

VURDERING AV RISIKO VED ANLEGG FOR FARLIG STOFF

Vedlegg 3 - Sikkerhetsavstand for LPG fyllestasjon for gassflasker

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 3 - Sikkerhetsavstand for LPG Region Norway
fyllestasjon for gassflasker
Oppdragsgiver: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap ,
Kontaktperson: Jan G. 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 Group Leader	Audun Brandsæter Senior sjefsingeniør	Marianne Hauso Seksjonsleder
Hans Kristian Norum Eidesen Konsulent	Olivier Baldan Avdelingsleder	
Marta Bucelli [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:

LPG, sikkerhet, fyllestasjon

*Distribusjonsliste:

Rev.nr.	Dato	Årsak for utgivelser	Utført av	Verifisert av	Godkjent av
A	2019-01-31	For kommentarer	HANNORU, BJP	OBAL, BRAND	MHAUS
0	Ikke brukt				
1	2019-07-05	Oppdatert etter kommentarer	MARBUC, BJP	BRAND	MHAUS
2	2019-10-07	Ny utstyrstilling	MARBUC, BJP	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	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	LPG – EGENSKAPER OG FARER	9
4.1	Utslipp ved lossing	9
4.2	Utslipp fra lagertank, distribusjonslinje, trykkøkningspumpe og dispenser	9
5	SIKKERHETSAVSTANDER	10
6	RELEVANTE USIKKERHETER	12
7	REFERANSER	15

1 INTRODUKSJON

Dette vedlegget beskriver risikoanalysen som er gjort for å etablere sikkerhetsavstander for LPG fyllestasjon for gassflasker.

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 en LPG fyllestasjon for gassflasker beskrevet etter mottatt P&ID for et representativt anlegg, basert på NS-EN 12542 og NS-EN 14570. Anlegget er modellert uten fordemper og fyllelinje.

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
- fylleslange
- tank med tilbakeslagsventil mot fylleslange
- forsyningslinje (rørbruddsventil)
- trykkøkningpumpe og dispenser for fylling til gassflasker, samt omløpsledning fra gassavskiller i dispenser

Fylling av 40 m³ fra tankbil (35 m³/h, 7 bar i tank). Fylletrykk 9 bar. Tanktrykk 5 og 7 bar. Forsyningstrykk 5 og 7 bar. Distribusjonstrykk etter trykkøkningpumpe 13 bar. Det fylles med slange (10m) rett i LPG-tanken.

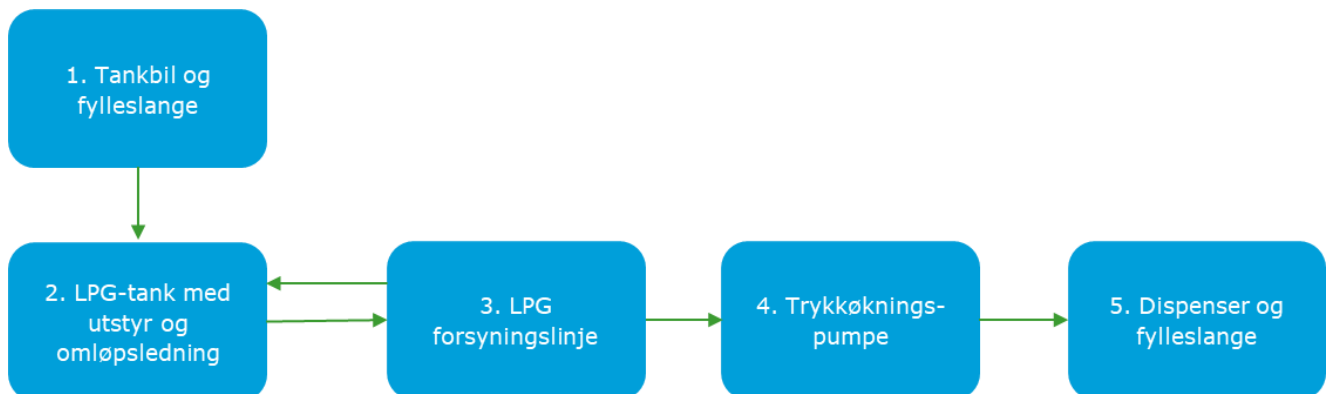
Dimensjoner iht. skisse i «Risikoanalyse av gassanlegg», ref. /11/. Modelleres som et åpent anlegg, hvor gassdispenser har tak og tre vegger. Dimensjon 10 x 20 m.

Det forutsettes slangebruddventil på gass-dispenser.

Parametervariasjoner:

- Tankvolum 13 m³ og 60 m³
 - Fyllefrekvens ukentlig og 14. daglig.
 - Tank over og under grunn
 - Trykkøkningpumpe og gassdispenser er i drift kontinuerlig, samt 8 timer om dagen 6 dager i uken.

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



Figur 2-1 Flytskjema for anleggsdelene, nummerering viser til 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 lekkasjescenarier for.

Tabell 2-1 Oversikt over scenarier som er modellert (representerer 60 m³ tank; for 13 m³ tank blir mengden i segment 2 redusert tilsvarende)

Segment	Navn på scenarie*	Fase	Temperatur (°C)	Trykk (Barg)	Mengde (kg)
0	Tankbil	Væske	15 °C		20000
1	Fylleslange	Væske	15 °C	7	3
2	Tank og utstyr, inkl. gassretur og omløpsledning	Væske og gass	15 °C	5 og 7	25 000
3	Forsyningsledning til trykkøkningpumpe	Væske	15 °C	5 og 7	2.5
4	Trykkøkningpumpe til dispenser	Væske	15 °C	13	< 1 kg
5	Dispenser og fylleslange	Væske	15 °C	13	< 1 kg

2.3 Sikkerhetssystemer

Følgende sikkerhetssystemer er forutsatt i analysen:

- Lastepumpe i tankbil gir ikke økt pumperate ved slangebrudd.
- Det er tilbakeslagsventil i fyllelinjen som siste ventil mot losseslange, fylling skjer til gassfasen av tanken.
- Det er rørbruddsventil på tankutløpet og på fyllelinje i dispenser
- Det er videre trykksikringsventiler (PSV) på tank og distribusjonslinje til dispenser
- Rørbruddsventil lukker kun på fullt brudd i rørledning, og er ikke vurdert å gi effekt for mindre lekkasjer.
- Operatør på tankbil har nødstoppeknap 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 DBS og en anleggsleverandør, samt at det er tatt utgangspunkt i risikoanalyser utført av DNV GL tidligere. Mulige farehendelser som kan medføre antennbare konsentrasjoner av propangass 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 fyller-slinger, 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 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>.

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)
Stor	To variasjoner: 40 og 35	>25
Medium	15	10-25
Liten	5	1-10

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

Tabell 3-1 Lekkasjefrekvenser per segment, 60 m³ tank, fylling hver uke, tank over grunn.

Segment no.	Segment navn	Isolering	Lekkasjestørrelse		
			Stor	Medium	Liten
1	Tankbil og fylleslange	Med isolering	5,0E-06	0,0E+00	8,9E-06
		Uten isolering	5,1E-08	0,0E+00	9,8E-07
2	Tank og utstyr, inkl. gassretur og omløpsledning	Med isolering	-	-	-
		Uten isolering	6,89E-05	3,98E-04	3,77E-03
3	Forsyningsledning til trykkøkingspumpe	Med isolering	5,72E-05	-	-
		Uten isolering	5,78E-07	1,03E-03	5,57E-03
4	Trykkøkingspumpe til dispenser	Med isolering	-	-	-
		Uten isolering	-	1,46E-03	1,22E-02
5	Dispenser og fylleslange	Med isolering	-	-	-
		Uten isolering	-	1,13E-03	5,03E-03
Totalt			1,32E-04	4,02E-03	2,65E-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/Phast 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 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.

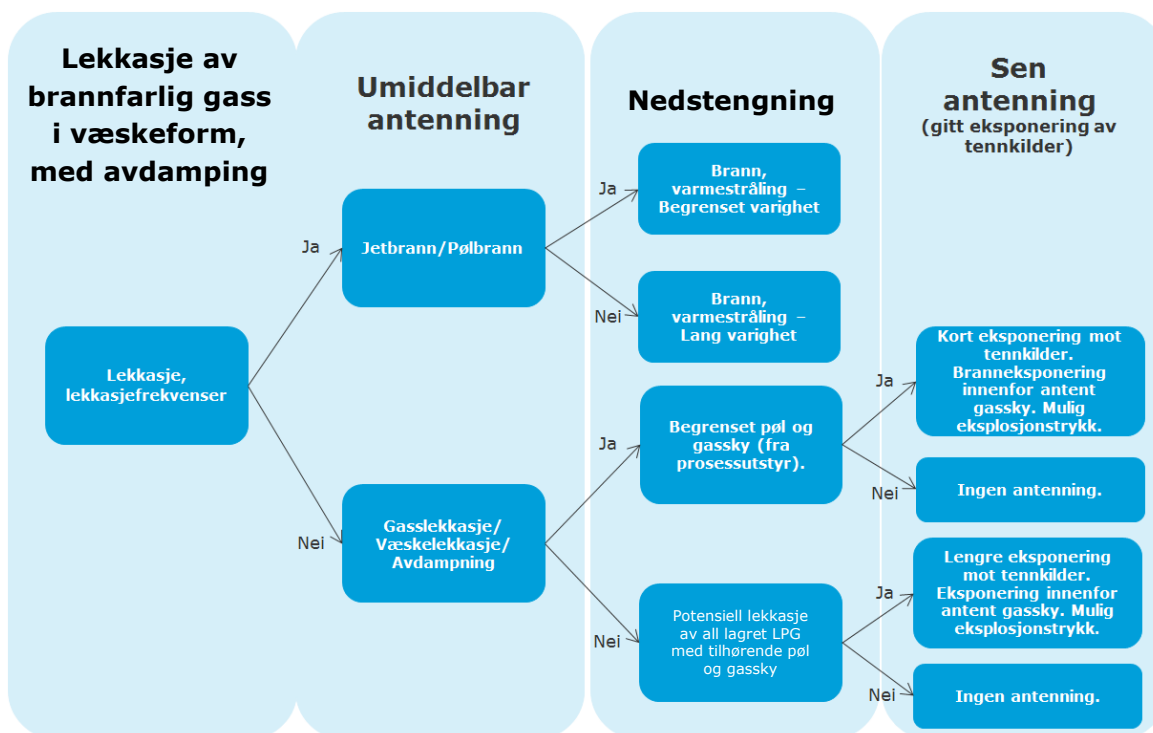
Hvis lekkasjen ikke antennes tidlig vil gasskyen kunne vokse, og vindretningen påvirker hvorvidt gasskyen medfører eksponering av omgivelser eller ikke.

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

Tabell 3-2 Umiddelbar tennsannsynlighet

Sannsynlighet for umiddelbar antenning	
Lekkasjerate	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, 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 antenning 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.

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 gass-skyer 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.

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/m^2), hentet fra brannmodellen
 - t = varighet i minutter, også fra spredningsmodellen
 - 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.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.

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./12/.

- $Pr(P) = A + B \ln(P_s^n)$ (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. Propangass er fargeløs og luktfri, men tilsettes et lukstoff 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, distribusjonslinje, trykkøkingspumpe og dispenser

En stor lekkasje av LPG 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 60 m³ LPG er forventet å innholdet ca. 25 tonn LPG (85% fyllingsgrad, tetthet 495 kg/m³). 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 5×10^{-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. 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 trykkøkingspumpe, distribusjonslinje og dispenser for gassflaskene er modellert. Disse segmentene er væskefylt, og med trykk 13 bar. Selv om størrelsen på segmentene er små, vil dette kunne gi betydelig mengde LPG som lekker ut innenfor tiden det tar å stenge ned og isolere en lekkasje. Dette gir et bidrag til risikokonturer utenfor anlegget. Gassfylte segmenter gir generelt lite bidrag.

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.

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 væsektløpet fra lagertanken er modellert med 1m over bakken siden det er større usikkerhet i rørføring og plassering av disse lekkasjepunkter.

5 SIKKERHETSAVSTANDER

Dette kapitlet gir sikkerhetsavstander beregnet ut fra risikomodellen for anlegget. Sikkerhetsavstanden er definert som avstanden til risikokonturene 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 hensynssone refererer til DSBs soner med oversikt over hvilke tiltak eller type aktiviteter og objekter som er tillatt innenfor de forskjellige sonene, /8/.

Resultatene for aktuelle sikkerhetsavstander med parametervariasjoner er gitt i tabellene nedenfor.

Tabell 5-1 Sikkerhetssone LPG-fyllestasjon, 60 m³

Parametervariasjon*	Indre sone	Midtre sone	Ytre sone
Over grunn, fylling hver uke. 7 barg i lagertank	51	59	69
Over grunn, fylling hver uke. 5 barg i lagertank	45	55	62
Under grunn, fylling hver uke. 7 barg i lagertank	35	41	69
Under grunn, fylling hver uke, 5 barg i lagertank	35	39	62
Over grunn, fylling hver 14. dag. 7 barg i lagertank	51	59	69
Over grunn, fylling hver 14. dag, 5 barg i lagertank	45	55	62
Over grunn, fylling hver uke, med BLEVE – 5 barg i lagertank.	45	60	181
Endret driftsfraksjon for fyllpumpe (6 dager i uken @ 8 time per dag) - 5 barg	44	56	62

* Lekkasje med 7 barg i lagertanken er modellert med hullstørrelse 40mm for store lekkasjer. Lekkasje med 5 barg i lagertanken er modellert med hullstørrelse 35mm for store lekkasjer.

Tabell 5-2 Sikkerhetssone LPG-fyllestasjon, 13 m³

Parametervariasjon*	Indre sone	Midtre sone	Ytre sone
Over grunn, fylling hver uke. 7 barg i lagertank	50	58	69
Over grunn, fylling hver uke. 5 barg i lagertank	44	55	61
Under grunn, fylling hver uke. 7 barg i lagertank	34	40	69
Under grunn, fylling hver uke, 5 barg i lagertank	35	39	60
Over grunn, fylling hver 14. dag. 7 barg i lagertank	50	58	69
Over grunn, fylling hver 14. dag, 5 barg i lagertank	44	55	61
Over grunn, fylling hver uke, med BLEVE – 5 barg i lagertank.	45	60	90
Endret driftsfraksjon for fyllepumpe (6 dager i uken @ 8 time per dag) - 5 barg	44	55	62

* Lekkasje med 7 barg i lagertanken er modellert med hullstørrelse 40mm for store lekkasjer. Lekkasje med 5 barg i lagertanken er modellert med hullstørrelse 35mm for store lekkasjer.

De største bidragsyterne til henholdsvis indre, midtre og ytre sone for 60 m³ LPG tank over grunn og fylling 1 gang per uke, med 5 barg i tankene er gitt i Tabell 5-3, Tabell 5-4 og Tabell 5-5

Som det fremgår av tabellene er det væskelekkasjer som bidrar til risikokonturene. For indre sone er det særlig medium og store væske-lekkasjer fra LPG-tanken med tilhørende utstyr som er største bidragsyter. 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.

For midtre sone er det i tillegg til lekkasjer fra lagertanken, lekkasjer fra forsyningsledningen til trykkøkingspumpen som er største bidragsyter. For midtre sone bidrar første og fremst isolerte lekkasjer fra forsyningsledningen, mens for ytre sone er det store bidrag fra både isolerte og uisolerte lekkasjer fra forsyningsledningen.

Om tanken fylles hver uke eller hver annen uke, eller tankstørrelse, gir kun en liten innvirkning på sikkerhetsavstandene.

Tabell 5-3 Hovedbidragsyttere til indre sone – 60 m³ tank over grunn, fylling 1 gang per uke, pumpe 24/7, uten BLEVE

Segment no.	Segment navn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering (J/N)	Risikobidrag (%)
2	Tank med utstyr	Væske	Stor	Nei	61 %
2	Tank med utstyr	Væske	Medium	Nei	36 %
3	Forsyningsledning til trykkøkingspumpe	Væske	Stor	Ja	3 %

Tabell 5-4 Hovedbidragsyttere til midtre sone – 60 m³ tank over grunn, fylling 1 gang per uke, pumpe 24/7, uten BLEVE

Segment no.	Segment navn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering (J/N)	Risikobidrag (%)
3	Tank med utstyr	Væske	Stor	Nei	51 %
2	Tank med utstyr	Væske	Medium	Nei	23 %
3	Forsyningsledning til trykkøkingspumpe	Væske	Stor	Ja	20 %
3	Forsyningsledning til trykkøkingspumpe	Væske	Stor	Nei	5%


Tabell 5-5 Hovedbidragsyttere til ytre sone – 60 m³ tank over grunn, fylling 1 gang per uke, pumpe 24/7, uten BLEVE

Segment no.	Segment navn	Fase	Lekkasjestørrelse	Isolering (J/N)	Risikobidrag (%)
3	Forsyningsledning til trykkøkingspumpe	Væske	Stor	Nei	36 %
0	Tank med utstyr	Væske	Stor	Ja	34 %
3	Forsyningsledning til trykkøkingspumpe	Væske	Stor	Ja	28 %

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 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. 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 blir i mindre grad 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 væskeutløpet 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.

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/ Scandpower (2007), Risikoanalyse av gassanlegg, Rapport nr. 70.730.005/R1.
- /12/ 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.