



EQUINOR ASA

NORTHERN LIGHTS TRA – SAMMENDRAGSRAPPORT

HOVEDRAPPORT

ST-15954-3

Type dokument:

Hovedrapport

Rapport tittel:

Northern Lights TRA – Sammendragsrapport

Kunde:

Equinor ASA

OPPSUMMERING:

Denne rapporten oppsummerer den gjennomførte totalrisikoanalysen for Northern Lights FEED-fase prosjektet (Ref. 1), med vektet hensyn på risiko for 3. part.

Totalrisikoanalysen som sammendragsrapporten er basert på inkluderer analyse av lekkasjefrekvenser, gassspredning og brannberegninger. Sammendragsrapporten oppsummerer disse elementene i risikokonturer og risiko for 3. person og resultatene er sammenlignet med prosjektets toleransekriterier for risiko. Basert på analysen er det gitt risikoreduserende tiltak og anbefalinger.

Analysen inneholder vurdering av usikkerheten knyttet til antagelser om prosess og driftsbetingelser, det ytre miljøet (eksempelvis værforhold og befolkningstetthet) og til data og modellene som er brukt.

Følgende er konkludert:

- Den høyeste årlige frekvensen av dødelig eksponering for personer utenfor Northern Lights-anlegget (utelukket lokasjoner på havoverflaten) er mellom 10^{-6} og 10^{-5} per år. Denne verdien er basert på lekkasjefrekvens og CO_2 -konsentrasjon kombinert med probit-funksjonen forutsatt at en person forblir eksponert for CO_2 så lenge lekkasjen varer, men begrenset til 1 time.

Selv om risikonivået er lavt, er potensielle tiltak som bringer risikonivået til et enda lavere nivå identifisert.

Dokument nr. ST-15954-3				
Forfattere J. Tolaas				
<i>Referanse til deler/utdrag av dette dokumentet som kan føre til feiltolkning, er ikke tillatt.</i>				
Rev.	Dato	Grunn for rev.	Kontrollert	Godkjent
1.0	20.11.2020	Utkast	R. Abiven	S. Oltedal
2.0	25.11.2020	Endelig	R. Abiven	S. Oltedal
3.0	27.11.2020	Endelig	R. Abiven	S. Oltedal

Innhold

1	INTRODUKSJON	4
1.1	Bakgrunn	4
1.2	Hensikt.....	4
1.3	Begrensninger.....	4
1.4	Metodikk	4
1.4.1	Prosessanalyse.....	4
1.4.2	Lekkasjefrekvenser - PLOFAM	5
1.4.3	Konsekvensmodellering – KFX™	5
1.5	Forkortelser, termer og uttrykk.....	5
2	BESKRIVELSE AV NORTHERN LIGHTS MOTTAKSANLEGG	7
3	HAZID.....	9
4	RISIKO OG TOLERANSE KRITERIER	10
4.1	Risikoanalyse som grunnlinje for risikostyring	10
4.2	Individuell risiko, 3. person	10
5	RESULTATER	11
5.1	Eksponeringsfrekvens-konturer	11
5.2	Risiko for tap av liv	11
5.3	Risiko for 3. person.....	11
6	KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER	14
6.1	Konklusjoner.....	14
6.2	Usikkerhet	14
6.3	Risikoreduserende tiltak og anbefalinger.....	16
7	REFERANSER	17

1 INTRODUKSJON

1.1 Bakgrunn

Den norske regjeringen har uttalt at et demonstrasjonsprosjekt for karbonfangst og -lagring (CCS) skal stimulere til nødvendig utvikling av CCS slik at de langsiktige klimamålene for Norge og Den europeiske union (EU) kan nås til en lavest mulig kostnad. En fullskala CCS-verdikjede med fangst fra opptil to industrielle kilder, skipstransport og permanent geologisk lagring er utviklet som et svar til denne ambisjonen. Equinor har kalt dette prosjektet «Northern Lights».

På vegne av KBR har Safetec utført en totalrisikoanalyse (TRA) for FEED-fasen av Northern Lights-anlegget.

Denne rapporten oppsummerer TRA-en for Northern Lights-anlegget, basert på den nyeste TRA-revisjonen (Ref. 1).

1.2 Hensikt

I det følgende er risikoen for 3. part presentert. Hensikten med totalrisikoanalysen er å:

- Modellere væskebaserte CO_2 -lekkasjer for å illustrere gasspredning for forskjellige CO_2 -konsentrasjonsnivåer med tilsvarende sannsynlighet, og beregne årlig sannsynlighet for lekkasjer.
- Modellere CO_2 -gasspredning fra anlegget for å illustrere gasspredning og beregne årlig sannsynlighet for lekkasjer.
- Evaluere risikoen for tap av liv, kritiske sikkerhetsfunksjoner og sammenligne med toleransekriterier for Northern Lights prosjektet.
- Etablere risikokonturer for potensielt tap av liv på anlegget og sammenligne risiko med DSB sine toleransekriterier.
- Foreslå og vurdere potensielle risikoreducerende eller ALARP tiltak.
- Diskutere usikkerhet og følsomhet knyttet til totalrisikoanalysen.

1.3 Begrensninger

Denne rapporten presenterer risiko for 3. person og vurderer ikke miljørisikoen. TRA-en som rapporten er basert på dekker bare fase 1 av Northern-Lights prosjektet, hvor kapasiteten til anlegget er 1.5 MTPA, og ikke i fase 2 når kapasiteten vil være 4-5 MTPA

1.4 Metodikk

Dette kapitlet presenterer overordnet metodikk brukt i TRA-en.

1.4.1 Prosessanalyse

Standard risikoanalysemetode brukes, og omfatter følgende hovedfaser:

1. Definisjon av utslippsbare volumer (segmentering). Segmentering er basert på isolasjon forårsaket av lukking av isolasjonsventiler (dvs. lukking av Emergency Shutdown (ESD) ventiler og prosessavstengningsventiler (PSD) initiert av ESD-systemet) og det tas hensyn til det utslippsbare volumet i et segment.

2. Analyse av lekkasjefrekvens per segment per kategori for lekkasjerate (liten, middels og stor). Dette oppnås basert på antall og type lekkasjekilder tilknyttet hvert segment, estimert basert på tilgjengelige P&ID-er og bygningstegninger.
3. Analyse av mulige ulykkes scenarier ved bruk av hendelsestrær, som fører til definisjon av et sett av mulige slutthendelser per segment per lekkasjekategori.
4. Analyse av ulykkeskonsekvenser, når det gjelder antall drepte og innvirkning på hovedsikkerhetsfunksjoner (MSF), for hver av slutthendelsene som er identifisert for hvert segment og hver lekkasjehastighetskategori.
5. Oppsummering av risikomål beregnet ved å kombinere konsekvensene av hver hendelse med sannsynligheten for at hendelsen forekommer.

1.4.2 Lekkasjefrekvenser - PLOFAM

Lekkasjefrekvenser beregnes ved bruk av Process Leak for Offshore Installations Frequency Assessment Model-verktøyet (PLOFAM, Ref. 2). PLOFAM estimerer frekvensen av to lekkasjekategorier: «Marginale lekkasjer» og «signifikante lekkasjer». Bare signifikante lekkasjer inngår normalt i en TRA. Marginale lekkasjer er lekkasjer der det frigjøres mindre enn 10 kg.

1.4.3 Konsekvensmodellering – KFX™

Gasspredning beregnes ved bruk av Kameleon FireEx KFX™, som er utviklet av ComputIT (nå en del av DNV GL). KFX™ er skreddersydd for gassprednings- og brannsimuleringer. KFX™ er en CFD kode som har blitt aktivt brukt for brannberegninger på offshore installasjoner i flere tiår. Utviklingen av verktøyet har vært støttet av en rekke partnere som Equinor, Total, ENI group, ConocoPhillips, Gaz de France, Ruhrgas og Sandia National Laboratories (som alle er brukere av KFX™). Alle rettigheter til KFX™ tilhører DNV GL.

Følgende variables blir beregnet ved å løse følgende konserveringsligninger ved bruk av en «finite-volume» teknikk:

- Momentum (3 hastighetskomponenter)
- Masse (med trykkorreksjon)
- Energi (total entalpi)
- Massefraksjon
- Turbulensmodell (to ligninger, $k - \epsilon$ modellen)
- Sot modell (to ligninger)

Gasspredning er også beregnet ved bruk av en spesiell KFX™-CO₂ versjon som har blitt utviklet for å forbedre CO₂-modellering. Denne KFX™-versjonen er ikke kommersielt tilgjengelig.

1.5 Forkortelser, termer og uttrykk

Termer og uttrykk som er brukt i sammendragsrapporten er forklart nedenfor:

ALARP	"As Low As Reasonably Practicable". Oversatt: Så lavt som rimelig mulig
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
CFD	Computational Fluid Dynamics
DSB	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap

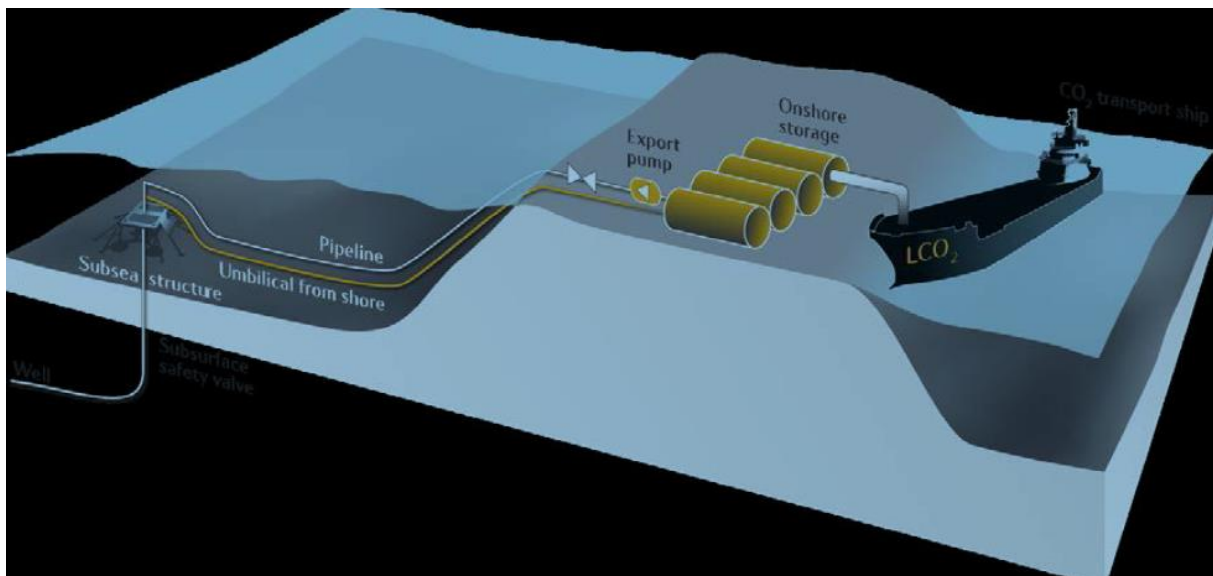
KFX	Kameleon FireEx
MSF	Main Safety Functions (hovedsikkerhetsfunksjoner)
MTPA	Millioner tonn per år
PLOFAM	Process Leak for Offshore Installations Frequency Assessment Model.
Tredje person	Tilskuere, f.eks. personer som går forbi eller bor i nærheten av anlegget
TRA	Totalrisikoanalyse
UKCS	United Kingdom Continental Shelf

2 BESKRIVELSE AV NORTHERN LIGHTS MOTTAKSANLEGG

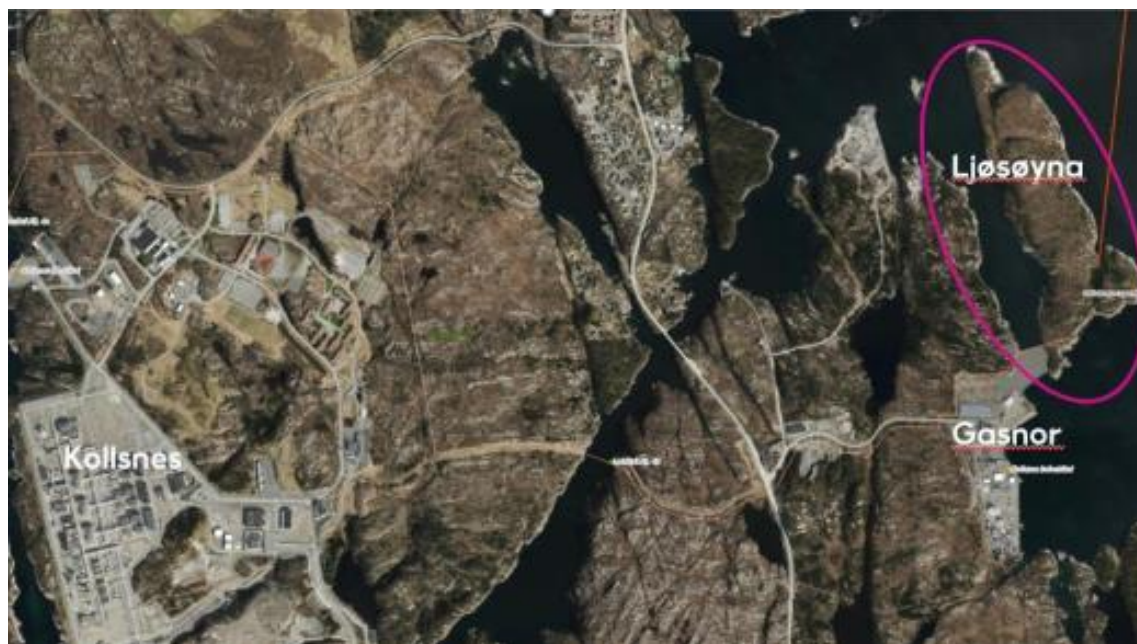
Northern Lights-prosjektet er en fullskala CCS-verdikjede med fangst fra industrielle kilder, skipstransport og permanent geologisk lagring (Figur 2-1), og består av følgende hovedelementer:

- Et mottaks- og midlertidig lagringsanlegg på land.
- CO_2 transporteres med skip fra fangststedene på de østlige delene av Norge og leveres til mottaksanlegget på land på vestkysten av Norge.
- Landanlegget har kapasitet til å motta 1.5 MTPA CO_2 består av midlertidig lagring, importbrygge, injeksjonspumper og kondisjonering av CO_2 .
- En ny eksportørledning med en kapasitet på opptil 4-5 MTPA for transport av CO_2 fra mottaksanlegget til lagringsstedet offshore. Hoveddelen av rørledningen vil være subsea. I løpet av konseptstudiefasen er det gjort en endring i det foreslåtte reservoaret og rørledningens lengde og ruting som har resultert i en reduksjon i CO_2 -eksporttrykket som kreves fra landanleggene.
- Injiseringsbrønn (er) og et undervannsinjeksjonsanlegg.

Plasseringen av CO_2 -mottaksterminalen er i Øygarden kommune nær Bergen i Norge (Figur 2-2).



Figur 2-1 Verdikjede for CO_2 -lagring



Figur 2-2 Øygarden med lokasjonen til Northern Lights anlegget markert med rosa, utenfor Bergen (satellitt-bilde)

3 HAZID

I desember 2018 ble det gjennomført en HAZID-gjennomgang av Northern Lights-prosjektets FEED fase (Ref. 3). Hensikten med HAZID-en var å gjennomgå aksjoner/farer fra konseptfasen og vurdere deres relevans for det nye designet og å gjennomgå det nåværende designet for å identifisere relevante farer. HAZID-en er utgangspunktet for TRA-en. Tabell 3-1 oppsummerer scenarier som ble identifisert i HAZID-en, som er relevante for TRA-en:

Tabell 3-1 Oppsummering av de aksjoner fra Northern Lights HAZID-en som er relevante for TRA-en (Ref. 1).

HAZID ID	Område / kategori	Scenario	TRA håndtering
5	Kai	Utslipp av CO_2 i forbindelse med lossing.	Det er kreditert i TRA-en at ESDV på skipet stenger gitt bekreftet gassdeteksjon,
6	Kai	Utslipp av CO_2 i forbindelse med lossing.	Løfteoperasjoner er en del av TRA-grunnlaget,
12	Lagringstanker	Utslipp av CO_2 fra lagringstanker.	TRA krediterer bare automatisk isolasjon, og derfor vil alle 12 lagringstanker føde lekkasje i én tank.
13	Lagringstanker	Utslipp av CO_2 fra lagringstanker.	Input fra KBR; 1 PSV og 1 reserve per lagringstanker.
15	Prosessområde	Lekkasjescenarier (store lekkasjer, brudd, BLEVE, osv.).	Er en del av de mulige lekkasjemekanismene som utgjør grunnlaget for lekkasjefrekvensen. Scenariet er beskrevet for lagringstanker i BLEVE-vurderingen.
16	Prosessområde	Lekkasjescenarier (store lekkasjer, brudd, BLEVE, osv.).	Se Ref. 1.
20	Prosessområde	Lekkasjescenarier (store lekkasjer, brudd, BLEVE, osv.).	Admin bygning definerer som hoved sikkerhetsfunksjon.
22	Underanlegg	Hendelser knyttet til brann/eksplosjon i transformator.	Se Ref. 1.

4 RISIKO OG TOLERANSE KRITERIER

4.1 Risikoanalyse som grunnlinje for risikostyring

Formålet med totalrisikoanalysen er å gi et bilde av risikoen, og dermed danne basis for evaluering av risikonivå og mulige tiltak for å redusere risiko. Et grunnleggende mål er å gi beslutningsstøtte for å oppnå et risikonivå som er ALARP med hensyn til designkostnader. Det er viktig å merke seg at de beregnede tallene i analysen er resultatet av analysearbeidet til en arbeidsgruppe og data, modeller, forutsetninger og premisser brukt av arbeidsgruppen.

Nøkkelfaktorer som tilfører modellen usikkerhet er diskutert nærmere under kapittel 6.2.

4.2 Individuell risiko, 3. person

Risiko akseptkriterier for 3. person i (Ref. 4) sammenfaller med kriteriene foreslått av DSB (Ref. 5), som er vist i Figur 4-1. Den årlige frekvensen for potensielt tap av liv forårsaket av selskapets aktiviteter skal ikke overstige terskelverdier tilknyttet forskjellige hensynssoner.

Hensynssone	Hensynssonene for Førlig stoff-anlegg går ut:	Hensynssonene for Eksplosivanlegg går ut:	Bestemmelser for hensynssonene (objekter og aktiviteter akseptert i sonen)
Indre sone	Til risikokontur 10^{-5}	Til sikkerhetsavstand etter tabellverdier	<p>Dette er i utgangspunktet virksomhetens eget område.</p> <p>I tillegg kan for eksempel LNF-område inngå i indre sone. Kun kortvarig forbi-passering for tredjeperson (turveier etc.).</p>
Midtre sone	Til risikokontur 10^{-6}	Til sikkerhetsavstand etter tabellverdier	<p>Offentlig vei, jernbane, kai og lignende. Faste arbeidsplasser innen industri- og kontorvirksomhet kan også ligge her. I denne sonen skal det ikke være overnatting eller boliger. Spredt boligbebyggelse kan aksepteres i enkelte tilfeller.</p>
Ytre sone	Til risikokontur 10^{-7}	Til sikkerhetsavstand etter tabellverdier	<p>Områder regulert for boligformål og annen bruk av den allmenne befolkningen kan inngå i ytre sone, herunder butikker og mindre overnattingssteder.</p>
Utenfor ytre sone	Ingen hensynssone utenfor ytre sone	Ingen hensynssone utenfor ytre sone	<p>Skoler, barnehager, sykehjem, sykehus og lignende institusjoner, kjøpesenter, hoteller eller store publikumsarenaer må plasseres utenfor ytre sone.</p>

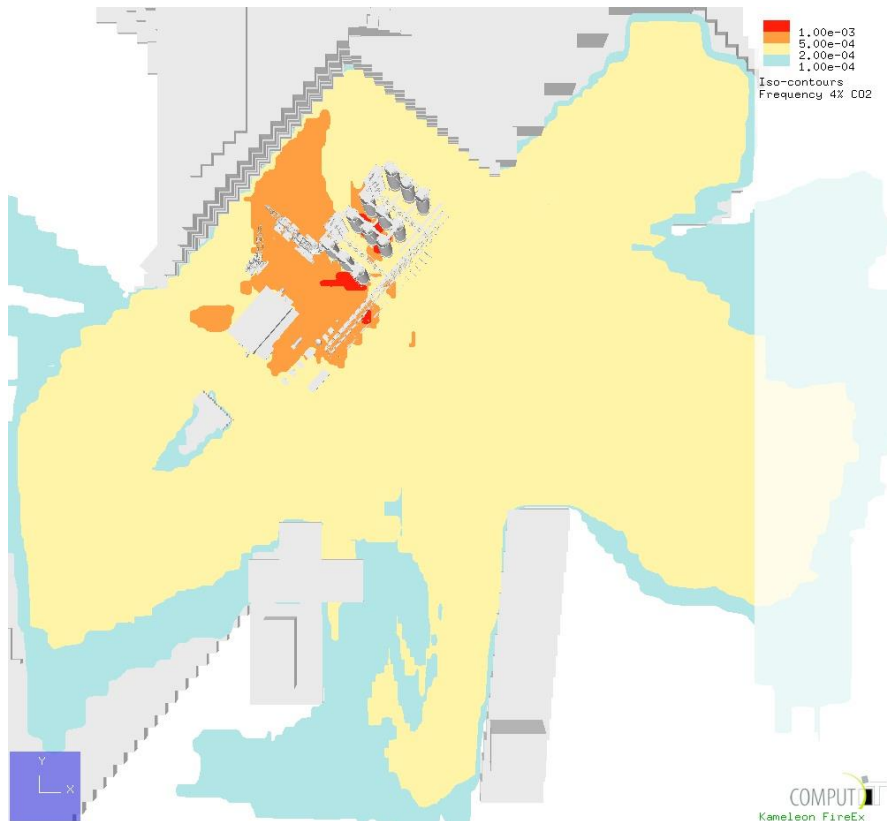
Figur 4-1 Akseptkriterier anbefalt av DSB for individuell risiko, 3. person

Risikokonturene viser årlig frekvens for dødelig eksponering for en tenkt person som oppholder seg et bestemt sted i høyden over bakken med høyest konsentrasjon CO_2 i en time etter lekkasjen oppstår, uavhengig av om det faktisk forventes at det er personer på det stedet. Det er benyttet en probit-funksjon til å beregne sannsynlighet for fatalitet gitt eksponering, og dødeligheten øker med eksponeringstid (varigheten av lekkasjen oppad begrenset til 1 time), og konsentrasjonen av CO_2 der personen er.

5 RESULTATER

5.1 Eksponeringsfrekvens-konturer

Figur 5-1 viser den anslåtte maksimale årlige frekvensen for eksponering for en CO_2 -konsentrasjon på 4% ved Northern Lights-anlegget og de omkringliggende områdene. Mønsteret for risikokonturene gjenspeiler effekten av geografien (store hindringer) kombinert med de atmosfæriske forholdene fra konsekvensanalysen.



Figur 5-1 Maksimal årlig eksponeringsfrekvens for 4% CO_2 - konsentrasjon på Northern Lights-anlegget

5.2 Risiko for tap av liv

Narkotiske effekter eller oksygentap grunnet eksponering av høye CO_2 -konsentrasjoner kan medføre uførhet for personer som blir eksponert.

Beregningen av sannsynligheten for øyeblikkelig død er avhengig av konsentrasjonsnivå og eksponeringstid og er utført ved bruk av en probit-funksjon som anbefalt av DSB (Ref. 6)

5.3 Risiko for 3. person

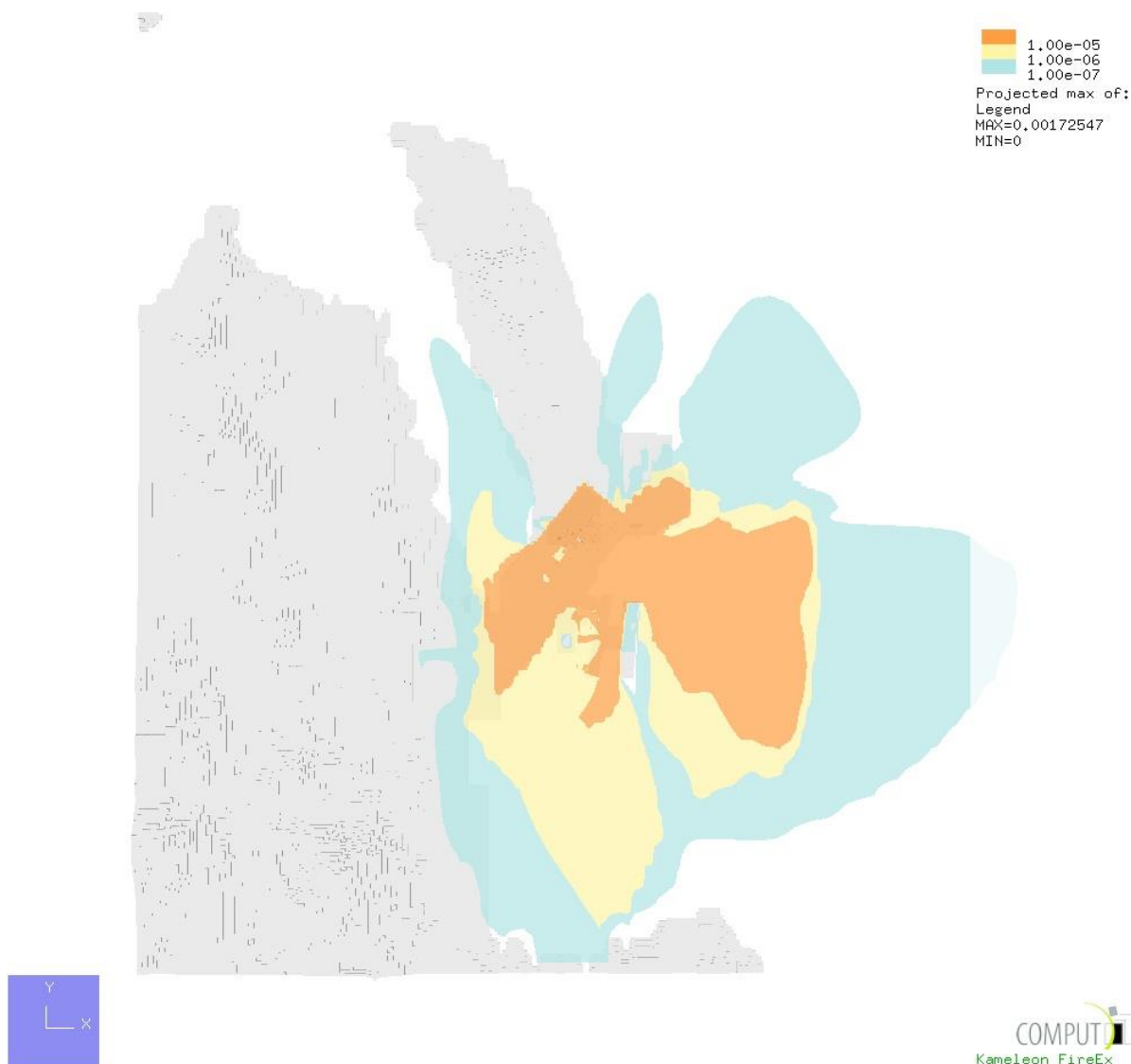
Figur 5-2 viser risikokonturene for årlig frekvens av dødelig konsentrasjon av CO_2 på Northern Lights-anlegget og illustrerer hvor risikoen for personell er konsentrert ved anlegget og i nærområdene.

Figur 5-3 viser at alle kontorer og bygninger fra nærliggende næringer som Gasnor LNG-anlegg, oppdrettsanlegg og BKK Produksjon er utenfor $1E-05$ risikokonturene, noe som betyr at risikoen for 3. person er akseptabel i henhold til risikokriteriene fra DSB. Det bemerkes at ingen skoler, barnehager,

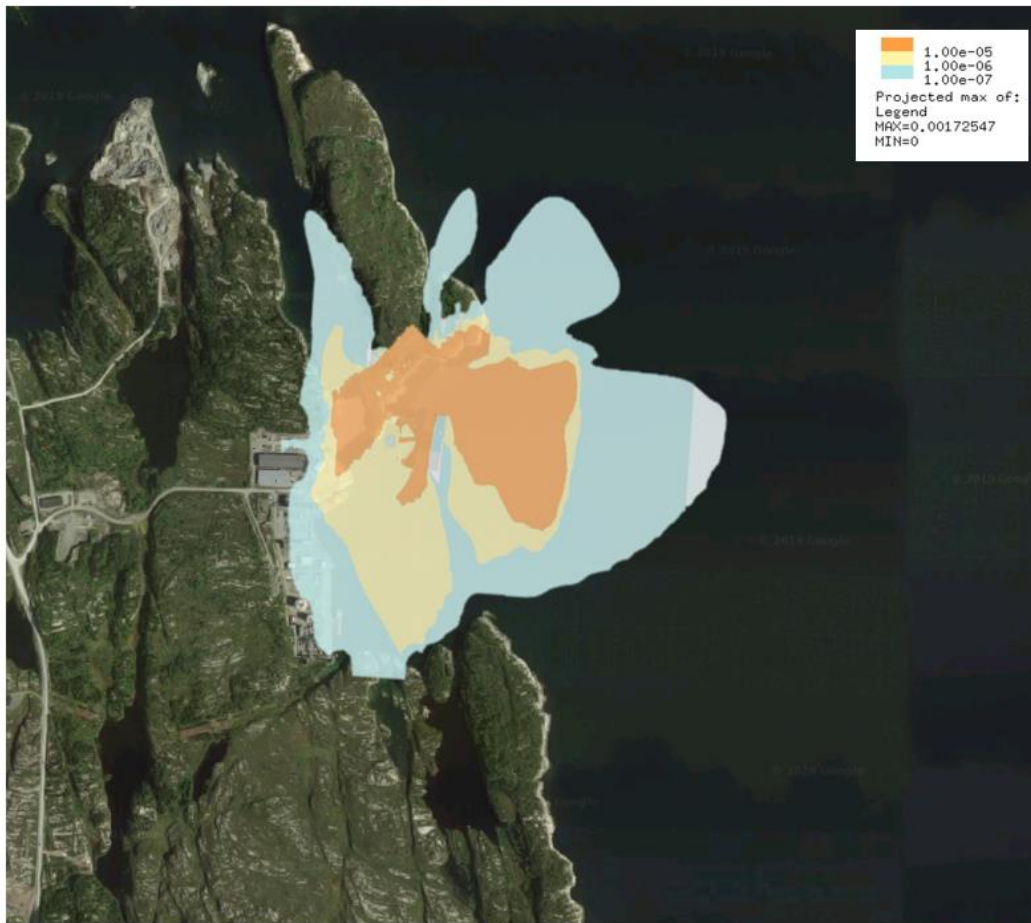
sykehjem, sykehus eller lignende institusjoner, kjøpesentre, hoteller eller store offentlige arenaer er innenfor risikokonturene.

Tabell 5-1 Risiko for 3. personer - DSB soneinndeling

DSB Sone– Risiko(/år)	Bygninger i NL Sone	Risiko
Indre sone / Innenfor risikokontur på 10^{-5} dødsfall / år.	Northern Lights-anlegget	NA
Midtre sone/ Innenfor risikokontur på 10^{-6} dødsfall / år.	Oppdrettsbygning, Dokking av kaia / båt, bryggebygning.	Akseptertbar
Ytre sone / Innenfor risikokontur på 10^{-7} dødsfall / år.	Gasnor LNG-anlegg, BKK Produksjon	Akseptertbar



Figur 5-2 Risikokonturer for årlig frekvens av dødelig konsentrasjon CO_2 for tenkt person som oppholder seg et gitt sted i høyden over bakken med høyest konsentrasjon CO_2 i en hel time etter lekkasjen oppstår



Figur 5-3 - Satellittbilde med risikokonturer for årlig frekvens for dødelig konsentrasjon CO_2 for tenkt person som oppholder seg et gitt sted i høyden over bakken med høyest konsentrasjon CO_2 i en hel time etter lekkasjen oppstår.

6 KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER

6.1 Konklusjoner

Safetec har utført totalrisikoanalyse for FEED-fasen av Northern Lights prosjektet. Elementene i risikoanalysen inkluderer analyse av lekkasjefrekvenser, gasspredning, brannberegninger (forbundet med TRAFØ- og LNG brann) og eksponering av 3. person mht. fare for dødelig eksponering av CO_2 . Disse elementene er oppsummert i risikokonturer og individuell risiko, og sammenlignet med de relevante kriteriene for aksept av risiko.

Følgende er konkludert:

Alle kontorer og bygninger fra nærliggende næringer som Gasnor LNG-anlegg, oppdrettsanlegg og BKK Produksjon er utenfor $1E-05$ risikokonturene (Figur 5-3 - Satellittbilde med risikokonturer for årlig frekvens for dødelig konsentrasjon CO_2 for tenkt person som oppholder seg et gitt sted i høyden over bakken med høyest konsentrasjon CO_2 i en hel time etter lekkasjen oppstår. Figur 5-3), noe som betyr at risikoen for 3. person i indre hensynssone er akseptabel i henhold til risikokriteriene fra DSB. Det bemerkes at ingen skoler, barnehager, sykehjem, sykehus eller lignende institusjoner, kjøpesentre, hoteller eller store offentlige arenaer er innenfor risikokonturene. Videre er også objekter og aktiviteter knyttet til midtre- og ytre hensynssone akseptabel i henhold til risikokriteriene fra DSB. Selv om risikonivået er lavt, er potensielle tiltak som bringer risikonivået til et enda lavere nivå identifisert i forhold til ALARP-prinsippet.

6.2 Usikkerhet

Generelt er det mange faktorer som bidrar til usikkerhet i risikomodellen og kan påvirke konklusjonene.

Følgende usikkerheter fanger opp noen av aspektene som er relevante for risikoanalysemodellen etablert for Northern Lights-anlegget:

- Usikkerhet knyttet til selve anlegget:
 - Ufullstendig kunnskap rundt utformingen av anlegget og den fremtidige driften av anlegget, siden alle detaljer mht. design og drift ikke er fastlagt i FEED fasen av et prosjekt.
 - Anleggets design: prosessforhold, sikkerhetssystemresponser (i nødstilfeller), bemanning, prosedyrer
- Usikkerhet knyttet til det ytre miljøet, for eksempel værforhold
- Usikkerhet knyttet til data og modeller brukt i risikoanalysen:
 - Forutsetningene knyttet til TRA-omfang, fareidentifikasjon og detaljnivå
 - Usikkerhet i evalueringsdata og modeller, f.eks. utslippsfrekvensmodeller, utslippssteder og lekkasjeretninger brukt i modellen. Lekkasjestørrelse brukt som grunnlag for studier, spredningsmodell, osv. Det er utslipp av CO_2 og tilhørende konsekvenser som utgjør hovedrisikoen til Northern Lights anlegget.
 - Usikkerhet i menneskelige reaksjoner: skadebegrensende handlinger (f.eks. isolasjon, nedstengning osv.), evakuering (rømningsveier, rømningstid), personalsdødsfallmodell osv.

Listen over er ikke ment å være uttømmende, men illustrerer at det er et betydelig antall aspekter som utgjør den totale usikkerheten. For å kontrollere usikkerheten er et nøkkelaspekt å forstå de viktigste

kildene til usikkerhet og deres relative betydning for risikoresultatene. Basert på vår vurdering er de viktigste faktorene som påvirker risikoanalysebildet modellering av store lekkasjer (> 500kg /s) og deres tilhørende frekvens. Slike store lekkasjer kan stamme fra forskjellige segmenter av systemet (f.eks. innløps- eller utløpsrør på lagertanker, eksportpumpe eller eksport ESDV). Usikkerheten knyttet til modellering av en farlig gassky som skyldes CO_2 -lekkasjer styres av følgende to aspekter:

- De fleste simuleringene av CO_2 -lekkasje som ligger til grunn for risikomodellen er rettet nedover, men noen er rettet horisontalt og oppover, dvs. en betydelig lavere andel av scenarioene som inngår i modellen er rettet oppover enn hvis det antas at hver utslippsretning har lik sannsynlighet. Forutsatt seks mulige lekkasjeretninger (som vanligvis brukes som en analytisk antagelse i risikomodelleringsammenheng), er andelen av lekkasjer rettet oppover noe mindre enn 20% (1/6). I modellen for Northern Lights-anlegget er omtrent 10% av lekkasjene rettet oppover. Utslipp rettet nedover gir konservatisme når det gjelder CO_2 -konsentrasjonsnivåer i avstand fra lekkasjen ettersom momentet til gassen brytes når den treffer bakken, noe som resulterer i et spredningsscenario som hovedsakelig er drevet av lokale luftstrømningsforhold som tillater store CO_2 -konsentrasjonsskyer å utvikle seg lokalt i omgivelsene. Jet-utslipp med høyt momentum medfører en større luftinntakshastighet og derav fortykning av gasskyer av CO_2 .
- De fleste simuleringer er med lave vindhastigheter siden lave vindhastigheter forventes å generere de største gasskyene når det gjelder gasskonsentrasjon som er potensielt dødelig for mennesker. Noen simuleringer med høyere vindhastigheter er utført for å dekke alle vindforhold.
- Alle simuleringer har blitt utført med konstant lekkasjerate i 10 minutter for å fange opp stabile forhold for delene av skyen med farlige konsentrasjoner. En utvidet simuleringstid for noen av simuleringene ville muligens ha gitt en lengre farlig avstand fra lekkasje grunnet fortsatt gassakkumulering for deler av skyen. Ettersom den forbigående reduksjonen av lekkasjehastigheten grunnet trykkfall i segmentet som bidrar til lekkasjen ikke er blitt tatt hensyn til, blir en simuleringstid på 10 minutter vurdert til å resultere i en konservativ estimering av den farlige avstanden. Dermed vil en forbedret oppløsning når det gjelder transiente egenskaper til lekkasjen mest sannsynlig demonstrere et noe lavere risikonivå.
- To av de drivende scenarioene for risiko (brudd på eksportørledningens ESDV) er blitt re-simulert av DNV GL ved bruk av KFX™ - CO_2 som inkluderer forbedret modellering av den termodynamiske oppførselen til CO_2 . Resultatene fra disse simuleringene er i tråd med resultatene som genereres ved bruk av standardversjonen av KFX™.

Basert på det overnevnte vurderes konsekvensmodelleringen til å være noe konservativ. Det påpekes at usikkerheten forbundet med modelleringen av lekkasjefrekvensen assosiert med katastrofale lekkasjescenarier (store lekkasjer, brudd og BLEVE) er større enn usikkerheten knyttet til modellering av konsekvensene til slike scenarier. Konsekvensen til et BLEVE-scenario er vurdert under vedlegg B i TRA-en (Ref. 1).

Den anvendte frekvensmodellen er basert på data samlet fra offshore installasjoner. Det vurderes at den anvendte modellen (PLOFAM) genererer et konservativt estimat av frekvensen for brudd i rørledningens ESDV (inkludert flensen på rørledningssiden av ventilen). Det er to argumenter for dette:

- Historiske data fra UKCS (HSE Release Database) indikerer at lekkasjefrekvensen som brukes for sikkerhetsventiler, som ESDV, er betydelig lavere enn for like store ventiler av annen type

- Feilmodusene som resulterer i brudd på ventiler og flenser er i stor grad relatert til arbeid (f.eks. vedlikehold) på deler av systemet, noe som resulterer i overtrykk av utility -eller fakkelsystemet. Lagringssystemet på Northern Lights-anlegget er enklere (samlet sett når det gjelder tilknyttede hjelpesystemer), og det er ikke noe fakkelsystem som tilsvarer det typiske fakkelsystemet som finnes på offshore-installasjoner. Derfor er det rimelig å argumentere for at det er feilmodi innlemmet som grunnlag for PLOFAM-modellen som er irrelevante for Northern Lights-anlegget. På den annen side kan det hevdes at det er flere feilmodus som er relevante for Northern Lights-anlegget, som ikke fanges opp av de historiske hendelsene som forekommer ved offshore-installasjoner. Allikevel vurderes det generelt at PLOFAM-modellen genererer et noe konservativt estimat av lekkasjefrekvensfordelingen, spesielt for store lekkasjer og brudd.

Samlet sett vurderes det at modellen har gitt et noe konservativt estimat av risikobildet for Northern Lights-anlegget. Det vurderes at dette ikke påvirker identifiseringen av risiko-drivende scenarier, men sannsynligvis har påvirket beregningen for risiko til 3. part i konservativ retning.

6.3 Risikoreducerende tiltak og anbefalinger

Basert på resultatene fra totalrisikoanalysen for Northern Lights FEED-fase prosjektet, er følgende risikoreducerende tiltak identifisert:

- Barrierer for å unngå overfylling av lagertanker bør forbedres som et ALARP tiltak.
- Transformatorens brann- og eksplosjonsrisiko vurderes å være akseptabel, men det anbefales at det utføres en mer detaljert eksplosjonsanalyse i neste fase av prosjektet for å sikre at veggene nord for transformatorene ikke svekkes i tilfelle en eksplosjon.
- I henhold til resultatene av denne TRA-en er luftinntaket på administrasjonsbygningen i et trygt område (med hensyn til toleransekriteriet) på vestsiden av administrasjonsbygningen. For å bringe risikoen til et lavest mulig nivå, anbefales det å ytterligere forbedre beskyttelse mot inntrengning av CO_2 i bygget.
- Bruk av kompakte flenser, eller sveisede flenser, reduserer lekkasjefrekvensene som påvirker den beregnede risikoen. Historiske data har vist at antall lekkasjer forbundet med kompakte flenser er betydelig lavere enn for andre typer koblinger (det er ikke registrert lekkasjer fra kompakte flenser med en innledende lekkasjerate på mer enn 0.1 kg /s) på installasjoner på norsk kontinentalsokkel eller på landbaserte anlegg i Norge. Men enda viktigere, feilmodusene som forårsaker brudd er mye færre sammenlignet med standardflenser. For å optimalisere bruken av kompaktflenser med hensyn til ALARP-prinsippet, er det nødvendig bare å vurdere kompaktflenser for koblingene som har størst bidrag til risikobildet. Et eksempel er flensene som brukes for tilkobling av eksport-ESDV. De mest kritiske flensene kan identifiseres effektivt fra risikomodellen.
- Et delvis gjennomtrengelig eller solid gjerde på bestemte steder for å lede spredningen av gass mot sjøen (mot sjøen anses å være det sikreste stedet). En slik fysisk barriere på bestemte steder (typisk mot områdene utenfor anlegget der det er målrettet redusert eksponering for gass) rundt Northern Lights-anlegget er ikke vurdert i denne analysen, men kan på et senere tidspunkt undersøkes for å undersøke effekten på utvikling og spredningen av den tunge CO_2 gasskyen samt lokale ventilasjonsforhold.

7 REFERANSER

- 1 Safetec, Northern Lights Project Feed Phase – Total Risk Analysis, ST-14127-2 rev 4, 31.10.2019
- 2 Lloyd's Register Consulting, *Process Leak for Offshore Installations Frequency Assessment Model – PLOFAM*, report no. 10566/R1, rev. final, 6 december 2018.
- 3 KBR, *Northern Lights Project Feed, HAZID report*, Rev 02, Doc. No.: H175-KBR-S-RA-0001-01, 15-01-2019
- 4 Equinor, Tolerance criteria for Northern Lights onshore facility, Doc. No. RE-PM673.00015, Rev. no. 02, 26.02.2019
- 5 «Sikkerheten rundt anlegg som håndterer brannfarlige, reaksjonsfarlige, trykksatte og eksplosjonsfarlige stoffer», DSB 2013, ISBN: 978-82-7768-310-2.
- 6 Lloyds, Retningslinjer for kvantitative risikovurderinger for anlegg som håndterer farlig stoff, Rapportnr 106535/R1, 18.10.2017.