiv måte å svare på disse spørsmålene.

Stortingsmelding nr. 7 [33] viser at metoder og verktøy for å styre helse, miljø og sikkerhet i dynamiske endrings- og beslutningsprosesser, ikke fokuserer i tilstrekkelig grad på usikkerhet. Flage og Aven [16] påpeker også at de fleste tilnærmingene for å behandle usikkerhet i kvantitative risikoanalyser ser ut til å være basert på tankegangen at usikkerhet kun relateres til de kalkulerede sannsynlighetene og forventningsverdiene. Dette kan forårsake vanskeligheter ved å kommunisere hva resultatene fra analysen egentlig betyr og kan lett skape svekkede konklusjoner hvis det er stor usikkerhet.

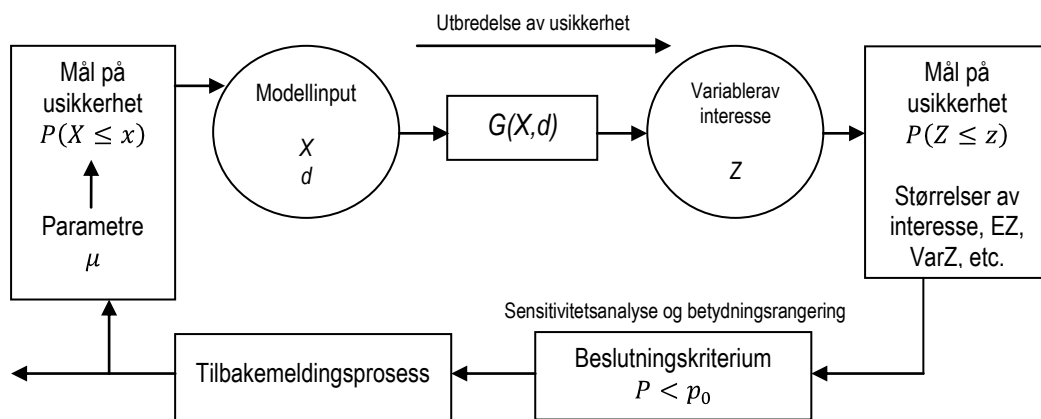
For å sette usikkerheten i perspektiv, vises det til en sammenligning gjort av Rausand, Utne og Øien [8,50] mellom offshorevirksomheter og kjernekraftindustrien:

- Kjernekraftens risikoanalyser (PSA og PRA) har alltid vurdert usikkerhet eksplisitt. Usikkerhet har derfor ikke bidratt med å forbedre og videreutvikle QRA for offshorevirksomheter, slik de kvantitative analysene fra kjernekraftindustrien har gjort.
- PSA har for det meste vært offentlig tilgjengelige, mens QRA stort sett har vært selskapsinterne og fortrolige analyser. Dette har resultert i at metoder og verktøy ikke har blitt diskutert tilstrekkelig innen QRA.
- PSA har i liten grad blitt benyttet som designrisikoanalyse og har i hovedsak blitt brukt som operasjonell risikoanalyse, dvs. som et verktøy til å treffe beslutninger i driftsfasen.

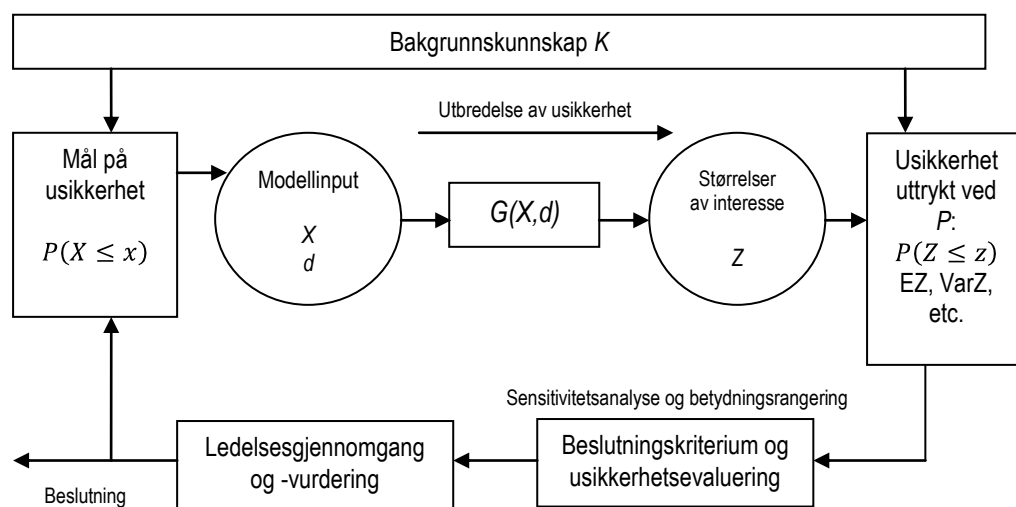
4.2 Usikkerhetsanalyse

Rammeverk for usikkerhetsanalyse

Utgangspunktet stammer fra figur 1 og 3 i Aven [58]. Strukturen er ment for å kunne kvantifisere usikkerhet. Risikoanalyser kan betraktes mer begrenset enn usikkerhetsanalysene, siden de fokuserer på fremtidige hendelser, mens usikkerhetsanalyse betrakter usikkerhetsstørrelser, enten de relaterer til fremtiden eller ikke [63,64]. Figur 4-1 og 4-2 gjelder henholdsvis utførelsen for å kvantifisere usikkerhet ved en klassisk tolkning og en prediktiv Bayesiansk tankegang til risikoanalysen.



Figur 4-1 - Struktur basert fra usikkerhetsanalyse



Figur 4-2 - Struktur til et modifisert rammeverk

Baseres på figur 4-1. Strukturen starter med en modell G , som gir en usikkerhetsbeskrivelse til størrelsene av interesse Z . For å vurdere disse størrelsene, introduseres en modell $G(X,d)$ som kobler et sett med inndata (X variabler) og noen ikke-variable d til Z . En vanlig tilnærming er å bruke en parametrisk sannsynlighetsfordeling for å etablere en sannsynlighetsfordeling til X . Ved bruk av modell G , vil vi oppnå en usikkerhetsbeskrivelse for Z .

Visse størrelser av interesse, for eksempel EZ og $VarZ$, fastsettes og beregnes fra et mål på usikkerhet, typisk gitt som sannsynlighetsfordelingen til Z . Disse størrelsene gir innspill til en beslutningsprosess [63]. Sensitivitetsanalyser gir innsikt for hvordan inndata påvirker størrelsene til utdataene, og betydningsrangering identifiserer hvilke faktorer, system m.m. som er de viktigste (gitt de er basert på visse definerte kriterier).

Baseres på figur 4-2. Usikkerhetene til X og Z er epistemiske, der subjektive sannsynligheter brukes for å uttrykke disse usikkerhetene [64]. De subjektive sannsynlighetene uttrykker derfor analytikeren eller analysegruppen sin usikkerhet om størrelsene X og Z . Sannsynlighetene er betinget på en bakgrunnskunnskap K , som inkluderer både tidligere antagelser og forutsetninger, samt modell G . Denne bakgrunnskunnskapen er integrert i resultatet til risikoanalysen og alle sannsynligheter må betraktes i forhold til K .

I usikkerhetsevalueringen presenteres en bred usikkerhetsbeskrivelse for sannsynlighetene, bakgrunnskunnskapen og sensitivitetsanalysen. Evalueringen gir innspill til en bredere ledelsesgjennomgang og -vurdering. Resultatet er for eksempel en aksept av usikkerheten relatert til en aktivitet, designendringer, valg av alternative løsninger [58] m.m.

4.2.1 Klassisk tilnærming

Hvis vi betrakter den klassiske tilnærmingen til risiko og sannsynlighet, har vi usikkerhet i risikoresultatene, knyttet til usikkerheter i [67]:

- Feil- og hendelsesdata
- Antagelser og forutsetninger
- Konsekvensmetodikk

Mer bestemt vil usikkerhetene ligge i [2]:

- estimer
- modeller
- hva som er riktig sannsynlighet
- forventning
- diverse parametre

Feil- og hendelsesdata

Usikkerhetene som påvirker bruk av feil- og hendelsesdata, kan betraktes med hensyn til den statistiske betydningen de har. Her er det typisk usikkerhet grunnet 1) effekten av få testdata eller liten populasjonstørrelse, 2) relevansen av generiske data og 3) effekten av begrenset rapportering, typisk i relasjon med å definere feilmodi brukt i FMECA.

En liten populasjonsstørrelse er en effekt som kan adresseres ved statistisk utfallsteori⁶. Hvis få testdata var den eneste kilden til usikkerhet, ville teorien kunne produsere konfidensintervall relatert til feilratene, som igjen kunne bli kalkulert inn i risikoanalysen.

2) og 3) er i prinsippet mer vanskelig å tilnærme og kvantifisere. En konsekvens av denne effekten er til eksempel underestimering av de potensielle betydningene av visse feilmodi som ikke inkluderes. Dette kan resultere i at tilgjengelig data ikke tilstrekkelig beskriver potensialet for alvorlige konsekvenser.

Resultatet fra disse tre effektene sammen kan resultere i data som ikke representerer en realistisk forekomstrate for de definerte feilmodi [67].

Antagelser og forutsetninger

Det er ulike typer av antagelser og forutsetninger som brukes innen risikoanalyser, der visse relateres til bruk av data, se diskusjon over. Andre er direkte mot defineringen av systemet som analyseres. Dette inkluderer fareidentifisering (se kapittel 2.3.2.1) og tilhørende ulykkesscenarioer, samt de betingelsene som eksisterer innenfor disse scenarioene. Sistenevnte kan være fysiske forhold som vist i Tabell 9. Antagelser er også gjeldende for konsekvensmetodikken, som forklares nærmere under.

Konsekvensmetodikk

Prediksjoner av konsekvenser som oppstår fra eskalering av ulykker, betraktes typisk som storulykker offshore. Disse konsekvensprediksjonene utføres generelt gjennom en form av modellering av de relevante fenomen, jf. figur 2-6 og 2-7. Et problem med å forsøke å modellere for eksempel offshoreulykker, er kompleksiteten rundt eskalerende hendelser som kan lede til storulykker. Noen fenomen kan også karakteriseres ved kaotisk oppførsel [66]. I dette tilfellet kan prediksjonene i modellen være svært følsomme for små endringer. Da er det inneforstått at det må gjennomføres sensitivitetsanalyser for å belyse hvilke parametre som gir størst bidrag ved endring.

Når usikkerhetene i konsekvensmetodikken kombineres med tilhørende data og antagelser, er det viktig å være klar over at denne samlede effekten kan undergrave konklusjonene som oppstår fra en kvantitativ risikoanalyse. Kalkulert risikonivå kan ha en så vid utstrekning at det er vanskelig eller til og med umulig å oppnå overbevisende konklusjoner om risiko [66].

Diskusjon

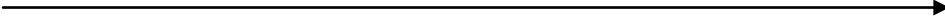
- Konservatisme brukes for å begrense usikkerheten ved offshore QRA. Dette gjøres ved å operere med konservative estimater, der man hevder å ligge på ”riktig side” i en sannsynlighetsfordeling eller et konfidensintervall [50]. Det er et relativt mekanisk tiltak, som i de senere årene har endret seg til såkalte beste estimat, jf. kapittel 2.1.1.1. Selv om faktorene som inkluderes i analysen regnes for å være konservative, blir ikke usikkerheten nødvendigvis beskrevet og knyttet til disse.

⁶ "Statistical sample theory"

Tabell 9 - Enkel beregningskjede

Hendelse	Fysisk ulykkeslast	Fysisk konsekvens	Tap
Gasslekkasje	Gasskonsentrasjon i ppm	Narkotisk effekt	Svekkede reaksjons-, orienterings- og konklusjonsevner, dødsfall m.m.

Økende usikkerhet



- Forutsetninger og antagelser bringer med seg usikkerhet. Jo lengre ut i denne beregningskjeden vi går, dess flere antagelser og forutsetninger må gjøres. Følgelig vil den beregnede risikoen inneholde mer og mer usikkerhet. Risikoberegninger lik vist i Tabell 9, som baserer seg på en eller annen personrisiko, vil imidlertid ha en noe høyere usikkerhet enn situasjoner som bygger på fysiske betingelser. Denne forutsetningen må vurderes når risikoparametre og akseptert nivå velges [5].
- Når det vurderes rundt aksept av risiko, er det viktig at tilnærming til risiko og usikkerhet er nøye gjennomtenkt. I klassisk analysesammenheng er det ikke alltid usikkerheten blir kvantifisert, men heller at det gjennomføres sensitivitetsanalyser av viktige antagelser og forutsetninger.

Bayesianske tilnærminger

Kvaliteten til en risikoanalyse basert på et Bayesiansk prinsipp, kan ikke evalueres til nøyaktigheten av å beskrive verden. Derfor er en slik analyse et verktøy for å uttrykke og kommunisere usikkerhet til en analytiker eller en analysegruppe sitt syn på verden. I den Bayesianske tilnærmingen introduserer vi fiktive parametre som tolkes mot en uendelig tankekonstruert populasjon av byttbare tilfeldige størrelser. Det er ingen referanse til en sann verdi til disse parametrene, siden parametre sees på som begrensninger til de tilfeldige størrelsene.

Hvis vi betrakter en subjektiv tilnærming til risikoanalyse, vil nå sannsynlighetstildelingen i seg selv representere usikkerhet. Siden vi opererer med en åpen subjektiv måte å tildelingen utføres, så gjør dette valideringen (ekspertvurderinger og teoretiske modeller) mindre problematisk og estimering av usikkerhet er unødvendig.

4.2.2 Prediktiv Bayesiansk tilnærming

I den prediktiv Bayesianske tilnærmingen til risiko og usikkerhet vil en ikke introdusere en fiktiv populasjon. Her er fokuset å predikere fremtidige observerbare størrelser, som for eksempel forekomster av ulykkeshendelser, antall dødsfall m.m. Her opererer man bare med ett usikkerhetsnivå, nemlig de fremtidige hendelsene.

Ett av målene til en risikoanalyse med denne tilnærmingen, er å forutsi disse størrelsene og vurdere usikkerhetene på grunnlag av tilgjengelig kunnskap. Subjektive sannsynligheter benyttes for å beskrive analytikerens usikkerhet om resultatet til disse observerbare størrelsene. Slike observerbare størrelser uttrykker tilstanden til verden, jf. figur 2-10. Det henvises til vedlegg V.

Følgende er basert på Apeland, et al., [64], Nilsen og Aven [63], og Aven [11,58]:

La Y betegne en ukjent observerbar størrelse og g forholdet mellom Y og en vektor av ukjente observerbare størrelser på et mer detaljert nivå, $\mathbf{X} = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$, slik at:

$$Y = g(\mathbf{x})$$

Funksjonen g , som betegnes som en modell, er deterministisk. Det vil si at hvis \mathbf{X} var kjent, ville Y kunne bli predikert med usikkerhet, gitt antagelsene som støtter g . Imidlertid vil det i de fleste tilfeller ikke være tilfellet. Informasjon er ikke tilgjengelig og usikkerhet relatert til prediksjoner må betraktes. I den prediktiv Bayesianske tilnærmingen er usikkerhet relatert til fremtidige verdier av \mathbf{X} , beskrevet gjennom en usikkerhetsfordeling $P(\mathbf{X} \leq \mathbf{x})$, $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$. Denne usikkerheten er epistemisk, dvs. et resultat av mangel på kunnskap.

Videre kan usikkerheten relatert til Y beskrives gjennom en fordeling gitt som:

$$P(Y \leq y) = \int_{\{\mathbf{x}: g(\mathbf{x}) \leq y\}} dP(\mathbf{X} \leq \mathbf{x})$$

Modellen g er en forenklet representasjon av verden og er derfor et verktøy som brukes for å reflektere mer eller mindre den tilgjengelige kunnskapen om forholdet mellom Y og \mathbf{X} . Risiko relatert til Y beskrives gjennom hele usikkerhetsfordelingen $P(Y \leq y)$. Alle sannsynligheter er betinget på denne bakgrunnskunnskapen.

Å kvantifisere sannsynlighetsfordelingen $P(\mathbf{X} \leq \mathbf{x})$, betyr at vi har samme grad av tro i hendelsen $\mathbf{X} \leq \mathbf{x}$, som vi har til å trekke en gitt ball fra en urne med $P(\mathbf{X} \leq \mathbf{x})$ 100 % gitte baller under standard forsøksbetingelser [64]. Denne utledningen er i overensstemmelse med figur 4-2 for kvantifisering av usikkerhet.

Diskusjon

- Prediktiv Bayesiansk tilnærming er som navnet tilsier, koplet til det Bayesianske paradigme. Tilnærmingen representerer en revurdering av hvordan tilnærme risiko og usikkerhet innenfor et subjektivistisk Bayesiansk rammeverk [64].
- Primært ønsker vi å angi sannsynlighet knyttet til observerbare størrelser og hendelser i den virkelige verden. Det benyttes da gjerne sannsynlighetsutsagn for å angi denne usikkerheten. Videre vil fastsetting av sannsynlighetene være viktig. Symmetriske betraktninger, historiske rater (enten som fortolkning av data eller ikke-informativ fortolkning av data) og ekspertvurderinger er eksempler på hvordan fastsetting av sannsynligheter oppnås.
- Generelt snakker man om to hovedtyper av usikkerhet, nemlig aleatorisk og epistemisk usikkerhet. Enkelt forklart kan aleatorisk eller stokastisk usikkerhet sees på som variasjonen i resultater fra stokastiske prosesser under identiske forhold. Med andre ord, statistisk variasjon i en populasjon, som opprinnelig bygger på en analyse av like sannsynlige utfall. Bruk av klassisk modell gjør det vel og merke mulig å kvantifisere estimeringsusikkerheten som skyldes statistisk variasjon. Effekten av

denne variasjonen bør illustreres ved sensitivitetsanalyser [11]. Usikkerhet bør i all vesentlighet bli evaluert på basis av disse undersøkelsene og bør brukes i stor grad for å utforske sensitiviteten av variasjon i data og videre antagelser i risikomodellene. Spesielt gjelder dette hvis det ikke foreligger tilstrekkelig informasjon eller data. Sensitiviteten må da betraktes omfattende for å begrense usikkerhet og produsere robuste konklusjoner.

Retningslinjer

Vi konsentrerer oss om å vurdere krav fra:

- NS 5814 Krav til risikovurdering
- NORSOK Standard Z-013

I kapittel 6.15 i rev. 2 NORSOK Standard Z-013 står det at usikkerhet er en faktor som må vurderes. Kapittel 4.4 i NS 5814 påpeker også at *usikkerheten i risikobeskrivelsen skal vurderes og beskrives*. Disse er heller vage krav, som ikke utdyper betydningen av å beskrive usikkerhet.

Kapittel 5.5.2 i rev. 3 NORSOK Standard Z-013 utdyper omfanget ytterligere og nevner at usikkerhet skal diskuteres, og inkluderer følgende aspekt:

- Perspektivet på risiko brukt i vurderingen.
- Effekten og nivået av usikkerhet fra valgt perspektiv og den kontekst for vurderingen sammenlignet med de ”reelle” eller ”sanne” system og/eller aktiviteter av interesse
- Mulige implikasjoner for hovedresultatet.
- Forekomster av uventede utfall, som et resultat av ugyldige antagelser og forutsetninger, og mangelfull kunnskap.

4.3 Presentasjon av et mer nyansert risikobilde

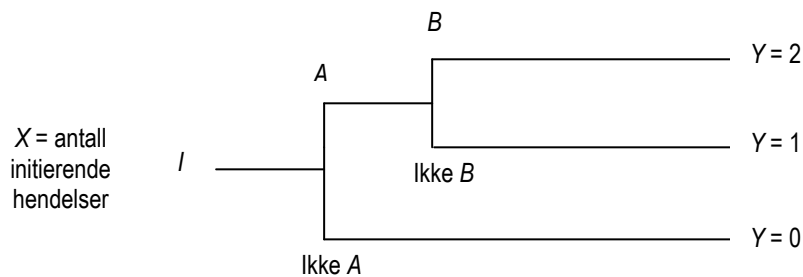
Følgende struktur er inspirert fra [1,11,12,15,63,64] der fokuset er å presentere et risikobilde med prediksjoner og sannsynlighetsfordelinger. Poenget med denne formen, er å avsløre eventuelle ”skjulte” og overraskende usikkerheter vedrørende de presenterte sannsynligheter og forventningsverdier. Under er et par forenklede eksempler gjennomført for å visualisere metoden med å presentere et resultat fra risikoanalysen mer nyansert.

4.3.1 Eksempel: gasslekkasje

Følgende er basert på [11]. Eksempelen er for en offshore plattform, der uønskede hendelser vil være risiko for forekomster av gasslekkasjer.

Innledningsvis starter vi med å identifisere de generelle ytelseskravene for systemet. Ser vi på personellrisiko, vil målet være å begrense dødsfall, personskader og ulykker. På grunnlag av dette, kan det formuleres ytelseskrav som relateres til antall dødsfall, antall skader og forekomster av ulykkeshendelser. I dette eksempelet fokuseres det på forekomster av dødsfall.

Videre utvikles det en deterministisk modell av systemet, som i eksempelet vil være et hendelsestre, jf. figur 4-3.



Figur 4-3 - Eksempel på hendelsestre

Hendelsestreet viser de mulige forekomstene av gasslekkasje for en gitt tidsperiode (typisk ett år). Gasslekkasjen refereres til som en initierende hendelse. Antall gasslekkasjer er angitt som X . Hvis en initierende hendelse I inntreffer, fører det til Y dødsfall, der:

- $Y = 2$ hvis hendelse A og B skjer
- $Y = 1$ hvis hendelse A skjer, men ikke B
- $Y = 0$ hvis hendelse A ikke skjer

I eksempelet fremstiller vi A som antennelse av gassen, mens B representerer en eksplosjon. Modellen inneholder da ukjente, observerbare størrelser som må studeres. Ett av dem er antall lekkasjer. Basert på undersøkelse av relevant erfaringsdata, predikeres det tre lekkasjer i løpet av ett år. Usikkerhetene reflekteres ved en Poisson-fordeling med forventning 3. Gitt en lekkasje, vil bare et fåtall antenne og de fleste lekkasjene vil være av en liten størrelsesorden.

Ved å bestemme en usikkerhetsfordeling for X , vil vi oppnå en sannsynlighet $P(A)$. Mer kompleks modellering krever utvikling av modeller som for eksempel tar i betraktning utslippskarakteristikk, spredning og antennelseskilder. I dette eksempelet velges det en sannsynlighet $P(A) = 0,0015$, enten ved bruk av slik modellering eller direkte bruk av erfaringsdata og kunnskap om fenomenet. På samme måte bestemmes det en sannsynlighet $P(B|A) = 0,3$. På grunnlag av disse sannsynlighetene, kan det kalkuleres usikkerhetsfordelinger for antall dødsfall Y . Fra ekspertvurderinger antas det at sannsynligheten for en hendelse med to eller flere antente lekkasjer på ett år er neglisjerbart sammenlignet med en hendelse med en antent lekkasje. Fra dette kan en tilnæringsformel [11] uttrykkes som:

$$P(Y = 2) = EX \cdot P(A) \cdot P(B|A)$$

$$P(Y = 2) = 3 \cdot 0,0015 \cdot 0,3 = 0,00135$$

$$P(Y = 1) = 3 \cdot 0,0015 \cdot 0,7 = 0,00315$$

Videre kan det beregnes en FAR lik:

$$\frac{FAR}{10^8} = \frac{omkomne}{eksponeringstid}$$

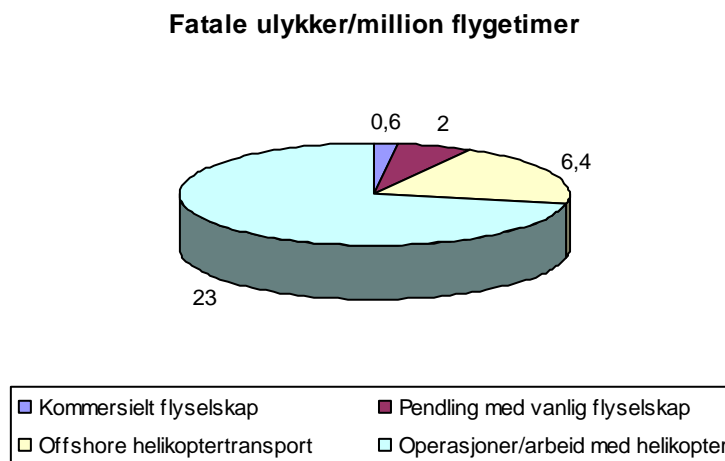
$$FAR = \frac{(0,00135 \cdot 2 + 0,00315)}{(2 \cdot 8760)} \cdot 10^8$$

$$FAR \approx 33$$

Dette eksempelet representerer resultatet som en forventningsverdi. Neste eksempel vil vise en fremgangsmåte for å fremstille resultatet som en sannsynlighetsfordeling.

4.3.2 Eksempel: helikopterulykke

Eksempelet baserer seg på grunnlaget av helikoptertransport som en betydelig risikofaktor. I forbindelse med oljevirkosomheten offshore, foregår det en betydelig transport av personell. Fra figur 4-4 ser vi at risikoen ved helikoptertransport er tydelig høyere enn ved vanlig flyvning. Figuren baserer seg på data fra OGP [39,40], og viser følgende sammenligning mellom vanlig flyvning og helikopterbruk.



Figur 4-4 - Risikofordeling mellom helikoptertransport og vanlig flyvning

Som vi ser, utgir transport av helikopter en særdeles stor risiko i forhold til vanlig flytransport. Som nevnt innledningsvis i kapittel 2.1 er det ikke per i dag realistiske alternativ til helikopterbruk for offshorepersonell. SINTEFs *Helicopter Safety Study 2* [35] viser imidlertid at det har vært en betydelig nedgang i risikoen fra 1990-årene.

I tidsrommet 1990–1998 skjedde det 15 ulykker med helikopter på norsk og engelsk sektor i Nordsjøen, hvor i alt 29 personer omkom [7]. Eksempelet forutsetter en konsekvensanalyse av uønsket hendelse ”helikopterulykke”.

Utrekning

I eksempelet betraktes målinger for helikopterulykker fra 1990 til 1998. Videre ønsker vi å sette opp et prediksjonsintervall for usikkerheten for en fremtidig helikopterulykke.

Det antas at følgende målinger av hendelser registreres for årene 1, 2, ..., n, der $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ betegner antall helikopterulykker for disse årene. Antall helikopterulykker for inneværende år definerer vi som en stokastisk størrelse X_n , se vedlegg II. Ut fra historiske data bruker vi observasjonsdata fra $(n - 1)$ år. Fra målingene $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ beregnes så en prediksjon for antall helikopterulykker for neste år. $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ er derfor kjente verdier, mens X_n beskriver vår usikkerhet for en ulykke for en fremtidig periode.

Dette eksempelet forenkles med å si det ikke foreligger noen endringer i helikopteraktiviteten fra 1990 til 1998. Dette er selvsagt ikke korrekt. Til eksempel er det mye som tilsier at det er stor variasjon med tanke på eksponeringstid per år. På basis av dette vil prediksjonen typisk være gjennomsnittet av $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$.

En prediktor for X_n kan da være:

$$\hat{X}_n = \bar{x} = \frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^{n-1} x_i$$

Det angis i tillegg et prediksjonsintervall $[a, b]$, der a og b er konstanter som er slik at $P(a \leq X \leq b) = (1 - \alpha)100 \%$. Man vurderer det altså som $(1 - \alpha)100 \%$ sikkert at X_n vil falle innenfor dette intervallet. Fra [35] kan vi oppsummerer de historiske dataene fra 1990-1998. Det er rapportert 21 ulykker i dette tidsrommet, men kun 15 av dem var relevante.

Fra Tabell 3.4 i [35]:

Tabell 10 - Antall ulykker i perioden 1990-1998

Årstall	Antall ulykker
1990	5
1991	1
1992	1
1993	1
1994	0
1995	2
1996	2
1997	2
1998	1
n	?

} $\frac{15}{9}$

$$\hat{X}_n = \bar{x} = \frac{1}{10 - 1} \cdot 15$$

Dette gir en gjennomsnittsverdi på $\frac{15}{9}$ som såkalt prediksjon.

En Poisson-fordeling brukes for å uttrykke usikkerheten. Denne fordelingen er ofte brukt for å beskrive antall forekomster av en hendelse innenfor et tidsintervall eller i løpet av en gitt tidsperiode. Det innebærer at man tenker seg en prosess der intensiteten er relativt stabil. På grunnlag av dette er det rimelig å predikere antall helikopterulykker neste år ved forventningsverdien av de ni foregående årene og angi usikkerhet ved en Poisson-fordeling.

Hadde vi hatt data fra flere år slik at $\lambda t > 15$, ville det vært naturlig å tilnærme de Poisson-fordelte variablene med normalfordeling. I dette eksempelet antar vi videre en Poisson-fordeling og får:

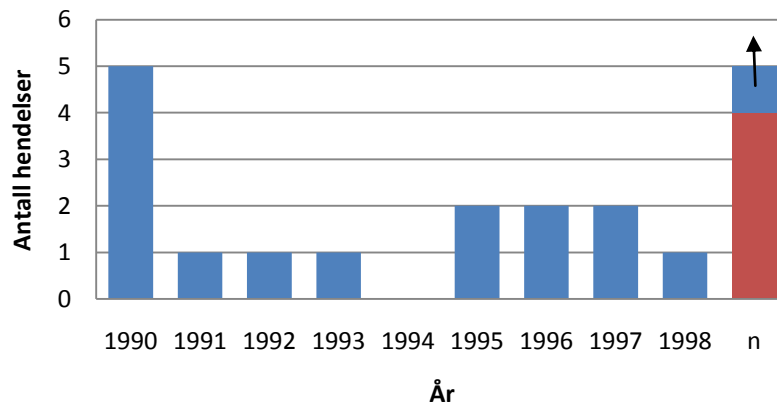
$$\bar{X} \approx Po\left(\frac{15}{9}\right)$$

med $E(\bar{X}) = \lambda = \frac{15}{9}$ og $Var(\bar{X}) = \lambda = \frac{15}{9}$

For Poisson-fordelingen betyr det forventet verdi lik 2, som gir prediksjonsintervallene $[0,3]$ og $[0,4]$ for henholdsvis et 86 % og 95 % prediksjonsintervall. Dette forteller oss at utfallet av en (ny) observerbar størrelse faller i intervallet med sannsynlighet $(1 - \alpha)100$ %. I denne situasjonen vil intervallet forklare vår usikkerhet rundt hvor mange helikopterulykker en kan forvente neste år.

Det velges et 95 % prediksjonsintervall ettersom vi ikke antar datamaterialet som begrenset. Intervallet forklarer at spredningen eller usikkerheten av forventet antall ulykker er mellom 0 og 4 hendelser. Der en opererer med mer avanserte modeller, vil bruk av strukturen i 4-2 være nyttig for å kvantifisere usikkerheten.

Figur 4-5 viser observerte verdier for helikopterulykke og prediksjonsintervallet markert med rødt.



Figur 4-5 - Illustrasjon av observerte verdier for en hendelse og prediksjonsintervall

Hvordan blir dette hvis vi tenker situasjonen ved en tradisjonell statistisk analyse?

Vi behandler igjen n målinger $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$ for en ukjent størrelse μ . Forutsetningene er at fremtidige ulykker er uavhengige og normalfordelte stokastiske variabler med forventning μ og varians σ^2 .

Når variansen er ukjent, kan den ikke inngå i grensene for konfidensintervallet. Vi erstatter denne med standardestimatoren for variansen $\hat{\sigma}^2$:

$$S^2 = \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

Estimator for μ er som tidligere gjennomsnittet av målingene:

$$\bar{\mu} = \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right)$$

der utgangspunktet blir

$$T = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

Sannsynlighetsfordelingen til T kalles t-fordeling med $n - 1$ frihetsgrader - $T \sim t_{n-1}$.

Vi uttrykker fordelingen som et konfidensintervall for μ :

$$\bar{X} \pm t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Et 95 % konfidensintervall basert på de målte hendelsene er gitt ved:

$$\frac{15}{9} \pm t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{9}}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{8} \sum_{i=1}^9 \left(X_i - \frac{15}{9}\right)^2} = 1,414$$

Fra tabell har vi at $t_{0,025,8} = 2,306$

$$\frac{15}{9} \pm 2,306 \cdot \frac{1,414}{\sqrt{9}}$$

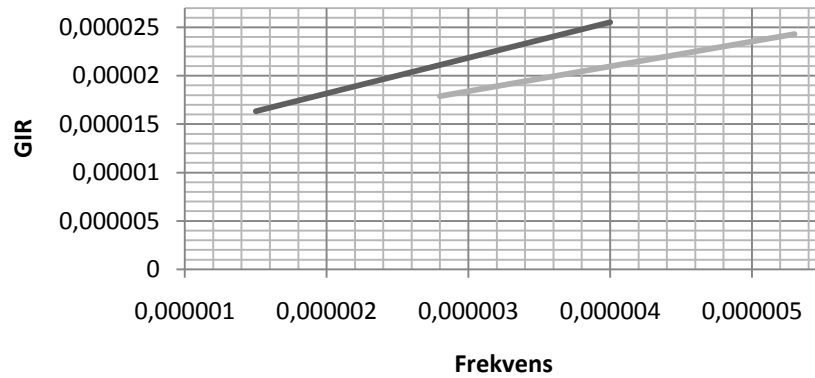
$$\frac{15}{9} \pm 2,306 \cdot 0,471 = \frac{15}{9} \pm 1,086$$

[0,58, 2,75]

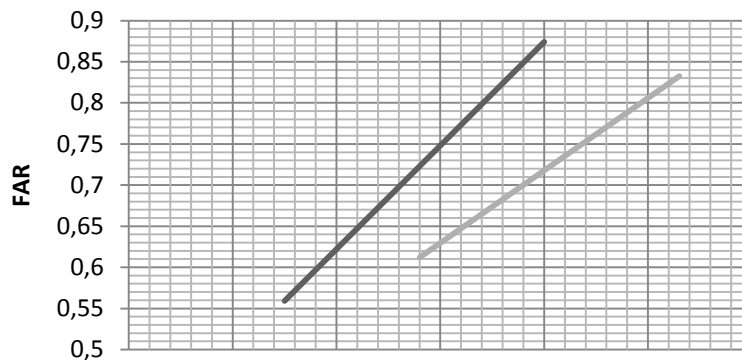
Dette tilsvare et konfidensintervall lik [0, 3]. Denne forteller oss, hvis forsøket blir repetert mange ganger, at $(1 - \alpha)100$ % av intervallene vil inneholde den virkelige, ukjente parameteren, som i dette tilfellet vil være antall helikopterulykker.

Dette konfidensintervallet viser imidlertid en heller liten endring i forhold til prediksjonsintervallet. Siden grunnlaget er i størrelsesorden 0-5, vil intervallet også begrenses på basis av dette. Hvis situasjonen baserte seg på frekvens for til eksempel relativt usannsynlige situasjoner som ble vurdert, ville den prosentvise endringen vært mye større for konfidensintervallet.

La oss betrakte eksempelet i vedlegg VII. Det revurderes om nåværende ulykkesfrekvensen for flygefase og ved avgang/landing fremdeles er representativ. Derfor ønskes det å illustrere følsomheten til disse frekvensene. Fra Tabell 15 i vedlegg VII er det listet opp følgende frekvens, henholdsvis flygefase og avgang/landing: $0,29 \cdot 10^{-5} h^{-1}$ og $0,42 \cdot 10^{-5}$. Disse verdiene er basert på historiske data fra hovedsakelig norsk og britisk sektor.



Figur 4-6 - Variasjon mellom tids- og faseavhengighet for GIR



Figur 4-7 - Effekt på FAR

Figur 4-6 og 4-7 viser hvor følsom GIR er for endringer av frekvens og hvilken effekt variasjonen har på FAR.

5 VURDERING AV RISIKOREDUKSJON

Risikoreduksjon, akseptabel risiko og andre prinsipper innen dette feltet, har mye fokus i risikostyringen. Mer spesifikt ligger disse begrepene under risikokontroll, men konseptene er såpass viktige for hvordan vi tolker og oppfatter resultatet fra risikoanalysen, at det i denne oppgaven er valgt å beskrive de mer utfyllende. Kapittelet omhandler også tema som ALARP og akseptkriterier.

5.1 Risikoreduksjon

Innledning

Kravet om risikoreduksjon er underlagt § 9 i rammeforskriften. Kravet trådte først i kraft 1.1.2002 og det har siden da vært et økende fokus på å praktisere og redusere risiko. Under er et utdrag fra forskriften:

*Skade eller fare for skade på mennesker, miljø eller materielle verdier skal forhindres eller begrenses i tråd med helse-, miljø- og sikkerhetslovgivningen, herunder interne krav og akseptkriterier. Utover dette nivået skal risikoen reduseres ytterligere **så langt det er mulig**. Vurderinger ut fra denne bestemmelsen skal gjøres i alle faser av petroleumsvirksomheten.*

*Ved reduksjon av risiko skal den ansvarlige velge de tekniske, operasjonelle eller organisatoriske løsningene som etter en enkeltvis og samlet vurdering av skadepotensialet og nåværende og fremtidig bruk gir de beste resultater, så sant kostnadene ikke står i et **vesentlig misforhold** til den risikoreduksjonen som oppnås.*

To vesentlige punkt er uthevet. Det første punktet tar for seg risikoreduksjonen så langt praktisk mulig. Det betyr å redusere risiko utover de forhåndsbestemte minimumskrav, regelverkskrav og akseptkriterier. Neste punkt adresserer at kostnadene for risikoreduksjonen ikke skal stå i et vesentlig misforhold i forhold til oppnådd nytteverdi. Begrepet stammer fra britisk regelverk om ”gross disproportion” og er grunnlaget for det vi kaller omvendt bevisbyrde, se kapittel 5.1.2.

For å beskrive hva vi legger i begrepene ”så langt som praktisk mulig” og ”vesentlig misforhold”, tar vi utgangspunkt i et fiktivt eksempel. Eksempelet blir illustrert ved bruk av kost/nytte/effektivitetsberegninger, se vedlegg II. Det velges en bestemt referanseverdi for et statistisk liv⁷, som er estimert fra SINTEF [60] og tilsvarer rundt 25 MNOK. Videre har vi to tiltak som vurderes:

- 1) Et aldrende alarmsystem og fokus på best tilgjengelig teknologi (BAT) har resultert i vurdering av et nytt alarmanlegg. Tiltaket går ut på å investere 6,5 MNOK på et nytt utendørs alarmsystem for prosess- og nytteområder, der støyeksposeringen er på gjennomsnittlig 95 dB. Det forventes at implementering av et nytt anlegg, vil øke alarmvolumet ved en nøds/evakueringsituasjon med 1,2 dB.
- 2) Bruke 20 MNOK på å installere en isoleringsventil for å forhindre en større lekkasje, med potensial til å antenne og drepe 10 mennesker.

⁷ Verdien på et statistisk liv varierer mye fra virksomhet til virksomhet.

1) Eventuelle tidlige bedømminger eller grovanalyser, vil antageligvis påvise at kostnaden av tiltaket er såpass mye høyere enn forholdet av reduserte tilfeller der personell ikke hører alarmen. Likevel er det blitt vurdert fra en risikoanalyse, at tiltaket gir en beregnet reduksjon i forventet antall drepte lik 0,003 per år for en periode på 10 år. Videre antar vi en diskonteringsrate på 2,5 %. Kost/nytteforholdet med diskontert verdi blir da:

$$KN = \frac{6,5}{8,752 \cdot 0,003} \approx 248$$

Dette tilsvarer rundt 248 MNOK per forventet antall sparte liv, som er særdeles høyt for et slikt tiltak. Dette beløpet ser vi på som verdien av et statistisk liv for tiltaket. Tabell 2 fra [31] og [2] tilsier at en kostnad for å forebygge et statistisk dødsfall over 100 MNOK, er på grensen til ikke å være effektivt. Vurdering skal likevel betraktes der en har et høy individuell risikonivå eller andre fordeler. Konklusjon fra kost/nytteforholdet: lite kostnadseffektivt.

Fra Vedlegg II har vi følgende formel for nåverdi:

$$NV = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{a}{(1+i)^t}$$

der I_0 er den umiddelbare investeringskostnaden, a_t representerer kontantstrømmen ved tid t og i er diskonteringsrenten.

Vi går ut fra verdien på et statistisk liv fra SINTEF på 25 MNOK. Forenklet blir forventet nåverdi lik:

Forventet nåverdi av et tiltak = kostnad + (forventet antall sparte liv · verdi av et statistisk liv)

$$E[NV] = -6,5 + \left(25 \cdot \frac{0,003}{1,025}\right) + \left(25 \cdot \frac{0,003}{1,025^2}\right) + \dots + \left(25 \cdot \frac{0,003}{1,025^{10}}\right) \approx -5,8$$

Konklusjon fra forventet nåverdi: ikke lønnsomt. For enkelthets skyld kan vi si at tiltaket ligger innenfor området der kostnadene står i et vesentlig misforhold i forhold til den risikoreduksjonen som oppnås. Dette er dog kun basert på kostnadene i og ved tiltaket. Andre faktorer er ikke medberegnet, men skal alltid vurderes i en beslutningsprosess. Usikkerhet, følsomhet og sårbarhet er faktorer som kan kvantifiseres opp mot for eksempel økonomiske verdier, og må være med i grunnlaget for beslutninger. Ikke-kvantifiserbar nytte bør også vurderes, som opplevd risiko, omdømme, tilfredse medarbeidere og kundeanseelse m.m. På grunnlag av denne beregningen, skal det likevel godt gjøres å rettferdiggjøre dette tiltaket, så fremt det ikke kan frembringes gode bevis ved mer detaljerte analyser, at tiltaket faktisk vil kunne spare flere liv enn tidligere antatt.

Diskusjon

Vi konkluderer med at en så marginal volumøkning neppe vil gi de store fordelene. Dette eksempelet har da vist et ”vesentlig misforhold”. Men tiltaket har ikke vist at risikoen er blitt redusert så langt som praktisk mulig. For å presisere ALARP, vil likevel implementering av tiltaket være med å redusere risiko selv om analysen har vist et vesentlig misforhold. Derfor

bør beslutningstaker ikke se blindt om tiltaket ender over akseptgrensene eller viser et vesentlig misforhold mellom kostnader og nytte.

2) Fra risikoanalyse har vi at lekkasjefrekvensen med tilhørende antennelse er $2,3 \cdot 10^{-4}$ og at tiltaket gir en beregnet reduksjon i forventet antall drepte lik 0,1 per år for en periode på 25 år. Videre antar vi samme diskonteringsrate på 2,5 %. Kost/nytteforholdet blir da:

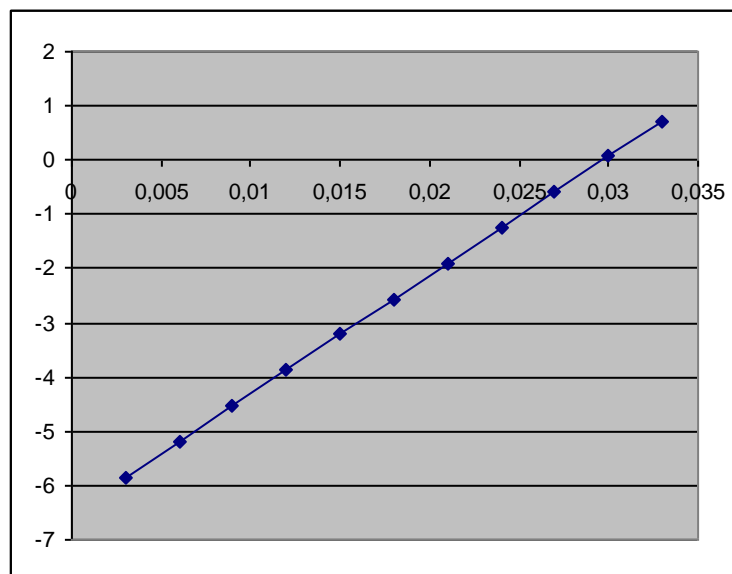
$$KN = \frac{20}{18,4 \cdot 0,1} \approx 10,9$$

og forventet nåverdi lik:

$$E[NV] = 26,1$$

Dette tiltaket vil være mer kostnadseffektivt enn 1) og er derfor lettere å rettferdiggjøre. Ut fra et økonomisk ståsted, bør tiltaket implementeres. I henhold til en kost/nytteanalyse, skal tiltak med $E[NV] > 0$ implementeres [2].

Når det utføres kost/nytteanalyser, er det også kritisk å gjøre sensitivitetsanalyser for å se effekten av variasjon for ulike størrelser [2], se vedlegg IV. Figur 5-1 viser en sensitivitetsanalyse av forventet nåverdi som funksjon av forventet antall drepte fra eksempel 1).



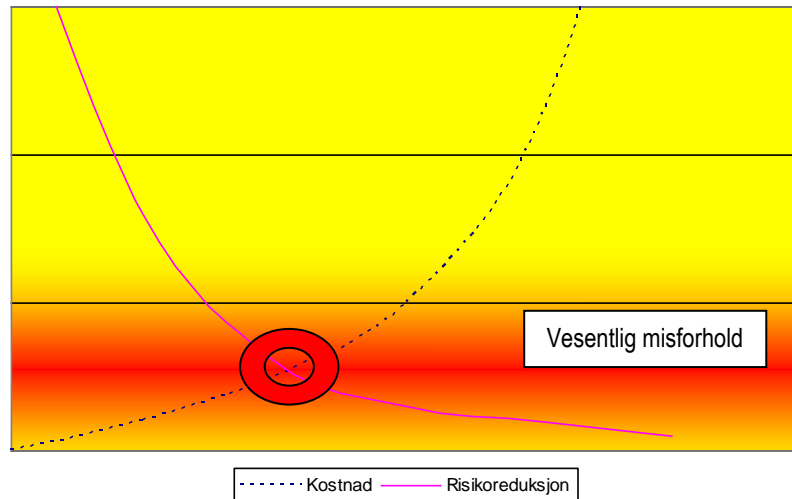
Figur 5-1 - E[NV] som funksjon av forventet antall drepte

Grafen viser at hvis situasjonen med forventet antall drepte var lite konservativ, der det faktiske antallet var 0,03, ville vi oppnå en positiv nåverdi for tiltaket. Med andre ord må den økes med en faktor på 10.

For å skissere problematikken som ble gjennomgått over, refererer vi til figur 5-2. Den viser hvordan en kan bedømme om vi har oppnådd risikoreduksjon *så langt praktisk mulig* uten at kostnadene er i et *vesentlig misforhold*. Merk at denne igjen ikke reflekterer utover et økonomisk ståsted. Skjæringspunktet i grafen er det punktet som optimalt viser grensen

mellom kostnad på valgt risikoreduksjon og den nytten vi oppnår. Grensen er selvsagt mer dynamisk enn vist i figuren, men konseptet er ofte å finne dette skillet.

Merk at det foreligger store problemer med å definere en slik matematisk funksjon for visse risikoreducerende tiltak. Alle beslutninger om risiko er heller ikke så åpenbare at man kun kan sammenligne tiltaket ut fra kostnader, antall sparte liv m.m. Trygghetsopplevelse og politiske aspekt er noen av faktorene som må vurderes.



Figur 5-2 - Kostnadsoptimalt punkt for risikoreduksjon

Innen kostnadsbedømming oppsummerer ALARP – Suite of Guidance [25] andre faktorer som også må vurderes ved implementering av tiltak:

- Løpende kostnader i forhold til sannsynlighet for en hendelse
- Daglige kostnader, som tilsyn og tidsbruk

Oppsummert bør ikke kostnadene overstige et visst nytteforhold for den risikoreduksjon man implementerer. Essensen i § 9 vil være å balansere risikoreduksjon sett i forhold til den tilgjengelige teknologi, tid, vanskelighet og kostnad det vil si for å oppnå dette. Innholdet i paragrafen blir videre forklart i kapittel 5.1.2.

Næringen har dessverre en ufullstendig forståelse av hvordan risikoreduksjon og medfølgende ALARP-prinsippet skal implementeres for å være i overensstemmelse med § 9 i rammeforskriften. Dette beskrives mer omfattende i Vinnem, et. al. [31].

5.1.1 Risikoakseptkriterier

Styringsforskriften § 6 stiller krav til risikoakseptkriterier:

Operatøren skal sette akseptkriterier for storulykkesrisiko og miljørisiko. Akseptkriterier skal settes for

- a) personellet på innretningen som helhet, og for personellgrupper som er spesielt risikoutsatt,
- b) bortfall av hovedsikkerhetsfunksjoner,
- c) forurensning fra innretningen,
- d) skade på tredjepart.

Akseptkriteriene skal nyttes ved vurdering av resultater fra de kvantitative risikoanalysene.

Det er altså et myndighetskrav innen industrien at det skal brukes risikoakseptkriterier. NS 5814 regulerer også krav om bruk av risikoakseptkriterier, så det er inneforstått at alle risikofylte virksomheter, enten det er offshore eller på land, må innføre akseptkriterier. Disse defineres som et kriterium og uttrykkes enten kvalitativt eller kvantitativt, eller som en kombinasjon. Sistnevnte vil ofte være gjeldende der en presenterer resultat i en risikomatrise, jf. kapittel 3.1. Kvantitative risikoanalyser for planlegging av plattformer, anlegg m.m. er godt innarbeidet for system underlagt petroleumslovgivningen. Planlegging av landbaserte anlegg som ikke er underlagt denne lovgivningen, faller inn under brann- og eksplosjonsvernloven [61]. Praksisen her er derimot lite kjent for både industrien og myndighetene.

Norge har begrenset erfaring med risikostyring under krav og reguleringer som implementerer Seveso II direktivet. Til motsetning har vi lang og omfattende erfaring fra offshoresektoren. Prinsippene som gjelder for offshore og onshore petroleumssystem underlagt petroleumsregelverk, er likevel de samme for landbaserte anlegg underlagt Seveso II direktivet.

Risikoanalyser

Formålet med risikoanalyser er å tilrettelegge et underlag for å ta beslutninger med hensyn på valg av løsninger og risikoreduserende tiltak. I henhold til reguleringer, skal operatøren selv definere sikkerhetsmål og risikoakseptkriterier. Målene uttrykker et ideelt sikkerhetsnivå, ved å sørge for at planlegging, opprettholdelse og videre forsterking av sikkerhet for aktivitetene, blir en dynamisk og langsiktig prosess [14].

Risikoakseptkriterier er typisk brukt i forbindelse med risikoanalyser for å gi et grunnlag til risikoevalueringen [2]. Som tidligere nevnt deles risikovurderingen inn i risikoanalyse og risikoevaluering. De beregnende resultatene fra QRA blir sett opp mot predefinerte akseptkriterier, og ifølge vurderingen av resultatene, bestemmes behovet for sikkerhetsmessige tiltak. Aven argumenterer [54] for at *”forhåndsdefinerte risikoakseptkriterier anbefales ikke anvendt fordi bruken av slike kriterier innebærer at spørsmålet om hva som er sikkerhetsmessig akseptabel forsøkes løst uavhengig av helhetlige nyttebetraktninger, begrenser det politiske spillerommet og fører til et betydelig element av vilkårlighet”*. Akseptområdet, angitt som en øvre risikogrense, viser et skille mellom akseptabel og uakseptabel risiko. Er resultatet under gjeldende akseptgrense, betegner vi risikoen som akseptabel, se figur 5-3 og 5-4. I dette tilfellet bør det søkes etter tiltak for videre risikoreduksjon, både tekniske, operasjonelle og organisatoriske tiltak. Om den

beregnete risikoen faller over grensen, så vurderes risikoen som uakseptabel og risikoreduserende tiltak må innføres.

Aven, et al. [1] er prinsipielt skeptisk til bruk av forhåndsdefinerte risikoakseptgrenser. Hva som er tolererbar risiko og akseptabel risiko, kan ikke sees isolert fra andre hensyn, som for eksempel økonomi. Kost/nytte/effektivitetsanalyser er tilsynelatende gode verktøy for å vurdere kostnad opp mot nytte, se vedlegg III.

For å oppfylle kravene for storulykker fra § 6 i styringsforskriften, anbefales det å bruke rev. 3 NORSOK Standard Z-013. Den omhandler definering av risikoakseptkriterier som følger:

- Risikoakseptkriterier skal etableres før arbeidet med risikovurderingen starter. Dette fordi den utgjør en referanse for evalueringen av resultatene fra risikovurderingen.
- Risikoakseptkriterier skal så langt som mulig gjenspeile sikkerhets- og miljømålene, samt:
 - Være passende for evaluering av en aktivitet eller system
 - Være passende for sammenligning med resultatene fra analysen
 - Være passende for beslutninger angående risikoreduserende tiltak
 - Være passende for kommunikasjon
 - Ha en klar formulering, slik at det ikke kreves omfattende tolkning eller tilpasning
 - Ikke favorisere en bestemt konseptløsning, eksplisitt eller implisitt, gjennom hvordan risiko uttrykkes
- De etablerte risikoakseptkriteriene som skal brukes for hver spesifikk risikovurdering, skal dokumenteres.

5.1.1.1 Retningslinjer

HSE UK har vært ledende innen risikoakseptkriterier i en årrekke. Ser vi på forskjellen mellom Storbritannia og Norge med tanke på toleransegrenser og akseptkriterier, så er det en vesentlig forskjell ved prosedyren å bestemme disse. Myndighetene (HSE) fastsetter kriteriene i Storbritannia, mens for Norge viser HMS-reguleringen at hver enkel virksomhet kan formulere sine egne kriterier etter et internkontroll-prinsipp:

"Internkontrollen viser at det er påbudt for virksomheter å ha et styringssystem som er designet slik at alle relevante krav fra myndighetene er overholdt. Virksomhetene er på denne måten pliktig til å overholde krav og reguleringer. Følgelig betyr det at myndighetene ikke har et ansvar for å akseptere eller avslå løsninger vedtatt av virksomhetene."

Prinsippet innebærer at det er innhavers fulle ansvar å sikre at petroleumsaktivitetene oppfyller de betingelsene som er gjeldende i lovgivningen. Tilsynsmyndighetene baseres på å sikre at innehavers styringssystem opererer, behandler og leverer tilstrekkelig informasjon innen sikkerhet og arbeidsmiljø for aktivitetene [14]. Innehaver forplikter derfor at risikoakseptkriteriene velges for at bestemte tiltak opprettholder et så lavt som mulig risikonivå.

I Norge vil dette prinsippet gi en høy andel vilkårlighet når virksomheter bestemmer risikoakseptkriterier. Selv om visse virksomheter har god erfaring og kunnskap for gjeldende arbeidssituasjon, vil hver virksomhet styre sine egne kriterier etter hva som er blitt gjort tidligere. Noen virksomheter vil også styre risiko mot det som kalles ”god praksis”, se ”ALARP – at a glance” [28]. I ekstreme tilfeller kan virksomhetene styre kriteriene etter hva som er passende for dem. Det kan derfor diskuteres om bruk av risikoakseptkriterier vil kunne gi feil fokus. Målet blir å oppnå risikoakseptkriteriet så enkelt som mulig, som neglisjerer det som faktisk er viktig i forhold til risikoen, og hva som skal til for å bedre sikkerheten [2]. Det er nemlig ikke vanlig praksis i Norge at tilsynsorgan evaluerer virksomheten, ved å akseptere eller forkaste disse foreslåtte kriterier. Likevel er det er klare forskjeller for hvordan britiske og norske myndigheter godkjenner løsninger på basis av risikoevalueringer.

Derfor foreligger det stor variasjon innen interne kriterier. At virksomheter får ulike kriterier, er ikke ensartet rettet som negativt, men det kan skape forskjellig fokus. Imidlertid støter vi på et problem med tanke på å etablere et felles risikomål i løsningsforslaget, der forskjellige virksomheter opererer med stor risikodifferanse. Dette kan typisk være gjeldende når vi vurderer en offshoreinnretning i forhold til et landbasert anlegg, jf. kapittel 5.2 for en videre diskusjon.

Det betyr helt enkelt at virksomhetene i Storbritannia får samme sikkerhetskrav å forholde seg til, uansett om det gjelder offshore eller landbaserte anlegg.

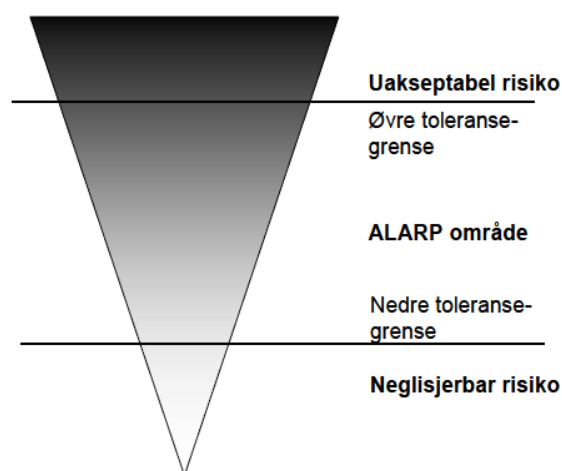
5.1.2 ALARP-prinsippet

Kravet eller prinsippet om risikoreduksjon blir ofte i petroleumsnæringen referert til som en SFAIRP eller ALARP-prosess. Begrepene ”*as low as reasonably practicable*” og ”*so far as is reasonably practicable*” dateres allerede tilbake så tidlig som på 1970-tallet og er basert på den britiske arbeidsmiljølov [24]. En norsk oversettelse vil være å beskrive begrepene som så lavt som mulig, herunder både som rimelig og praktisk gjennomførbart. Det involverer veiing av en risiko opp mot den vanskelighet, tid og kostnad som kreves for å kontrollere denne.

Rammeforskriftens § 9 nevner indirekte innføring av ALARP-begrepet ved å si at risikonivået skal reduseres ytterligere så langt det er mulig. En studie gjort av Vinnem, et al., [31] viser at tankegangen derfor kan relateres opp mot alle prosesser for å redusere risikoen for helse, miljø og sikkerhet så langt det er praktisk mulig. Foruten kravet i rammeforskriften, eksisterer det ikke en spesifikk (formell) industristandard for hvordan denne prosessen fremgår. Det foreligger heller ingen norsk veiledning for hvordan virksomheter kan utarbeide og dokumentere en slik prosess. Det presiseres derfor at det finnes flere måter å gjennomføre en såkalt ALARP-prosess. Det er opp til hvert enkelt selskap å tolke forskriften og innføre en metode for gjennomføring av disse prosessene. Generelt er det basert på at risikoreduksjon brukes i sammenheng med relevant god praksis som grunnlag [29].

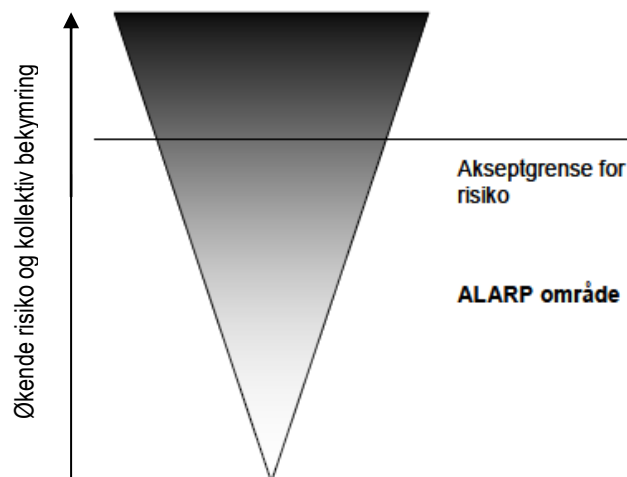
Figur 5-3 viser grafisk hvordan ALARP-prinsippet er delt inn i tre risikoområder; uakseptabelt, ALARP og akseptabelt område. Denne fremstillingen av ALARP har sin basis fra britisk regelverk, se [26-28] for oppsummering av hvordan tankegangen fra britiske myndigheter praktiseres [30].

Resultat som ender over øvre toleransegrense innebærer at risikoen ikke kan rettferdiggjøres, og risikoreduserende tiltak (uansett kostnad) skal implementeres for å nedjustere risikonivået. Området er ikke lengre *praktisk mulig*, men snarere bare *mulig*. Gjennomførbarheten av risikoreduserende tiltak avhenger av en fagmessig mulighet som betraktes uten hensyn til kostnad av implementering, mens derimot *praktisk mulig* betrakter kostnader i relasjon til risikoreduksjonen. Resultat som kommer innenfor ALARP-området, bør reduseres etter en ALARP-prosess som baseres på bruk av kost/nytte- og kost/effektivitetsanalyser. Her inkluderes et videre søk for mulige risikoreduserende tiltak, med påfølgende vurdering av disse for å avgjøre hvilke som skal implementeres. Nivået sees likevel på som akseptert, men identifiserte tiltak skal implementeres som en basis, med mindre det kan dokumenteres at det er et urimelig misforhold mellom kostnader og nytteverdi. Figuren viser også en nedre toleransegrense, der nivået kan sees på med særdeles liten til neglisjerbar risiko. Dette risikonivået er allment betraktet som akseptabelt.



Figur 5-3 - Illustrasjon av ALARP-prinsippet

Denne tankegangen opererer med en ”omvendt bevisbyrde”. Det innebærer at identifiserte risikoreduserende tiltak skal implementeres, med mindre det kan dokumenteres at det er et urimelig misforhold mellom kostnader/ulemper og nytte [14]. Det målorienterte regimet som krever å påvise at risiko er ALARP, er strukturert slik at bevisbyrden plasseres hos innehaver for å identifisere alle praktiske tiltak for risikoreduksjon i relasjon til overskuelige farer. Det viser seg likevel at det innenfor petroleumsnæringen foreligger en særdeles ulik tolkning av kravet. Misforståelsene og rundt dette vil ikke utdypes nærmere, jf. Vinnem, et al., [31] for mer informasjon.



Figur 5-4 - ALARP-prinsippet typisk illustrert etter norsk regelverk

Tar vi basis i det norske regelverket, kan vi forklare forskjellen etter figur 5-4. Her opererer man bare med én grense - en akseptgrense, som relateres til øvre toleransegrense i figur 5-3. Det betyr at utfall som faller under dette akseptkriteriet, betegnes innenfor ALARP-området. Kort sagt må resultat som faller over denne grensen implementere risikoredukerende tiltak uansett kostnad. Som vi ser er en av forskjellene fra britisk og norsk tankegang, en vurdering av et neglisjerbart risikoområde.

For å forsikre at risikoen har blitt redusert ALARP, må man vekte risikoen opp mot hva som ofres for videre å redusere den. Hvordan vi bestemmer om en risiko er ALARP eller ikke, kan ofte være særdeles krevende. Det krever at ledelsen må betrakte, bedømme og evaluere risikonivået, jf. figur 2-11. Generelt gjøres dette etter typisk det som kalles ”god praksis” [29]. Viktigheten med dette er å få full konsensus blant alle interessenter hva som er så lavt som praktisk mulig. Der vi opererer med høy risiko, komplekse eller ualminnelige situasjoner, bruker vi ”god praksis” med mer formelle beslutningsteknikker som inkluderer for eksempel kost/nytteanalyser for å fremme evalueringen.

Begrensninger

Hvis QRA anvender en relativ frekvensbasert tolkning av sannsynlighet, så kan den kun betraktes som *passende og tilstrekkelig* hvis den adresserer problemet rundt validering og usikkerhet på en akseptabel måte. Dette relativt strenge kravet kan presentere vanskeligheter for en tradisjonell risikoanalyse [63].

Hvis QRA anvender en subjektiv tolkning av sannsynlighet, så kan validering være et mindre problem, der estimering av usikkerhet ikke lengre er nødvendig. Imidlertid kan risikoanalyser kun sees på som *passende og tilstrekkelig* hvis den subjektive tilnærmingen reflekterer forsvarlige vurderinger som er basert på sterke prinsipper av teknisk sikkerhet, der arbeidsoppgaver og ansvarligheter tydelig spesifiseres.

I kvantitative risikoanalyser spiller altså tilnærmingen til risiko og usikkerhet en rolle for å påvise at risiko for ulykker er ALARP. Den er avhengig av om en QRA betrakter en:

- Relativ frekvensbasert tolkning av sannsynlighet, der sannsynlighet er gitt en objektiv egenskap
- Subjektiv tolkning, der sannsynlighet er en grad av tro

Den klassiske tolkningen fremstiller et signifikant problem av validering og usikkerhetsestimering som kan være umulig å overkomme når sjeldne hendelser med store konsekvenser betraktes.

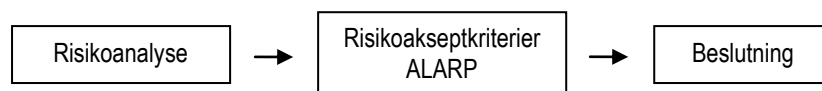
5.2 Forslag til løsning

Her legges det frem et forslag for hvordan resultat fra risikoanalysen kan brukes som beslutningsstøtte under betingelsene ved valgt tilnærming.

Forslaget tar til rette:

- Bruk av prediktiv Bayesiansk tilnærming til risiko og usikkerhet
- Bruk av ALARP-prinsippet, med enten:
 - Akseptkriterier
 - Sammenlignende akseptkriterier
 - Ledelsesvurdering som fremhever risikokarakterisering og -evaluering

Basisen til forslaget stammer fra den tradisjonelle tankegangen å støtte beslutninger. Det tradisjonelle perspektivet for beslutninger under usikkerhet, er å ha en risikoanalyse med en klassisk tilnærming til risiko og usikkerhet, der resultatet fra analysen (forventningsverdi) sees opp mot predefinerte risikoakseptkriterier for å gi et underlag for en videre beslutning, se figur 5-5. Med en slik mekanisk måte å ta beslutninger, vil det ofte være tilfeller der en får feil fokus. For enkelthets skyld, la oss anta denne forventningsverdien som FAR lik 6,5. Med et risikomål gitt som $FAR < 10$, er risikonivået innenfor akseptabelt nivå, og vi kan ta beslutninger på basis av dette ved eventuelt å implementere risikoreduserende tiltak. Fra Vinnem, et al., [31] ser vi at det likevel er tilfeller hvor virksomheter ikke fokuserer på ytterligere risikoreduksjon hvis nivået er innenfor akseptabelt nivå, selv om rammeforskriften spesifikt krever det. Forslaget som presenteres her, vil reflektere mer rundt ledelsesgjennomgang og -vurdering, og dermed forhåpentligvis øke fokuset med å redusere risiko ALARP.

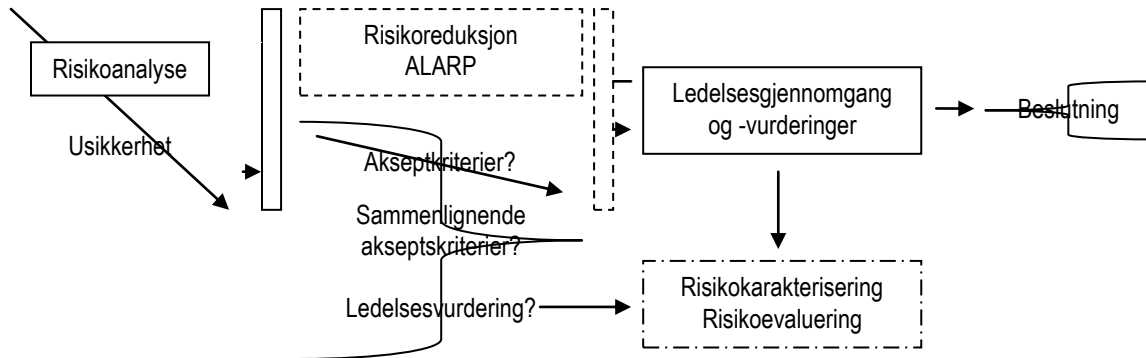


Figur 5-5 - Tradisjonelt perspektiv

Alternativt, som presiseres gjennom oppgaven, bør risikoanalysen først og fremst ha et annet syn på hvordan uttrykke og presentere usikkerhet. Ved bruk av en prediktiv Bayesiansk tilnærming, vil usikkerheten lettere kunne synliggjøres. Her holdes nemlig selve usikkerheten U som en hovedkomponent av risiko, og vi har da kun usikkerhet til de observerbare størrelsene. Ved en prediktiv Bayesiansk tilnærming, vil det ikke være like intuitivt å bruke risikoakseptkriterier, jf. kapittel 6. Her er det da bedre å bruke enten:

- utvidet ledelsesvurdering som fremmer risikokarakterisering og risikoevaluering, se Aven og Vinnem [14]
- sammenlignende akseptkriterier, som beskrives mer i vedlegg VIII.

Dette er således bare et forslag og er nevnt for å vise behovet av å erstatte risikoakseptkriterier med enten; en utvidet ledelsesvurdering som fremmer risikokarakterisering og risikoevaluering eller bruk av sammenligningskriterier. Det er også et ønske å fremme bruk av ALARP.



Figur 5-6 - Anbefalt perspektiv

6 DISKUSJON OG KONKLUSJON

Oppgaven har i hovedsak sammenlignet en klassisk tilnærming til risiko og usikkerhet opp mot en prediktiv Bayesiansk tilnærming for å evaluere hvordan resultat fra risikoanalysen presenteres. Vi fokuserer på hvordan usikkerhet presenteres.

- 1) Følgende er en oppsummering fra vedlegg V med fordeler og bakdeler fra de to tilnærmingene:

Klassisk tilnærming

Bakdeler

- Usikkerheten kan kun kvantifiseres for statistisk variasjon, dvs. at det er ikke er mulig å kvantifisere de andre elementene.
- Hvis presentasjon av statistisk variasjon er det eneste bidraget til usikkerhet, så gir det et ufullstendig og villedende bilde av den totale usikkerhet.
- Tilnærmingen kan heller ikke ta i betraktning ekspertvurderinger. Siden risikoanalyser brukes for områder med sjeldne hendelser, er det krav om ekspertvurderinger.
- Kan gi unødvendig brede konfidensintervall siden den ikke inkorporerer ny kunnskap. Dette er typisk ved eksempelet i kapittel 4.3.2. Hadde prediksjonen vært for frekvens, ville konfidensintervallet hatt en mye prosentvis større spredning.

Fordeler

- Fordelen i tilnærmingen ligger først og fremst i at dens vitenskapelige basis er kjent.
- Den kan også systematisk behandle statistisk variasjon.

Bayesianske, og en prediktiv Bayesiansk tilnærming

Bakdeler

- Tilnærmingen kan bare kvantifisere noen av de nevnte usikkerhetselementene over.
- En Bayesiansk analyse er tidkrevende og vanskelig.
- Vurdering av subjektive sannsynligheter krever omfattende og betydelig ekspertise.
- Kan være vanskelig å vie ønskelig kompetanse og ekspertise for hver individuelle vurdering, i og med det vil være hundrevis av vurderinger i en større risikoanalyse.
- Vurderinger kan inneholde et antall skjevheter, som til eksempel overdreven tillit.

Fordeler

- Tilnærmingen betraktes som god siden den tillater systematisk integrering av ekspertvurderinger og erfaringsdata.
- Relativt enkelt å modifisere usikkerhetsfordelingene når ny data er tilgjengelig.

Videre vil den prediktiv Bayesianske tilnærmingen gi to fordeler:

- Tilnærmingen vil direkte gi sannsynlighetene til de usikre hendelsene som er relevante i den spesifikke situasjonen ved beslutningstaking
 - Sannsynlighetene inkorporerer all usikkerhet, derfor er det ikke nødvendig å diskutere ”usikkerhet i estimatene”, gitt at modellen som brukes sees på som gyldig
- 2) Utgangspunktet er fra Heide og Aven [21] som har gjort en studie av risikoanalyser og i den grad de møter de vitenskapelige kvalitetskravene for pålitelighet og validitet. Resultatet er gjengitt i Tabell 11 og 12.

Tabell 11 - Kriteriegrunnlag til pålitelighets- og validitetsanalyse

Pålitelighet	
R	den grad risikoanalysen ender med de samme resultatene når analysen repeteres
R1	den grad metodene i risikoanalysen gir de samme resultatene hvis metoden ble repetert
R2	den grad risikoanalysen produserer identiske resultat hvis en annen analysegruppe utfører analysen med samme data og lik metode
R3	den grad risikoanalysen produserer identiske resultat hvis en annen analysegruppe utfører analysen med samme omfang og mål, men innen restriksjoner ved data og metode
Validitet	
V	den grad risikoanalysen beskriver det spesifikke konseptet som prøves å beskrives
V1	den grad de produserte risikotallene er nøyaktige sammenlignet med den underliggende sanne risiko
V2	den grad de valgte subjektive sannsynlighetene adekvat beskriver analytikerens usikkerhet om de ukjente størrelsene som betraktes
V3	den grad analysen adresserer de riktige størrelsene

Tabell 12 - Oppsummering av pålitelighets- og validitetsanalyse

Tilnærming	Kriterium									
	R	R1	R2	R3	V	V1	V2	V3	V4	
Tradisjonell statistisk analyse, stor andel relevant data tilgjengelig	J	J	J	J	J/N	J			J/N	
Tradisjonell statistisk analyse for andre tilfeller	N	N	N	N	J/N	N			J/N	
Klassisk og Bayesianske tilnærminger ved estimering av ikke-observerbare parametre	J/N	J/N	J/N	N	J/N	N	J/N	J/N	J/N	
Prediktiv Bayesiansk tilnærming	J/N	J/N	J/N	N	J/N		J/N	J/N	J	

J indikerer at det møter kriteriet, N at det ikke møtes, og J/N at det møtes under visse betingelser. Tomme områder er der kriteriet ikke er relevant.

De uthevede feltene viser at det er flere forskjeller mellom den klassiske tilnærmingen og den prediktiv Bayesianske i denne sammenhengen. For en tradisjonell risikoanalyse vil det være en del vansker med å oppfylle kvalitetskravene. Dette kommer av at det er lite tilgjengelig data, brede konfidensintervall og utfordringer i forhold til relevans av data og modellusikkerhet.

I en risikoanalyse er vi interessert i usikkerhet relatert til utfallet av å utføre en form for aktivitet, som betraktes viktig i en beslutningsprosess. Eksempel på utfall som betraktes er observerbare størrelser som antall dødsfall, kostnader m.m. Denne kan uttrykkes som et prediksjonsintervall. Slike intervaller er enkle å lage i praksis og inneholder ingen metodiske utfordringer. Samtidig gir den mye mer informasjon enn dagens punkt estimat.

Risikoanalysen kan forbedre beslutninger ved å kvantifisere risikonivået assosiert med beslutningsalternativene, identifisering av risikobidragstypene og de mest effektive tiltakene for å redusere den.

Det er fundamentale forskjeller mellom usikkerhet som involverer vurdering fra en analytiker eller analysegruppe, og usikkerhet som er en egenskap av verden, uavhengig av analytikeren. Hvis grunnlaget er en prediktiv Bayesiansk tilnærming, vil risiko oppstå fra analytikerens begrensede viten om systemet og kvantifiseres ved å uttrykke usikkerhet relatert til de observerbare størrelsene som sannsynligheter. Tilnærmingen beskriver usikkerhet på en informativ og pedagogisk måte, som gjør den enklere å håndtere enn der en har flere nivå med usikkerhet.

Relativ frekvensbasert, tradisjonell statistisk og frekventist-tilnærming er i litteraturen ofte samlet beskrevet som klassisk. De inneholder likevel faglige forskjeller, derfor kan det være uheldig å bruke det samme begrepet for alle tilnærmingene. Dette gjelder for så vidt de Bayesianske tilnærmingene også. Det foreligger særdeles forvirring rundt forklaringene av både klassiske og Bayesianske tilnærminger, derfor vil det ikke legges skjul på at det i oppgaven kan være tilfeller der begrepet er beskrevet i feil kontekst.

- I praksis er ikke den relativ frekvensbaserte (klassiske) tilnærmingen særlig passende i QRA. Slike analyser krever tilstrekkelig harde fakta/data for å være i overensstemmelse med det som faktisk beregnes. Selve kvantifiseringen av usikkerhet er også problematisk i denne tilnærmingen [15].
- Den Bayesianske tilnærmingen derimot, utgjør en konsekvent tolkning for å nyttegjøre vag statistisk informasjon der det er manglende erfaringsdata. Metoden vil så kombinere datamaterialet og eventuelle ekspertvurderingene.

Sannsynlighet defineres som et mål på usikkerhet relatert til prediksjoner av observerbare størrelser. Her er usikkerheten kun epistemisk, dvs. resultat av mangel på kunnskap. Ekspertvurderinger og historiske data brukes for å kvantifisere usikkerhet relatert til prediksjonene.

Det er også blitt diskutert i litteraturen om det kan være en fordel å unngå bruken av Bayesiansk. Dette stammer fra problematikken rundt sannsynlighetsmodeller og oppdateringsprosedyre. Ved å bruke prediktiv Bayesiansk, vil tilnærmingen automatisk bli assosiert med bruk av statistiske sannsynlighetsmodeller og Bayesiansk oppdateringsprosedyre via Bayes' teorem. Derfor kan det være aktuelt å bruke prediktiv epistemisk når perspektivet nevnes i litteraturen.

Utfordringer

- Hensikten med risikoanalyser er å forbygge ulykker og å fremskaffe underlag for beslutninger. I det ulykkesforebyggende arbeidet, bør risikoanalysen være mer dynamisk. Med det mener vi at når feil eller nestenulykker inntreffer, så bør denne nye informasjonen introduseres i risikoanalysen. Er det tilfellet at slike feil eller nestenulykker ikke dekkes av analysen, bør den oppdateres [50]. Dette er hovedpoenget med en Bayesiansk tenkemåte: *ved en beregning vil alle element med relevant bevismateriale listes opp, for så å bli behandlet en etter en, gjennom Bayes' teoremet*. Den klassiske tilnærmingen vil ikke fange opp slik ny informasjon.
- Risiko kan presenteres i en risikomatrix, der alvorligheten av en hendelse beregnes som et betinget risikotall [50]. Den betingede risikoen kan så tilpasses en heltallsskala

(for eksempel 1-5 slik vist i Tabell 7) for å forenkle sammenligning og risikokommunikasjon.

6.1 Videre arbeid

Forslaget i kapittel 5.2 bør prøves ut i næringen blant noen spesifikke virksomheter, og bygge videre på tilbakemelding. Det vil ta tid før et felles rammeverk kan iverksettes, ikke minst på grunn av at det per i dag ikke finnes konsensus for hvordan en ALARP-prosess skal utføres. Analytikere vil også trenge strukturering og veiledning om de skal kunne bruke tilnærmingen. I analysesammenheng er det heller ikke innarbeidet et behov om å vurdere andre tilnærminger til risiko og usikkerhet. Her vil den klassiske tilnærmingen være rådende i lang tid fremover. ConocoPhillips er en av få bedrifter som stiller seg kritisk til dagens tilnærming. De har innført interne krav om at risikoanalyser bør ha en prediktiv Bayesiansk tilnærming til risiko og usikkerhet. Dette mener de vil øke koordineringen og kommuniseringen gjennom analysen og at usikkerhet blir presentert på en mer helhetlig måte.

Selv om det imidlertid er mange år før en slik tilnærming eventuelt er godt innarbeidet, bør det i første omgang fokusere på visse områder innen risikoanalysen som har et forbedringspotensial ved å bruke dette perspektivet.

Eksempelet i 4.3.2 bør modelleres med tanke på en mer reell situasjon. Lekkasjefrekvens med tilhørende eksplosjon ville for eksempel vært mer realistisk å bruke i denne sammenheng. Spredningen i intervallene vil da også bli mer beskrivende.

Resultat gitt som sannsynlighetsfordeling bør prøves ut i praksis.

7 REFERANSER

- [1] Aven, T., Røed, W., Wiencke, H. S., (2008). *Risikoanalyse*. Oslo, Universitetsforlaget
- [2] Aven, T., (2007). *Risikostyring*. Oslo, Universitetsforlaget
- [3] Vinnem, J. E., (2007). *Offshore Risk Assessment*. 2nd Edition. London, Springer Verlag
- [4] NS 5814:2008. *Krav til risikovurderinger*, ICS 03: 120.01
- [5] Rev. 2, september 2001. NORSOK Standard Z-013 *Risiko- og beredskapsanalyse*
- [6] Rev. 3, november 2009. NORSOK Standard Z-013 *Risk and emergency preparedness assessment*. [Ikke offisiell per januar 2010]
- [7] NOU 2000: 24 *Et sårbart samfunn*, oppnevnt ved kgl. Res 3. september 1999
- [8] Rausand, M., Utne, I. B., (2009). *Risikoanalyse – teori og metoder*. Trondheim, Tapir Akademisk Forlag
- [9] ISO/IEC Guide 73:2002, *Risk management – Vocabulary – Guidelines for use in standards*.
- [10] Aven, T., (2008a). *A semi-quantitative approach to risk analysis as an alternative to QRAs*. Reliability Engineering and System Safety, 93, 790-797
- [11] Aven, T., (2008b). *Risk Analysis – Assessing Uncertainties beyond Expected Values and Probabilities*. New York, Wiley
- [12] Aven, T., (2003). *Foundations of risk analysis – a knowledge and decision-oriented perspective*. Chichester, Wiley
- [13] Renn, O., (1992). Concepts of risk. I Krimsky. S. and Golding. D. (1992). *Social Theories of Risk*. USA, Praeger Publisher
- [14] Aven, T., Vinnem, J. E., (2005). *On the use of risk acceptance criteria in the offshore oil and gas industry*. Reliability Engineering and System Safety, 90, 15-24
- [15] Aven, T., Pörn, K., (1998). *Expressing and interpreting the results of quantitative risk analyses*. Review and discussion. Reliability Engineering and System Safety, 61, 3-10
- [16] Flage, R., Aven, T., (2008). *Expressing and communicating uncertainty in relation to quantitative risk analysis (QRA)*
- [17] Hokstad, P., Jersin, E., Rosness, R., Steiro, T., Tinmannsvik, R. K., (2002). *"Risiko på tvers" (RPT): Gjennomgående og helhetlig strategi for risikovurdering på HMS-området*. SINTEF-rapport
- [18] *QRA i ConocoPhillips Skandinavia* (2009). Retningslinjer og krav, Dokumentnr: 6348N / 02
- [19] Aven, T., (2005). *Pålitelighets- og risikoanalyse*. 3. utgave. Oslo, Universitetsforlaget
- [20] Aven, T., Boyesen, M., Heinzerling, G., Njå, O., (2003). *Risikoakseptkriterier og akseptabel risiko i transportsektoren. En kunnskapsoversikt*. Stavanger, Rogalandforskning
- [21] Heide, B., Aven, T., (2009). *Reliability and validity of risk analysis*
- [22] Stewart, M., Melchers, R., (1997). *Probabilistic Risk Assessment of Engineering Systems*. London, Chapman & Hall, 3-5
- [23] Kaplan, S., (1997). *The Words of Risk Analysis*, Risk Analysis, vol. 17, issue 4, 407-417
- [24] Health and Safety at Work Act, 1974

- [25] UK HSE: *ALARP – Suite of Guidance* [online]
[25-30] Tilgjengelig fra: <http://www.hse.gov.uk/risk/theory/alarp.htm>
[Nedlastet 3/1-2010]
- [26] *Assessing compliance with the law in individual cases and the use of good practice*, Rev. May 2003
- [27] *Policy and guidance on reducing risks as low as reasonably practicable in Design*
- [28] *ALARP “at a glance”*
- [29] *HSE principles for Cost Benefit Analysis (CBA) in support of ALARP decisions*
- [30] *Reducing Risks, Protecting People – HSE’s Decision-Making Process*, ISBN 0 7176 2151 0, 2001
- [31] Vinnem, J. E., Haugen, S., Vollen, F., & Grefstad, J. E., (2006). *ALARP-prosesser, utredning for Ptil – Gjennomgang og drøfting av erfaringer og utfordringer*. Rev. 2. Stavanger: Preventor
- [32] Saltelli, A., Chan, K., Scott, E. M., (2000). *Sensitivity Analysis*. Chichester, Wiley
- [33] Stortingsmelding nr. 7 (2001-2002). *Om helse, miljø og sikkerhet i petroleumsvirksomheten*
- [34] Forskrift om helse, miljø og sikkerhet i petroleumsvirksomheten (rammeforskriften), fastsatt ved kgl. Res 31. august 2001, sist endret ved forskrift 1. juli 2009
- [35] Hokstad, P., Jersin, E., Klingenberg Hansen, G., Sneltvedt, J., Sten, T., (1999). *Helicopter Safety Study 2*. Trondheim, SINTEF rapport nr. STF38 A99423.
- [36] Petroleumstilsynet. *Risiko og risikoforståelse* [online]
Tilgjengelig fra: <http://www.ptil.no/risiko/risiko-og-risikoforstaelse-article4340-12.html>
[Nedlastet 8/11-09] 2008
- [37] Safetec Nordic, *QRA Hovedrapport – Eldfisk 2/7 A og 2/7 FTP*, sist revidert april 2009
- [38] QRA Eldfisk 2/7A, *Vedlegg G Helikopterulykker*, dok. nr. ST-20895-2
- [39] International Association of Oil and Gas Producers (OGP): *Safety Performance of Helicopter Operations in the Oil and Gas Industry*, rapport no. 6.83/300, 333, 341, 354, 366, 371, 2005 data gitt av Bob Williams (OGP)
- [40] International Association of Oil and Gas Producers (OGP): *OGP World-wide Oil Industry Helicopter Operations and Safety Review – 2000*, 2001.09.19
- [41] Civil Aviation Authority (CAA UK): *Statistics on Reportable Accidents for the period 1985-1994*, Safety Regulation Group, 1996.06.21
- [42] Statens Havarikommisjon for Transport. *Ulykkesgranskningsrapporter* [online]
Tilgjengelig fra: <http://www.aibn.no>
[Nedlastet 18/01-10]
- [43] Air Accident Investigation branch. *Formal reports (1995-2006)* [online]
Tilgjengelig fra: <http://www.aaib.gov.uk>
[Nedlastet 18/01-10]
- [44] DNV Technica. *Update of the UKCS Risk Overview*. OTH 94 458, 1995
- [45] Boyesen, M., (2003). *Risikopersepsjon – en innføring i fagfeltet*. ISBN: 82-7985-007-4
- [46] Rausand, M., (2001). *Risikoanalyse – veiledning til NS 5814*. Trondheim, Tapir Akademisk Forlag

- [47] UKOOA, (1999). *A framework for risk related decision support – Industry guidelines*. UK Offshore Operators Association
- [48] Forskrift om styring i petroleumsvirksomheten (styringsforskriften), 1. januar 2002, sist endret 1. oktober 2009
- [49] ISO 17776:2000. *Guidelines on tools and techniques for hazard identification and risk assessment*
- [50] Rausand, M., Øien, K., (2004). *Risikoanalyse. Tilbakeblikk og utfordringer – Fra flis i fingeren til ragnarok*. Tapir Akademisk Forlag, 85-110
- [51] Aven, T., (2008). *Risikostyring i et samfunnssikkerhetsperspektiv* [online]
Tilgjengelig fra: <http://www.sikkerhetsdagene.no/Tidligere%20konferanser/2008/pdf/aven.pdf>
[Nedlastet 5/10-09]
- [52] Njå, O., (2008). *Forholdet mellom taktisk og faktisk sikkerhet* [online]
Tilgjengelig fra: http://www.hrf.no/dokumenter/hrf_08_03pres_ove.ppt
[Nedlastet 18/09-09]
- [53] Aursnes, I., Natvig, B., Tvette, I. F., (2002). *Bayesiansk tenkemåte på vei inn i medisinsk statistikk?* [online]
Tilgjengelig fra: http://www.tidsskriftet.no/index.php?seks_id=549402
[Nedlastet 05/01-10]
- [54] Vatn, J., (2005). *Forslag til metodikk for å "utrede samfunnssikkerheten for 3. part i området – herunder opplevd risiko"*. SINTEF rapport nr. 504009.01
- [55] Wiencke, H., Aven, T., Hagen, J., (2006). *A framework for selection of methodology for risk and vulnerability assessments of infrastructures depending on ICT*. ESREL, 2297-2304
- [57] Aven, T., Vinnem, J. E., (2007). *Risk management, with applications from the offshore petroleum industry*. New York, Springer Verlag
- [58] Aven, T., (2010). *Some reflections on uncertainty analysis and management*. Reliability Engineering and System Safety, 95, 195-201
- [59] *Risikonivå i norsk petroleumsvirksomhet*. Sammendragsrapport, Utviklingstrekk 2008, Norsk sokkel [online]
Tilgjengelig fra: <http://www.ptil.no/getfile.php/PDF/RNNP%202008/RNNP%202008%20-%20sammendragsrapport%20sokkel.pdf>
[Nedlastet 15/10-09]
- [60] SINTEF. *Accident costs in the industry (In Norwegian)*. STF75 A92032; 1992
- [61] Lov om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brannvesenets redningsoppgaver (brann- og eksplosjonsvernloven), juni 2002, sist endret 28. desember 2009
- [62] Aven, T., (2003). *Samfunnssikkerhet* [online]
Tilgjengelig fra: <http://risikoforsk.no/Publikasjoner/Samfunnssikkerhet-artikkel03.pdf>
[Nedlastet 15/10-09]
- [63] Nilsen, T., Aven, T., (2003). *Models and model uncertainty in the context of risk analysis*. Reliability Engineering and System Safety, 79, 309-317
- [64] Apeland, S., Aven, T., Nilsen, T., (2002). *Quantifying uncertainty under a predictive, epistemic approach to risk analysis*. Reliability Engineering and System Safety, 75, 93-102
- [65] Boyesen, M., (2003). *Risikopersepsjon – en innføring i fagfeltet*. ISBN: 82-7985-007-4
- [66] Austeng, K., Midtbø, J. T., Jordanger, I., Magnussen, O. M., Torp, O., (2005) *Usikkerhetsanalyse – Kontekst og grunnlag*. Concept rapport Nr. 10, ISBN 978-82-92506-27-1

- [67] Schofield, S., (1998). *Offshore QRA and the ALARP principle*. Reliability Engineering and System Safety, 61, 31-37
- [68] Vinnem, J. E., (1998). *Evaluation of methodology for QRA in offshore operations*. Reliability Engineering and System Safety, 61, 39-52
- [69] ISO 31000:2009. *Risk management - Principles and guidelines*

Figurer

- Figur 2-12 Willy Røed. *Risikovurdering som beslutningsunderlag* [online]
Tilgjengelig fra: <http://www.uop-sikkerhet.no/foredrag/WillyRoed.pdf>
- Figur 3-1 Safetec Nordic, *QRA Hovedrapport – Eldfisk 2/7 A og 2/7 FTP*, sist revidert april 2009
- Figur 5-3 Vinnem, J. E., Haugen, S., Vollen, F., & Grefstad, J. E., (2006). *ALARP-prosesser, utredning for Ptil - Gjennomgang og drøfting av erfaringer og utfordringer*. Rev. 2. Stavanger: Preventor
- Figur 5-4 Vinnem, J. E., Haugen, S., Vollen, F., & Grefstad, J. E., (2006). *ALARP-prosesser, utredning for Ptil - Gjennomgang og drøfting av erfaringer og utfordringer*. Rev. 2. Stavanger: Preventor
- Figur 9-2 Safetec Nordic, *QRA Hovedrapport – Eldfisk 2/7 A og 2/7 FTP*, sist revidert april 2009
- Figur 9-3 NS 5814:2008. *Krav til risikovurderinger*, ICS 03: 120.01

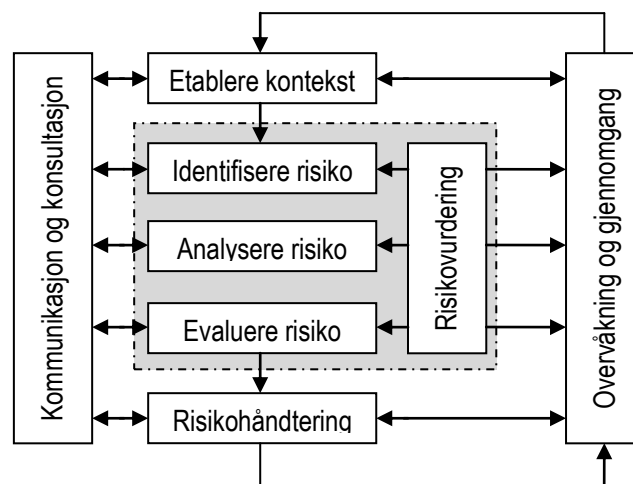
8 VEDLEGG

8.1 VEDLEGG I

MODELLER FOR RISIKOVURDERING- OG STYRING

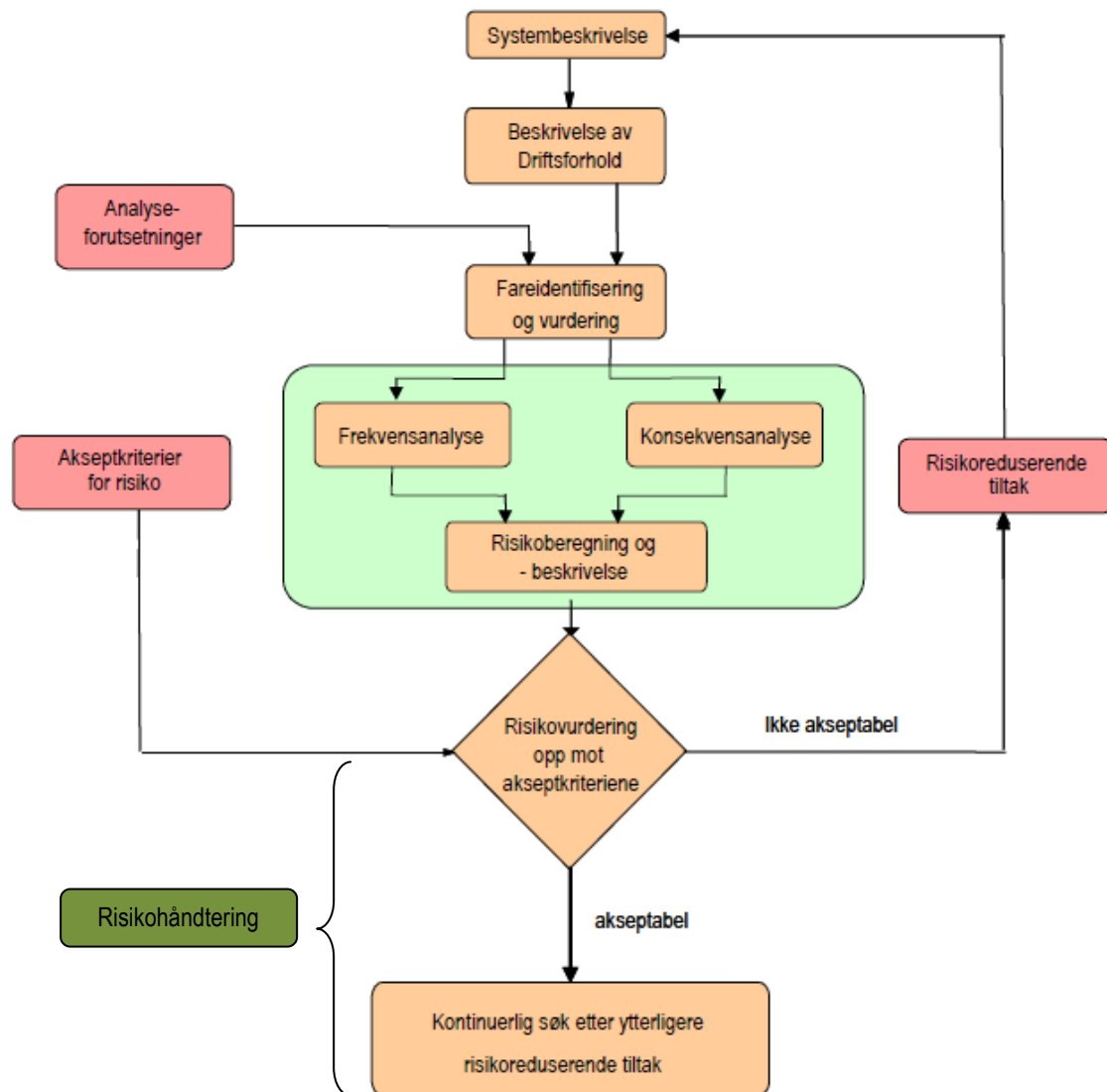
Risikostyringsprosess

ISO 31000:2009 [69] er vurdert å dekke alle prosessene og krav til systematikk, transparens, etterprøvnbarhet og medvirkning av interessenter.



Figur 8-1 - Risikostyringsprosess fra ISO 31000:2009

Modell for risikoanalyse



Figur 8-2 - Generell modell for risikoanalyse

Denne modellen [37] dekker:

- systembeskrivelse
- beskrivelse av driftsforhold
- fareidentifikasjon og risikoberegning

Risikoanalysen kan sees på som en kontinuerlig prosess, der tiltak for risikoreduksjon vurderes fortløpende. Analysen oppdateres ved behov for å dokumentere beregnet risiko under bestemt drifts- og designforutsetninger og danner dermed utgangspunkt for å vurdere effekten av risikoreducerende tiltak.

Systembeskrivelse

En viktig del av beskrivelsen vil være å avgrense hva som skal analyseres. Dette omfatter typisk også en nedbryting av analyseobjektet på en hensiktsmessig måte.

Analyseforutsetninger

Tekniske og operasjonelle forutsetninger legges til grunn for analysen, og analysens resultater er gyldige kun når forutsetningene er oppfylt. En endring av en eller flere forutsetninger kan dermed føre til at analyseresultatene påvirkes.

Fareidentifisering og -vurdering

Dette er typisk en kreativ prosess hvor målet er å identifisere "alt som kan gå galt" og som kan få uønskede konsekvenser. De farene som blir vurdert å ha et risikopotensial, blir videre vurdert i den kvantitative delen av risikoanalysen.

Sannsynlighetsvurdering

I denne delen av analysen ser man på sannsynlighet for at uønskede hendelser skal inntreffe når systemet opererer under de betingelsene som er satt gjennom premisser og antagelser for analysen.

Konsekvensanalyse

Konsekvensanalysen ser på det andre elementet som inngår i risikobegrepet og hensikten er å gjøre en vurdering av hvilke tap man kan forvente å få dersom den uønskede hendelsen inntreffer. Konsekvensene kan omfatte flere forhold (mennesker, miljø, materielle tap, m.m.).

Risikoberegning og risikobeskrivelse

Her oppsummerer man resultatene fra henholdsvis frekvensanalysen og konsekvensanalysen og etablerer en beskrivelse av risikobildet.

Risikovurdering opp mot akseptkriterier

Når risikobildet er etablert kan man sammenligne dette mot de etablerte akseptkriteriene og vurdere om det er nødvendig å sette i verk tiltak for å redusere risiko. Operatøren vurderer selv hvorvidt beregnet risiko er akseptabel eller ikke.

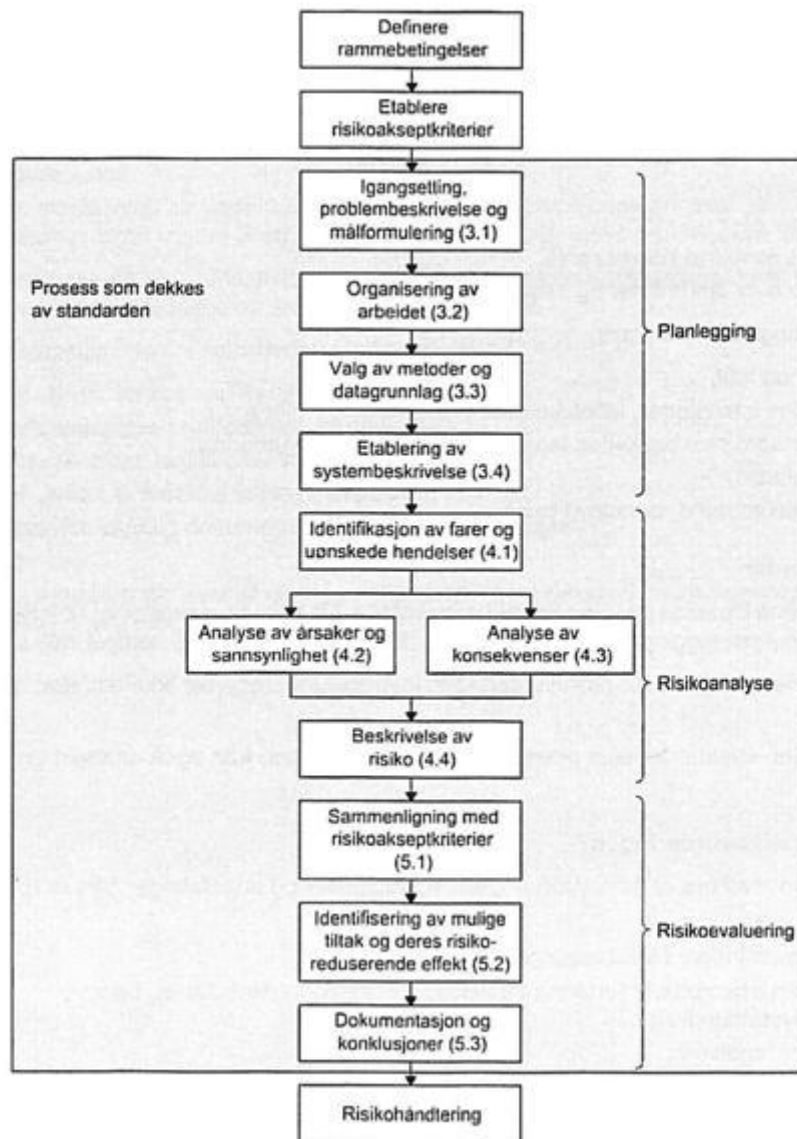
Akseptkriterier

Disse skal være etablert før analysen starter og kan ha forskjellig form, kvalitative eller kvantitative.

Kontinuerlig søk etter ytterligere risikoreducerende tiltak

Også hvis estimert risiko er akseptabel, bør det søkes etter tiltak for videre risikoreduksjon. Her bør både tekniske, operasjonelle og organisatoriske tiltak inkluderes.

Prosess for risikovurdering



Figur 8-3 - Prosess for risikovurdering fra NS 5814

8.2 VEDLEGG II

SANNSYNLIGHETSREGNING

Risiko uttrykkes ofte som en funksjon av sannsynlighet og konsekvens. Derfor er det her valgt å beskrive i korte trekk grunnleggende sannsynlighetsregning.

Forventningsverdi

Forventningsverdien til en diskret stokastisk variabel X med størrelsene x_1, x_2, \dots, x_n er:

$$\sum_{i=1}^n x_i \cdot P(X = c_i)$$

Dette betyr at forventningsverdien er summen av alle verdier variabelen kan ha, multiplisert med de tilhørende sannsynligheter [8].

Både sannsynligheter og forventningsverdier blir tolket som relative frekvenser. Det betyr at sannsynligheten for en hendelse A er definert som fraksjonen av ganger hendelse A skjer hvis situasjonen ble gjentatt et uendelig antall ganger [16]. Bruken av *uendelig antall ganger* introduserer en utvidet hypotetisk populasjon.

Det samme gjelder ved forventningsverdien til en stokastisk variabel. Hvis situasjonen gjentas flere ganger (mot uendelig), vil gjennomsnittet av utfallet til hendelsene nærme seg forventningen [1]. I det diskrete tilfellet, er forventningen lik summen av sannsynligheten for hvert utfall, multiplisert med verdien til utfallet. Foreligger det symmetriske fordelinger, estimeres forventningen typisk som et gjennomsnitt. Denne forventningsverdien kan også tolkes som et tyngdepunkt i sannsynlighetsfordelingen.

Stokastisk variabel og stokastisk forsøk

En stokastisk variabel er en funksjon som "måler" en egenskap til elementene i utfallsrommet. En stokastisk variabel X er diskret når den bare kan anta et tellbart antall verdier, enten begrenset eller ubegrenset. En stokastisk variabel kan for eksempel beskrive utfallet av en spillsituasjon – tenk kast av kron. Utfallsrommet er mengden av mulige utfall fra et stokastisk forsøk. Selv om vi kan beskrive alle mulige utfall av et forsøk, kan vi likevel ikke med sikkerhet forutsi hvilket utfall som vil inntreffe før forsøket er gjennomført. Dersom forsøket kan gjentas under omtrent like forhold, kaller vi det et stokastisk forsøk, også i tilfeller hvor vi bare kan forestille oss at det er mulig med noenlunde like gjentakelser, men hvor det i virkeligheten er mulig [8].

La oss si at C betegner en stokastisk variabel - en skade eller et tap. Forventningen eller forventningsverdien for dette tapet kan da uttrykkes som $E(C)$. Fra Aven [2] kan vi si at dersom C antar en av følgende verdier $c_1, c_2 \dots c_n$, kan en finne denne verdien ved å multiplisere sammen verdi c_i med tilhørende sannsynlighet P_i , og summere over de aktuelle verdier. Uttrykt matematisk kan en si at forventningsverdien er som følger:

$$\text{Forventning} = \mu = E(C) = c_1 \cdot P(C = c_1) + c_2 \cdot P(C = c_2) + \dots + c_n \cdot P(C = c_n) = \sum_{i=1}^n c_i \cdot P(C = c_i)$$

der c_1, c_2, \dots, c_n er de mulige verdiene det stokastiske tapet C kan ha.

ULIKE FORDELINGER

Sannsynlighetsfordelinger anvendes innen statistikk for å beskrive hvordan stokastiske variabler, for eksempel tilfeldige utvalg, fordeler seg. De enkelte utfall av en tilfeldig variabel kan ikke forutsis, men sannsynlighetsfordelingen vil beskrive sannsynligheten for at hvert mulig utfall vil inntre, og hvordan verdiene i et større utvalg normalt vil fordele seg.

Binomisk fordeling

Den binomiske fordelingen brukes i situasjoner karakterisert ved:

- n uavhengige enkeltforsøk.
- Hvert enkeltforsøk resulterer i enten suksess eller ikke suksess.
- Sannsynligheten p for suksess er den samme i alle enkeltforsøk.

Situasjonen kalles binomisk situasjon, mens enkeltforsøkene ofte kalles Bernoulli-forsøk. Siden sannsynligheten p for suksess er konstant og n definerer uavhengige enkeltforsøk, er antallet suksesser X i de n forsøkene binomisk fordelt med parametre n og p . Da X en diskret stokastisk variabel med punktsannsynlighet, får vi som følger:

$$f(x) = b(x; n, p) = P(X = x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}, \quad x = 0, 1, \dots, n$$

Vi skriver $X \sim \text{Bin}(n, p)$.

For en binomisk fordeling kan det vises at:

$$E(X) = \sum_x x f(x) = \sum_{x=0}^n x \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} = \dots = np$$

Poisson-fordeling

En tilfeldig størrelse X vil være Poisson-fordelt [11] med parameter λ hvis:

$$P(X = x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}, \quad x = 1, 2, \dots$$

med forventning og varians lik λ .

Denne fordelingen er ofte brukt for å beskrive antall forekomster av en hendelse innenfor et tidsintervall eller i løpet av en gitt tidsperiode. Forekomsten av hendelser følger en Poisson-prosess [19] dersom:

- Antallene hendelser i ikke-overlappende intervaller er uavhengige.
- For ethvert intervall $[s, s + \Delta s]$ er $P(\text{en hendelse i } [s, s + \Delta s]) \approx \lambda \Delta s$.
- $P(\text{to eller flere hendelser i } [s, s + \Delta s]) \approx 0$.

Dersom dette er oppfylt er $X = (\text{antall hendelser i } [0, t])$ Poisson-fordelt med parameter $\mu = \lambda t$. Forventningen blir så $E(X) = \lambda t$ og variansen $Var(X) = \lambda t$. Parameteren λ representerer forventet antall hendelser per intervall og kalles *intensiteten* til prosessen. I oppgaven beskrives ikke prosessen mer omfattende, men er nevnt for vise antagelsene for å oppfylle en Poisson-fordeling som tilnærming til binomisk fordeling.

Hvis X har en binomisk fordeling med parametre n og p , kan den binomiske fordelingen tilnærmes med Poisson-fordeling. Betingelsene er at n må være stor (typisk $n > 50$) og p liten ($p < 0,05$ eller $p \approx 1$). Forventningen blir her lik $\mu = np$.

Normalfordeling

Normalfordelingen er muligens den mest brukte fordelingen innen statistikk og sannsynlighet. Den baserer seg på at en tilfeldig størrelse X er normalfordelt [11] med parametre μ og σ^2 hvis tettheten er gitt som [19]:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(x - \mu)^2}{\sigma^2}\right), \quad -\infty < x < \infty$$

med forventning $E(X) = \mu$ og varians $Var(X) = \sigma^2$. Vi skriver $X \sim N(\mu, \sigma^2)$.

Beregning av normalfordelingssannsynligheter gjøres ved følgende transformasjon:

$$Z = \frac{X - E(X)}{\sqrt{Var(X)}} = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

der Z er standard normalfordelt og så bruke anerkjente tabeller over standard normalfordeling.

$$\text{For eksempel: } P(X < a) = P\left(\frac{X - \mu}{\sigma} < \frac{a - \mu}{\sigma}\right) = P\left(Z < \frac{a - \mu}{\sigma}\right)$$

der $P\left(Z < \frac{a - \mu}{\sigma}\right)$ finnes i tabeller.

Sentralgrenseteoremet

La X_1, \dots, X_n være en rekke av uavhengige, identisk fordelte stokastiske variabler med forventning μ og varians σ^2 .

Da vil $\frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n - n\mu}{\sigma\sqrt{n}}$ gå mot en normalfordeling med forventning 0 og varians 1.

La \bar{X} være det empiriske gjennomsnittet av de n første variablene i denne sekvensen, slik at:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

Sentralgrenseteoremet [19] viser at tilnærmingen er passende for $n \geq 30$:

$$Z = \frac{\bar{X} - E(\bar{X})}{\sqrt{\text{Var}(\bar{X})}} = \frac{\bar{X} - \mu}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}} \approx N(0,1)$$

Merk at også Poisson-fordelte variabler kan tilnærmes med normalfordeling. Dersom intensiteten $\lambda t > 15$, så vil følgende være en god tilnærming:

$$P(a \leq X \leq b) \approx P\left(\frac{a - 0,5 - \lambda t}{\sqrt{\lambda t}} \leq Z \leq \frac{b + 0,5 - \lambda t}{\sqrt{\lambda t}}\right)$$

Student t-fordeling

$$f(x) = \frac{\Gamma\left[\frac{(\nu + 1)}{2}\right]}{\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right) \cdot \sqrt{\pi\nu}} \cdot \left(1 + \frac{x^2}{\nu}\right)^{-\frac{(\nu+1)}{2}}, \quad -\infty < x < \infty$$

Dersom Z er standard normalfordelt og V er χ^2 -fordelt med ν frihetsgrader og Z og V er uavhengige, har vi at:

$$T = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

er t-fordelt med $n - 1$ frihetsgrader,

der

$$S^2 = \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

8.3 VEDLEGG III

KOST/NYTTE- OG KOST/EFFEKTIVITETSANALYSE

En kost/nytteanalyse er en lønnsomhetsvurdering som tar utgangspunkt i vår virkelige verden og gir en systematisk oversikt over informasjon, som videre gir en mulighet for å konkretisere kostnader og nytte. Den uttrykker alle kostnader og fordeler i en felles valuta, som regel i kroner, slik at brede og konsekvente sammenligninger kan gjøres mellom de forskjellige valgene. Dette resulterer i et uttrykk for gjennomsiktighet i beslutningsprosessen [29]. Denne tallfestingen i kroner, kalles å kvantifisere nytten.

Metoden kan gjøres mer eller mindre avansert og vitenskapelig, og brukes for å systematisere fordeler og ulemper ved ulike løsninger og tiltak. Det vil si å kartlegge og synliggjøre konsekvensene ved aktiviteter. Typisk vil resultat fra risikoanalysen reduseres etter en ALARP-prosess, som i første omgang baseres på bruk av kost/nytte/effektivitetsanalyser. I kost/nytteanalysen beregner vi samlet gevinst, mens i kost/effektivitetsanalysen beregner vi effektivitetsstørrelser som forventet kostnad per forventet antall sparte liv [2].

Analysen kan også benyttes for å vurdere og å evaluere prosjekt og investeringer, men i oppgaven benyttes kost/nytte/effektivitetsanalyser kun for å bedømme hvilke løsninger eller tiltak som skal implementeres.

Siden konsekvensene strekker seg over lengre tid, vil man neddiskontere alle inntekter og utgifter med en bestemt rente tilbake til et basisår [2,29]. Dette gjøres for å reflektere hva det koster å binde kapital, der kostnads- og nytteelementene omgjøres til nåverdi (NV). Nåverdi er altså verdien i dag av disse kostnads- og nytteelementene. Nåverdi er gitt ved følgende formel:

$$NV = \sum_{t=0}^n \frac{a_t}{(1+i)^t}$$

der a_t representerer kontantstrømmen ved tid t , i er diskonteringsrenten og n er antall år som vurderes. Er det knyttet investeringer til et tiltak, er det også vanlig å legge til I_0 som den umiddelbare investeringskostnaden.

Diskontering er en fremgangsmåte som muliggjør en sammenligning mellom kostnader og fordeler som oppstår i ulike tidsperioder. Generelt vil kostnader ved implementering av et risikoreduksjonstiltak innebære en umiddelbar investeringskostnad og kostnader for vedlikehold og utskiftning i en senere fase. Fordelene vil imidlertid gjenta seg år etter år [29]. Diskonteringsrenten er likevel en variabel som er vanskelig å fastslå. Den settes som konstant i formelen, men vil variere med tiden. Renten representerer hvordan dagens kroneverdi er i forhold til neste år. Investeres det for eksempel 10 MNOK i dag, vil det med en diskonteringsrente på 2,5 %, bety en verdistigning, slik at beløpet tilsvarer 0,25 MNOK mer neste år. Normalt vil man i en kost/nytteanalyse velge en vurderingsperiode (til eksempel 15 år) og diskontere verdiene til alle kostnader og fordeler som oppstår hvert år. Disse sees så i forhold til det første året i perioden, før man sammenligner dem.

Når kost/nytteanalyser gjennomføres, er det vanlig å inkludere følsomhetsanalyser.

Diskusjon

Følgende diskusjon er basert på utsagn som Terje Aven har uttrykt i media om kost/nytteanalyser. Disse sprer seg over flere artikler i både Stavanger Aftenblad og Dagbladet, samt innlegg i Sikkerhetsdagene 08.

Aven mener det råder særdeles kaos rundt fundamentale begrep innen risiko og sikkerhet, og påstår at den tradisjonelle kost/nytteanalysen ikke er en tilfredsstillende metode for fullstendig å vurdere effekten av sikkerhetstiltak. Det er således en vanskelig balansegang mellom det å skape verdi og det å unngå ulykker, slik vist i kapittel 2.1. Det er naturlig at ingen ønsker at en ulykke skal skje, men enhver aktivitet vil likevel medføre risiko. Det å skape noe, krever nødvendigvis en risiko. Vanskelige avveininger er ikke å komme unna. Aven mener vi har et helt feilaktig syn på hva vi kan bruke kost/nytteanalyser til. Mange tror de egner seg til å vurdere effekten av sikkerhetstiltak, men faktum er at kost/nytteanalysen ikke er god nok på å bedømme hvilke prinsipp som bør legges til grunn for å oppnå en riktig balanse mellom ulike hensyn. Slike analyser baseres i hovedsak på forventningsverdier. Disse reflekterer ikke risiko og usikkerhet tilstrekkelig, som betyr at de ikke kan holdes på et faglig og vitenskapelig nivå. De reflekterer heller ikke usystematisk risiko (spesielt innen spesifikke prosjektrisikoe), foruten hendelser som gjelder hele markedet. Disse kost/nytteanalysene bør imidlertid ikke vektlegges så sterk som mange har gjort til nå.

Selv om en slik analyse baserer seg på mye fakta, er det likevel viktig å forstå viktigheten av subjektive vurderinger. Spesielt er det fremtredende ved vurderinger der tiltak kan virke nesten umulig å kvantifisere. Ikke-kvantifiserbare nyttefordeler, som for eksempel forbedret kvalitet eller tilgjengelighet, skal og må inkluderes. For at størrelsene skal være et sammenligningsformål, må de altså få en tallverdi, for eksempel en kroneverdi eller som en skalaform fra 1-5. Det er også viktig å være bevisst på at kost/nytteanalysen skal brukes i nåtid og så se fremover. Det gir ikke mening å vurdere fortiden ved bruk av en slik analyse. En kost/nytteanalyse kan gjennomføres enkelt ved å beskrive målsettinger og de nåværende prosesser som foreligger. Deretter kan en samle inn eller anslå kostnadsdata og estimere disse. Dette resulterer i en kartlegging av nytteelement, både som kvantifiserbare (økonomiske besparelser, økt kapasitet, lavere bemanningsbehov) og ikke-kvantifiserbare (forbedret kvalitet, service, tilgjengelighet). Deretter beregnes kost/nytte for hvert år og alternativ kan evalueres.

Begrensninger

Aven har uttalt seg flere ganger om hvordan dagens ingeniører og økonomer kan sees på som en trussel mot sikkerhets- og ulykkesberedskapen i Norge. Han går hardt ut mot analyser som kost/nytte, som han spesifikt mener gjennomsyrrer norske prosjekter både til lands og til vanns. Utsagnet baserer seg på at *den bærende tankegangen viser at ulike sikkerhets- og beredskapstiltak må vurderes ut fra såkalte nåverdiberegninger*. Han mener det er imidlertid en tankegang som i minimal grad vektlegger sikkerhet og beredskap. Konseptet er at man holder sannsynlighet opp mot skade, dersom en ulykke skulle skje, og så lager beregninger ut fra gjennomsnittet av et uendelig antall prosjekter. Dette er typisk slik vi forestiller fremgangen i en klassisk tilnærming til risiko og usikkerhet. Med slike prinsipp blir det nesten umulig å rettfærdiggjøre beredskap. Men hvordan ville bruken vært med et annet perspektiv?

Slike beregninger ser muligens riktige ut på papiret, men det er definitivt faglige brister i resonnementet. Hvis vi skal finne den riktige satsingen på sikkerhet og beredskap, må vi få frem risikoene og usikkerhetene. Dette tar ikke kost/nytteberegningene hensyn til.

Aven mener også at fagfolkene opptrer som ledere og politikere når de veier nytte opp mot kostnader ved utregning. På den andre siden svikter politikerne når de ikke er mer kritiske til fagfolkenes utredninger. Aven oppfordrer politikerne til å ta tilbake styringen på dette feltet.

8.4 VEDLEGG IV

SENSITIVITETS- OG FØLSOMHETSANALYSER

, et al., [32] beskriver sensitivitetsanalyse (følsomhetsanalyse) som en studie for hvordan utfallet i en numerisk modell kan fordeles, enten kvalitativt eller kvantitativt. Ved å se på flere kilder til variasjon, vil en slik analyse fremheve hvor avhengig den gitte modellen er for informasjonen som brukes.

Sensitivitetsanalysens formål er således å se på:

- Hvilke faktorer/størrelser/variabler som er inkludert i modellen en bruker er de som ved endringer (variasjoner) gir størst utslag på resultatene?
- Hvordan (i hvor stor grad) påvirker endringer i en bestemt faktor/størrelse/variable resultatene?

En sensitivitetsanalyse brukes typisk når tiltak vurderes etter en kost/nytteeffektivitetsanalyse. Her består den av å variere en eller flere parametre eller antagelser for å se hvordan disse variasjonene påvirker utfallet til kost/nytteanalysen. Særlig bør det rettes vekt på sensitivitetsanalyser hvis kost/nytte utføres for å vise videre tiltak som ikke er praktisk gjennomførbare. Når man foretar en kost/nytteanalyse, er det vanlig å ha begrenset informasjon om typiske hovedinput som frekvens av hendelser eller antall potensielle dødsfall. Sensitivitetsanalyser er en måte å behandle slike usikkerheter. Den trekker frem om passende forsiktige antagelser er blitt gjort og dermed er det mulig å vurdere robustheten av utfallene fra kost/nytteanalysen. Dess mer robust resultatene er, jo mer passende er den som et verktøy for ALARP-beslutninger [27].

Regelverk

Kapittel 6.15 i rev. 2 NORSOK Standard Z-013 beskriver spesifikt at behovet for sensitivitetsanalyser alltid skal vurderes. Kapittel 3.4.1 og 4.4 i NS 5814 nevner at risikobeskrivelsen skal omfatte en overordnet kvalitativ drøfting av analyseobjektets sårbarhet, samt at effekten av kritiske antakelser, data, modeller eller andre forhold som kan påvirke risikoen, bør presenteres i form av sensitivitetsanalyser. Rev. 3 av NORSOK Standard Z-013 lister opp en mer detaljert beskrivelse av hva sensitivitetsanalysen bør innholde:

- Sensitivitetsanalyser skal utføres ved å inkludere:
 - o Identifikasjon av de viktigste aspektene og antagelser/forutsetninger/parametre i analysen
 - o Evaluering av endringseffekten i antagelser/parametre
 - o Evaluering av effekten til risikoreduserende tiltak
- Parametre for inndata som betraktes i sensitivitetsanalysen bør inkludere, hvis det er relevant:
 - o Total bemanning og personellinndeling
 - o Lekkasje frekvenser
 - o Sannsynlighet for antennelse

- Ytelser (pålitelighet, tilgjengelighet, funksjonalitet, etc.) til viktige barrierefunksjoner, systemer og/eller element (tekniske, menneskelige og organisatoriske) for risikoen til personell, miljø og materiell.
- Operasjonelle parametre, som aktivitetsnivå
- Miljøressurser og sårbarhet
- Spredning av forurensning

Som vi ser, brukes både ordene skal og bør.

8.5 Vedlegg V

TILNÆRMINGER TIL RISIKO OG USIKKERHET

Relativ frekvensbasert tilnærming

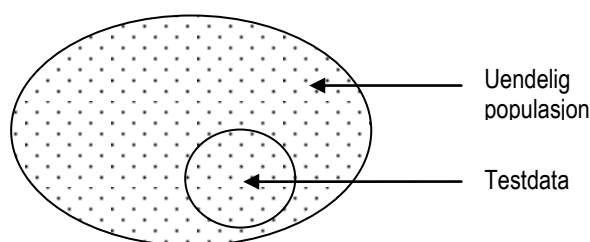
Det er retningene innen denne tilnærmingen som i store trekk brukes når analytikere utarbeider kvantitative risikoanalyser, og er typisk dominerende i olje- og gassindustrien. Metoden antar ”sanne”, dog ukjente verdier for sannsynligheten p . For en gitt hendelse A , påstår vi her at det altså foreligger en sann $p = P(A)$.

Perspektivet tolker risiko som en ontologisk størrelse [52] og beregnes typisk fra tilgjengelig informasjon og testdata som:

- Historiske målinger
- Pålitelighetsdata
- Ulykkesdata m.m.

Dersom vi tenker oss et eksperiment eller en situasjon hypotetisk gjentatt et uendelig (stort) antall ganger, vil denne sanne verdien representere den relative andelen en hendelse inntreffer. Den uttrykker variasjon innen denne tankekonstruerte populasjonen, således må det introduseres tilsvarende uendelig antall populasjoner med liknende forutsetninger hvis forsøket gjentas.

Dette kan illustreres ved utfallet av å kaste mynt, som er et kontrollerbart og repeterbart forsøk [23]. Hvor mange ganger lander den så på mynt? Man ser for seg en uendelig populasjon av forsøk, der p representerer den sanne andelen eller frekvensen av mynt for hele populasjonen, jf. figur 9-4.



Figur 8-4 - Sannsynlighet gitt populasjon

Estimatet på hva utfallet blir, kalles en ”objektiv” sannsynlighet. Dette fordi den eksisterer i vår virkelige verden og er i prinsippet (tenkt objektivt) målbar ved faktisk å gjøre eksperimentet. Risiko blir her altså sett på som en objektiv egenskap av verden. For en hendelse A , vil denne ukjente verdien p estimeres videre som $P^*(A)$. Presisjonen til estimatet kan beskrives enten ved å bruke tradisjonelle statistiske metoder som konfidensintervall, eller ved å uttrykke epistemisk usikkerhet som subjektive sannsynligheter [21].

Ved bruk av risikoanalytiske modeller, etableres en sammenheng mellom p og en del parametre q på lavere nivå [19]. Eksempel på typiske modeller er feiltreanalyse og hendelsestre, Som for ”sann” verdi på sannsynlighet, antar man at det også finnes ”sanne” verdier på disse parametrene. En viktig faktor er at de ulike parametre kan ha stor betydning

på resultatet. Utførelsen beskrives mer omfattende i kapittel 2.1.1.1 for en tilnærming ved beste estimat..

Usikkerhetene eller nøyaktigheten i tilnærmingen foreligger for følgende element [15]:

- Modellen \hat{f} kan ha systematiske feil
- Usikkerhet relatert til estimatene \hat{q} , der dårlig overensstemmelse mellom estimatene og de sanne verdiene kan skyldes:
 - o Bruk av data som ikke er representative for aktuell hendelse
 - o Analysemetoden er ufullstendig
 - o Mangelfull informasjon
 - o Ufullstendig informasjon
 - o Statistisk variasjon
- Beregningsfeil

Bakdel

- Usikkerheten kan kun kvantifiseres for statistisk variasjon, dvs. at det er ikke er mulig å kvantifisere de andre elementene.
- Hvis presentasjon av statistisk variasjon er det eneste bidraget til usikkerhet, så gir vi et ufullstendig og villedende bilde av den totale usikkerhet [15].
- Tilnærmingen kan heller ikke ta i betraktning ekspertvurderinger. Siden risikoanalyser brukes for områder med sjeldne hendelser, er det krav om ekspertvurderinger.
- Kan gi unødvendig brede konfidensintervall siden den ikke inkorporerer kunnskap eller sunn fornuft [15].

Fordeler

- Fordelen i tilnærmingen ligger først og fremst i at dens vitenskapelige basis er velkjent
- Den kan også systematisk behandle statistisk variasjon.

I praksis vil denne tilnærmingen likevel brukes i kombinasjon med ekspertvurderinger.

Diskusjon

- Tolkningen av det klassiske perspektivet brukt i risikoanalyser, blir fremdeles sett på som den ”mest riktige”, mye på grunn av at majoriteten tror den representerer et objektivt resultat. Dette er ikke tilfellet, noe Aven og Pörn [15] viser ved å si at ingen modeller kan være objektive. Det vil alltid være en viss grad av subjektiv bedømmelse i valget og bruken av selve risikoanalysemodeller. Samtidig er det denne metoden de fleste av dagens ingeniører blir opplært i, siden flere universiteter og høyskoler fremdeles opererer med denne tilnærmingen.
- Uheldigvis vil beskrivelsen av usikkerhet i denne tilnærmingen delvis eller helt unnlates.
- Den klassiske tilnærmingen undergraves muligens av begrensningene av ukjent usikkerhet, selv om analysen kan ha en ytre framtoning av vitenskapelig troverdighet

[67]. Problemet ser ut til å oppstå fra et forsøk på å tolke sannsynligheter objektivt, siden en slik tolkning presenterer problemer med validering i tilfeller med sjeldne hendelser (med store konsekvenser). Dette er på grunn av mangel på relevant data. I analysesammenheng er det heller ikke alltid datagrunnlaget er tilstrekkelig eller stort nok. Hvis den baseres på få data, vil presisjonsnivået av estimeringen være relativt dårlig. Begrensningene av manglende datagrunnlag fører da til brede konfidensintervall, uten større betraktninger på hva dette betyr. Det er også mulig å øke mengden data, men på bekostning av relevans til dataene. Dette kan gjøres ved å utvide den relevante populasjonen av observasjoner for å dekke situasjoner som i varierende grad er liknende det opprinnelige eksperimentet.

- Dersom analytikeren ikke har nok tilgjengelig bakgrunnskunnskap, vil ofte tradisjonell statistisk analyse gi omtrent samme resultat som den Bayesianske [53].

Likevel er det klassiske perspektivet ellers intuitivt besnærende [52], så fremt det foreligger data som er pålitelig og valide.

Uttrykk som beskriver tilnærmingen er typisk [23]: tilfeldighet, variabilitet, aleatorisk sannsynlighet, objektiv sannsynlighet, stokastisk ontologi, pålitelighet, sjanse m.m.

Bayesianske tilnærminger

Innen de Bayesianske tilnærminger, foreligger det flere måter å angripe sannsynlighet på. Der den klassiske modellen tar for seg usikkerheten knyttet til estimering av sannsynligheten, vil den Bayesianske sannsynlighetsmodellen ha et annet utgangspunkt. Fokuset er å beskrive selve usikkerheten som en hovedkomponent av risiko, og så videre betrakte sannsynlighetene basert på epistemiske uttrykk av usikkerheten. Dette betyr at sannsynligheter blir betraktet som uttrykk av usikkerheten basert på en bakgrunnskunnskap K . Forskjellen ser vi ligger i sannsynlighetene, som ikke lenger er usikre i det subjektive perspektivet. De er *sannsynligheter i lys av tilgjengelig kunnskap* [16].

Det Bayesianske perspektivet fokuserer på hva som egentlig er det usikre, nemlig om visse hendelser vil inntreffe eller ikke. Hvis vi sier at sannsynligheten for en hendelse gitt vår bakgrunnskunnskap er lik $P(A|K) = 0,25$, betyr det at vi sammenligner sannsynligheten med det å trekke én spesifikk kule fra en mengde på 4 kuler. Derfor kan usikkerheten knyttes til hvorvidt hendelse A forekommer eller ikke, eller om vi trekker den spesifikke kula fra mengden [11].

I risikoanalysen blir disse sannsynlighetene brukt for å uttrykke usikkerheten slik den fremstår for en analytiker eller en analysegruppe. Disse sannsynlighetene er subjektive sannsynligheter som angir grad av tro. Denne graden av tro representerer i seg selv usikkerhet om systemet, men har ingen hensikt for å representere en objektiv kunnskap. Risikoverdiene fra denne tilnærmingen uttrykker altså en usikkerhet om hva som kan skje med tanke på ulykker og de videre konsekvensene [67].

Usikkerhetene eller nøyaktigheten i tilnærmingen inneholder de samme elementene som i den klassiske. Forskjellen her er at statistisk variasjon kvantifiseres automatisk i den Bayesianske

modellen ved hjelp av posterior-fordelingen. ”Ufullstendig informasjon” vil også reduseres ettersom ny kunnskap oppstår [15].

Bakdeler

- Tilnærmingen kan bare kvantifisere noen av de nevnte usikkerhetselementene over.
- En Bayesiansk analyse er tidkrevende og vanskelig.
- Vurdering av subjektive sannsynligheter krever omfattende og betydelig ekspertise.
- Kan være vanskelig å vie ønskelig kompetanse og ekspertise for hver individuelle vurdering.
- Vurderinger kan inneholde et antall skjevheter, som til eksempel overdreven tillit.

Fordeler

- Tilnærmingen betraktes som god siden den tillater systematisk integrering av ekspertvurderinger og erfaringsdata [15].
- Relativt enkelt å modifisere usikkerhetsfordelingene når ny data er tilgjengelig.

Potensielle fordeler med den Bayesianske tilnærmingen oppstår fra det faktum at de subjektive egenskapene til sannsynlighetene som brukes i analysen, erklæres åpne. I tillegg til å fjerne behovet for eksplitt estimering av usikkerhet, reduserer den også problemet med validering assosiert med andre tilnærminger til sannsynlighet. Åpenheten til den Bayesianske tilnærmingen bør også gjøres mer tydelig for kjennetegnene fra ekspertvurderinger og erfaringer som har en signifikant effekt for beslutningstaking. Ved å bringe disse egenskapene frem i lyset, snarere enn å ha dem skjult i avanserte og komplekse analysemetoder, kan beslutningsgrunnlaget nå sees mer tydelig, nemlig som vurderinger av den typen ingeniører tradisjonelt gjør [67]. I denne sammenheng kan de inkorporere robust design, ”forsvar-i-dybden”, redundans m.m.

Her opererer vi med to beskrivelser av usikkerhet. Usikkerheten som reflekteres av variasjon innen en populasjon, refereres til som aleatorisk, mens mangelen på kunnskap om den ”sanne” verdi av $P(A)$, kalles epistemisk usikkerhet. Karakteristikken til usikkerheten er at den epistemiske usikkerheten kan reduseres, mens den aleatoriske usikkerheten ikke kan reduseres, se Aven [19].

Bayes’ teorem

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} = P(A) \left[\frac{P(B|A)}{P(B)} \right]$$

↑
↑

Posterior-sannsynlighet (eller aposteriori-fordeling)
Prior-sannsynlighet (eller apriori-fordeling)

Bayes’ teorem [19] kan sees på som en fundamental lov om logisk, plausibel slutning [23], dvs. det fundamentale prinsippet som styrer prosessen med å evaluere bevis⁸. Forenklet bruker vi bakgrunnskunnskapen K videre for dette bevismaterialet. Teoremet forteller oss altså hvor mye vår grad av tro eller konfidens endrer seg når ny kunnskap introduseres. A i

⁸ I oppgaven brukes vi (bakgrunns)kunnskap som bevis.

formelen over representerer en relevant påstand, mens B representerer bakgrunnskunnskapen vi har til gitt påstand.

Kaplan [23] viser til sannsynlighet som *den grad av troverdighet eller konfidens diktert fra bakgrunnskunnskapen, gjennom Bayes' teorem*. Poenget hans er å fremheve at tilnærmingen ikke er personlig, slik litteraturen ofte påpeker. Påstanden vurderes ikke videre.

Oppsummering:

- Med posterior-sannsynlighet mener vi den grad av tro vi har for at A er sann etter at vi introduserer kunnskapen
- $P(A)$ viser til vår sannsynlighet, før vi har kunnskapen

Bayesiansk statistisk analyse

Beregning av sannsynligheter eller p -verdier, baseres på en tradisjonell statistisk metode, som i sitt vesen er deduktiv. Utgangspunktet er en hypotese (nullhypotese), der det til eksempel ikke eksisterer en reell effekt, men en åpenbar effekt som skyldes tilfeldigheter. Videre deduseres sannsynligheten for i så fall å oppnå det observerte resultatet eller [53].

La oss tenke oss et sykdomstilfelle fra [12, 53], som evalueres ut fra en blodprøve:

Vi lar X være en stokastisk størrelse med verdi 0 eller 1, alt ettersom testen er negativ eller positiv. Videre betegner vi φ for den sanne tilstanden til personen, der 1 definerer om personen er syk og 0 hvis personen er frisk. Tidligere historikk for gjeldende sykdom, viser at 3 % av den norske befolkningen lider av sykdommen, dvs. en apriori-fordeling lik $P(\varphi = 1) = 0,03$ og $P(\varphi = 0) = 0,97$.

På basis av store datamateriale og erfaring, kan vi si at testen vil gi et positivt svar i 90 % av tilfellene hvis den anvendes på en syk person. Derimot hvis personen ikke er syk, vil testen gi et feil svar for 10 % av tilfellene. De betingede sannsynlighetene blir da $P(X = 1|\varphi = 1) = 0,90$ og $P(X = 1|\varphi = 0) = 0,10$.

Det vi ønsker å beregne, er den betingede sannsynligheten $P = (A|\varphi)$ for at en person er syk, gitt at hypotesetesten er positiv. Enkel sannsynlighetsregning gir:

$$\begin{aligned}P(X = 1) &= P(X = 1|\varphi = 1) \cdot P(\varphi = 1) + P(X = 1|\varphi = 0) \cdot P(\varphi = 0) \\&= 0,90 \cdot 0,03 + 0,10 \cdot 0,97 \\&= 0,124\end{aligned}$$

og ved å bruke Bayes' teorem:

$$\begin{aligned}P(\varphi = 1|X = 1) &= \frac{P(X = 1|\varphi = 1) \cdot P(\varphi = 1)}{P(X = 1)} \\&= \frac{0,90 \cdot 0,03}{0,124} \approx 0,218\end{aligned}$$

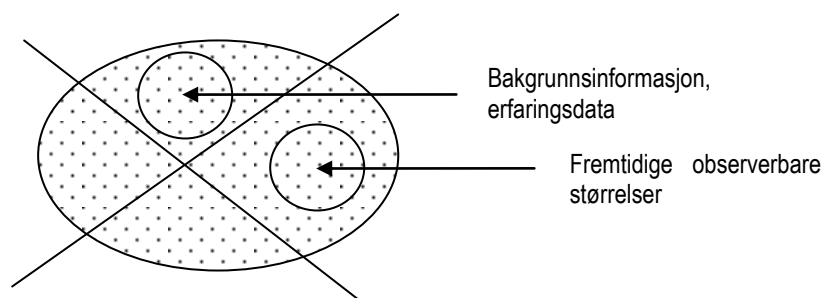
Diskusjon

- Den typiske utførelsen som brukes når sannsynlighet skal kvantifiseres, karakteriseres gjerne som en blanding av det som kalles klassisk statistisk metode og en subjektiv Bayesiansk metode. I en QRA vil ofte den klassiske tilnærmingen være rådende, men som Aven og Pörn [15] nevner, vil de fleste risikoanalytikere bruke en eller annen subjektiv metode når risikoanalyser blir utarbeidet. Eksempel kan være at subjektive sannsynligheter typisk blir valgt for grenene i en hendelsesteanalyse.
- Sannsynlighetsfordelinger er basisen for å uttrykke usikkerhet [23]. Siden alle aktiviteter og hendelser inneholder usikkerhet (jf. kapittel 2.1), kan man si at å beskrive denne usikkerheten i form av sannsynlighetskurver, vil være å fortelle sannheten. Dette er særdeles viktig i beslutningsprosessen, derfor bør analytikeren alltid skaffe til rette disse sannsynlighetskurvene som tilførsel til beslutningen.
- Sannsynlighetskurvene bestemmes av mangelen på, eller fraværet av, bakgrunnskunnskapen (bevismaterialet). Ved en beregning vil alle element med relevant bevismateriale listes opp, for så å bli behandlet en etter en, gjennom Bayes' teoremet. Til å begynne med vil kurven typisk være flat, men ettersom vi legger til mer bakgrunnskunnskap, vil kurven rette seg mer og mer mot det "riktige" svaret. Dette grunnes i analytikerens usikkerhet som reduseres ettersom ny informasjon tilegnes.
- En subjektiv tilnærming gjør problemet med validering, enten av modeller eller ekspertvurdering, mindre problematisk enn slik den er i en klassisk kontekst. Sannsynligheter er fremtredende som subjektive grader av tro som inkorporerer usikkerhet om et system, snarere enn objektive størrelser som har til hensikt å representere en "sann" tilstand av verden.

Uttrykk som beskriver tilnærmingen er typisk [23]: grad av tro, subjektiv sannsynlighet, usikkerhet, konfidens, epistemisk sannsynlighet, antakelighet, troverdighet m.m.

Prediktiv Bayesiansk tilnærming

Fremtidige observerbare størrelser predikeres på bakgrunn av all tilgjengelig informasjon, jf. figur 9-5. Modell og statistikk er del av analytiker eller analysegruppen sin bakgrunnsinformasjon, som igjen usikkerhetsvurderingene baseres på. Her opererer man bare med ett usikkerhetsnivå, nemlig de fremtidige hendelsene. Således foreligger det ingen usikkerhet i modell eller stokastiske størrelser, kun til observerbare størrelser. Disse størrelsene kan til eksempel være antall ulykker, kostnader, dødsfall m.m.



Figur 8-5 - Illustrasjon av en prediktiv Bayesiansk tankegang

Tilsvarende som for andre Bayesianske tilnærming, introduseres ingen uendelig stor populasjon, og forsøkene er heller ikke kontrollerbare og repeterbare. Samne sannsynligheter eksisterer ikke og erfaringsdata er del av bakgrunnsdata som kan benyttes til å uttrykke usikkerhet. Disse subjektive sannsynlighetsfordelingene kan altså benyttes for å angi usikkerhet om de observerbare størrelsene [52]. Usikkerheten knyttet til A og C kan vi uttrykke ved hjelp av sannsynligheter, der disse angir hvor trolig det er at hendelsen A vil inntreffe, og at spesifikke konsekvenser C vil inntreffe, gitt vår bakgrunnskunnskap K . I tillegg brukes ofte C^* som en prediksjon av C som angivelse av hvilken verdi denne størrelsen vil anta i virkeligheten, gjerne som et prediksjonsintervall som er slik at C vil ligge i intervallet med en viss sannsynlighet [10].

Fordeler

- Tilnærmingen vil direkte gi sannsynlighetene til de usikre hendelsene som er relevante i den spesifikke situasjonen ved beslutningstaking [15].
- Sannsynlighetene inkorporerer all usikkerhet, derfor er det ikke nødvendig å videre diskutere "usikkerhet i estimatene", gitt at modellen som brukes sees på som gyldig.

Eksempel

Anta at X tilsvarer antall ulykker. En relevant modell kan være $X = Z_1 \cdot Z_2 \cdot Z_3$, der Z_1 beskriver antall initierende hendelser, mens Z_2 og Z_3 betegner indikatorfunksjoner, dvs. $Z_i = 0$ hvis barriere i virker, og 1 ellers. Fra relevant statistikk får vi at 50 hendelser er vanlig. \hat{Z}_1 er da lik 50. Analytikeren predikerer feil i 2 av 10 og 3 av 10 tilfeller. $P(Z_2 = 1) = 0,2$ og $P(Z_3 = 1) = 0,3$.

Prediksjon av antall ulykker blir da: $X = 50 \cdot 0,2 \cdot 0,3 = 3$

8.6 Vedlegg VI

KVANTITATIV DEFINISJON PÅ RISIKO

Kaplan [23] gir en kvantitativ definisjon på risiko. Han viser til en alternativ måte å kommunisere og vurdere risikobildet, og viser til spørsmålet ”Hva er risiko?”, der han mener vi egentlig spør tre spørsmål:

- Hva kan skje?
- Hvor sannsynlig er det?
- Hvis det skjer, hva er konsekvensene?

Svarene utgjør en trimplett av variablene $\langle S_i, L_i, X_i \rangle$

der

S_i betegner et scenario, som kan sees på som en mulig ulykkeskjede, med tilhørende sannsynlighet eller frekvens L_i og mulig konsekvens X_i . Merk at ved denne definisjonen og bruk av trimpletten, så utgjør ikke svaret en direkte størrelse, som for eksempel et tall etc., men er kun ment for å få oss på rett vei mot en idé av risiko.

Risikobildet kan på grunnlag av trimpletten, uttrykkes som et sett scenarioer s_n , med frekvenser f_n og konsekvenser x_n .

Tabell 13 - Beskrivelse av risiko

Scenario	Frekvens	Skade/Tap
s_1	f_1	x_1
s_2	f_2	x_2
s_3	f_3	x_3
...
s_n	f_n	x_n

Skade eller tap defineres som en vektor $\mathbf{x} = [x^1, x^2, x^3, \dots, x^m]$, der x^1 kan være antall dødsfall, x^2 er antall personskader, x^3 er materielle skader, osv., og dimensjonen i vektoren m viser til antallet typer tap som innbefattes.

Videre beskrivelse er fra Hokstad, et al., [17].

Tapet i s_1 skrives som vektoren $\underline{x}_1 = (x_1^1, x_1^2, x_1^3, \dots, x_1^m)$, osv. Disse elementene er lik de tapene en vil få for de ulike ”tapskategoriene”. Tapene x_i^j oppfattes som stokastiske variabler, se vedlegg II. Her er det forventningen i disse fordelingene som er av interesse. De forventede tapene med tilhørende frekvenser f_i , estimeres fra ekspertvurderinger, basert på ulike data og analyser. Når alle muligheter er analysert og det foreligger en total oversikt over det som kan gå galt (fra Tabell 15), kan vi summere over alle scenarioer. På basis av dette, får en frem et estimat for den totale frekvens/sannsynlighet og konsekvens/tap for hver tapskategori.

På den måten kan en komme frem til estimert ”sannsynlighet” og ”konsekvens” som angitt i definisjonene i kapittel 2.1.

8.7 Vedlegg VII

STUDIE AV TIDSAVHENGIGE OG FLYGNINGSAVHENGIGE ULYKKER

Følgende er fra [38] og SINTEFs helikopterstudie, ref. Hokstad, P., Jersin, E., Klingenberg Hansen, G., Sneltvedt, J., Sten, T. (1999). *Helicopter Safety Study 2*. Trondheim, SINTEF rapport nr. STF38 A99423.

Metoden for å skille mellom prediksjon av tidsavhengige og flygeavhengige ulykker tar utgangspunkt i fordeling av fasene nevnt under:

Tabell 14 - Fordeling av faser

-
1. **I/A 1:** hendelse eller ulykke som inntreffer etter at passasjerene har entret helikopteret, men før det har forlatt avgangsområde på land (TDP), eller etter helikopteret har landet på bestemmelsessted på land (LDP), men før passasjerene har forlatt helikopteret.
 2. **I/A 2:** hendelse eller ulykke som inntreffer etter at passasjerene har entret helikopteret før avgang, men før det har forlatt avgangsområdet offshore (TDP), eller etter helikopteret har landet på bestemmelsessted offshore (LDP), men før passasjerene har forlatt helikopteret.
 3. **I/A 3:** hendelser/ulykker under flygning. (Det vil si etter TDP men før LDP). Når en kritisk systemfeil med helikopteret har oppstått, kan skade kun unngås ved å gjennomføre en vellykket nødlanding.
 4. **I/A 4:** Manglende avstand eller kollisjon mellom helikopteret og annet luftfartøy som ikke er forårsaket av kritiske systemfeil ved luftfartøy.
 5. **I/A 5:** hendelse eller ulykke som skyldes kollisjon med terreng, sjø eller andre hindringer etter avgang TDP, men før ankomst LDP. Hendelsen eller ulykken skyldes ikke kritiske systemfeil ved helikoptre.
 6. **I/A 6:** skade på personell inne i helikopteret som skyldes giftig utslipp forårsaket av brann eller last.
 7. **I/A 7:** skade på personell som oppholder seg på utsiden av helikopteret. Kun personell og passasjerer regnes med.
 8. **I/A 8:** Hendelser eller ulykker som ikke er omtalt i punkt 1-7.
-

For å kunne skille mellom tidsavhengige og flygefaseavhengige ulykker, er det med utgangspunkt i de fasene som er listet opp gjort følgende tilpasninger:

- For hver fase er det uttrykt hvor store bidrag disse har gitt til historisk ulykkesdata.
- For hver fase har det blitt anslått i hvor stor grad ulykker i denne fasen gir bidrag til tidsavhengige eller flygefaseavhengige ulykker. Dette er gjort ved å bruke en faktor som viser avhengighet til antall flygninger.

Disse tilpasningene er kombinert i Tabell 17 under.

Tabell 15 - Fordeling av statistikk i tidsavhengige og faseavhengige ulykker

I/A Kategori	Bidrag til ulykkesfrekvens (%)	Avhengighet av flygningsantall (%)	Bidrag til tidsavhengig frekvens (%)	Bidrag til antallsavhengig frekvens (%)
I/A 1	12,4	100	0	12,4
I/A 2	26,9	100	0	26,9
I/A 3	38,0	50	19,0	19,0
I/A 4	1,0	0	1,0	0
I/A 5	10,6	50	5,3	5,3
I/A 6	0,7	0	0,7	0
I/A 7	4,8	100	0	4,8
I/A 8	5,5	25	4,1	1,4
TOTAL	-	-	30,1 %	69,8 %

Prediksjonen er basert på [38]:

$GIR_{2/4\text{-rotasjon}} = \text{Risiko i flygefasen} + \text{Risiko ved avgang og landing}$

$$GIR_{2/4\text{-rotasjon}} = A \cdot T_i \cdot F(ct) \cdot P(ft) \cdot P(nt) + A \cdot P(cs) \cdot P(fs) \cdot P(ns)$$

der

- A = Årlig antall turer
- T_i = Frekvens av at en spesifikk passasjer omkommer gitt en dødsulykke i forbindelse med flygefasen
- $F(ct)$ = Planlagt flytid for flygefase i
- $P(ft)$ = Ulykkesfrekvens i flygefasen
- $P(nt)$ = Frekvens av dødsulykker gitt ulykke i flygefasen
- $P(cs)$ = Ulykkesfrekvens ved avgang og landing
- $P(fs)$ = Frekvens av ulykker i forbindelse med avgang eller landing som medfører dødsfall
- $P(ns)$ = Frekvens av at en spesifikk passasjer omkommer gitt en dødsulykke i forbindelse med avgang og landing

Tabell 16 - Frekvens av ulykker for begge faser

Datakilde	Periode	Frekvens per 10^{-5} flytime	Frekvens per 10^{-5} fase (avgang og landing)
[39,40]	1995-2005	0,29	0,42

Tabell 17 - Andel dødsulykker for begge faser

Datakilde	Periode	Andel dødsulykker i flygefase	Andel dødsulykker ved avgang/landing
[41-43]	1988-2006	0,17	0,33

Tabell 18 - Andel dødsfall for begge faser

Datakilde	Periode	Andel dødsfall i flygefase	Andel dødsfall ved avgang/landing
[41-44]	1966-2006	0,81	0,30

Tabell 19 - Sammendrag av parametre

Beskrivelse	Parameter	Verdi
<u>Ulykker i forbindelse med flygefase</u>		
Frekvens	$F(ct)$	$0,29 \cdot 10^{-5} h^{-1}$
Andel dødsulykker	$P(ft)$	0,17
Andel omkomne av personer om bord i hver dødsulykke	$P(nt)$	0,81
<u>Ulykker i forbindelse med avgang og landing</u>		
Frekvens	$P(cs)$	$0,42 \cdot 10^{-5}$
Andel dødsulykker	$P(fs)$	0,33
Andel omkomne av personer om bord i hver dødsulykke	$P(ns)$	0,30

Utrekningen blir:

GIR =

$$\begin{aligned}
 & 17,33 \text{ turer per år} \cdot \left(1,5 \text{ timer} + \frac{1}{2} \cdot 0,083 \frac{\text{timer}}{\text{tur}} \right) \cdot 0,29 \cdot 10^{-5} \text{ ulykker per timer} \\
 & \cdot 0,17 \frac{\text{dødsulykker}}{\text{ulykke}} \cdot 0,81 \frac{\text{omkomne}}{\text{dødsulykke}} + 17,33 \cdot 1,5 \text{ turer per år} \cdot 0,42 \cdot 10^{-5} \frac{\text{ulykker}}{\text{tur}} \\
 & \cdot 0,33 \frac{\text{dødsulykker}}{\text{ulykke}} \cdot 0,30 \frac{\text{omkomne}}{\text{dødsulykke}} \\
 & = \underline{2,15 \cdot 10^{-5} \text{ per år}}
 \end{aligned}$$

Ser vi GIR-resultatet opp mot FAR-verdi, får vi følgende:

$$\frac{FAR}{10^8} = \frac{\text{omkomne}}{\text{eksponeringstid}}$$

$$FAR = \frac{\text{omkomne}}{\text{eksponeringstid}} \cdot 10^8$$

$$FAR = \frac{2,15 \cdot 10^{-5}}{24 \text{ timer} \cdot 365 \text{ dager} \cdot \frac{1}{3}} \cdot 10^8$$

$$\approx \underline{0,74 \text{ per år}}$$

Dette tilsvarer et FAR-bidrag på 0,74 per år.

Et annet aspekt innen helikoptertransport, er relatert til skytting, der personell utfører daglige turer til og fra installasjoner. Vi antar 20 flygninger i løpet av en to-ukers periode, med 8 minutter gjennomsnittlig flytid.

Det brukes samme formel som over for GIR som resulterer i et FAR-bidrag per år på 8,4.

8.8 Vedlegg VIII

SAMMENLIGNENDE AKSEPTKRITERIER

Tankegangen med og bruken av risikoakseptkriterier, vil for de fleste virke logisk og fornuftig. Det har fungert for offshorevirksomheter i over 20 år, så en eventuell endringsprosess er ikke like rett frem som man kunne tro.

For å repetere helt enkelt hva akseptkriteriet tilsier, så går det først ut på å etablere ett eller flere risikomål, for så å se om resultatet fra risikoanalysen faller innenfor denne risikogrensen, jf. figur 5-4. Konklusjoner og beslutninger blir deretter gjort på grunnlag av hvor denne risikoverdien ligger. Faller den over kriteriet, er det krav om risikoreducerende tiltak. Er verdien under grensen, befinner vi oss altså på et akseptabelt risikonivå og tiltak kan implementeres.

Selv med ALARP-prinsippet som krav for petroleumsindustrien, viser det seg at i visse (ekstreme) tilfeller, så stagnerer prosessen med å redusere risikoen ytterligere. Man har altså ved å erkjenne at verdien er under grensen, konkludert med at risikoen er lav nok. Fra Vinnem, et al., [31] ser vi at det er tilfeller hvor virksomheter ikke fokuserer på videre risikoreduksjon hvis nivået er innenfor akseptabelt nivå.

Utfordringen innen dette forslaget er å fremme nytten av ”sammenlignende akseptkriterier”. Her kan det kvantitative risikobildet som risikoanalysen gir, sammenlignes med andre risikoforhold. Det presiseres at forslaget ikke begrenses for samfunnssikkerheten for 3. part, slik det blir gjort i [54].

Følgende baserer seg på Vatn [54] og oppsummerer områder som må vurderes hvis forslaget realiseres:

- Viktig at slike sammenligningskriterier ikke benyttes som mekaniske beslutningskriterier
- Utfordring med å operasjonalisere et slikt prinsipp, der man må avgjøre hvilke dimensjoner av risiko som det skal sammenlignes for
- Etablere prinsipp for hvordan tallverdier for sammenligningskriteriene skal settes. Som basis kan man se på tilsvarende hendelser og velger en prosentverdi i forhold til erfart frekvens av slike hendelser. Dette vil kreve innsamling av data. Spørsmål som ”Risiko for hvem?” og ”Rettferdighetsprinsipp?” bør tas opp

Prosessten videre er å ta utgangspunkt i de valgte dimensjonene, for så å samle inn grunnlagsdata om historisk risiko, for til slutt å tallfeste sammenligningskriterier. Videre kan det lages en logg over risikoforhold og trusler som identifiseres med utgangspunkt i tidligere analyser. Fra risikoforholdene i loggen, kan risikoen struktureres slik at det kan etableres en del scenarioer som vil danne grunnlaget for den kvantitative risikoanalysen. En risikovurdering må betrakte bakgrunnsinformasjon, analyse av denne, vurdering av ekspertuttalelser, uttalelser fra berørte parter m.m. Etter at risikobildet er kvantifisert, kan risikoen vurderes opp mot sammenligningskriteriene.

Dersom den beregnede risikoen er høy iht. sammenligningskriteriene, er det sterke argumenter for at risikoreducerende tiltak må iversettes.