

VURDERING AV RISIKO VED ANLEGG FOR FARLIG STOFF

# Vedlegg 1 - Sikkerhetsavstand for LPG forbruksanlegg

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap

**Rapportnr.:** 2018-1200, Rev. 2

**Dokumentnr.:** 244734

**Dato:** 2019-10-07



Prosjektnavn: Vurdering av risiko ved anlegg for farlig stoff DNV GL Oil&Gas  
Rapporttittel: Vedlegg 1 - Sikkerhetsavstand for LPG Region Norway  
forbruksanlegg  
Oppdragsgiver: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap ,  
Kontaktperson: Jan Røed  
Dato: 2019-10-07  
Prosjektnr.: 10126190  
Org. enhet: O-NR-SRMH  
Rapportnr.: 2018-1200, Rev. 2  
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 [title]	Marianne Hauso Seksjonsleder
Hans Kristian Norum Eidesen Konsulent	Olivier Baldan Avdelingsleder	
	[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:

LPG, sikkerhet, forbruksanlegg

\*Distribusjonsliste:

Rev.nr.	Dato	Årsak for utgivelser	Utført av	Verifisert av	Godkjent av
A	2018-12-13	For kommentarer	BJP, HANNORU, OBAL	BRAND, OBAL	MHAUS
B	2019-01-31	Oppdatert etter kommentarer	BJP, HANNORU	BRAND, OBAL	MHAUS
0	2019-06-07	Endelig rapport, med nye sensitiviteter	OBAL, BJP	BRAND	MHAUS
1	2019-07-05	Oppdatert etter kommentarer	MARBUC, BJP	BRAND	MHAUS
2	2019-10-07	Oppdatert utstyrstilling	MARBUC, BJP	OBAL	MHAUS

## Innholdsfortegnelse

1	INTRODUKSJON .....	1
2	BESKRIVELSE AV ANLEGGET .....	1
2.1	Systembeskrivelse	1
2.2	Oversikt over scenarier inkludert i analysen for 120m <sup>3</sup> anlegg	2
2.3	Sikkerhetssystemer	3
3	METODIKK .....	3
3.1	Fareidentifikasjon	3
3.2	Frekvensanalyse	3
3.3	Konsekvensanalyse	5
3.4	Modellering av feilsannsynligheter for identifiserte scenarier	5
4	LPG – EGENSKAPER OG FARER .....	9
4.1	Utslipp ved lossing	9
4.2	Utslipp fra lagertank, fordampingsprosess, forbruks- og distribusjonslinje	9
5	SIKKERHETSAVSTANDER .....	10
5.1	Sikkerhetsavstander for base case med 7 bar i lagertank	10
5.2	Sikkerhetsavstander med 5 barg i lagertank	13
5.3	Sikkerhetsavstander for undergrunnstanker med redusert tankvolum, uten fordamper	16
5.4	Sikkerhetsavstander; redusert representativ hullstørrelse for store lekkasjer	16
6	RELEVANTE USIKKERHETER .....	18
7	REFERANSER .....	20

# 1 INTRODUKSJON

Dette vedlegget beskriver risikovurderingene som er gjort for å etablere sikkerhetsavstander for LPG Forbruksanlegg.

Risikoanalysen omfatter ulykker relatert til utslipp av LPG (flytende petroleumsgass) 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 LPG forbruksanlegg beskrevet etter mottatt P&ID for et representativt anlegg, basert på NS-EN 12542 og NS-EN 14570.

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

### 2.1 Systembeskrivelse

Anlegget omfatter følgende hovedenheter og aktiviteter:

- fylling fra tankbil med bilens pumpe (7 bar)
- fylleslange (9 bar)
- fyllelinje for tank-størrelse 120 m<sup>3</sup> (rørbruddsventil og tilbakeslagsventil) til tank (9 bar), mindre tanker med slange direkte i tank.
- lagertank (7 og 5 bar)
- forsyningslinje, rørbruddsventil (7 og 5 bar)
- fordamper og trykkreduksjon (7 og 5 bar)
- distribusjonsledning (0.3 bar)

Fylling skjer fra 40 m<sup>3</sup> tankbil (35 m<sup>3</sup>/h, 7 bar i tank). Forbruk for anlegget er 500 kg/h. Fylletrykk 9 bar, fylling skjer til gassfasen i tanken Tanktrykk 7 bar. Forsyningstrykk 7 bar. Distribusjonstrykk 0.3 bar.

For tanker < 120 m<sup>3</sup> fylles det med slange (10m) rett i tanken

Fyllelinje er gassfylt så lenge fylling ikke pågår, kun væske under fylling.

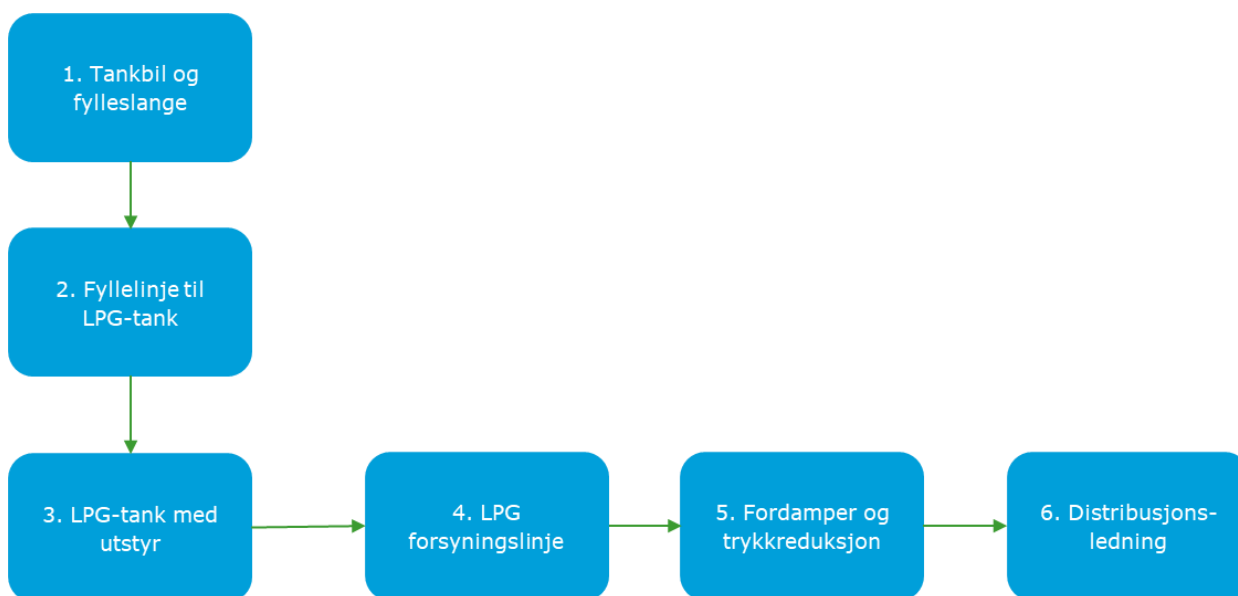
Dimensjon på anlegg er 10m x 20m.

Parametervariasjoner:

- Tankvolum 120 m<sup>3</sup>, 60 m<sup>3</sup>, 13 m<sup>3</sup>:
  - Tank over og under grunn
  - Med og uten BLEVE
  - Fylle-frekvens ukentlig og hver 14. dag
  - Med og uten fordamperanlegg (gass tas direkte fra tank)
  - Væske direkte til forbruker (13 bar trykkøkningpumpe)

- 5 og 7 barg i lagertankene
- Tankvolum 13, 6.4 og 2.7 med 5 barg i lagertankene.

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 scenarier inkludert i analysen for 120m<sup>3</sup> anlegg

Tabell 2-1 viser seksjonene i et anlegg med 120 m<sup>3</sup> lager tank som det er modellert lekkasjer-scenarier for.

**Tabell 2-1** Oversikt over scenarier som er modellert (representerer 120 m<sup>3</sup> tank)

Segment	Navn på scenario	Fase	Temperatur (°C)	Trykk (Barg)	Mengde (kg)
0	Tankbil	Væske	15 °C		20000
1	Fylleslange	Væske	15 °C	7	3
2	Fyllelinje til LPG-tank (kun for 120 m <sup>3</sup> tank)	Væske	15 °C	9	10
3	Tank og utstyr	Væske og gass	15 °C	5 og 7 bar	43 000
4	Forsyningsledning og fordamper	Væske	15 °C	5 og 7 bar	2.5
5	Lokalnett (før trykkreduksjon, etter fordamper)	Gass	70 °C	5 og 7 bar	< 1 kg
6	Lokalnett - etter trykkreduksjon frem til «gjerdet»	Gass	70 °C	0.3	< 1 kg

## 2.3 Sikkerhetssystemer

Følgende sikkerhetssystemer er forutsatt i analysen:

- Lstepumpe i tankbil gir ikke økt pumperate ved slangebrudd.
- Det er tilbakeslagsventil i fyllelinjen som siste ventil mot losseslange.
- Det er rørbruddsventil på tankutløpet.
- Det er videre trykksikringsventiler på tank (PSV), fordamper, forsyningslinje og distribusjonslinje.
- Rørbruddsventil lukker kun på fullt brudd i rørledning, og er ikke vurdert å gi effekt for mindre lekkasjer.

Operatør på tankbil har nødstopppknapp for anlegget tilgjengelig.

Anleggsområdet er omkranset av gjerde og betong-kant (20-30 cm), dimensjoner 10mx20m.

## 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 gass 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) /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 LPG-tanken er det benyttet lekkasje-frekvens 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.

For lekkasje fra fylleslange til LPG-anlegg brukes Shell Global Solutions' rapport på lekkasjefrekvenser for LNG fylle-slanger, ref. /2/, med følgende størrelsesfordeling:

- 66% små lekkasjer/34% slangebrudd for LPG
- Små lekkasjer = 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

datatabasen 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>.

Lekkasjedata fra denne databasen tilsier at frekvensen for lekkasje fra LPG fylleslanger er tilsvarende som for LNG. På basis av at det ikke er registrert slangebrudd ved fylling av LNG på anlegg i Norge, mens det er registrert slangebrudd for fylling av LPG, er det imidlertid valgt en større andel store lekkasjer for LPG enn for LNG (der 20% andel brudd er antatt).

Lekkasjefrekvensen fra prosessutstyr er fordelt på følgende størrelseskategorier:

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

Sammen drag av frekvenser for segmentene er gitt i Tabell 3-1.

**Tabell 3-1 Lekkasjefrekvenser per isolerbart segment, 120 m<sup>3</sup> tank, fylling hver uke**

Segment no.	Segment navn	Isolering	Lekkasjestørrelse		
			Stor	Medium	Liten
1	Tankbil og fylleslange, fylling en gang per uke	Med isolering	5,02E-06	-	8,86E-06
		Uten isolering	5,07E-08	-	9,85E-07
2	Innløpt til LPG tank	Med isolering	1,91E-07	8,86E-08	1,03E-06
		Uten isolering	1,93E-09	9,85E-09	1,15E-07
3	Tank med utstyr	Med isolering	-	-	-
		Uten isolering	4,06E-05	4,33E-04	6,48E-03
4	Forsyningsledning og fordampner	Med isolering	1,93E-04	-	-
		Uten isolering	1,95E-06	5,10E-04	4,97E-03
5	Lokalnett før trykkreduksjon	Med isolering	-	-	-
		Uten isolering	2,20E-04	4,78E-04	6,32E-03
6	Lokalnett etter trykkreduksjon	Med isolering	-	-	-
		Uten isolering	7,14E-05	1,19E-03	6,83E-03
<b>Totalt</b>			<b>5.32E-04</b>	<b>2.61E-03</b>	<b>2.46E-02</b>

### 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.

LPG er i konsekvensanalysen modellert som ren propan.

### 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.

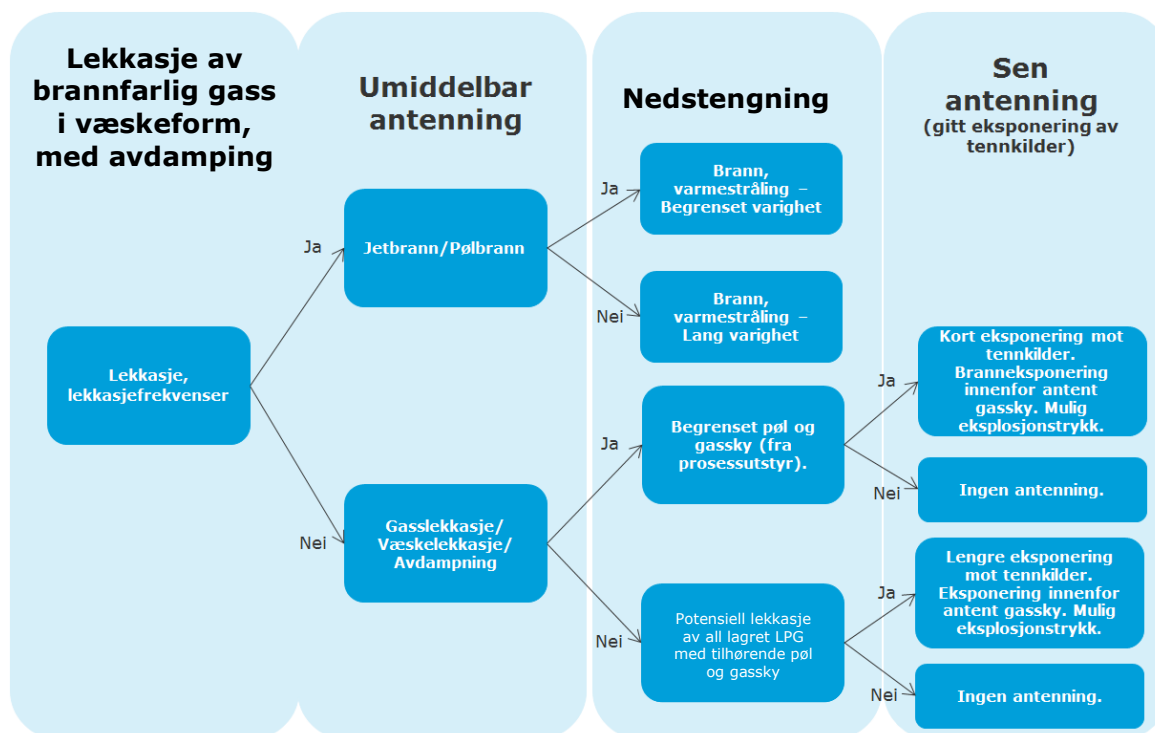


Ved detektert lekkasje vil systemet stenges ned og isoleres ved initiering av Emergency Shutdown (ESD), med følgende pålitelighet og responstider:

- Responstider nødavstengning:
  - Operatør (kun under fylling)
    - Stor lekkasje: 5s
    - Middels lekkasje: 30s
    - Liten lekkasje: 3 min
  - Det er ikke forutsatt automatisk gassdeteksjon og nedstengning for anlegget.
  - Rør/slangebrudds-ventil: 5s for rørbrudd. Antas å ikke stenge ved mindre lekkasjer.
- Feilsannsynligheter for nedstengning (dekker deteksjonsfeil og utstyrsfeil):
  - Operatør (når tilstede): 10%.
  - 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 for anlegg uten gassdeteksjon eller utløsning av automatisk nedstengning. Dersom man ikke lykkes i å isolere lekkasjepunktet vil lekkasjen kunne fortsette helt til systemet er tomt for LPG.

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 antennelse. Dette fordi man ved en forsinket antennelse vil kunne ha en brennbar gassky av betydelig størrelse og derfor et større skadepotensial enn ved umiddelbar antennelse.

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

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

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

Forsinket antennelse oppstår ved at en aktiv tennkilde eksponeres for brennbar gass. I denne risikoanalysen er, som nevnt tidligere, DSB sine retningslinjer fulgt, ref. /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 antenner konsentrasjon av gass kan spres utenfor anleggsområdet, skal det antas at den forsinkede tennsannsynligheten er 1 (gitt at umiddelbar antennering ikke har funnet sted). Med de små størrelsen på anleggene som vurderes i denne analysen, er det antatt at alle lekkasjer som ikke antenner umiddelbart, antenner ved største utstrekning av antenner skystørrelse.

LPG vil gå over i gassfase ved lekkasje til atmosfære, og initielt vil en andel av lekkasjen oppføre seg som en gassjet, mens det resterende vil falle ut og danne en pøl på bakken/vannet med påfølgende fordampning. Avdamping fra pøler av LPG vil gi tunge gasskyer. Tunge gasskyer vil følge terrenget og søke til lavere nivåer. Lekkasje av propan i gassform gir en jet som danner en tung gassky, og spres i utgangspunktet som en jet. Men jeten mister fort sin impuls, og vindretningen og topografien vil dominere retningen gassen beveger seg. LPG har en relativt stor tendens til å gi jet-branner, som følge av høy umiddelbar flash-fraksjon ved utslipp til atmosfære. Pøl-brann er vurdert til å være et mulig utfall for lekkasjer fra væskesegmenter.

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 BLEVE/ildkule, jetbrann eller væskedamsbrann er modellert som et sett med ellipser. Ellipsene dekker en rekke dødelighetsnivåer, beregnet fra strålingsintensitet og

eksponeringstid. For ildkule/BLEVE, jet og væskedamsbrann brukes en probitfunksjon for å estimere en sammenheng mellom de fysiske effektene av brann og sannsynligheten for dødsfall.

Dødsfallsansynlighet 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 varmekraft (Q) og varighet (t):

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

LPG 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 LPG 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 LPG-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.m<sup>2</sup> 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 flammehøyden, samtidig som ufullstendig forbrenning (soting) vil skjerme omgivelsene fra flammen.

Gasskybrann er typisk som følge av forsinket antennelse av lekkasje fra gassegment eller væske-segment hvor det koker av betydelig mengder gass etter utslipp til atmosfære. Etter en forsinket antennelse vil den kortvarige effekten (gasskybrannen) kunne brenne tilbake og gi en pøl-brann (væskelekkasjer) eller jet-brann (gass-/to-faselekkasjer eller væskelekkasjer med trykk > 5 bar). En gassky 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. LPG. Dette gjør at ikke alle forsinkede antennelser medfører en etterfølgende pøl- eller jet-brann.

Ved forsinket tenning av gasslekkasje, kan gasskyen 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 gasskyens 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 LPG – EGENSKAPER OG FARER

LPG er en blanding av hydrokarboner som er trykksatt slik at de foreligger i væskeform. De vanligste komponentene er propan og butan. Propan og butan er tyngre enn luft. I denne analysen er LPG modellert som ren propan. LPG er fargeløs og luktfri, men tilsettes et luktstoff i den flytende gassen. Gassen er svært brennbar i antennebare konsentrasjoner (brennbar i konsentrasjoner mellom 2 – 10% i luft).

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 propan er ellers ikke ansett å ha noen alvorlige, langsiktige helsemessige effekter. LPG i flytende form vil kjøles ned ved utslipp til atmosfære, og kan gi forfrysninger dersom mennesker kommer i kontakt med væsken. Disse farene er ikke inkludert i analysen, da de ikke er vurdert å representere en fare for tredjeperson.

### 4.1 Utslipp ved lossing

Utslipp i forbindelse med lossing er en av de største farene knyttet til LPG- anlegget. Her overføres LPG via en slange til lagringstanken. Raten ved lossing er oppgitt å være ca 10 l/s (5 kg/s). En lekkasje som ikke oppdages ved lossing vil dermed raskt føre til et relativt stort utslipp.

### 4.2 Utslipp fra lagertank, fordampingsprosess, forbruks- og distribusjonslinje

En stor lekkasje av LPG fra lagertanken er også del av bidraget til risikokonturene fra LPG-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 m<sup>3</sup> LPG er forventet å innholdet ca. 50 tonn LPG (85% fyllingsgrad, tetthet 495 kg/m<sup>3</sup>). Lagertanken har overfyllingsvern og overtrykksventil (PSV). Feilfrekvenser brukt for lagringstanker finnes i ref. /9/, og disse tilsier at frekvensen for fullt brudd av trykktanker er i størrelsesorden 5 x 10<sup>-7</sup> 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. I en analyse av risiko for personell på anlegget ville man typisk sett bort fra denne type hendelse, men siden det forventes at dette er en av få potensielle hendelser som kan ha betydelig innvirkning på tredjepart er den likevel inkludert som et tillegg til frekvensen for store lekkasjer fra tanken.

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

Høyden over bakken for plassering av lekkasjepunkter for væske gir en betydelig påvirkning på utstrekning av sonene. Det er modellert at væskeutslipp fra tanken skjer på bakkenivå, siden lekkasjepunkter på væskesiden er på nedre del/undersiden av tanken, mens lekkasjer fra væskeutløpet fra lagertanken er modellert med 1m over bakken siden det er større usikkerhet i rørføring og plassering av disse lekkasjepunkter

Det er gjort sensitivitetsanalyse for å bestemme effekten av at lagertanker kan være nedgravd. Dette vil bidra til å redusere frekvensen for lekkasjer fra tanken med tilhørende lekkasjepunkter som følge av bedre beskyttelse mot ytre mekanisk påvirkning.

Effekten av en eksplosjon i tanken som følge av kraftig oppvarming fra en ekstern brann er tatt med som en sensitivitet, som gir en trykkøkning i tanken som ikke gis tilstrekkelig avlastning gjennom tankens trykksikringsventil. En slik hendelse kalles en «Boiling Liquid Expanding Vapour cloud Explosion» (BLEVE), og har en svært lav sannsynlighet for å forekomme. Basert på OGP data er frekvensen for en slik hendelse i størrelsesorden  $10^{-5} - 10^{-7}$ , per år, ref. /9/. Med basis i at de aktuelle LPG-anleggene for denne analysen har lav lekkasje- og brannfrekvens som kan eksponere tanken, er frekvensen for BLEVE satt til  $5 \times 10^{-7}$  per år.

## 5 SIKKERHETSAVSTANDER

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

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

Sikkerhetsavstanden er beregnet fra midtpunktet i anlegget, og er målt i meter.

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 med 7 bar i lagertank

Resultatene for aktuelle sikkerhetsavstander med paramatervariasjoner gitt i tabellene nedenfor for LPG-tanker på 120 m<sup>3</sup>, 60m<sup>3</sup> og 13 m<sup>3</sup>. Trykk i lagertankene er 7 barg, og representativ hullstørrelse på 40 mm for store lekkasjer.

**Tabell 5-1 Sikkerhetssoner for LPG-tank på 120m<sup>3</sup>**

Parameter*	Indre sone	Midtre sone	Ytre sone
Basissituasjon: - Tank plassert over grunn - BLEVE ikke inkludert - Med fordamper - Fylling hver uke	48	67	100
Variasjoner:			
Tank plassert under grunn	35	62	100
BLEVE inkludert	47	105	258
Uten fordamper (trykkøkning til 13bar fra væskesiden)	50	60	75
Fylling hver 14. dag	48	67	100
Uten fordamper (gass direkte fra gassfase)	46	59	74

**Tabell 5-2 Sikkerhetssoner for LPG-tank på 60m<sup>3</sup>**

	Indre sone	Midtre sone	Ytre sone
Basissituasjon: - Tank plassert over grunn - BLEVE ikke inkludert - Med fordamper - Fylling hver uke	47	64	94
Variasjoner:			
Tank plassert under grunn	35	62	94
BLEVE inkludert	47	89	192
Uten fordamper (trykkøkning til 13bar fra væskesiden)	49	58	75
Fylling hver 14. dag	47	64	94
Uten fordamper (gass direkte fra gassfase)	45	57	74

**Tabell 5-3 Sikkerhetssoner for LPG-tank på 13 m<sup>3</sup>**

	Indre sone	Midtre sone	Ytre sone
Basissituasjon: - Tank plassert over grunn - BLEVE ikke inkludert - Med fordamper - Fylling hver uke	45	63	76
Variasjoner:			
Tank plassert under grunn	33	62	68
BLEVE inkludert	46	67	116
Uten fordamper (trykkøkning til 13bar fra væskesiden)	49	55	67
Fylling hver 14. dag	45	63	76
Uten fordamper (gass direkte fra gassfase)	44	55	65

Viktigste bidragsyter til risiko (indre/midtre/ytre) for 120 m<sup>3</sup> LPG tank, med øvrige parametere som for basissituasjonen beskrevet i **Tabell 5-1**, er gitt i tabellene nedenfor. Som det fremgår av tabellene er det medium og store væskelekkasjer fra LPG-tanken med tilhørende utstyr som er største bidragsyter til indre sone. Medium lekkasje fra tanken bidrar til den indre risikokonturen, som følge av at medium væskelekkasjer har en relativt høy lekkasjerate (3-4 kg/s), som kan bygge opp gasskyer som med forutsatt tennsannsynlighet =1 for største utbredelse av gasskyen gir et betydelig bidrag til indre risikokontur. For midtre og ytre sone er stor lekkasje fra forsyningsledning og fordamper, som er største bidragsyter, hvor store lekkasjer uten isolering mot lagertanken er scenariet som bidrar til ytre sone.

Parametervariasjonen med gass tatt rett fra gassfasen i tanken gir lavere andel væskelekkasjer, men allikevel bare marginalt kortere sikkerhetsavstander. Dette skyldes at det er væskelekkasjer fra tanken med tilhørende utstyr som er største bidragsyter til risikokonturene.

Om tanken fylles hver uke eller hver annen uke, eller tankstørrelse, gir relativt liten innvirkning på sikkerhetsavstandene, fordi bidraget fra lekkasjer under fylling har svært lav frekvens sammenliknet med øvrige bidragsytere.

**Tabell 5-4 Bidragsytere til indre sone- 120m<sup>3</sup> LPG tank, med øvrige parametere som for basissituasjonen beskrevet i Tabell 5-1.**

Segment no.	Segmentnavn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering (J/N)	Risikobidrag [%]
3	Tank med utstyr	Væske	Stor	Nei	34
3	Tank med utstyr	Væske	Medium	Nei	32
4	Forsyningsledning og fordamper	Væske	Stor	Ja	25
4	Forsyningsledning og	Væske	Stor	Nei	8

	fordamper				
--	-----------	--	--	--	--

De resterende scenarioene bidrar med 1 % av risikoen.

**Tabell 5-5 Bidragsyttere til midtre nivå risiko (E-06) – 120m<sup>3</sup> LPG tank, med øvrige parametere som for basissituasjonen beskrevet i Tabell 5-1.**

Segment no.	Segmentnavn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering (J/N)	Risikobidrag [%]
3	Tank med utstyr	Væske	Stor	Nei	51
4	Forsyningsledning og fordamper	Væske	Stor	Nei	48

De resterende scenarioene bidrar med 1 % av risikoen.

**Tabell 5-6 Bidragsyttere til ytre nivå risiko (E-07) – 120m<sup>3</sup> LPG tank, med øvrige parametere som for basissituasjonen beskrevet i Tabell 5-1.**

Segment no.	Segmentnavn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering (J/N)	Risikobidrag [%]
4	Forsyningsledning og fordamper	Væske	Stor	Nei	99 %

De resterende scenarioene bidrar med 1% av risikoen.

## 5.2 Sikkerhetsavstander med 5 barg i lagertank

Resultatene for aktuelle sikkerhetsavstander med 5 barg i lagertank og forsyningslinjer er gitt i tabellene nedenfor, med de samme parametervariasjonene som i kap. 5.1. Representativ hullstørrelse for store lekkasjer er 35 mm.

Resultatene viser at reduksjon av trykket og 35 mm representativ hullstørrelse for store lekkasjer gir risiko-konturer som strekker seg noe kortere ut, og med en betydelig reduksjon for ytre sone, sammenliknet med base case med 7 barg i tankene.

**Tabell 5-7 Sikkerhetssoner for LPG-tank på 120m<sup>3</sup>, 5 barg**

Parameter*	Indre sone	Midtre sone	Ytre sone
Basissituasjon: - Tank plassert over grunn - BLEVE ikke inkludert - Med fordamper - Fylling hver uke	45	55	84
Variasjoner:			
Tank plassert under grunn	28	37	84
BLEVE inkludert	45	96	258
Uten fordamper (trykkøkning til 13bar fra væskesiden)	50	55	61



Fylling hver 14. dag	45	55	84
Uten fordamper (gass direkte fra gassfase)	45	55	61

**Tabell 5-8 Sikkerhetssoner for LPG-tank på 60 m<sup>3</sup>, 5 barg**

	Indre sone	Midtre sone	Ytre sone
Basissituasjon: - Tank plassert over grunn - BLEVE ikke inkludert - Med fordamper - Fylling hver uke	45	55	75
Variasjoner:			
Tank plassert under grunn	28	38	75
BLEVE inkludert	45	80	190
Uten fordamper (trykkøkning til 13bar fra væskesiden)	50	55	60
Fylling hver 14. dag	45	55	75
Uten fordamper (gass direkte fra gassfase)	45	55	58

**Tabell 5-9 Sikkerhetssoner for LPG-tank på 13m<sup>3</sup>, 5 barg**

Parameter	Indre sone	Midtre sone	Ytre sone
Basissituasjon: - Tank plassert over grunn - BLEVE ikke inkludert - Med fordamper - Fylling hver uke	44	54	62
Variasjoner:			
Tank plassert under grunn	27	35	59
BLEVE inkludert	45	58	113
Uten fordamper (trykkøkning til 13bar fra væskesiden)	44	54	59
Fylling hver 14. dag	44	54	62

Uten fordamper (gass direkte fra gassfase)	44	54	58
--	----	----	----

Viktigste bidragsyter til risiko (indre/midtre/ytre) for 120 m<sup>3</sup> LPG tank med 5 barg trykk og 35 mm representativ hullstørrelse for store lekkasjer, med øvrige parametere som for basissituasjonen beskrevet i Tabell 5-7, er gitt i tabellene nedenfor. Som det fremgår av tabellene er det medium og store væskelekkasjer fra LPG-tanken med tilhørende utstyr som er største bidragsyter til de tre sikkerhetssonene. Medium lekkasje fra tanken bidrar vesentlig til den indre og midtre risikokonturen, som følge av at medium væskelekkasjer har en relativt høy lekkasjerate (3-4 kg/s), som kan bygge opp gasskyer som med forutsatt tennsannsynlighet =1 for største utbredelse av gasskyen gir et betydelig bidrag til indre risikokontur.

Parametervariasjonen med gass tatt rett fra gassfasen i tanken gir lavere andel væskelekkasjer, men allikevel bare marginalt kortere sikkerhetsavstander. Dette skyldes at det er væskelekkasjer fra tanken med tilhørende utstyr som er største bidragsyter til risikokonturene.

Om tanken fylles hver uke eller hver annen uke, eller tankstørrelse, gir relativt liten innvirkning på sikkerhetsavstandene, fordi bidraget fra lekkasjer under fylling har svært lav frekvens sammenliknet med øvrige bidragsytere.

**Tabell 5-10 Bidragsytere til indre sone– 120m<sup>3</sup> LPG tank, 5 barg og 35 mm representativ hullstørrelse for store lekkasjer, med øvrige parametere som for basissituasjonen.**

Segment no.	Segmentnavn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering (J/N)	Risikobidrag [%]
3	Tank med utstyr	Væske	Medium	Nei	65
3	Tank med utstyr	Væske	Stor	Nei	29
4	Forsyningsledning og fordamper	Væske	Stor	Nei	4
4	Forsyningsledning og fordamper	Væske	Stor	Ja	2

De resterende scenarioene bidrar med 1 % av risikoen.

**Tabell 5-11 Bidragsytere til midtre nivå risiko (E-06) – 120m<sup>3</sup> LPG tank, 5 barg og 35 mm representativ hullstørrelse for store lekkasjer, med øvrige parametere som for basissituasjonen.**

Segment no.	Segmentnavn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering (J/N)	Risikobidrag [%]
3	Tank med utstyr	Væske	Medium	Nei	49
3	Tank med utstyr	Væske	Stor	Nei	28
4	Forsyningsledning og fordamper	Væske	Stor	Nei	23

De resterende scenarioene bidrar med 1 % av risikoen.

**Tabell 5-12 Bidragsyter til ytre nivå risiko (E-07) – 120m<sup>3</sup> LPG tank, 5 barg og 35 mm representativ hullstørrelse for store lekkasjer, med øvrige parametere som for basissituasjonen.**

Segment no.	Segmentnavn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering (J/N)	Risikobidrag [%]
4	Forsyningsledning og fordamper	Væske	Stor	Nei	99

De resterende scenarioene bidrar med 1% av risikoen.

### 5.3 Sikkerhetsavstander for undergrunnstanker med redusert tankvolum, uten fordamper

Tabell 5-13 viser resultatene for aktuelle sikkerhetsavstander med tanker plassert under grunn med avtak av gass direkte fra gassfasen (dvs. uten fordamper), med 5 barg i lagertank og forsyningslinjer og 35 mm som representativ hullstørrelse for store lekkasjer.

**Tabell 5-13 Tanker plassert under grunnen, uten fordamper, med 5 barg i lagertank og forsyningslinjer, 35 mm som representativ hullstørrelse for store lekkasjer**

Parameter	Indre sone	Midtre sone	Ytre sone
13 m <sup>3</sup> tank	5	10	38
6.4 m <sup>3</sup> tank	4	10	38
2.7 m <sup>3</sup> tank	4	8	38

### 5.4 Sikkerhetsavstander; redusert representativ hullstørrelse for store lekkasjer

Resultatene for aktuelle sikkerhetsavstander med 7 barg i lagertank og forsyningslinjer, men med representativ hullstørrelse for store lekkasjer redusert fra 40mm til 35 mm, er gitt i tabellene nedenfor. De samme parametervariasjonene som i kap. 5.1. er benyttet.

Resultatene viser at reduksjon av hullstørrelse gir risiko-konturer for midtre og ytre sone som strekker seg noe kortere ut enn for base case med 40 mm som representativ hullstørrelse. Reduksjon i utstrekning er størst for ytre sone, og for de største tankvolumene.

**Tabell 5-14 Sikkerhetssoner for LPG-tank på 120m<sup>3</sup>**

Parameter	Indre sone	Midtre sone	Ytre sone
Basissituasjon: - Tank plassert over grunn - BLEVE ikke inkludert - Med fordamper - Fylling hver uke	47	59	92
Variasjoner:			
Tank plassert under grunn	34	55	92

BLEVE inkludert	47	104	258
Uten fordamper (trykkøkning til 13bar fra væskesiden)	50	57	64
Fylling hver 14. dag	47	59	92
Uten fordamper (gass direkte fra gassfase)	45	56	61

**Tabell 5-15 Sikkerhetssoner for LPG-tank på 60m3**

	Indre sone	Midtre sone	Ytre sone
Basissituasjon: - Tank plassert over grunn - BLEVE ikke inkludert - Med fordamper - Fylling hver uke	46	57	82
Variasjoner:			
Tank plassert under grunn	34	54	82
BLEVE inkludert	46	84	192
Uten fordamper (trykkøkning til 13bar fra væskesiden)	49	56	63
Fylling hver 14. dag	46	57	82
Uten fordamper (gass direkte fra gassfase)	45	56	61

**Tabell 5-16 Sikkerhetssoner for LPG-tank på 13 m3**

	Indre sone	Midtre sone	Ytre sone
Basissituasjon: - Tank plassert over grunn - BLEVE ikke inkludert - Med fordamper - Fylling hver uke	45	57	70
Variasjoner:			
Tank plassert under grunn	32	54	63

BLEVE inkludert	45	61	115
Uten fordampner (trykkøkning til 13bar fra væskesiden)	49	55	62
Fylling hver 14. dag	45	57	70
Uten fordampner (gass direkte fra gassfase)	45	55	61

## 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 LPG. 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 begrensninger 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. Den risikoreduserende effekten av rask nødavstengning blir da ikke reflektert. Tidsfaktoren har i realiteten stor betydning for tennsannsynligheten.

Den risikoreduserende effekten av rask nødavstengning som gir isolering av lekkasjer og tennkilder er i mindre grad blir reflektert, så lengde det innenfor tidsrommet for nødavstengning lekker ut tilstrekkelig mengde LPG/gass til å etablere en stor gassky. 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 LPG-tanken påvirke utstrekning av konturer. Større dimensjoner gir større andel store lekkasjer, som gir høyere lekkasjerater og dermed raskere større gasskyer.

Høyden over bakken for plassering av lekkasjepunkter for væske gir en betydelig påvirkning på utstrekning av sonene. Høyt plasserte lekkasjepunkter gir lengre utstrekning av sonene. Det er modellert at væskeutslipp fra tanken skjer på bakkenivå, siden lekkasjepunkter på væskesiden er på nedre del/undersiden av tanken, mens lekkasjer fra væsektløpet fra lagertanken er modellert med 1m over bakken siden det er større usikkerhet i rørføring og plassering av disse lekkasjepunkter. Dette er gjort for å gi robuste resultater.

Usikkerhet i antakelser er knyttet til bruk av lekkasjefrekvenser, tilstedeværelsen av ulike tennkilder i anlegget, befolkning og trafikk i nærområdet osv. Det vil kunne oppstå skyer som driver vekk fra



anlegget, og ved antenning ikke kan brenne tilbake. Høyere tennsannsynlighet i eller nær anlegget vil kunne redusere utstrekningen av de lengste konturene, men gir tilsvarende økt risiko nærmere anlegget.

Et annet usikkerhetsmoment er knyttet til prosessforholdene i LPG-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. Det er i utgangspunktet valg konservative verdier for trykk- og temperaturforhold. 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 LPG 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.

Lekkasjevarighetene kan imidlertid være relevante i forbindelse med beredskap. I en ulykkeshendelse vil man måtte vurdere innsatsen for bekjempelse mot den fare hendelsen utgjør for beredskapspersonell. For eksempel kan det være utrygt å nærme seg lekkasjeområdet før hendelsen med sikkerhet kan sies å være over. For lekkasje av LPG 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 LPG eller propan 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 LPG i tanken kunne renne ut. For andre lekkasjer vil en fraksjon av tankvolumet slippes ut som LPG, 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, i enkelte tilfeller. Fyllingsgrad og mengde gass i systemet vil også påvirke lekkasjerater og varighet.

De fleste av disse faktorene vil være svært usikre i en beredskapssituasjon. 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, hvilket betyr at alle lekkasjeretninger er vurdert like sannsynlige. I virkeligheten vil lekkasjeretningene være avhengig av geometrien til utstyret i anlegget, 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.