

VURDERING AV RISIKO VED ANLEGG FOR FARLIG STOFF

Vedlegg 2 - Sikkerhetsavstand for LNG forbruksanlegg

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 2 - Sikkerhetsavstand for LNG Region Norway
forbruksanlegg
Oppdragsgiver: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap
Kontaktperson: Jan G. Røed
Dato: 2019-07-05
Prosjektnr.: 10126190
Org. enhet:
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
Gruppeleder

Audun Brandsæter
Senior sjefsingeniør

Marianne Hauso
Seksjonsleder

Olivier Baldan
Avdelingsleder

[Name]
[title]

Marta Bucelli
Konsulent

[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:

LNG, sikkerhet

*Distribusjonsliste:

Rev.nr.	Dato	Årsak for utgivelser	Utført av	Verifisert av	Godkjent av
A	2018-12-12	For kommentering	MARBUC, BJP, OBAL	BRAND	MHAUS
B	2019-01-25	Oppdatert etter kommentarer	MARBUC, BJP, OBAL	BRAND	MHAUS
0	2019-06-01	Oppdatert etter kommentarer og sensitiviteter	MARBUC, BJP, OBAL	BRAND	MHAUS
1	2019-07-05	Oppdatert etter kommentarer og sensitiviteter	MARBUC, BJP, OBAL	BRAND	MHAUS

Innholdsfortegnelse

1	INTRODUKSJON	1
2	BESKRIVELSE AV ANLEGGET	1
2.1	Systembeskrivelse	1
2.2	Oversikt over alle scenarier som er inkludert i analysen	2
2.3	Sikkerhetssystemer	2
3	METODIKK	3
3.1	Fareidentifikasjon	3
3.2	Frekvensanalyse	3
3.3	Konsekvensanalyse	4
3.4	Modellering av feilsannsynligheter for identifiserte scenarier	4
4	LNG – EGENSKAPER OG FARER	8
4.1	Utslipp ved lossing	9
4.2	Utslipp fra lagertank, fordampingsprosess og forbrukslinje	9
5	SIKKERHETSAVSTANDER	9
5.1	Sikkerhetsavstander for base case	9
5.2	Sikkerhetsavstander; redusert hullstørrelse for store lekkasjer	11
5.3	Sikkerhetsavstander; redusert rørdimensjon på væskesegmenter på utløpssiden fra lagertanken.	13
6	RELEVANTE USIKKERHETER	13
7	REFERANSER	15

1 INTRODUKSJON

Dette vedlegget beskriver risikovurderingene som er gjort for å etablere sikkerhetsavstander for LNG forbruksanlegg.

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 slikt 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

Anlegget som danner basis for risikoanalysen, er et LNG forbruksanlegg beskrevet etter mottatt P&ID for et representativt anlegg, basert på NS-EN 13645.

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

2.1 Systembeskrivelse

Anlegget omfatter følgende hovedenheter og operasjoner:

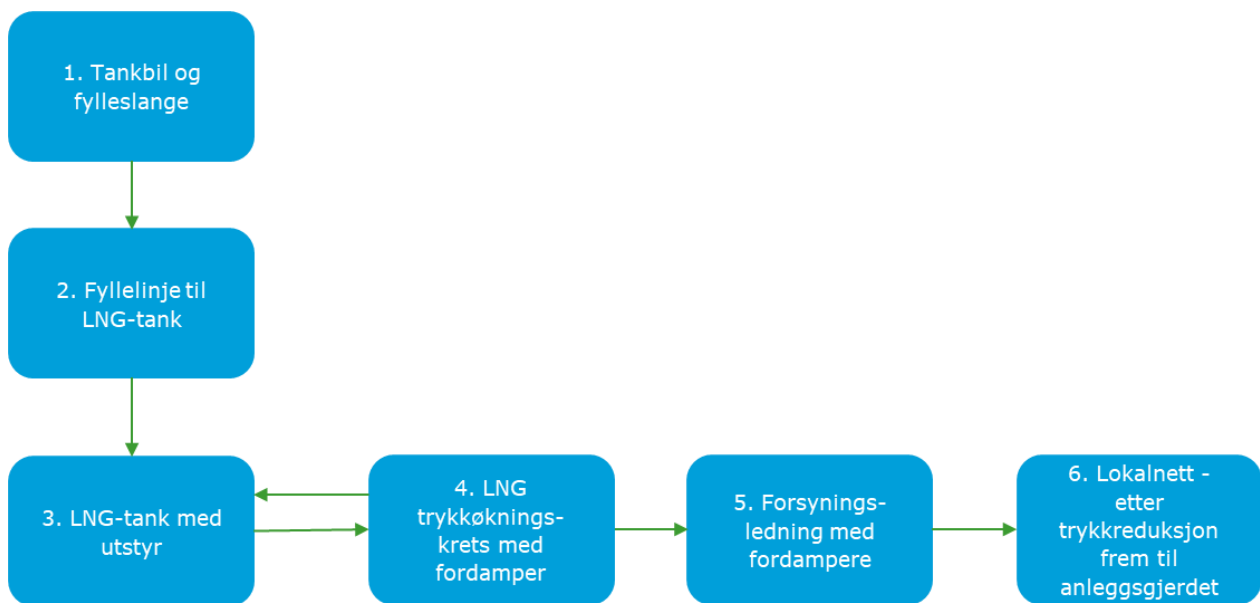
- fylling fra tankbil med pumpe (3 bar)
- fylleslange (10 bar)
- fyllelinje til lagertank (10 bar)
- lagertank (7 bar)
- trykkøkingskrets for tank med fordampere (7 bar)
- forsyningslinje med to fordampere og gass-varmer (7 bar)
- trykkreduksjonsventil og distribusjonsledning frem til betongkant (4 bar).

Fylling skjer fra 40 m³ tankbil med bilens pumpe (35 m³/h, 3 bar i tank). Forbruk av LNG er 500 kg/h. Fylletrykk til lagertanken er 10 bar, mens tanktrykket er 7 bar. Forsyningstrykk 7 bar og distribusjonstrykk 4 bar.

Følgende parametervariasjoner er gjort

- Tankvolum (120 m³, 30 m³)
 - Fylle-frekvens ukentlig og hver 14. dag.

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



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

2.2 Oversikt over alle scenarier som er inkludert i analysen

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


Tabell 2-1 Oversikt over scenarier som er modellert (for 120 m³ tank)

Segment	Navn på scenarie	Fase	Temperatur (°C)	Trykk (Barg)	Mengde (kg)
1	Fylleslange	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	35520
4	Tank trykkøkningsskrets med fordampere	Væske og gass	-130,00	7,00	371
5	Forsyningsledning med fordampere	Væske	-130,00	7,00	4,7
6	Lokalnett (før trykkreduksjon, etter fordampere)	Gass	5,00	7,00	0,3
7	Lokalnett - etter trykkreduksjon frem til «gjerdet»	Gass	5,00	4,00	0,3

2.3 Sikkerhetssystemer

Følgende sikkerhetssystemer er reflektert 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 fordampere.

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

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 database (HCRD – Hydro Carbon Release Database) /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 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: 40 mm og 35	>25
Medium	15	10-25
Small	5	1-10

Sammendrag av frekvenser for segmentene er gitt i Tabell 3-1 nedenfor.

Tabell 3-1 Lekkasjefrekvens per isolerbart segment

Segment no.	Segment navn	Isolering	Lekkasje-størrelse		
			Stor	Medium	Liten
1	Fylleslange og tankbil, fylling 1 gang per uke.	Med isolering	2,95E-06	0,00	1,07E-05
		Uten isolering	2,98E-08	0,00	1,19E-06
2	Fyllelinje til LNG tank, fylling 1 gang per uke.	Med isolering	1,87E-07	1,63E-07	1,04E-05
		Uten isolering	1,89E-09	1,81E-08	1,15E-06
3	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 med fordampere	Med isolering	1,40E-04	1,08E-04	0,00E+00
		Uten isolering	1,41E-06	1,20E-05	1,18E-03
5	Forsyningsledning	Med isolering	6,25E-04	6,45E-04	0,00E+00
		Uten isolering	6,31E-06	7,17E-05	1,04E-02
6	Lokalnett – etter trykkreduksjon frem til «gjerdet»	Med isolering	1,34E-04	2,29E-04	0,00E+00
		Uten isolering	1,35E-06	2,54E-05	4,11E-03
Totalt			1,21E-03	1,36E-03	2,56E-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 forenklede vurderinger av topografi, i form av overflateruhet på bakkenivå, men reflekterer 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.

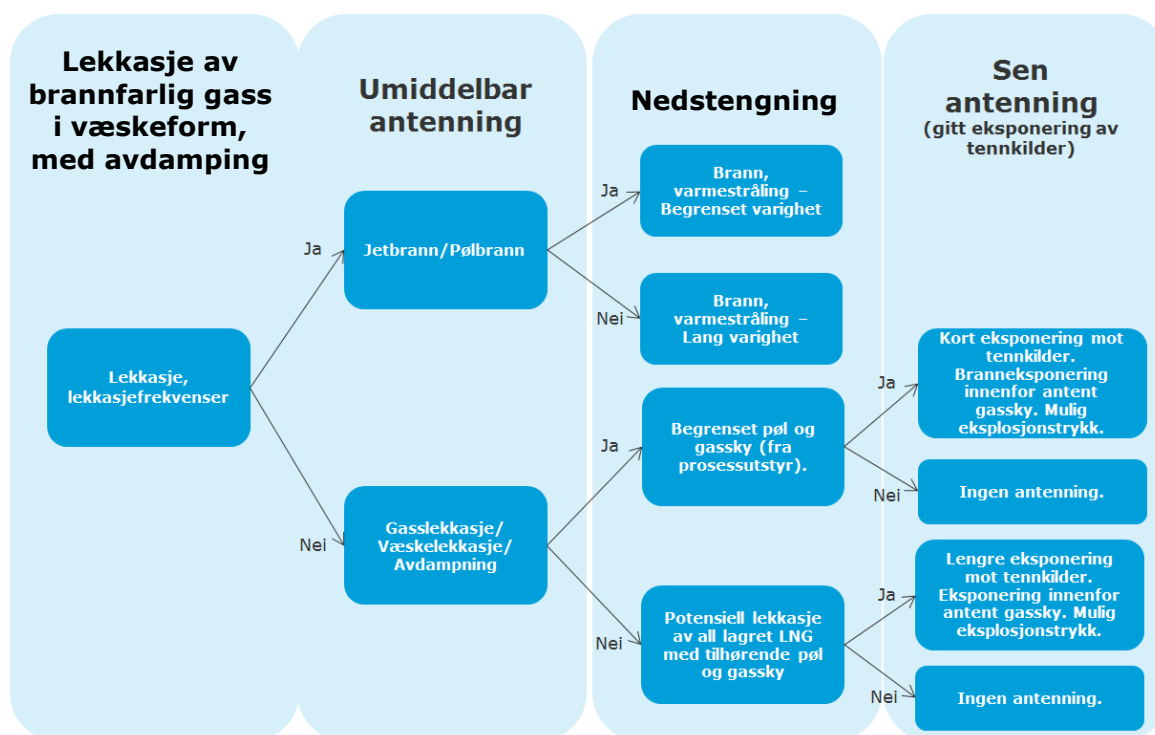
Hvis lekkasjen ikke antennes tidlig vil gasskyen kunne vokse, og vindretningen påvirker hvorvidt gasskyen medfører eksponering av omgivelsene.

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: 30s
 - Liten lekkasje: 3 min
 - Automatisk deteksjon og nedstengning:
 - Stor lekkasje: 5s
 - Middels lekkasje: 20s.
 - Liten lekkasje antas å ikke detekteres.
 - Rør/slangebrudds-ventil: 5s for rørbrudd. Antas å ikke stenge ved mindre lekkasjer.
- Feilsannsynligheter for nedstengning (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 SAFETI 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 i Tabell 3-2. Tennsannsynlighetene 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. I disse retningslinjene argumenteres det for at tennsannsynligheten utenfor anleggets område skal settes til 1. Dette betyr at det for alle scenarier hvor en antenbar 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 antenbar 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.

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.

Dødsfallsannsynlighet ved eksponering for varmestråling settes ut fra TNOs probitfunksjon for fatalitetsrate. 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 brannberegningene
 - A, B og n er konstanter
- Probitfunksjonens parametere for effekt av varmestråling benytter på 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 – EGENSKAPER OG FARER

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

Hydrokarbongass 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 Utslipp ved lossing

Utslipp i forbindelse med lossing er en av de største farene knyttet til LNG anlegget. Her overføres LNG via en slange til lagringstanken. Raten ved lossing 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.

4.2 Utslipp fra lagertank, fordampingsprosess og forbrukslinje

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 innholdet ca. 50 tonn LNG, 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. /9/, og disse understøtter at frekvensen for fullt brudd av tanker av denne typen er i størrelsesorden 5×10^{-7} per år. I hovedsak er lekkasjer derfor forventet å være relatert til prosessutstyr og koblinger inn mot tankene. Fullt brudd på slike tanker er svært lite sannsynlig, slik at disse scenariene er ikke modellert separat, men inkludert i frekvensen for store lekkasjer fra LNG-tanken.

Lekkasjer fra fordamper og distribusjonslinje er modellert, men på grunn av lave trykk og små volumer gir dette lite bidrag til risiko for personell utenfor anlegget.

5 SIKKERHETSAVSTANDER

Dette kapitlet gir sikkerhetsavstander beregnet ut fra risikomodellen for anlegget. Sikkerhetsavstanden er definert som avstanden til risikokontur 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.

Indre, midtre og ytre sone 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

Resultatene for aktuelle sikkerhetsavstander er gitt i tabellene nedenfor. Som det fremgår av tabellene påvirker ikke variasjoner i tankstørrelse eller frekvens for fylling sikkerhetsavstandene. Dette skyldes at de største lekkasjer fra de største bidragsyterne til sonene ikke påvirkes av disse parameterne.

Tabell 5-1 Sikkerhetsavstand forbruksanlegg LNG - 120m³ LNG tank

Parametervariasjon	Sikkerhetsavstand (m)		
	Indre	Midtre	Ytre
Fylling 1 gang i uken	29	87	101
Fylling hver 14. dag	29	87	101

Tabell 5-2 Sikkerhetsavstand forbruksanlegg LNG - 30m³ LNG tank

Parametervariasjon	Sikkerhetsavstand (m)		
	Indre	Midtre	Ytre
Fylling 1 gang i uken	28	85	99
Fylling hver 14. dag	28	85	99

De største bidragsyterne til risiko (indre/midtre/ytre sone) for 120 m³ LNG tank med fylling 1 gang per uke er gitt i Tabell 5-3 og Tabell 5-4

Som det fremgår er det store væskelekkasjer fra trykkøkningskrets, forsyningsledning og lagertanken med tilhørende utstyr/lekkasjepunkter på tanken som er største bidragsyter til indre sone. Tankstørrelse eller variasjoner i fyllfrekvens påvirker ikke disse bidragsyterne, og dermed ikke utstrekning av sikkerhetsavstandene. Bidraget fra lekkasjer med isolering/ESD er større enn fra lekkasjer uten. Dette skyldes at frekvensen for store lekkasjer som stenges ned/isoleres er 99 ganger høyere enn for hendelser uten nedstengning/isolering. Den mengden LNG som lekker ut før eventuell isolering, inkludert mengden i den isolerbare seksjonen, er tilstrekkelig til å gi en betydelig utstrekning av antennbar gass-sky. Det relative bidraget til risiko-konturen per lekkasje er i midlertid 9 ganger høyere for uisolerte store lekkasjer, som følge av at disse vil lage enda større gass-skyer. Kortere responstid eller høyere pålitelighet på nedstengning gir liten effekt på utstrekning av indre sone. Trykk og rørdimensjoner vil være de faktorene som i størst grad påvirker utstrekning av indre sikkerhetszone.

Midtre og ytre sone domineres av store væske-lekkasjer fra LNG-tanken og trykkøkningskretsen. For midtre/ytre sone er det en vesentlig større andel store uisolerte lekkasjer som bidrar til sikkerhetsavstanden enn for indre sone. Dersom tidsfaktoren/varighet av lekkasjen og eksponering av tennkilder hadde vært inkludert i analysen, ville bidraget fra isolerte lekkasjer reduseres ytterligere.

Tabell 5-3 Viktigste bidragsyter til indre sone - 120m³ LNG tank fylling 1 gang per uken

Segment no.	Segment navn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering (ESD)	Risikobidrag (%)
4	Tank - trykkøkningskrets	Væske	Stor	Med isolering	43.5
5	Forsyningsledning med fordampere	Væske	Stor	Med isolering	33.6
3	Tank med utstyr	Væske	Stor	Med isolering	10.8
5	Forsyningsledning med fordampere	Væske	Stor	Uten isolering	7.8

Andre scenarioer har risikobidrag lavere enn 1%.

Tabell 5-4 Viktigste bidragsyter til midtre og ytre sone - 120m³ LNG tank fylling 1 gang per uken

Segment no.	Segment navn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering	Risikobidrag (%)
3	LNG-tank med utstyr	Væske	Stor	Med isolering	51.4
5	Forsyningsledning med fordampere	Væske	Stor	Uten isolering	47.5

Andre scenarier har risikobidrag lavere enn 1 %.

5.2 Sikkerhetsavstander; redusert hullstørrelse for store lekkasjer

Resultatene for aktuelle sikkerhetsavstander med representativ hullstørrelse for store lekkasjer redusert fra 40mm til 35mm er gitt i tabellene nedenfor. Som det fremgår av tabellene gir en reduksjon i hullstørrelsen for store lekkasjer på 5mm en betydelig endring av utstrekning av risiko-konturene.

Tabell 5-5 Sikkerhetsavstand forbruksanlegg LNG - 120m³ LNG tank

Parametervariasjon	Sikkerhetsavstand (m)		
	Indre	Midtre	Ytre
Fylling 1 gang i uken	25	68	84

Tabell 5-6 Sikkerhetsavstand forbruksanlegg LNG - 30m³ LNG tank

Parametervariasjon	Sikkerhetsavstand (m)		
	Indre	Midtre	Ytre
Fylling 1 gang i uken	24	68	83

Det største bidragsyterne til risikokonturene for hhv. 120 og 30 m³ tanker er gitt i Tabell 5-7, Tabell 5-8, Tabell 5-9 og Tabell 5-10.

Som det fremgår er det store væskelekkasjer fra trykkøkningskrets, forsyningsledning og lagertanken med tilhørende utstyr/lekkasjepunkter på tanken som er største bidragsyter til indre sone. Tankstørrelse eller variasjoner i fyllefrekvens påvirker ikke disse bidragsyterne, og dermed ikke utstrekning av sikkerhetsavstandene. Bidraget fra lekkasjer med isolering/ESD er større enn fra lekkasjer uten. Dette skyldes at frekvensen for store lekkasjer som stenges ned/isoleres er 99 ganger høyere enn for hendelser uten nedstengning/isolering. Den mengden LNG som lekker ut før eventuell isolering, inkludert mengden i den isolerbare seksjonen, er tilstrekkelig til å gi en betydelig utstrekning av antenbar gass-

sky. Det relative bidraget til risiko-konturen per lekkasje er i midlertid 9 ganger høyere for uisolerte store lekkasjer, som følge av at disse vil lage enda større gass-skyer. Kortere responstid eller høyere pålitelighet på nedstengning gir liten effekt på utstrekning av indre sone. Trykk og rørdimensjoner vil være de faktorene som i størst grad påvirker utstrekning av indre sikkerhetszone.

Midtre og ytre sone domineres av store væske-lekkasjer fra LNG-tanken og trykkøkningskretsen. For midtre/ytre sone er det en vesentlig større andel store uisolerte lekkasjer som bidrar til sikkerhetsavstanden enn for indre sone. Dersom tidsfaktoren/varighet av lekkasjen og eksponering av tennkilder hadde vært inkludert i analysen, ville bidraget fra isolerte lekkasjer reduseres ytterligere.

Tabell 5-7 Viktigste bidragsyter til indre sone - 120m³ LNG tank fylling 1 gang per uken

Segment no.	Segment navn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering (ESD)	Risikobidrag (%)
4	Tank - trykkøkningskrets	Væske	Stor	Med isolering	49
5	Forsyningsledning	Væske	Stor	Med isolering	35
3	Tank med utstyr	Væske	Stor	Med isolering	11

Andre scenarioer har risikobidrag lavere enn 1%.

Tabell 5-8 Viktigste bidragsyter til midtre og ytre sone - 120m³ LNG tank fylling 1 gang per uken

Segment no.	Segment navn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering	Risikobidrag (%)
3	Tank	Væske	Stor	Med isolering	83
4	Tank - trykkøkningskrets	Væske	Stor	Med isolering	7
5	Forsyningsledning	Væske	Stor	Uten isolering	6
4	Tank - trykkøkningskrets	Væske	Stor	Uten isolering	3

Andre scenarioer har risikobidrag lavere enn 1 %.

Tabell 5-9 Viktigste bidragsyter til indre sone - 30m³ LNG tank fylling 1 gang per uken

Segment no.	Segment navn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering (ESD)	Risikobidrag (%)
4	Tank - trykkøkningskrets.	Væske	Stor	Med isolering	49
5	Forsyningsledning	Væske	Stor	Med isolering	35
3	Tank	Væske	Stor	Med isolering	11

Andre scenarioer har risikobidrag lavere enn 1%.

Tabell 5-10 Viktigste bidragsyter til midtre og ytre sone - 30m³ LNG tank fylling 1 gang per uken

Segment no.	Segment navn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering	Risikobidrag (%)
3	Tank	Væske	Stor	Med isolering	84
4	Tank - trykkøkningskrets	Væske	Stor	Med isolering	7
5	Forsyningsledning	Væske	Stor	Uten isolering	5
4	Tank - trykkøkningskrets	Væske	Stor	Uten isolering	3

Andre scenarioer har risikobidrag lavere enn 1 %.

5.3 Sikkerhetsavstander; redusert rørdimensjon på væskesegmenter på utløpssiden fra lagertanken.

I base case modellen er DN 40 benyttet som dimensjon på piping og utstyr på væskeutløpet fra LNG-tanken, frem til reduksjon i diameter på forsyningsledningen til 25mm. Det er gjort en sensitivitet der disse dimensjonen på væskeutløpet og forsyningsledningen varieres DN 20, 25, 32. Resultatene viser noe redusert utstrekning av indre og midtre risikokontur for DN 20 og 25, som følge av at færre lekkasjer havner i kategori «stor». DN 32 gir en økning i utstrekning av indre sone, fordi dette gir en økning i dimensjon på forsyningsledningen fra 25 til 32 mm, som gir en større andel store lekkasjer fra dette segmentet. Utstrekning av indre sone påvirkes særlig av dimensjonen på forsyningsledningen.

Tabell 5-11 Sikkerhetsavstand forbruksanlegg LNG - 120m³ LNG tank

Parametervariasjon	Sikkerhetsavstand (m)		
	Indre	Midtre	Ytre
DN 32	39	82	100
DN 25	23	80	100
DN 20	23	80	100
Base case - DN 40	29	87	101

6 RELEVANTE 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 risikoreducerende 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.