

VURDERING AV RISIKO VED ANLEGG FOR FARLIG STOFF

Vedlegg 4 - Sikkerhetsavstand for LNG/LBG fylleanlegg for tunge kjøretøy

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap

Rapportnr.: 2018-1200, Rev. 1

Dokumentnr.: 244734

Dato: 2019-07-05



Prosjektnavn: Vurdering av risiko ved anlegg for farlig stoff DNV GL Oil & Gas
Rapporttittel: Vedlegg 4 - Sikkerhetsavstand for LNG/LBG Region Norway
fylleanlegg for tunge kjøretøy
Oppdragsgiver: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap ,
Kontaktperson: Jan G. Røed
Dato: 2019-07-05
Prosjektnr.: 10126190
Org. enhet: O-NR-SRMH
Rapportnr.: 2018-1200, Rev. 1
Dokumentnr.: 244734
Levering av denne rapporten er underlagt bestemmelsene i relevant(e) kontrakt(er):

Oppdragsbeskrivelse:

Utført av:	Verifisert av:	Godkjent av:
Børre Johan Paaske Guppelederr	Audun Brandsæter Senior Sjefsingeniør	Marianne Hauso Seksjonsleder
Marta Bucelli Konsulent	Olivier Baldan Avdelingsleder	
[Name] [title]	[Name] [title]	

Beskyttet etter lov om opphavsrett til åndsverk m.v. (åndsverkloven) © DNV GL 2019. Alle rettigheter forbeholdes DNV GL. Med mindre annet er skriftlig avtalt, gjelder følgende: (i) Det er ikke tillatt å kopiere, gjengi eller videreformidle hele eller deler av dokumentet på noen måte, hverken digitalt, elektronisk eller på annet vis; (ii) Innholdet av dokumentet er fortrolig og skal holdes konfidensielt av kunden, (iii) Dokumentet er ikke ment som en garanti overfor tredjeparter, og disse kan ikke bygge en rett basert på dokumentets innhold; og (iv) DNV GL påtar seg ingen aktsomhetsplikt overfor tredjeparter. Det er ikke tillatt å referere fra dokumentet på en slik måte at det kan føre til feiltolkning. DNV GL og Horizon Graphic er varemerker som eies av DNV GL AS.

DNV GL distribusjon:

- ÅPEN. Fri distribusjon, internt og eksternt.
 INTERN. Fri distribusjon internt i DNV GL.
 KONFIDENSIELL. Distribusjon som angitt i distribusjonsliste. *
 HEMMELIG. Kun autorisert tilgang.

Nøkkelord:

Sikkerhet, gass, LNG,

*Distribusjonsliste:

Rev.nr.	Dato	Årsak for utgivelser	Utført av	Verifisert av	Godkjent av
A	2019-01-25	For kommentarer	MARBUC, BJP	BRAND, OBAL	MHAUS
0	2019-06-07	Oppdatert etter kommentarer, og med tilleggsarbeid	MARBUC, BJP	BRAND, OBAL	MHAUS
1	2019-07-05	Oppdatert etter kommentarer, og med tilleggsarbeid	MARBUC, BJP	BRAND, OBAL	MHAUS



Innholdsfortegnelse

1	INTRODUKSJON	1
2	BESKRIVELSE AV ANLEGGET	1
2.1	Systembeskrivelse	1
2.2	Oversikt over alle scenarier inkludert i analysen	2
2.3	Sikkerhetssystemer	3
3	METODIKK	3
4	LNG OG CNG – EGENSKAPER OG FARER	9
4.1	Lekkasjer av LNG	10
4.2	Lekkasjer av CNG	10
5	SIKKERHETSAVSTANDER	11
5.1	Sikkerhetsavstander for base case	11
5.2	Sikkerhetsavstander med redusert hullstørrelse for store lekkasjer	13
6	KONKLUSJONER OG USIKKERHETER	16
7	REFERANSER	18

1 INTRODUKSJON

Dette vedlegget beskriver risikovurderingene som er gjort for å etablere sikkerhetsavstander for LNG/LBG fyllestasjon for tunge kjøretøy.

Risikoanalysen omfatter ulykker relatert til utslipp av flytende naturgass som kan medføre akutt fare for naboer og andre som oppholder seg i omkringliggende områder (3. part) rundt et slik anlegg. Risiko for personell som arbeider eller av annen grunn oppholder seg inne på anleggsområdet, er dermed ikke eksplisitt vurdert i denne analysen.

2 BESKRIVELSE AV ANLEGGET

Modellering av fylleanlegg er basert på mottatt P&ID for representativt anlegg, basert på NS-EN ISO 16924.

Anlegget er modellert på flat mark, uten bygninger eller topografi som representeres vesentlige obstruksjoner.

2.1 Systembeskrivelse

Anlegget omfatter følgende enheter og operasjoner:

- LNG:
 - fylling av LNG fra tankbil (3 bar)
 - fylleslange (10 bar)
 - fyllelinje til tank (10 bar)
 - lagertank (7 bar)
 - trykkøkningsskrets med fordampere (7 bar)
 - forsyningslinje (7 bar)
 - trykkøkningsspumpe og LNG dispenser (15 bar)
- CNG (i tillegg til LNG-anlegget)
 - forsyningslinje til høytrykkspumpe (7 bar)
 - høytrykks LNG-pumpe (295 bar)
 - høytrykks fordampere og gass-heater (295 bar)
 - CNG buffer-tanker (295 bar)
 - CNG-dispenser (220 bar)

Fylling av LNG skjer fra 40 m³ tankbil med bilenspumpe (35 m³/h, 3 bar i tank). Fylletrykk 10 bar. Tanktrykk er 7 bar. Forsyningstrykk LNG er 7 bar. Distribusjonstrykk LNG etter trykkøkning er 15 bar. Trykk i LNG-høytrykkspumpe, CNG-fordampere og CNG flaskebank er 295 bar. Det er to flaskebanker som hver består av tre høytrykksflasker på 200 l i ett segment. Trykk i CNG-dispenser er 220 bar

CNG:

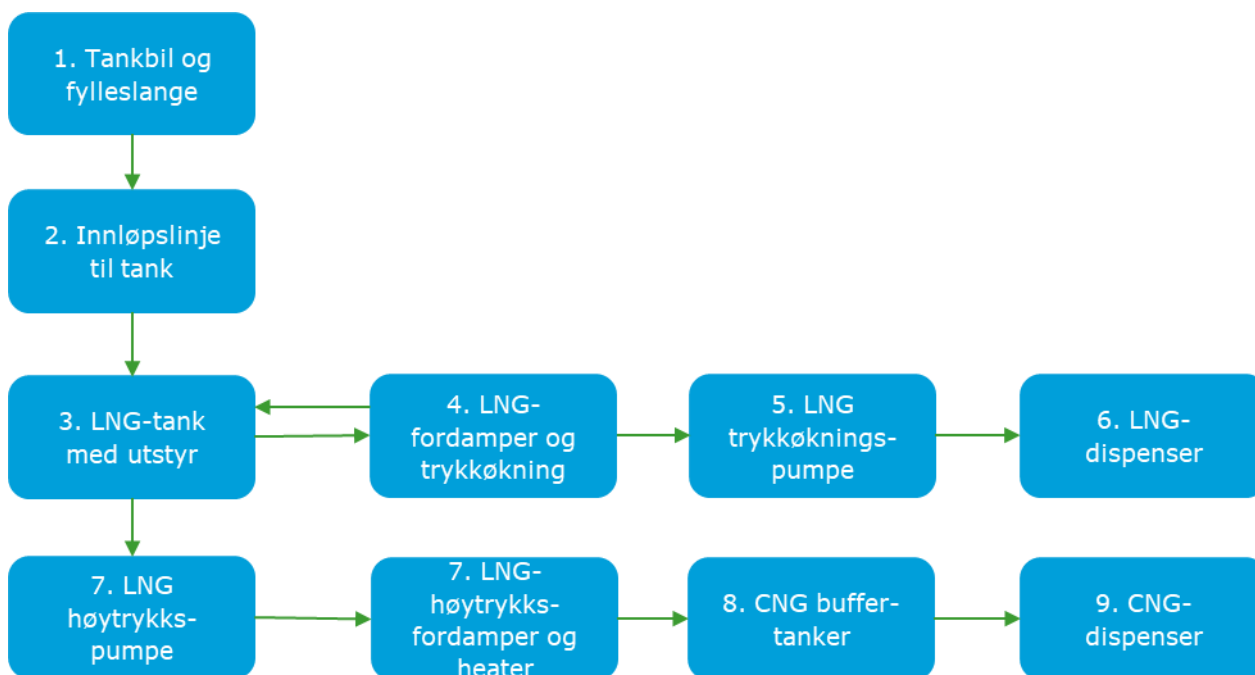
- Hurtigfylling: Fylletid er 15 minutter per fylling (hurtigfylling). Tankstørrelse på kjøretøy er 1.5 m³ og med trykk 220 bar.
- Natt: 8 timer fylletid, 1 slange per kjøretøy x 8 timer.
- Tankstørrelse på kjøretøy er satt til 1.5 m³, med trykk 220 bar.

LNG: Fylletid er 15 minutter per fylling.

Parametervariasjoner:

- Tankvolum (120 m³, 30 m³)
 - Fylle-frekvens for tank: daglig og månedlig.
 - Fylle-frekvens for tungt kjøretøy: 24 per dag, 11 per dag, 1 per dag (både natt-fylling og hurtigfylling dag).

Flyt-skjema for de forskjellige isolerbare seksjonene av anlegget er vist i Figur 2-1.



Figur 2-1 Flyt-skjema for anleggsdelene, nummerering viser til isolerbare seksjoner i Tabell 3-1.

2.2 Oversikt over alle scenarier inkludert i analysen

Tabell 2-1 viser hvilke seksjoner av anlegget det er modellert lekkasjer-scenarier for. Alle scenarier modelleres med og uten nedstenging/isolering av lekkasjen.

Tabell 2-1 Sikkerhetsavstand fylleanlegg LNG - 120m³ LNG tank

Segment nr.	Segment	Fase	Temperatur (°C)	Trykk (Barg)	Mengde (kg)
1	Fylleslange og tankbil	Væske	-160,00	10,00	2.6
2	Innløp til LNG tank	Væske	-160,00	10,00	8.5
3	Tank og utstyr	Væske og gass	-130,00	7,00	35000
4	Tank trykkøkning, inkl. trykkøkningpumpe	Væske og gass	-130,00	7,00	371
5	LNG-linje før isolering mot dispenser	Væske	-115,00	15,00	2.6
6	LNG dispenser	Væske	-115,00	15,00	1.6
7	LNG høytrykkpumpe og fordamer til CNG	Væske	15	295	1.7
8	CNG - bufferlager/flaskebank	Gass	15	295	131
9	CNG distribusjon	Gass	15	220	2

2.3 Sikkerhetssystemer

Følgende sikkerhetssystemer er forutsatt i analysen:

Oppsamlingsbasseng for kryogene lekkasjer under tank og røropplegg. Anleggsområdet er omkranset av gjerde og betongkant (20-30 cm), dimensjoner 15mx15m.

Gass- og lavtemperaturdeteksjon, som ved detektert lekkasje vil stenge ned og isolere anleggsdelene ved initiering av Emergency Shutdown (ESD) og Process Shutdown (ved stengning av ESD og PSD-ventiler). For tankvolum på 120 m³ er det ESD-ventiler eller PSD-ventiler på alle tankutløp, samt etter fordamer.

For tank på 30 m³ er det kun ESD-ventil på forsyningslinje ut fra LNG-tanken, samt tilbakeslagsventil som siste ventil mot losseslange. Operatør på tankbil har ESD-nødstoppknapp for anlegget tilgjengelig.

Pumper, kompressorer og flaskebatteri er plassert i containere med mekanisk ventilasjon og eksplosjonspaneler.

Innenfor anleggsgjerdet er det benyttet EX-beskyttet- utstyr.

3 METODIKK

3.1 Fareidentifikasjon

Fareidentifikasjon er den første og viktigste delen av en risikoanalyse. Formålet med fareidentifikasjonen er å identifisere alle forhold som kan lede til en uønsket hendelse.

I fareidentifikasjonen er det gjennomført et arbeidsmøte med DSB og en anleggsleverandør, samt at det er tatt utgangspunkt i risikoanalyser utført av DNV GL tidligere. Mulige farehendelser som kan medføre antennbare konsentrasjoner av naturgass utenfor anlegget er inkludert i den videre analysen. Videre er farehendelser der en eventuell brann eller eksplosjon vil kunne gi farlige effekter utenfor anlegget, inkludert i den videre analysen.

3.2 Frekvensanalyse

For hver av de definerte farehendelsene, der dette er mulig, beregnes lekkasjefrekvenser basert på utstyrstillinger på mottatt P&ID og lekkasjestatistikk for tilsvarende komponenter i tilgjengelige lekkasjefrekvensdatabaser. Den viktigste kilden har vært UK Health and Safety Executive's databaser (HCRD – Hydro Carbon Release Database), ref. /10/, som benyttes i DNV GLs verktøy LEAK. For deler av prosessen hvor P&ID'er ikke har vært tilgjengelig er det gjort antakelser om antall og type utstyrsenheter i dialog med DSB og leverandør. For selve LNG-tanken samt CNG høytrykksflasker i buffer-lageret er det benyttet lekkasjefrekvens fra OGP Risk Assessment Data Directory, ref. /9/. Frekvensen for fullt brudd på lagertanken er lagt til frekvensen for store lekkasjer, slik at fullt brudd er ikke modellert som en spesifikk hendelse.

Shell Global Solutions' rapport på lekkasjefrekvenser for LNG fylleslanger, ref. /2/, er brukt med følgende størrelsesfordeling:

- 80% små lekkasjer og 20% slangebrudd for LNG
- Små lekkasjer defineres som < 10% av slangediameter.

Valget av lekkasjefrekvens er gjort ut fra ny kunnskap frembragt gjennom rapporten fra Shell Global Solutions, som også understøttes av DNV GLs egen gjennomgang av lekkasje- og eksponeringsdata i databasen Hazardous Materials Information System (HMIS) (gjort i 2018, som en del av et annet prosjekt). Denne databasen er utgitt av Department of Transportation's Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA), Office of Hazardous Materials Safety (OHMS). Databasen er åpent tilgjengelig på: <https://hazmatonline.phmsa.dot.gov/IncidentReportSearch/Welcome.aspx..>

Lekkasjefrekvensen fra prosessutstyr er fordelt på følgende størrelseskategorier:

Lekkasjestørrelse	Representativ hullstørrelse (mm)	Representativ for hullstørrelses-intervall (mm)
Stor	To variasjoner: 35 og 40mm	>25
Medium	15	10-25
Liten	5	1-10

Sammendrag av lekkasjefrekvenser for segmentene er gitt i tabellene nedenfor.

Tabell 3-1 Lekkasjefrekvenser per isolerbart segment, fylling av tank en gang i måneden.

Segment no.	Segment navn	Isolering	Lekkasje-størrelse, frekvens per år.		
			Stor	Medium	Liten
1	Fylleslange og tankbil	Med isolering	6,83E-07	0,00E+00	2,48E-06
		Uten isolering	6,89E-09	0,00E+00	2,76E-07
2	Innløp til LNG tank	Med isolering	4,32E-08	3,76E-08	2,40E-06
		Uten isolering	4,37E-10	4,18E-09	2,67E-07
3	LNG-tank og utstyr	Med isolering	2,99E-04	2,47E-04	0,00E+00
		Uten isolering	3,02E-06	2,74E-05	9,91E-03
4	Trykkøkningskrets for LNG-tank	Med isolering	1,40E-04	1,08E-04	0,00E+00
		Uten isolering	1,41E-06	1,20E-05	1,18E-03
5	LNG-linje og trykkøkningspumpe før isolering mot dispenser	Med isolering	0,00E+00	1,48E-03	0,00E+00
		Uten isolering	0,00E+00	1,65E-04	1,53E-02
6	LNG dispenser	Med isolering	4,96E-04	4,00E-04	0,00E+00
		Uten isolering	5,01E-06	4,44E-05	5,38E-03
7	LNG høytrykkpumpe og fordamping til CNG	Med isolering	0,00E+00	1,81E-03	0,00E+00
		Uten isolering	0,00E+00	2,02E-04	1,46E-02
8	CNG buffer-lager	Med isolering	0,00E+00	1,78E-04	0,00E+00
		Uten isolering	0,00E+00	1,98E-05	2,68E-03
9	CNG dispenser	Med isolering	0,00E+00	1,44E-03	0,00E+00
		Uten isolering	0,00E+00	1,60E-04	9,62E-03
Totalt			9,45E-04	6,30E-03	5,86E-02

3.3 Konsekvensanalyse

Både konsekvenser og risikoberegninger er gjennomført i DNV GL Software sitt verktøy SAFETI, som modellerer konsekvenser fra utslippsmodellering, via spredningsberegning til endelig påvirkning på mennesker eller strukturer med de samme modellene som i verktøyet Phast, kombinert med en frekvensanalyse som tar hensyn til lekkasjefrekvens, tennkilder, befolkning osv. SAFETI gjør fysiske beregninger av utslipp, spredning av gass og branneffekter, men er ikke et CFD-verktøy (computational fluid dynamics). Modellen tar hensyn til forenklete vurderinger av topografi, i form av overflateruhet på bakkenivå, men reflekterer dermed ikke fysiske obstruksjoner som bygninger, fjell eller lignende.


Naturgass er i konsekvensanalysen modellert som ren metan.

3.4 Modellering av feilsannsynligheter for identifiserte scenarier

3.4.1 Hendelsestre for utslipp av brannfarlig gass

Et hendelsestre modellerer ulike hendelsesforløp etter at en uønsket hendelse, for eksempel en gasslekkasje, har inntruffet.

I en risikoanalyse benyttes hendelsestrær til å beregne relative bidrag av de forskjellige slutthendelsene som kan oppstå som følge av en uønsket hendelse. I eksempelet i Figur 3-1 vises et eksempel på et hendelsestre for lekkasje av brannfarlig gass.



I noen tilfeller vil lekkasjen antennes ganske umiddelbart og forårsake varmestråling. Da er vindretning av liten betydning, men kan påvirke stråleradius.

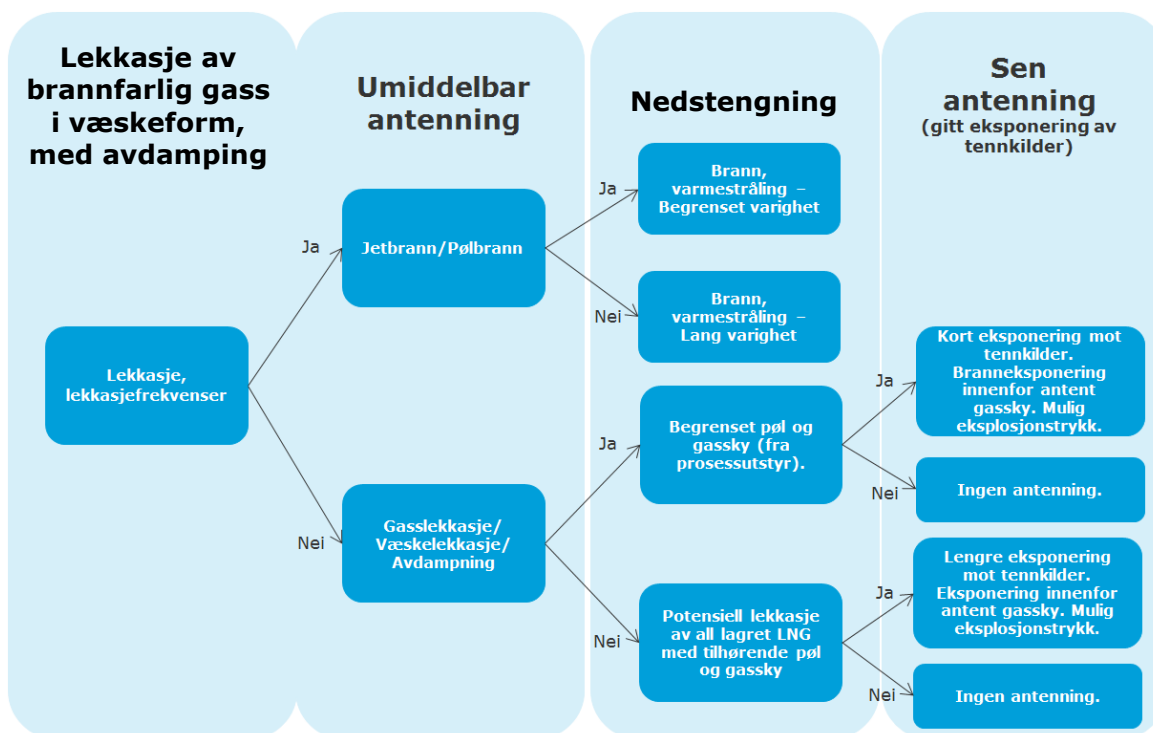
Hvis lekkasjen ikke antennes tidlig vil gasskyen kunne vokse, og vindretningen påvirker hvorvidt gasskyen medfører eksponering av omgivelser eller ikke.

Ved detektert lekkasje vil systemet stenges ned og isoleres ved initiering av Emergency Shutdown (ESD), med følgende pålitelighet og responstider:

- Responstider nødavstengning:
 - Operatør (kun under fylling)
 - Stor lekkasje: 20s
 - Middels lekkasje: 30 s
 - Liten lekkasje: 3 min
 - Automatisk deteksjon og nedstengning:
 - Stor lekkasje: 5 s.
 - Middels lekkasje: 20 s
 - Liten lekkasje antas å ikke detekteres.
 - Rør/slangebrudds-ventil: 5 s for rørbrudd. Antas å ikke stenge ved mindre lekkasjer.
- Feilsannsynligheter for nedstenging (dekker deteksjonsfeil og utstyrsfeil):
 - Operatør (når tilstede): 10%.
 - Automatisk nedstengning:
 - 1% for store lekkasjer
 - 10% for middels lekkasjer.
 - Små lekkasjer detekteres ikke.
 - Rørbruddsventil: 1% for store lekkasjer/rørbrudd

En rask inngripen vil være mulig ved fylling dersom operatør er tilstede under hele lossingen og ikke forhindres fra å gripe inn. Ved andre lekkasjer viser erfaring fra tilsvarende anlegg at det kan ta lang tid før nedstengning initieres, særlig dersom gassdeteksjon ikke lykkes og utløser automatisk nedstengning. Dersom man ikke lykkes i å aktivere ESD vil lekkasjen kunne fortsette helt til systemet er tomt for LNG/naturgass.

Et scenario i PhastRisk modelleres frem til én time etter initiell hendelse.



Figur 3-1 Hendelsestre for utslipp av brannfarlig gass

3.4.2 Modellering av tennsannsynlighet

I en risikoanalyse er tennsannsynlighet en viktig parameter, og angir hvor sannsynlig det er at en gassky antenner, gitt at en lekkasje har funnet sted. Som hendelsestreet i Figur 3-1 også demonstrerer, vil et utslipp som ikke antenner, ikke ha skadelige effekter utenom potensielle gifteffekter, mens et antent utslipp vil kunne gi direkte brannskader eller skader på grunn av varmestråling. Antenning av store gasskyer vil også kunne gi eksplosjonsovertrykk.

I risikoanalysen skiller man derfor også mellom umiddelbar og forsinket antenning. Dette fordi man ved en forsinket antenning vil kunne ha en brennbar gassky av betydelig størrelse og derfor et større skadepotensial enn ved umiddelbar antenning.

Sannsynligheten for umiddelbar antenning er presentert Tabell 3-2. Sannsynlighetene er hentet fra den såkalte «JIP-modellen» som ofte benyttes for i risikoanalyser, ref. /3/.

Tabell 3-2 Umiddelbar tennsannsynlighet, ref /3/.

Sannsynlighet for umiddelbar antenning	
Lekkasjestørrelse	Tennsannsynlighet
0.1-1 kg/s	0,0001
1-10 kg/s	0,001
>10 kg/s	0,01

Forsinket antenning oppstår ved at en aktiv tennkilde eksponeres for brennbar gass. I denne risikoanalysen er, som nevnt tidligere, DSB sine retningslinjer fulgt /8/. I disse retningslinjene argumenteres det for at tennsannsynligheten utenfor anleggets område skal settes til 1. Dette betyr at

det for alle scenarier hvor en antennbar konsentrasjon av gass kan spres utenfor anleggsområdet, skal det antas at den forsinkede tennsannsynligheten er 1 (gitt at umiddelbar antenning ikke har funnet sted). Med de små størrelsene på anleggene som vurderes i denne analysen, er det antatt at alle lekkasjer som ikke antenner umiddelbart, antenner ved største utstrekning av antennbar skystørrelse.

LNG er flytende og tung i avkjølt tilstand, men naturgass er lett ved normal utendørstemperatur. Gassen vil derfor fordampe og stige etter oppvarming ved en lekkasje. Potensielt varmt arbeid og effekt av personell i åpne områder inne på anlegget (bruk av mobiltelefoner, annet ikke-Ex-sertifisert elektrisk utstyr osv.) er ikke hensyntatt i modellen.

3.4.3 Modellering av effekter på befolkning

Dersom en lekkasje antennes kan mennesker bli utsatt direkte for flammer, eller indirekte for varmestråling fra en brann.

For en antent gassky (flash fire), benyttes en enkel grenseverdi som kriterium for dødsfall. Hvis varmestråling ved farehendelsen overstiger det definerte nivået, vil personer som er eksponert omkomme. Sannsynlighet for dødsfall vil tilsvare sannsynlighet for eksponering for varmestråling over grenseverdien.

Effektsonene for stråling fra en ildkule, jetbrann eller væskedamsbrann er modellert som et sett med ellipser. Ellipsene dekker en rekke dødelighetsnivåer, beregnet fra strålingsintensitet og eksponeringstid. For ildkule, jet og væskedamsbrann brukes en probitfunksjon for å estimere en sammenheng mellom de fysiske effektene av brann og sannsynligheten for dødsfall.

Dødsfalls sannsynlighet ved eksponering for varmestråling settes ut fra TNOs probitfunksjon for fatalitetsrate, ref. /5/. Sannsynlighet for død ved eksponering for varmestråling fra en enkelthendelse kan uttrykkes med en probitfunksjon som estimerer sannsynlighet for død basert på mottatt dose uttrykt ved varmefluks (Q) og varighet (t):

- $Pr(C,t) = A + B \ln(Q^n t)$ (1)
- Der
 - Q = varmefluks, (kW/m²) hentet fra brannmodellen
 - t = varighet i minutter, også fra brannmodellen
- Probitfunksjonens parametere for effekt av varmestråling benytter Purple book sine probitkonstanter, ref. /5/.
 - A=-36,38
 - B=2,56,
 - n=4/3

LNG brenner normalt med relativt klar flamme, men for svært store branner kan det selv utendørs bli mangel på oksygen til forbrenningen slik at farlige branngasser dannes. Dette er blant annet beskrevet i ref./4/. Det vises at det ved væskedamsbranner med LNG på land kan dannes store mengder gass ved lav høyde, men at røyken stiger raskt med flammene. Mulige effekter av røykutvikling er ikke modellert i denne analysen. Selv om det ikke kan utelukkes at mennesker på bakkenivå i ulike tilfeller kan eksponeres for røyk, er det forventet at de andre branneffektene vil dominere det umiddelbare

risikobildet ved en LNG-lekkasje. Ved en eventuell brann bør man likevel vurdere potensialet for røykspredning som del av ulykkesberedskapen.

Dersom en "pøl" av brennbar væske antenner, vil det resultere i en såkalt pølbrann. En pølbrann har normalt en lavere gjennomsnittlig strålingsintensitet til omgivelsen pr.m² flammeoverflate, enn en jet-brann. Dette skyldes først og fremst en mindre effektiv forbrenning i væskepøler med stor diameter (>3-5 meter) fordi brannen ikke suger nok luft til å underholde forbrenningen. Dette reduserer flammemetemperaturen, samtidig som ufullstendig forbrenning (soting) vil skjerme omgivelsene fra flammen.

Gass-skybrann er typisk som følge av forsinket antennelse av lekkasje fra gass-segment eller væske-segment hvor det koker av betydelig mengder gass etter utslipp til atmosfære. Etter en forsinket antennelse vil den kortvarige effekten (gass-skybrannen) kunne brenne tilbake og gi en pøl-brann (væskelekkasjer) eller jet-brann (gass-/to-faselekkasjer eller væskelekkasjer med trykk > 5 bar). En gass-sky kan bevege seg vekk fra lekkasjekilden og antenne i et annet område. Dette gjelder særlig for store og kortvarige lekkasjer av flyktige stoffer, f.eks. LNG. Dette gjør at ikke alle forsinkede antennelser medfører en etterfølgende pøl- eller jet-brann.

Ved forsinket tenning av gasslekkasje, kan gass-skyen ha rukket å bygge seg opp og bli relativt stor. Når denne skyen tenner, kan forbrenningsbølgen generere trykk som gir rask trykkøkning i området (eksplosjon). Forbrenningsgassene vil kunne ekspandere i lengderetningen til opp til det dobbelte av gassskyens størrelse før tenning. Ildkulen (eksplosjonen) vil vare 5-15 sekunder og etterfølges av en jet-brann eller pøl-brann, avhengig av mediet som lekker ut.

Effekt av eksplosjoner på personer utendørs vurderes etter Probit basert på Green book sine probitkonstanter, ref./11/.

- $Pr(P) = A + B \ln(P_s^n)$ (1)
- Der
 - P_s = eksplosjonstrykk (Pa)

A, B og n er konstanter;

- $A = -16,7319$
- $B = 2,44$
- $n = 1$

4 LNG OG CNG – EGENSKAPER OG FARER

Flytende naturgass (LNG) er naturgass som er nedkjølt til flytende form for transport og lagring.

Komprimert naturgass (CNG) er naturgass under så høyt trykk at den opptar mindre enn 1 % av volumet den ville hatt ved atmosfæretrykk.

Naturgass består hovedsakelig av metan, med små andeler av høyere ordens hydrokarboner. LNG renses for karbondioksid og giftige komponenter før nedkjøling. Naturgass er fargeløs og luktfri, men tilsettes et luktstoff etter fordamping i anlegget. Gassen er svært brennbar i antennebare konsentrasjoner. På grunn av gassens lave kokepunkt er den meget flyktig og lett når den slippes ut i

omgivelsene, selv på vinterstid. I denne analysen er LNG modellert som ren metan, dette er den viktigste komponenten i naturgass og også den som er lettest antennelig.

Naturgass i høye konsentrasjoner har en bedøvende effekt, og kan i verste fall føre til kvelning dersom oksygen i luften fortrenses (for eksempel ved innendørs lekkasje). Innånding av naturgass er ellers ikke ansett å ha noen alvorlige, langsiktige helsemessige effekter.

4.1 Lekkasje av LNG

Lekkasje fra fylling av LNG tank, LNG-tank med trykkøkningsanlegg, forsyningslinje, trykkøkningspumpe, distribusjonslinje og LNG dispenser er modellert. Lekkasje er modellert som utendørs lekkasje.

Utslipp i forbindelse med fylling av LNG-tanken er en av de største farene knyttet til LCNG anlegget. Her overføres LNG via en slange til lagringstanken. Raten ved lossing av tankbil er oppgitt å være ca 10 l/s (4.4 kg/s). En lekkasje som ikke oppdages ved lossing vil dermed raskt føre til et relativt stort utslipp.

En stor lekkasje av LNG fra lagertanken er også del av bidraget til risikokonturene fra LNG-anlegget. Et utslipp fra lagertanken kan inntreffe som en konsekvens av feil på tank, flenser, ventiler etc. I tillegg kommer muligheten for overfylling, og/eller feilfylling.

En full tank med 120 m³ LNG er forventet å inneholde ca. 50 tonn LNG (85% fylling), mens maksimal mengde i fordampningsprosessen vil være vesentlig mindre enn mengden i en full lagertank. Lagertanken er «single containment» og har overfyllingsvern og overtrykksventil. Feilfrekvenser brukt for lagringstanker finnes i ref./6/, og disse understøtter at frekvensen for fullt brudd av LNG-tanker av den aktuelle typen er svært sjeldne hendelser, og vil være i størrelsesorden 5×10^{-7} per år. Lekkasje derfor forventet å være relatert til prosessutstyr og koblinger inn mot tankene. Fullt brudd på slike tanker er svært lite sannsynlig, og frekvensbidraget for slike hendelser er lagt til frekvensen for store lekkasje.

De vesentligste scenariene vil være gass-skybrann som følge av forsinket antennelse, med påfølgende pøl-brann, eller en jetbrann avhengig av lekkasjerate og trykket i segmentet der lekkasjen skjer. Jo høyere trykk, desto større tendens til en jet brann, som betyr at forekomsten av jet-brann vil være høyere i seksjonene etter trykkøkningspumpen.

4.2 Lekkasje av CNG

Lekkasje fra CNG-delen av anlegget vil dekke utslipp fra forsyningslinje for LNG frem til og med høytrykkspumpe, lekkasje fra fordampingsprosessen, lekkasje fra CNG-bufferlager/flaskebank og CNG dispenser under fylling.

Lekkasje fra LNG-seksjonen vil ha scenarier tilsvarende som for forsyningslinjen og trykkøkningspumpen fra seksjon 4.1. Etter høytrykkspumpen vil tendensen til å danne jet-branner øke, som følge av høyt trykk, men små mengder LNG tilstede i systemet vil gi kortvarige branner. For CNG-delen er det små mengder metan-gass under høyt trykk, med unntak i CNG buffer-lageret hvor det er lagret ca. 130 kg metan i hver flaskebank. Fullt brudd på en slik flaskebank kan frigjøre en betydelig mengde metan, som ved antennelse kan gi flashbrann og eventuelt eksplosjonstrykk. I denne analysen er det effekten av flashbrann som er fremtredende, fordi anleggene er små og åpne med liten grad av fortetting som kan gi opphav til eksplosjonstrykk av betydning.

Høytrykksflasker kan plutselig ryke og forårsake en kraftig trykkbølge av uantent gass som ekspanderer. Mulige trykkbølger fra flaskebrudd er ikke inkludert i risikoanalysen, siden det er en forutsetning at alle lekkasjer vil antenne. Mulige fysiske barrierer, f.eks en betongvegg vil ha en risikoreduserende effekt på en slik trykkbølge.

Det er ikke inkludert effekt av prosjektiler eller gjenstander som løsner under en eksplosjon eller et flaskebrudd, og som kan nå ut til publikum.

5 SIKKERHETSAVSTANDER

Dette kapittelet gir sikkerhetsavstander beregnet ut fra risikomodellen for anlegget. Sikkerhetsavstanden er definert som avstanden til risikokonturen for de tre nivåene for årlig individuell dødsfallrisiko:

- 10^{-7} (ytre sone)
- 10^{-6} (midtre sone)
- 10^{-5} (indre sone).

Sikkerhetsavstanden er beregnet fra midtpunktet i anlegget, målt inn fra sidekantene som definerer anleggets fotavtrykk.

Indre, midtre og ytre hensynssone refererer til DSBs soner med oversikt over hvilke tiltak eller type aktiviteter og objekter som er tillatt innenfor de forskjellige sonene, /8/.

5.1 Sikkerhetsavstander for base case

Tabell 5-1 til Tabell 5-4 viser sikkerhetsavstandene for LNG/LCNG-anlegg for tunge kjøretøy for både hurtigfylling og langtidsfylling av 1 og 24 kjøretøy per dag. Som det fremgår av tabellene påvirker ikke variasjoner i fyllerfrekvens for kjøretøy, tankstørrelse eller frekvens for fylling av LNG-tanken sikkerhetsavstandene innenfor de variasjonene analysen har vurdert.

Tabell 5-1 Sikkerhetsavstand fylleanlegg LNG – 120 m³ LNG tank, fylling av tank hver dag

Parametervariasjon	Sikkerhetsavstand (m)		
	Indre	Midtre	Ytre
Fylling av tungt kjøretøy - 24 per dag	28	81	99
Fylling av tungt kjøretøy - 1 per dag	28	80	99

Tabell 5-2 Sikkerhetsavstand fylleanlegg LNG – 120 m³ LNG tank, fylling av tank hver dag

Parametervariasjon	Sikkerhetsavstand (m)		
	Indre	Midtre	Ytre
Fylling av tungt kjøretøy - 24 per dag	29	81	99
Fylling av tungt kjøretøy - 1 per dag	29	81	99

Tabell 5-3 Sikkerhetsavstand fylleanlegg LNG – 30 m³ LNG tank, fylling av tank en gang hver måned

Parametervariasjon	Sikkerhetsavstand (m)		
	Indre	Midtre	Ytre
Fylling av tungt kjøretøy - 24 per dag	29	80	99

Tabell 5-4 Sikkerhetsavstand fylleanlegg LNG – 30 m³ LNG tank, fylling av tank hver dag.

Parametervariasjon	Sikkerhetsavstand (m)		
	Indre	Midtre	Ytre
Fylling av tungt kjøretøy - 1 per dag	29	81	99

Viktigste bidragsyter til risiko (indre/midtre/ytre) for 120 m³ LNG tank og fylling av 24 kjøretøy per døgn er gitt i tabellene nedenfor. Lekkasje fra LNG-delen av anlegget nedstrøms tanken representerer mer enn 90 % av risikoen i indre sone. Dette skyldes relativt høye lekkasjerater og frekvenser i kombinasjon. Seksjonen med LNG trykkøkningpumpen er største bidragsyter, og det skyldes at seksjonen har høyere trykk enn anleggsdelene oppstrøms. Dersom det antas at pumpe og linje kun er trykksatt under fylling vil dette bidraget reduseres. LNG-dispenser bidrar med om lag 10% av risikoen knytte til indre sone, men variasjoner i frekvensen for fylling av kjøretøy gir ikke synlige endring av sikkerhetsavstanden fordi 90% av risikoen i sonen ikke påvirkes av dette. Midtre og ytre sone domineres av store væske-lekkasjer fra LNG-tanken og trykkøkningkretsen. Trykk og rørdimensjoner vil være de faktorene som i størst grad påvirker utstrekning av indre sikkerhetszone. For midtre og ytre sone kan også redusert responstid for isolering/nedstengning av lekkasje i LNG-linje og trykkøkningpumpe gi en reduksjon av sikkerhetsavstanden.

Tabell 5-5 Viktigste bidragsyter til indre sone- 120 m³ LNG tank, fyllinger av 24 kjøretøy per døgn, fylling av LNG-tank 1 gang per måned

Segment no.	Segment navn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering	Risikobidrag (%)
5	LNG-linje og trykkøkningpumpe før isolering mot dispenser	Væske	Medium	Med isolering	36.5
4	Trykkøkningkrets for LNG-tank	Væske	Stor	Med isolering	24.0
5	LNG-linje og trykkøkningpumpe før isolering mot dispenser	Væske	Medium	Uten isolering	21.4

6	LNG dispenser	Væske	Medium	Med isolering	9.6
3	LNG-tank med utstyr	Væske	Stor	Med isolering	6.0
6	LNG dispenser	Væske	Medium	Uten isolering	1.0
De resterende scenarioene bidrar med mindre enn 1% av risikoen.					

Tabell 5-6 Viktigste bidragsyter til midtre sone - 120 m³ LNG tank, fylling 1 gang per måned

Segment no.	Segment navn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering	Risikobidrag (%)
3	LNG-tank med utstyr	Væske	Stor	Med isolering	51.6
4	Trykkøkningskrets for LNG-tank	Væske	Stor	Med isolering	45.3
4	Trykkøkningskrets for LNG-tank	Væske	Stor	Uten isolering	2.6
De resterende scenarioene bidrar med mindre enn 1% av risikoen.					

Tabell 5-7 Viktigste bidragsyter til ytre sone - 120 m³ LNG tank, fylling 1 gang per måned

Segment no.	Segment navn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering	Risikobidrag (%)
3	LNG-tank med utstyr	Væske	Stor	Med isolering	97.9
4	Trykkøkningskrets for LNG-tank	Væske	Stor	Uten isolering	1.0
3	LNG-tank med utstyr	Væske	Stor	Uten isolering	1.0
Andre scenarioer har risikobidrag lavere enn 1%.					

5.2 Sikkerhetsavstander med redusert hullstørrelse for store lekkasjer

Tabell 5-8 og Tabell 5-9 til viser sikkerhetsavstandene for LNG/LCNG-anlegg for tunge kjøretøy for hurtigfylling og langtidsfylling av 24 kjøretøyer per dag, for hhv. 120 m³ og 30 m³ tank, med hullstørrelse for store lekkasjer redusert fra 40 til 35mm.

Tabell 5-8 Sikkerhetsavstand fylleanlegg LNG – 120 m³ LNG tank, fylling av tank en gang hver måned

Parametervariasjon	Sikkerhetsavstand (m)		
	Indre	Midtre	Ytre
Fylling av tungt kjøretøy - 24 per dag	27	68	84

Tabell 5-9 Sikkerhetsavstand fylleanlegg LNG – 30 m³ LNG tank, fylling av tank en gang hver måned

Parametervariasjon	Sikkerhetsavstand (m)		
	Indre	Midtre	Ytre
Fylling av tungt kjøretøy - 24 per dag	27	68	84

Viktigste bidragsyter til risiko (indre/midtre/ytre) for 120 m³ LNG tank og fylling av 24 kjøretøy per døgn er gitt i tabellene nedenfor. Lekkasje fra LNG-delen av anlegget nedstrøms tanken representerer mer enn 90 % av risikoen i indre sone. Dette skyldes relativt høye lekkasjerater og frekvenser i kombinasjon. Seksjonen med LNG trykkøkningpumpen er største bidragsyter, og det skyldes at seksjonen har høyere trykk enn anleggsdelene oppstrøms. Dersom det antas at pumpe og linje kun er trykksatt under fylling vil dette bidraget reduseres. LNG-dispenser bidrar med om lag 10% av risikoen knytte til indre sone, men variasjoner i frekvensen for fylling av kjøretøy gir ikke synlige endring av sikkerhetsavstanden fordi 90% av risikoen i sonen ikke påvirkes av dette. Midtre og ytre sone domineres av store væske-lekkasjer fra LNG-tanken og trykkøkningkretsen. Trykk og rørdimensjoner vil være de faktorene som i størst grad påvirker utstrekning av indre sikkerhetszone. For midtre og ytre sone kan også redusert responstid for isolering/nedstengning av lekkasje i LNG-linje og trykkøkningpumpe gi en reduksjon av sikkerhetsavstanden.

Tabell 5-10 Viktigste bidragsyter til indre sone- 120 m³ LNG tank, fyllinger av 24 kjøretøy per døgn, fylling av LNG-tank 1 gang per måned

Segment no.	Segment navn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering	Risikobidrag (%)
5	LNG-linje og trykkøkningpumpe før isolering mot dispenser	Væske	Medium	Med isolering	36.6
4	Trykkøkningkrets for LNG-tank	Væske	Stor	Med isolering	24.3
5	LNG-linje og trykkøkningpumpe før isolering mot dispenser	Væske	Medium	Uten isolering	21.5

6	LNG dispenser	Væske	Medium	Med isolering	9.7
3	LNG-tank med utstyr	Væske	Stor	Med isolering	5.6
De resterende scenarioene bidrar med mindre enn 1% av risikoen.					

Tabell 5-11 Viktigste bidragsyter til midtre og ytre sone - 120 m³ LNG tankfylling 1 gang per måned

Segment no.	Segment navn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering	Risikobidrag (%)
3	LNG-tank med utstyr	Væske	Stor	Med isolering	88.3
4	Trykkøkningskrets for LNG-tank	Væske	Stor	Med isolering	7.0
4	Trykkøkningskrets for LNG-tank	Væske	Stor	Uten isolering	3.7
De resterende scenarioene bidrar med mindre enn 1% av risikoen.					

Tabell 5-12 Viktigste bidragsyter til indre sone- 30 m³ LNG tank, fyllinger av 24 kjøretøy per døgn, fylling av LNG-tank 1 gang per måned

Segment no.	Segment navn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering	Risikobidrag (%)
5	LNG-linje og trykkøkningspumpe før isolering mot dispenser	Væske	Medium	Med isolering	36.9
4	Trykkøkningskrets for LNG-tank	Væske	Stor	Med isolering	24.5
5	LNG-linje og trykkøkningspumpe før isolering mot dispenser	Væske	Medium	Uten isolering	21.0
6	LNG dispenser	Væske	Medium	Med isolering	9.8
3	LNG-tank med utstyr	Væske	Stor	Med isolering	5.7
De resterende scenarioene bidrar med mindre enn 1% av risikoen.					

Tabell 5-13 Viktigste bidragsyter til midtre og ytre sone - 30 m³ LNG tank, fylling 1 gang per måned

Segment no.	Segment navn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering	Risikobidrag (%)
3	LNG-tank med utstyr	Væske	Stor	Med isolering	89
4	Trykkøkningskrets for LNG-tank	Væske	Stor	Med isolering	7
4	Trykkøkningskrets for LNG-tank	Væske	Stor	Uten isolering	3.3

De resterende scenarioene bidrar med mindre enn 1% av risikoen.

6 KONKLUSJONER OG USIKKERHETER

Risiko defineres ofte som en kombinasjon av sannsynlighet for og konsekvens av uønskede hendelser, men begrepet kan tolkes langt videre. I denne analysen er risikoen fremstilt som årlige sannsynligheter (frekvenser) for dødsfall relatert til håndtering av LNG. En tolkning av hva risiko egentlig innebærer er at risiko knyttet til en aktivitet er kombinasjonen av mulige fremtidige hendelser og deres konsekvenser, og tilhørende usikkerhet, ref. /7/. Resultatene av risikoanalysen, og dermed de resulterende sikkerhetsavstandene ovenfor, må derfor vurderes i lys av usikkerheten i beregningene og vurderingene som er gjort. Usikkerheten kan være knyttet til antakelser, forenklinger og begrensinger i modellene, styrken av kunnskapen som benyttes eller i omfanget av risikoanalysen.


Når det modelleres at alle skyer som når utenfor anlegget antenner, vil tidsfaktoren ikke påvirke antennessannsynligheten. Dette betyr at en stor sky - men med kort eksponering av mulige tennkilder fordi lekkasjen raskt stenges ned - vil ha like høy sannsynlighet for antennelse som en lekkasje som ikke stenges og dermed eksponerer mulige tennkilder over lengre tid. Tidsfaktoren har i realiteten stor betydning for tennsannsynligheten.

Den risikoreduserende effekten av rask nødavstengning som gir isolering av lekkasjer og tennkilder i mindre grad blir reflektert, så lengde det innenfor tidsrommet for nødavstengning lekker ut tilstrekkelig mengde LNG/gass til å etablere en stor gass-sky. Dette er da særlig gjeldende for store lekkasjer fra væskesegmenter, hvor initiell lekkasje-rate er høy.

Det er forventet at det vil være noe variasjoner i dimensjoner på rørverk og utstyr på anleggene. Særlig vil variasjon i dimensjonene på væskefylte rør på utløpssiden av LNG-tanken påvirke utstrekning av konturer. Større dimensjoner gir større andel store lekkasjer, som gir høyere lekkasjerater og dermed raskere større gass-skyer.

Usikkerhet i antakelser er knyttet til bruk av lekkasjefrekvenser, tilstedeværelsen av ulike tennkilder i anlegget, befolkning og trafikk i nærområdet osv. Høyere tennsannsynlighet i eller nær anlegget vil kunne redusere utstrekningen av de lengste konturene, men gir tilsvarende økt risiko nærmere anlegget. Det vil kunne oppstå skyer som driver vekk fra anlegget, og som ved antenning ikke kan brenne tilbake.

Et annet usikkerhetsmoment er knyttet til prosessforholdene i LNG-anlegget. Ved oppgitt trykkforhold i anlegget er det antatt at væskefasen er i mettet tilstand ved et utslipp. Dersom trykk og temperaturforhold avviker drastisk fra dette, burde konsekvensmodelleringen påvirkes. Dette gjelder



særlig for utslipp i væskefasen, der modellen er svært sensitiv rundt temperaturen ved metningspunktet. Ved eller over denne temperaturen vil utslippet raskt gå over i gassfase og slippes ut som en spray eller jet. Ved lavere temperatur, vil en større mengde væske slippes ut og danne en dam rundt lekkasjestedet. Slik det er modellert i denne analysen vil LNG fordampe raskt, og større mengder væske samles ikke opp unntatt for de aller største lekkasjene. Det er forventet at en gasslekkasje formet som en jet vil ha lengre utstrekning enn ved en væskedam, og at resultatene dermed vil være konservative.

For lekkasje av LNG som ikke kan stenges ned vil lekkasjeforløpet og varigheten ha stor variasjon basert på en rekke faktorer. I tillegg vil lekkasjen kunne endre karakter i løpet av hendelsesforløpet. Lekkasjens hullstørrelse, trykk og temperaturforhold spiller naturligvis en stor rolle. Hvor lekkasjepunktet befinner seg vil avgjøre i hvor stor grad lekkasjen vil bestå av LNG eller naturgass som har fordampet i tanken. For lekkasjer i øvre del av tanken vil en lekkasje i hovedsak bestå av gass, nederst i tanken vil all LNG i tanken kunne renne ut. For andre lekkasjer vil en fraksjon av tankvolumet slippes ut som LNG, og den resterende mengden vil fordampe og slippes ut som gass så lenge det er overtrykk i systemet. I realiteten kan det i enkelte tilfeller dermed ta svært lang tid før en lekkasje vil stanse fullstendig. Fyllingsgrad og mengde gass i systemet vil også påvirke lekkasjerater og varighet. Det vil derfor være vanskelig å forutse med særlig presisjon hvor lenge et gitt scenario vil vare, og det vil være viktig å overvåke situasjonen kontinuerlig slik at vurderinger kan tas basert på tilgjengelig informasjon.

I tillegg tar risikomodellen ikke hensyn til geometri i anlegget eller faktisk vindrose, hvilket betyr at alle lekkasjeretninger er vurdert like sannsynlige. I virkeligheten vil lekkasjeretningene være noe avhengig av geometrien til utstyret i anlegget samt dominerende vindretninger, samt grad av obstruksjon ved utslipp i forskjellige retninger

7 REFERANSER

- /1/ HSE (2012). Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments. Health and Safety Executive, UK.
- /2/ Shell Global Solutions, LNG Hose Failure Probability, SR.14.11.417
- /3/ JIP Ignition Modelling, Time Dependent Ignition Probability Model, Joint Industry Project – DNV, Scandpower, et al. DNV Report No. 96-3629, Rev. 4, 1998-02
- /4/ Sandia National Laboratories (2011). *Recommendations on the Prediction of Thermal Hazard Distances from Large Liquefied natural Gas Pool Fires on Water for Solid Flame Models*. Sandia Report SAND2011-9415
- /5/ VROM, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Netherlands. (2005). *Purple Book Guidelines for quantitative risk assessment*. den Haag: PUBLICATIEREEKS GEVAARLIJKE STOFFEN
- /6/ DNV (2008). *Offshore QRA Standardised Hydrocarbon Leak Frequencies*. Report no. 2008-1768
- /7/ Aven, T. (2011). The risk concept – historical and recent development trends. *Reliability Engineering and System Safety* 99 (2012) 33–44
- /8/ DSB (2013). Sikkerheten rundt anlegg som håndterer brannfarlige, reaksjonsfarlige, trykksatte og eksplosjonsfarlige stoffer. Kriterier for akseptabel risiko. Tilgjengelig fra: <https://www.dsb.no/rapporter-og-evalueringer/sikkerheten-rundt-anlegg-som-handterer-brannfarlige-reaksjonsfarlige-trykksatte-og-eksplosjonsfarlige-stoffer/>.
- /9/ OGP Risk Assessment Data Directory, Storage incident frequencies, Report No. 434-3, March 2010.
- /10/ UK Health and Safety Executive. (2010). UK Health and Safety Executive, *Hydrocarbon Release Database*.
- /11/ VROM, Methoden voor het bepalen van mogelijke schade (Green Book), PGS1, Voorburg, December 2003. (<http://www.vrom.nl/pagina.html?id=20725>, 03 October 2008).





Om DNV GL

DNV GL er et internasjonalt selskap innen kvalitetssikring og risikohåndtering. Siden 1864 har vårt formål vært å sikre liv, verdier og miljøet. Vi bistår våre kunder med å forbedre deres virksomhet på en sikker og bærekraftig måte.

Vi leverer klassifisering, sertifisering, teknisk risiko- og pålitelighetsanalyse sammen med programvare, datahåndtering og uavhengig ekspertrådgivning til maritim sektor, til olje- og gass-sektoren, og til energibedrifter. Med 80,000 bedriftskunder på tvers av alle industrisektorer er vi også verdensledende innen sertifisering av ledelsessystemer.

Med høyt utdannede ansatte i 100 land, jobber vi sammen med våre kunder om å gjøre verden sikrere, smartere og grønnere.