

Trondheim - 07.11.2024

Ref.: Gexcon-24-100081-R1

Rev.: 00



PROSJEKTRAPPORT

Risikoanalyse for LPG-anlegg

Nor Tekstil Digerneset Næringspark

Oppdragsgiver

Tolcon

Forfatter

Astrid H. Mastad

Dokumentinformasjon

Forfatter

Astrid H. Mastad

Klassifisering

Fortrolig (C)

Tittel

Risikoanalyse for LPG-anlegg – Nor Tekstil Digerneset Næringspark

Sammendrag

En risikoanalyse er utført for et LPG-gassforsyningsanlegg planlagt installert hos Nor Tekstil i Digerneset Næringspark.

Hovedelementene i anlegget er:

- Nedgravd LPG-tank med tankvolum 119 m³
- Fordamperstasjon i skap, for gassdannelse og trykkregulering

Basert på DSBs kriterier for akseptabel risiko vurderes plasseringen av LPG-anlegget som akseptabel.

Prosjektinformasjon

Oppdragsgiver

Tolcon

Oppdragsgivers kontaktperson

Anders Aandahl

Gexcons prosjektnummer

100081

Gexcons prosjektnavn

CO Tolcon NorTekstil DigernesetNæringspark
QRA**Revisjoner**

Rev.	Dato	Forfatter	Kontrollert av	Godkjent av	Årsak for revisjon
00	06.11.2024	Astrid H. Mastad	Tommy Jørstad Stokmo	Tommy Jørstad Stokmo	Første revisjon til oppdragsgiver

Ansvarsfraskrivelse

Gexcon påtar seg ikke ansvar for skader som påføres oppdragsgiver, hans kunder, leverandører eller andre tredje part, som anvender resultatene av Gexcons arbeid, med mindre det er utvist grov uaktsomhet av Gexcon eller personell som Gexcon har benyttet for å gjennomføre arbeidet.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	5
1.1	Forkortelser og definisjoner	5
1.2	Analysegrunnlag	5
2	Systembeskrivelse	6
2.1	Avgrensning	6
2.2	Lokasjon	6
2.3	Prosessmedium	7
2.4	LPG-tank	7
2.5	Nedgravd rør til fordamperskap	8
2.6	Fordamperskap	8
2.7	Fylling av tank	9
2.8	Vinddata og omgivelsestemperatur	10
3	Risikomodellering	11
3.1	Avgrensning og implementasjon	11
3.2	Initierende hendelser	11
3.3	Lekkasjefrekvens	12
3.4	Tennsannsynlighet	15
3.5	Fatalitetsmodell	15
3.6	Konsekvensvurdering	16
4	Risikobilde	18
4.1	Analyseverktøy	18
4.2	Om hensynssoner	18
4.3	Om risikoanalysen	18
4.4	Hensynssoner	18
5	Diskusjon	21
6	Referanser	22

1 Innledning

Et Liquid Petroleum Gas (LPG) gassforsyningsanlegg er planlagt installert hos Nor Tekstil i Digerneset Næringspark. Flytende LPG lagres i en nedgravd tank og føres gjennom en fordamperstasjon for å forbrukes i gassform.

I henhold til brann- og eksplosjonsvernloven §20 har virksomheter som håndterer farlig stoff, som LPG, plikt til å sørge for at håndteringen skjer på en slik måte at mennesker, miljø og omgivelser er tilfredsstillende sikret. Risikoen skal være redusert til et nivå som med rimelighet kan oppnås. Sikkerhetsnivået skal etableres gjennom tekniske og organisatoriske tiltak i virksomheten, eventuelt i kombinasjon med arealmessige begrensninger i området rundt denne.

Denne risikoanalysen er en vurdering av sikkerheten ved LPG-anlegget. Basert på risikoanalysen er det gitt forslag til arealmessige begrensninger rundt anlegget i form av hensynssoner. Risikoanalysen er utført i henhold til DSBs retningslinjer for kvantitative risikovurderinger [1].

1.1 Forkortelser og definisjoner

Forkortelse	Betydning
BLEVE	Boiling liquid expanding vapor explosion
DSB	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap
Flashbrann	Brennbar sky, fra lekkasje av brennbar gass eller væske, som antenner
HSE	Health and Safety Executive (Storbritannia)
IR	Individuell risiko
Jetbrann	Gassjet fra trykksatt utstyr som antenner
LEL/LFL	Lower explosion limit/Lower flammability limit
LPG	Liquid Petroleum Gas
LSIR	Lokasjonsspesifikk individuell risiko
OGP/IOGP	International association of oil and gas producers
P&ID	Piping and instrumentation diagram
PLOFAM	Process leak for offshore installations frequency assessment model
Pølbrann	Væskepøl, forårsaket av en lekkasje av brennbar væske, som antenner
Retningslinjene	DSB retningslinjer for kvantitative risikovurderinger
RIVM	National Institute for Public Health and the Environment (Nederland)
Spraybrann	Væskespray fra trykksatt utstyr som antenner

1.2 Analysegrunnlag

Risikoanalysen er basert på følgende dokumentasjon, i tillegg til informasjon delt i møter og e-poster:

Dokument	Innhold
31709 Tolcon 2L Hydrex 850	Tegninger med utstyr annotert for fordamperstasjon
TOL-10867_PID Findus_160823SH	P&ID for tank

2 Systembeskrivelse

2.1 Avgrensning

Hovedelementene i anlegget er:

- Nedgravd LPG-tank med tankvolum 119 m³
- Fordamperstasjon i skap, for gassdannelse og trykkregulering

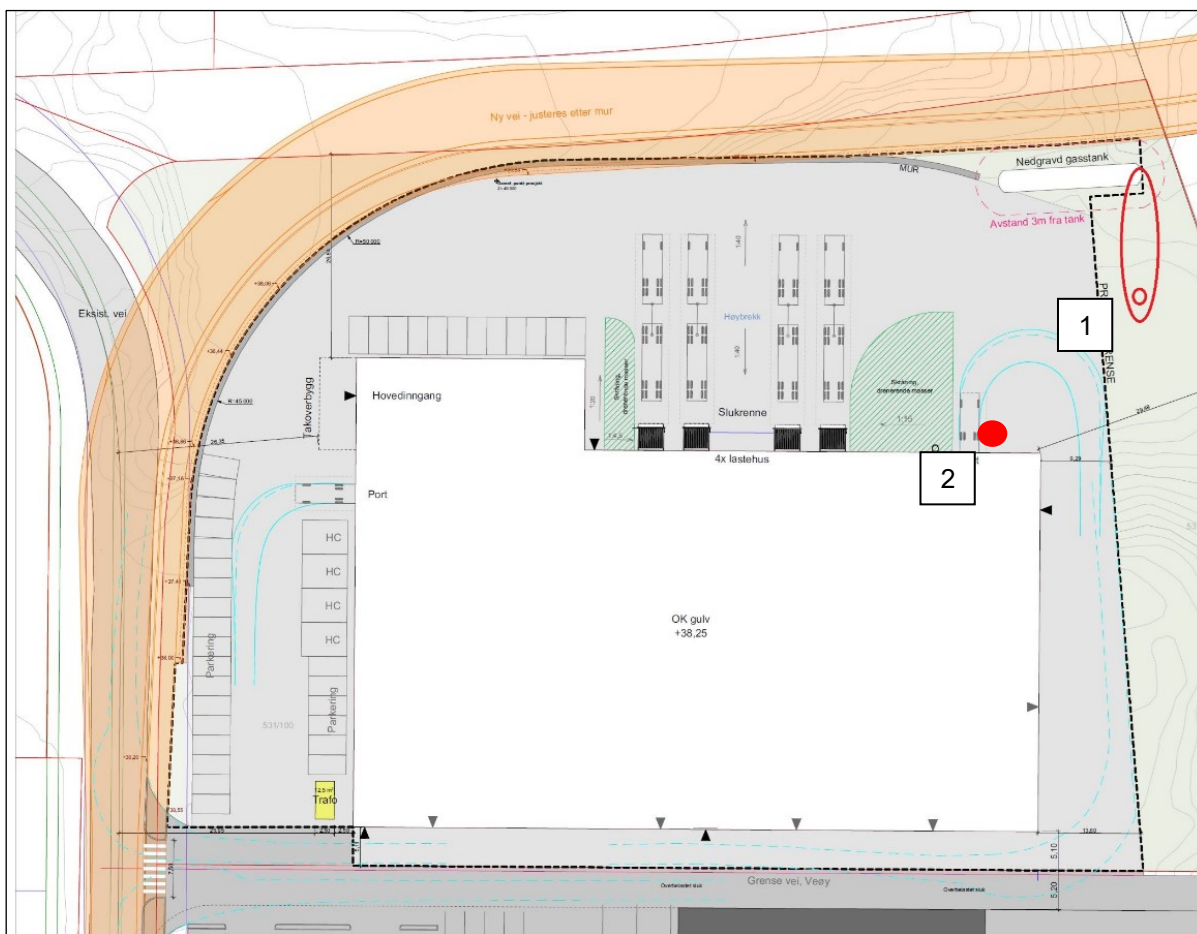
LPG-tank fylles fra tankbil.

Denne risikoanalysen vurderer risiko for hele anlegget frem til inntaksskap hos forbruker, samt risiko knyttet til fylling av tank. Risiko knyttet til innvendig rørføring og utstyr hos forbruker er ikke vurdert. Analysen vurderer risiko for anlegget i normal drift. Risiko knyttet til andre aktiviteter, som installasjon, vedlikehold og modifikasjon, er ikke vurdert.

2.2 Lokasjon

LPG-anlegget skal installeres i Digerneset Næringspark, på eiendommen til og ved siden av næringsbygg (Nor Tekstil). Digerneset Næringspark er under utvikling, men hele området er regulert til næringsvirksomheter. Nærmeste privatbolig er mot øst (280 m unna i luftlinje). Det vil gå en offentlig vei nord for den nedgravde tanken når området er utbygd.

Terrenget i området rundt anlegget er flatt.



Figur 1: Lokasjon planlagt LPG-anlegg. 1) Nedgravd tank, med tankdom på sørsiden av tank. 2) antatt lokasjon for fordamperskap.

2.3 Prosessmedium

LPG brukt i modellen i denne analysen er sammensatt av 92% propan og 8% butan og har kokepunkt på rundt -41 °C.

Trykket i LPG-tanken er damptrykket for LPG og bestemmes av temperaturen i tanken. I risikoanalysen antas konservativt en temperatur i tanken på 20 °C, noe som tilsvarer et trykk i tanken på omtrent 8 barg. Den estimerte nedre og øvre brennbarhetsgrensen (LFL og UFL) for LPG i luft er en konsentrasjon på 2.1 vol% og 9.4 vol%.

Etter fordampere reduseres trykket, det er antatt at trykket tas ned til 0.3 barg før gassen sendes videre til forbruker.

2.4 LPG-tank

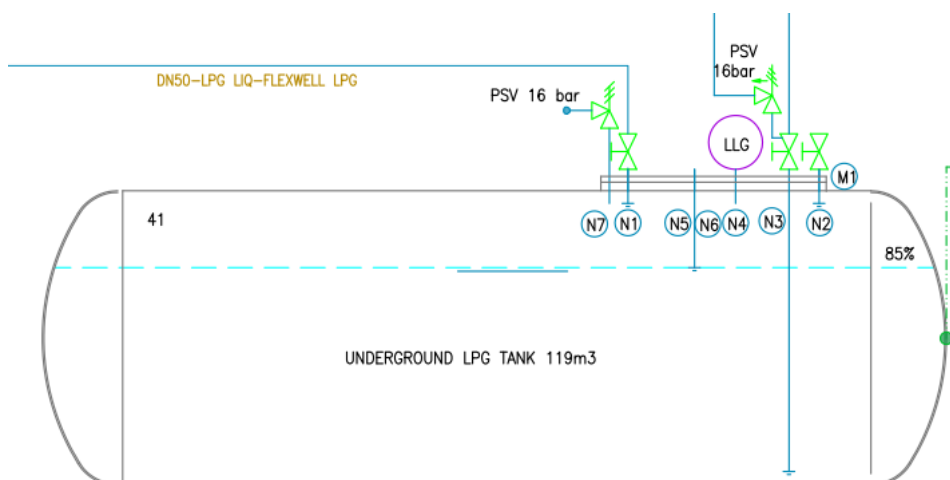
Nedgravd LPG-tank er 119 m³, flytende LPG går fra tank til fordampere, gjennom trykkregulator, og videre til forbruker.

Maksimal fyllingsgrad i LPG-tanken er 85% og maksimal lagret mengde LPG er rundt 51.000 kg. Tanken er laget i stål, har diameter 2.9 m. Maksimalt driftstrykk er rundt 8 barg (se over), designtrykk er 15.6 bar. Tanken graves ned under eksisterende terreng, og blir overfylt med grusmasser.

Tanken har armatur samlet på toppen av tankskallet. Tankarmaturen ligger beskyttet inne i en låst domkasse med lokk, domkassen er laget i stål. Tilgang til armaturen er kun fra domkassen. Tankarmatur består av koblinger som vist i Figur 2 og oppsummert i Tabell 1.

Tabell 1: Koblinger LPG-tank.

Kobling	Diameter (mm)	Komponenter	Mot tankfase
Fylleventil	50	Ventil, med rørbruddsventil	Gass
Væskeuttak	50	Ventil, med rørbruddsventil, rør til tankbunn	Væske
Nivåmåler	50	Ventil	Gass
Instrumenter	12	2 instrumenter	Gass
Sikkerhetsventil tank	50	Ventil	Gass
Sikkerhetsventil væskelinje	50	Ventil	Væske
Koblinger linje mot fordamperskap (ikke vist i P&ID)	50	To flenser	Væske



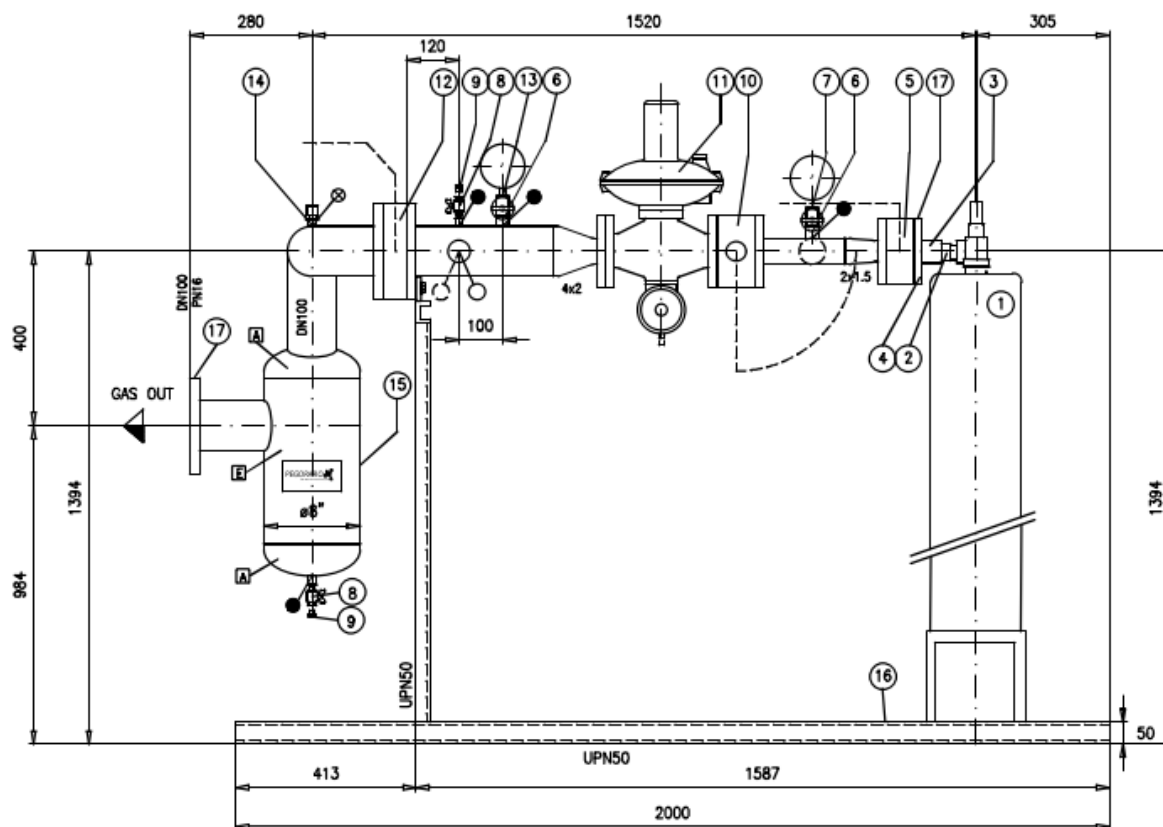
Figur 2: P&ID for nedgravd tank. Alle koblinger på tanken er lokalisert i tankdom.

2.5 Nedgravd rør til fordamperskap

LPG føres fra LPG-tank til fordamperskap gjennom nedgravd rørledning.

2.6 Fordamperskap

Fordamperskap vil være plassert like utenfor Nor Tekstils bygning. Utstyret i skapet, som vist i Figur 3, består av to identiske linjer bestående av fordampner (1) og trykkregulator (11), i analysen er det antatt at trykket etter trykkregulatoren er 0.3 barg. Det er antatt at LPG går over i gassform halvveis gjennom fordampneren, altså at 50% av fordampneren er gassfylt og 50% er væskefylt.



17	2	M6 SCREW FOR GROUND CONNECTION		
16	1	SKID		
15	1	BARREL FOR LPG TYPE 100 – 8"	100x100	16
14	1	R3129 REGO SAFETY VALVE 3 BAR	1/2" NPT	
13	2	PRESSURE GAUGE D100 – RANGE 0/2.5 BAR	1/2"	
12	2	STEEL BUTTERFLY VALVE THESYS	100	16
11	2	PRESS. REGULATOR DVAL 600 LA/AP	50	40
10	2	STEEL BALL VALVE CS	50	40
9	4	STOPPER	1/2"	
8	4	STAINLESS STEEL BALL VALVE FB MF	1/2"	100
7	1	PRESSURE GAUGE D100 – RANGE 0/25 BAR	1/2"	
6	3	NEEDLE VALVE FOR PRESSURE GAUGE	1/2"	25
5	2	STEEL BALL VALVE CS	40	40
4	2	FLANGE DN40 cod. 02060003		
3	2	JOINT FOR FLANGE 1"xDN40 cod.02080005		
2	2	FITTING for TX – ø1"NPT x ø1"G cod.02080017		
1	2	VAPORIZERS ALGAS HYDREXX	1" NPT	

Figur 3: Fordamperlinje. Hovedkomponenter er fordampere (1) og trykkregulator (11).

2.7 Fylling av tank

LPG-tank fylles fra tankbil, fylling skjer til gassfasen. Fylling utføres og overvåkes av tankbilsjåfør. Informasjon om fylling er ikke kjent, oppsummert i dette kapittelet er derfor antakelser basert på fylleoperasjoner på tilsvarende prosjekt.

Nøkkelinformasjon antatt for fylling av tank fra tankbil:

- Lengde på fylleslange: < 30 meter
- Intern diameter fylleslange: 50 mm
- Makstrykk i fylleslange under fylling: < 10 bar
- Fyllerate: 250-300 kg/min (4-5 kg/s) ved 10 bar

Det er antatt at tanken fylles 2 ganger per måned, 24 ganger per år. I risikoanalysen antas det at masserate ut gjennom fylleslangen er konstant også ved lekkasje.

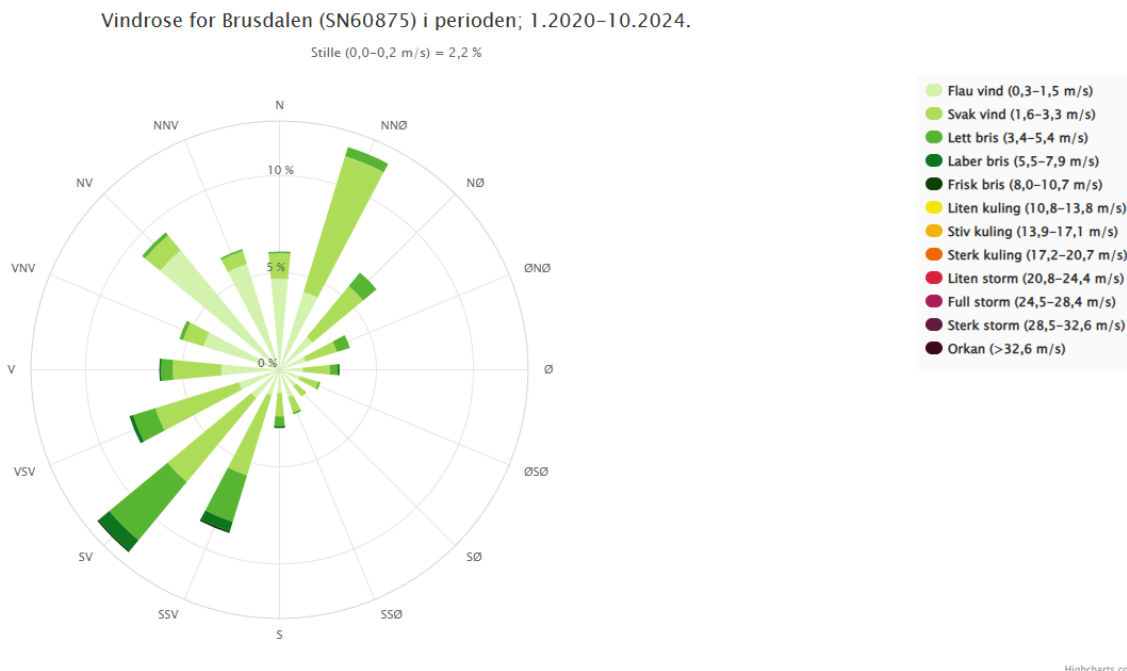
I risikoanalysen antas det at to uavhengige rullesikringer er i bruk under fylling. Disse kan være en kombinasjon av hjulklosser, interlockbremsen eller andre systemer. Utløp for fylling fra tankbil har nødventil som stenger dersom gjennomstrømningsraten blir høy, som f.eks. ved slangebrudd. Målesystem på tankbil har mekanisme som stenger ventil dersom strømningsrate måles over 1000 liter/minutt.

Fyllepumpe på tankbil styres ofte med fjernkontroll. Nødstopp av pumpe kan aktiveres fra fjernkontroll eller med knapp på tankbil. I risikoanalysen antas at sjåfør overvåker lossingen og er i stand til å aktivere nødstopp av fyllepumpe i løpet av 15 sekunder etter en eventuell lekkasje starter. Tidsestimatet er basert på innspill fra tankbil-operatører.

I tillegg til nødventil har omtrent 75% av tankbilene i bruk i Norge i dag har et ekstra sikkerhetssystem for stengning av fylleventil. Systemet er basert på et lodd, plassert på bakken under fylling, som drar ut lufttilførsel til luftstyrt fylleventil dersom tankbilen skulle bevege seg under fylling. I risikoanalysen er effekten av sikkerhetssystemet ikke tatt med siden systemet per i dag ikke er standard.

2.8 Vinddata og omgivelsestemperatur

Nærmeste værstasjon til Nor Tekstil Digernes Næringspark er i Brusdal 4.5 km unna. Vinddata fra Brusdal har blitt hentet fra seklima.no, og er brukt i risikoanalysen. Vindrosen er vist i Figur 4. Vindforholdene er preget av relativt lave vindhastigheter, og klart fremherskende vindretninger (fra sør-vest, nord-nord-øst og nord-vest).



Figur 4: Vindrose for Berskog, Drammen.

Sintef Byggforsk i samarbeid med Meteorologisk Institutt har publisert «Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring». Anvisningen inneholder oversikt over klimadata for landets kommuner for perioden 1971–2000. Klimadataene gir grunnlag for termisk dimensjonering og frostsikring av konstruksjoner mot grunnen, som fundamenter for oppvarmede og uoppvarmede bygninger, ledninger og veier. Gitt at høyeste gjennomsnittlige utelufttemperatur i anvisningen representerer høyeste dimensjonerende temperatur i grunnen ned til 2 meters dybde, vil temperaturen for dette ligge i størrelsesorden +/- 20 °C. I risikoanalysen antas en temperatur i sarkofagen, og i tankene, på 20 °C.

3 Risikomodellering

3.1 Avgrensning og implementasjon

Denne risikoanalysen vurderer risiko fra fylling av LPG-tank fra tankbil, LPG-tank og fordamperskap. Analysen vurderer ikke risiko fra innvendig rørføring og utstyr hos forbruker. Analysen vurderer heller ikke risiko knyttet til transport av LPG i tankbil frem til fyllestedet.

Risikoanalysen er utført i henhold til DSBs retningslinjer for kvantitative risikovurderinger [1], heretter bare referert til som «retningslinjene». Nøkkelpunkter i retningslinjene er:

- Anbefalinger for bruk av lekkasjefrekvensmodeller
- Beregning av individuell risiko baseres på at tredjepart er til stede kontinuerlig
- For beregning av risikokonturer som skal inngå i arealplanleggingen skal tennsannsynligheten settes lik 1 for alle lekkasjer der brennbar gass når utenfor anlegget.
- Dødelighet for flashbrann kan justeres ned basert på tid til eksponering, dødelighet for jetbrann kan ikke justeres.

Risikoanalysen beregner individuell risiko for tredjeperson til 10^{-5} , 10^{-6} og 10^{-7} nivå per år. Risiko for første- og andreperson er ikke vurdert¹. Basert på beregningene er det etablert hensynsoner for anlegget, som beskrevet i DSBs kriterier for akseptabel risiko [2].

Risikomodellen er implementert i Gexcons kommersielle risikoanalyseverktøy RISKCURVES. RISKCURVES integrerer også Gexcons kommersielle empiriske verktøy EFFECTS for konsekvensmodellering.

3.2 Initierende hendelser

Initierende hendelser på anlegget som kan forårsake ulykke er utslipp av brennbar gass eller væske fra:

- Alltid: LPG-tank og fordamperskap
- Under fylling: Fylleslange

Kvalitativt vil de ulike lekkasjene arte seg slik:

- Fra fylleslange: Vil gi et høytrykks væskeutslipp i eller utenfor tankdomen. I risikoanalysen antas at lekkasjen oppstår 5 m nedstrøms fyllepumpen.
- Fra gassiden av LPG-tanken: Vil gi et høytrykks gassutslipp i eller utenfor tankdomen. Mindre lekkasjer av denne typen vil normalt være knyttet til koblinger og utstyr på tanken. I risikoanalysen antas derfor at tanklekkasjer som oppstår på gassiden skjer inne i tankdomen. Tankbrudd derimot kan forekomme hvor som helst på tanken. Et tankbrudd som skjer i de delene av tankskallet som er > 0.5 m under dekke vil sannsynligvis ikke gi opphav til ulykke, men vil forårsake et diffust utslipp. I risikoanalysen antas det at én av tre tankbrudd vil gi opphav til ulykke.
- Fra væskesiden av LPG-tanken: Vil gi et høytrykks væskeutslipp som går til grunn, siden hele væskesiden er begravd. I risikoanalysen antas at tanklekkasjer oppstår på gassiden av tanken og inne i tankdomen, mens tankbrudd oppstår på gassiden og hvor som helst på tanken.
- Fra tankarmatur LPG-tank (unntatt væskefaseuttak): Vil gi et høytrykks gassutslipp i tankdomen.
- Fra tankarmatur væskefaseuttak LPG-tank: Vil gi et høytrykks gassutslipp i tankdomen dersom lekkasjen kommer i koblingen mot tankskallet. Vil gi et høytrykks væskeutslipp i tankdomen dersom lekkasjen kommer gjennom rør til tankbunn og ut gjennom ventil og plugg på væskefaseuttak.
- Fordamperskap oppstrøms fordamper: Vil gi et høytrykks væskeutslipp inne i fordamperskap.
- Fordamperskap oppstrøms trykkregulator, nedstrøms fordamper: Vil gi et høytrykks gassutslipp inne i fordamperskap.
- Fordamperskap nedstrøms trykkregulator: Vil gi et lavtrykks gassutslipp inne i fordamperskap.

¹ Førsteperson er personer direkte involvert i drift av anlegget. Andreperson er personer som på annet vis er tilknyttet eller nyter godt av anlegget. Tredjeperson er personer som er indirekte berørt av anlegget, som naboer eller tilfeldig forbi passerende.

- Fra nedgravd rør mellom tank og fordamperskap: Vil gi et høytrykks væskelekkasje til grunn eller trekkerør, som kan følge trekkerøret til fordamperskapet eller tilbake til tankdom. Innvirkningen på risikonivået er neglisjerbar på grunn av lav sannsynlighet for lekkasje.

Et gassutslipp vil generelt forårsake en gassjet. Et væskeutslipp vil forårsake en væskespray og mulighet for dannelsen av en flyktig væskepøl.

Tankbrudd er tatt med som mulig initiell hendelse i denne risikoanalysen, og vurderes sammen med andre utslipp fra tank.

For LPG-tanker vurderes normalt også sannsynligheten for BLEVE. Siden tankene behandlet i denne risikoanalysen er begravet, og ingen deler av tanken er eksponert, vurderes risikoen for BLEVE her å være neglisjerbar.

3.3 Lekkasjefrekvens

3.3.1 Fra fylleslange

Lekkasje fra fylleslanger for LPG er omtalt i retningslinjene. Anbefalingen gitt på lekkasjefrekvens er en lekkasjefrekvens «midt mellom» to kjente lekkasjefrekvensmodeller for fylleslanger, HSE-modellen og Shell-modellen.

HSE-modellen [3] gir lekkasjefrekvens for generiske fylleslanger. Modellen har tre sett frekvenser, gitt per fylleoperasjon. Hvilket sett frekvenser som skal brukes avhenger av sikkerhetssystemene/rutinene som er på plass for tankbil og fylleslange. Sikkerhetssystemene deles inn i klassene «basic», «average» og «multi safety system». Figur 5 viser et utsnitt hentet fra HSE-publikasjonen.

Tankbil og fylleslange i bruk for LPG-anlegget vurderes å falle inn under kategorien «multi safety system facilities». Tankbilene antas å ha to rullsikringer (pullaway prevention), nødventil på utløp (pullaway mitigation) og regelmessig inspeksjon, test og bytte av fylleslanger. Som diskutert over har 75% av tankbilene i bruk også et ekstra sikkerhetssystem for «pullaway mitigation».

Facility	Probability of failure per transfer x 10 ⁻⁶		
	Guillotine failure	15 mm diameter hole	5 mm diameter hole
Basic facilities	40	1	13
Average facilities	4	0.4	6
Multi safety system facilities	0.2	0.4	6

Basic	These have one pullaway prevention system such as wheel chocks, carry out pressure/leak tests to prevent transfer system leaks and bursts, but have no pullaway mitigation.
Average	Two pullaway prevention systems (one of which should be wheel chocks) as well as inspection and pressure/leak tests to prevent transfer system leaks and bursts but no effective pullaway mitigation.
Multi safety systems	Two pullaway prevention systems, and also an effective pullaway mitigation system and inspection and pressure/leak tests to prevent transfer system leaks and burst.

Figur 5: Oppsummering av HSE-modellen for fylleslangelekkasje.

Shell-modellen [4] gir lekkasjefrekvens for LNG-fylleslanger. Frekvensene er gitt per fylleroperasjon, og er lavere enn frekvensene fra HSE-modellen. Shell-modellen angir:

- Frekvens for fullt brudd (tilsvarende guillotine failure hos HSE): $9.7E-8$ per fylleroperasjon
- Frekvens for 25 mm hull i fylleslange: $1.9E-7$ per fylleroperasjon.

Verken HSE- eller Shell-modellen oppgir fordelingen av slangediametere i modellunderlaget. I risikoanalysen brukes de to største hullstørrelseskategoriene fra HSE-modellen:

- Fullt brudd (hulldiameter 50 mm)
- Lekkasje fra hull med diameter 15 mm

Lekkasjefrekvens for fullt brudd settes til aritmetisk gjennomsnitt av fullt brudd i HSE- og Shell-modellen. Lekkasjefrekvens for hulldiameter 15 mm settes til aritmetisk gjennomsnitt av de store hullene i HSE- og Shell-modellen (hhv. 15 mm og 25 mm). Aritmetisk gjennomsnitt er brukt for å svare på retningslinjenes anbefaling om frekvenser «midt mellom» de to modellene (se over).

Lekkasjefrekvens for fylleslanger i risikoanalysen er:

- Fullt brudd:
 - $1.49E-7$ per fylleroperasjon
 - $3.58E-6$ for 24 fylleroperasjoner
- Slangelekkasje (hull tilsvarende 10% av slangediameter):
 - $2.95E-7$ per fylleroperasjon
 - $7.80E-6$ for 24 fylleroperasjoner

Utløp fra tankbil har nødventil som stenger dersom gjennomstrømningsraten blir høy. Målesystemet på tankbilen har egen funksjon som stenger ventil dersom raten går over 1000 liter/minutt. Påliteligheten til lignende nødventiler (rørbruddsventiler) er diskutert i RIVMs Reference manual Bevi risk assessments [5]. RIVM anslår at sannsynligheten for at en rørbruddsventil ikke lukker, ved gjennomstrømningsrater større enn 120% av designrate, er 6%. En stor lekkasje (som et slangebrudd) som stanses av nødventil vil bli kortvarig. I risikoanalysen er slangebrudd i utgangspunktet antatt å være kortvarige, siden tankbilsjåfør initierer nødstop. Nødventil bidrar med andre ord til å sannsynliggjøre at slangebrudd vil være kortvarige. I risikoanalysen har likevel ikke lekkasjefrekvensen for slangebrudd (eller slangelekkasjer) blitt redusert ytterligere på grunn av installert nødventil (utover valg av kategori i HSE-modell for fylleslangelekkasjer).

3.3.2 Fra LPG-tank

Lekkasje fra tank og tankbrudd er omtalt i retningslinjene. Anbefalt lekkasjefrekvensmodell for tanker generelt er HSE-modellen.

HSE-modellen har ikke tall på nedgravd tank, nedgravde tanker nevnes kun i sammenheng med sannsynligheten for BLEVE – der det anbefales at denne settes til null.

HSE-modellen angir lekkasjefrekvens for tankskall og koblinger, samt frekvens for tankbrudd, for overgrunnstank. Frekvens for tankbrudd er satt til $2E-6$ per år. Tallet er basert 280 000 tankår uten noen slike hendelser frem til 1983. Rapporten diskuterer at om tallet oppdateres basert på historikk frem til 1992 (fremdeles ingen hendelser) ville det blitt redusert til $9.4E-7$, men for å være konsekvent med andre hendelsesdata viderefører rapporten de eldre verdiene. HSE-modellen angir også hvilke årsaker til tankbrudd som hensyntatt, disse inkluderer:

- Brann
- Jordskjelv
- Oversvømmelse
- Lynnedslag
- Vær
- Påkjørsler
- Flykræs
- Mistede objekter fra kraner
- Bygningskollaps
- Flygende objekter fra industri i nærheten

Det er klart at mange av årsakene til tankbrudd i HSE-modellen er lite relevante for nedgravde tanker.

En alternativ lekkasjefrekvensmodell for tanker er OGP-modellen [6]. OGP-modellen har heller ikke tall på nedgravd tank, men beskriver at fremgangsmåten for å bestemme slike tall vil være å ta utgangspunkt i overgrunnstanker og så fjerne risikobidrag som ikke er relevante. OGP-rapporten påpeker også at en lekkasje fra en nedgravd tank i mange tilfeller først går ut i jorden rundt tanken, og dette vil redusere både utslippsrate og -hastighet.

OGP-modellen angir lekkasjefrekvens for tankskall og koblinger, samt frekvens for tankbrudd, for overgrunnstank. Vurderingene bak lekkasjefrekvensen er gjengitt i OGP-rapporten, og nevner også HSE-tallene. Lekkasjefrekvensene er gjennomgående lavere enn tallene fra HSE-modellen. Frekvensen for tankbrudd er satt til $9.5E-7$ per år.

De nedgravde tankene vurdert i denne risikoanalysen er beskyttet fra de fleste typer ekstern påvirkning, koblingspunktene på tank er alle i en låst tankdom. Det virker rimelig å anta at lekkasjefrekvens for slike nedgravde tanker er signifikant lavere enn for overgrunnstanker. Et forsøk på å estimere en reduksjon i lekkasjefrekvens, basert på bakenforliggende årsaker som ikke er relevante, har ikke blitt gjort her. I stedet brukes OGP-modellen direkte, siden dette er den minst konservative av de to modellene. Bruk av OGP-modellen for overgrunnstanker regnes fortsatt som et konservativt valg.

Lekkasjefrekvens for tank og tankkoblinger brukt i analysen er:

- 2 mm hulldiameter: $1.3E-5$ per år
- 5 mm hulldiameter: $6.9E-6$ per år
- 25 mm hulldiameter: $3.7E-6$ per år
- 100 mm hulldiameter: $1.0E-6$ per år (hullstørrelse satt til diameter på største tankkobling)
- Tankbrudd: $9.5E-7$ per år (hullstørrelse satt til diameter på 150 mm)

Som diskutert i avsnitt 3.2 antas det i risikoanalysen at kun lekkasjer fra 1/3 av tankskallet vil gi opphav til ulykke, slik at tankbruddfrekvensen med ulykkekonsekvens er $9.5E-7 * 0.33 = 3.14E-7$ per år.

3.3.3 Fra prosessutstyr

Lekkasje fra prosessutstyr er omtalt i retningslinjene. Anbefalinger for prosessutstyr anses å være relevant for LPG-tank tankarmatur og utstyr i fordamperskap. Anbefalt lekkasjefrekvensmodell er PLOFAM-modellen [7]. Frekvens for lekkasjer fra nedgravd rør til fordamperskap er lav og har ikke blitt beregnet.

PLOFAM-modellen beskriver en kontinuerlig hullstørrelsesfordeling for en rekke utstyrstyper brukt i prosessanlegg offshore. PLOFAM-rapporten vurderer det som rimelig at modellen også brukes for utstyr på land. Prosessutstyret på LPG-anlegget er godt skjermet av tankdom og skap, og aktivitetsnivået på anleggene er lavt, utstyret ser derfor ikke belastninger som skulle tilsi at PLOFAM ikke kan brukes.

PLOFAM-modellen har blitt brukt i risikoanalysen for å sette lekkasjefrekvens fra LPG-tank tankarmatur og fordamperskap.

Lekkasjefrekvens har blitt beregnet ved PLOFAM for hullstørrelseskategorier 1-5 mm, 5-20 mm og 10-40 mm. 40-80 mm og > 80 mm. Representative hullstørrelser er satt til å være geometrisk gjennomsnitt av kategorigrensene, for de fire minste kategoriene hhv. 2, 10, 28 og 56 mm. For kategorien > 80 mm er hullstørrelse satt til 100 mm. Dersom største utstyrsdiameter i segmentet er mindre enn representativ hullstørrelse blir hullstørrelsen satt lik største utstyrsdiameter.

LPG-tankens væskefaseuttak har rørbruddsventil som lukker dersom gjennomstrømningsraten blir høy. Påliteligheten til rørbruddsventiler er diskutert i RIVMs Reference manual Bevi risk assessments [5]. RIVM anslår at sannsynligheten for at en rørbruddsventil ikke lukker, ved gjennomstrømningsrater større enn 120% av designrate, er 6%. Dersom rørbruddsventilen lukker vil den ikke åpnes igjen før trykket igjen øker nedstrøms ventilen, noe som her betyr at ventilen er lukket så lenge lekkasjen pågår. Lekkasjefrekvens for hull > 28 mm fra væskefaseuttak på LPG-tanken har blitt justert tilsvarende. Det er uklart hvordan rørbruddsventil vil reagere på lekkasjer lengre nedstrøms, nærmere fordamper, disse frekvensen har derfor ikke blitt justert.

Lekkasjefrekvenser og representative hullstørrelser brukt i risikoanalysen er oppsummert i Tabell 2.

Tabell 2: Lekkasjefrekvenser beregnet ved bruk av PLOFAM-modellen fra LPG-tank og utstyr i fordamperskap

Utstyr / Hullstørrelse (mm)	2	10	28	56	100
LPG-tank - gass - høytrykk	6.70E-04	1.55E-04	9.49E-06	1.37E-05	
LPG-tank - væske - høytrykk	2.67E-05	1.21E-05	1.12E-05		
Fordamperskap – væske - høytrykk	3.32E-04	3.74E-05	4.25E-06	2.82E-06	
Fordamperskap – gass - høytrykk	1.81E-03	3.57E-04	3.47E-05	5.62E-05	
Fordamperskap – gass - lavtrykk	1.14E-03	4.47E-04	8.42E-06	3.94E-06	6.44E-06

3.4 Tennsannsynlighet

Vurdering av tennsannsynlighet for lekkasjer er omtalt i retningslinjene. Retningslinjene skiller mellom tenning i områder «innenfor anlegg» og «utenfor anlegg». Områder som er innenfor anlegg, vil normalt være områder som tilhører driftsansvarlig for anlegget, som er adgangs-/aktivitetsbegrenset, og/eller har tennkildekontroll. Det planlagte LPG-anlegget ligger i et næringsområde uten særskilt adgangskontroll og nært offentlig vei. Mange av lekkasjene som oppstår vil havne utenfor anlegg. Retningslinjene anbefaler at tennsannsynlighet i områder utenfor anlegg settes lik 1.

Selv om tennsannsynlighet skal være 1 åpner retningslinjene for at dødelighet i enkelte områder kan skaleres ned basert på andelen av scenarioets varighet der delområdet er eksponert til en brennbar sky. I denne risikoanalysen har tennsannsynlighetene ikke blitt skalert ned, det fordi:

- Varigheten på mange lekkasjescenarioer er lang, og reduksjonen i dødelighet tilsvarende liten.
- Reduksjon i dødelighet beskrevet i retningslinjene går kun på flashbrannbidraget til en lekkasje (dvs. på dødelig varmelast mot personer som står *inne* i en sent antent gassky når den antenner), og ikke på jetbrannbidraget (dvs. dødelig varmelast mot personer fra en tidlig eller sent antent gassjet). Flashbrann- og jetbrannbidraget er ofte i samme størrelsesorden arealmessig, men er bare delvis overlappende. Å identifisere områder, for hvert enkeltscenario, som kun har bidrag fra flashbrann og ikke jetbrann er vanskelig.
- Reduksjonen i dødelighet beskrevet i retningslinjene tar inn effekten av en voksende gassky (dvs. skyen er ikke alltid til stede på et gitt punkt fordi den bruker tid på å nå frem), men det er uklart hvordan man skal behandle en krympende gassky (dvs. skyen er ikke alltid til stede på et gitt punkt fordi lekkasjeraten har falt og skyen er blitt mindre). For LPG-anlegget vil en eventuell reduksjon primært ha med krympende sky å gjøre.

3.5 Fatalitetsmodell

Vurdering av dødelighet/fatalitet er omtalt i retningslinjene. For LPG-anlegget er det vurdert at kun eksponering for brannlast/varmelast vil kunne forårsake fataliteter. Eksponering til eksplosjonslast eller toksiske effekter (inkludert effekten av røyk) vil for dette anlegget gi små bidrag til dødelighet.

Retningslinjene anbefaler at hensynssoner baseres på at eksponerte personer er til stede kontinuerlig, og på en terskelverdi for dødelighet satt til 50%. For effekt av varmelast mot personer fra jet-, spray- eller pølbrann anbefales en anerkjent probit-funksjon for død ved eksponering av bar hud. For effekt av varmelast fra flashbrann anbefales en antagelse om at alle innenfor den brennbare skyen omkommer.

Anbefalingene fra retningslinjene er brukt i risikoanalysen.

3.6 Konsekvensvurdering

3.6.1 Konsekvensverktøy

Risikomodellen er implementert i Gexcons kommersielle risikoanalyseverktøy RISKCURVES. RISKCURVES integrerer også Gexcons kommersielle empiriske verktøy EFFECTS for konsekvensmodellering. EFFECTS er opprinnelig basert på modellene i TNOs Yellow Book, og har blitt videreutviklet i mer enn 35 år. EFFECTS er akseptert og brukt i risikostudier verden over.

3.6.2 Lekkasjepunkt

Som diskutert i avsnitt 3.2 antas det at alle lekkasjer fra tanksegmentene skjer ved tankdom, også lekkasjer fra fylleslange. Lekkasjer fra fordamperskap skjer ved Nor Tekstil bygget (se Figur 1).

For lekkasjer fra fylleslange kan disse i realiteten oppstå hvor som helst mellom tankbil og tank. Lekkasje-punktet har likevel blitt flyttet til tanken fordi risikobidraget fra fylleslangelekkasjer vil da i størst mulig grad overlapse med bidraget fra andre lekkasjer, noe som bidrar til en konservativ sikkerhetsavstand

3.6.3 Effekt av tankdom og skap

Som diskutert i avsnitt 3.2 antas det at mindre lekkasjer fra tankskall og tankarmatur skjer inne i tankdomen, mens tankbrudd skjer hvor som helst på tanken. Tankdomen i stål er lukket og låst på alle tidspunkt utenom fylling, og lekkasjene vil derfor hovedsakelig skje inne i en låst tankdom.

Tankdomlokket har en 15 x 15 cm åpning over sikkerhetsventil. For lekkasjer inne i tankdomen vil den fylles med gass og gassen vil ventileres ut åpningen til omgivelsene. Lekkasjen vil også overtrykke tankdomen og gi en lite brennbar blanding på innsiden, på grunn av lav innblanding av luft. En antenning inne i tankdomen er derfor lite sannsynlig, og en fri gassjet eller væskespray er tilsvarende lite sannsynlig. Konsekvensen av lekkasjer i tankdomen er derfor modellert som flashbrann, ikke som jet- eller spraybrann.

Dersom lokket mot formodning skulle åpne vil gass- eller væskelekkasjen sannsynligvis være obstruert av tankdomen og miste bevegelsesmengden, og igjen hovedsakelig gi opphav til en flashbrann.

En tilsvarende antakelse om obstruerte lekkasjer som resulterer i flashbrann er lagt til grunn for lekkasjer i fordamperskapet.

3.6.4 Konsekvensmodellering

Alle lekkasjer er modellert med LPG i sammensetning 92% propan og 8% butan, og temperatur 20 °C. Fyllingsgraden i LPG-tanken er antatt å være 85%. Trykket på høytrykksiden av anlegget er antatt å være 8 barg, og på lavtrykksiden 0.3 barg. Utslippspunktene er modellert 0.2 m over bakkenivå.

De ulike lekkasjetypene er modellert på følgende vis:

- Lekkasjer fra fylleslange:
 - Horisontal væskespray som gir opphav til flash- og jet-/spraybrann
 - Lekkasje-punkt 5 m nedstrøms fyllepumpe,
 - Fylleslangelekkasje: Masserate fra hull på 15 mm
 - Fylleslangebrudd: Masserate fra høyeste pumperate (5 kg/s)
 - Lekkasjevarighet: 15 s for brudd, 120 s for lekkasje
 - Merk at selv om disse lekkasjene er antatt å skje 5 m nedstrøms fyllepumpe så er risikobidraget plassert på samme punkt som andre lekkasjer (se avsnitt 3.2 og 3.6.2)
- Lekkasjer fra tank og armatur (unntatt tankbrudd) og fordamperskap:
 - Gassjet eller væskespray vinklet 45° oppover som gir opphav til flashbrann
 - Masserate beregnet fra representativ hullstørrelse
 - Lekkasjevarighet: Til tanken er tom

- Merk at selv om disse lekkasjene skjer inne i tankdomen og sannsynligvis er obstruerte, så er utbredelsen av gasskyen basert på en ikke-obstruert jet/spray. Dette er en konservativ modellering av utstrekning på gasskyen. Empiriske konsekvensverktøy som EFFECTS tillater heller ikke en god modellering av obstruerte lekkasjer.
- Fra tankbrudd:
 - Vertikal gassjet som gir opphav til flash- eller jetbrann
 - Masserate beregnet fra representativ hullstørrelse
 - Lekkasjevarighet: Til tanken er tom

Størrelsen på en flashbrann er satt basert på største utbredelse av en brennbar sky.

4 Risikobilde

4.1 Analyseverktøy

Informasjon om alle ulykkeshendelser har blitt kombinert i Gexcons risikoanalyseverktøy RISKCURVES, versjon 12.4. RISKCURVES er opprinnelig basert på risikomodellene beskrevet i TNOs Colored Books (Yellow, Green, Purple, Red Book), og har blitt videreutviklet i en årrekke. RISKCURVES er akseptert og brukt i risikostudier verden over.

4.2 Om hensynssoner

DSB har definert hensynssoner rundt anlegg som håndterer brannfarlige, reaksjonsfarlige, trykksatte og eksplosjonsfarlige stoffer [1]. Definisjonene er basert på beregnet individuell risiko (IR). Merk at siden retningslinjene, og denne risikoanalysen, legger til grunn at tredjepart er til stede kontinuerlig så er beregnet IR også identisk med LSIR (lokasjonsspesifikk individuell risiko). Hensynssonene er definert som følger:

- **Indre sone (innenfor 10^{-5} per år risikokontur)**
Dette er i utgangspunktet virksomhetens eget område. I tillegg til eget anleggsområde kan for eksempel LNF-områder (landbruks-, natur- og friluftsområder) inngå i indre sone. Kun kortvarig forbipassering for tredjeperson (turveier etc.) er tillatt.
- **Midtre sone (mellom 10^{-5} per år og 10^{-6} per år risikokontur)**
Offentlig vei jernbane kai og liknende. Faste arbeidsplasser innen industri- og kontorvirksomhet kan også ligge her. I denne sonen skal det ikke være overnatting eller boliger. Spredt boligbebyggelse kan aksepteres i enkelte tilfeller.
- **Ytre sone (mellom 10^{-6} per år og 10^{-7} per år risikokontur)**
Områder regulert for boligformål og annen bruk av den allmenne befolkningen kan inngå i ytre sone, herunder butikker og mindre overnattingssteder.
- **Utenfor ytre sone (utenfor 10^{-7} per år risikokontur)**
Skoler, barnehager, sykehjem, sykehus og lignende institusjoner, kjøpesentra, hoteller eller store publikumsarenaer må normalt plasseres utenfor ytre sone.

Hensynssonene i denne analysen har blitt beregnet med utgangspunkt i definisjonen over.

4.3 Om risikoanalysen

Risikomodellen satt opp i RISKCURVES modellerer:

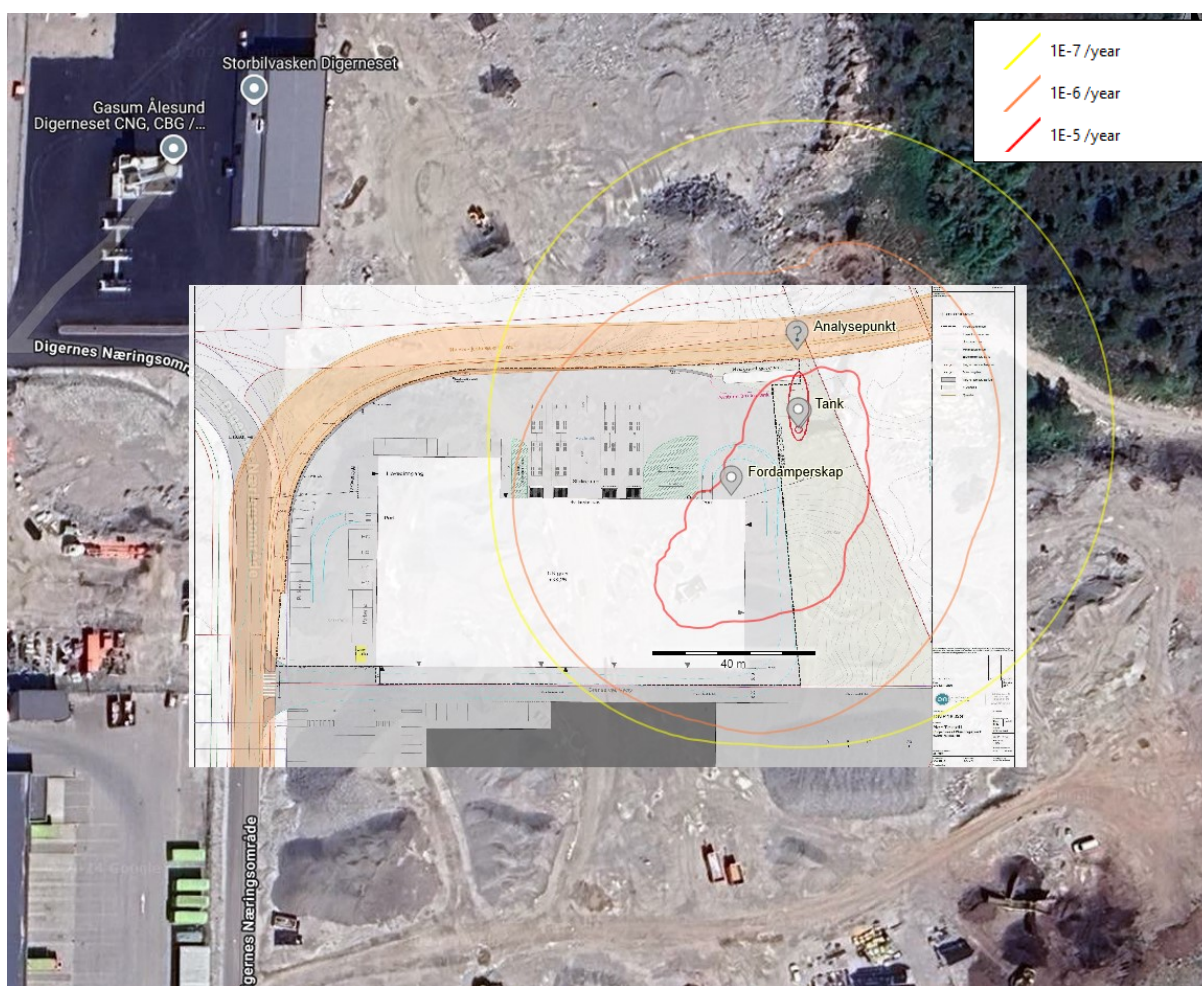
- Alle lekkasjer som beskrevet i 3.2
- Lekkasjefrekvens som beskrevet i 3.3
- Tennsannsynlighet som beskrevet i 3.4
- Dødelighet som beskrevet i 3.5
- Konsekvens som beskrevet i 3.6

RISKCURVES samler frekvensbidrag til dødelighet fra alle konsekvenser og kombinerer til en oversikt over IR/LSIR i alle punkt. Basert på beregnet IR kan konturer dras som tilsvarer grensene til alle hensynssonene beskrevet over.

4.4 Hensynssoner

Konturer for estimert individuell risiko (IR) for tredjeperson er vist i Figur 6. De tre konturene på $1E-5$, $1E-6$ og $1E-7$ per år tilsvarer henholdsvis ytre grense for indre, midtre og ytre hensynssone. Merk at lokasjonen på LPG-anlegget brukt her vil kunne avvike noe fra endelig lokasjon. Figur 7 og Figur 8 viser risikokonturene til risikobidrag fra, henholdsvis, kun tank (inkludert fylleoperasjoner) og kun fordamperskap.

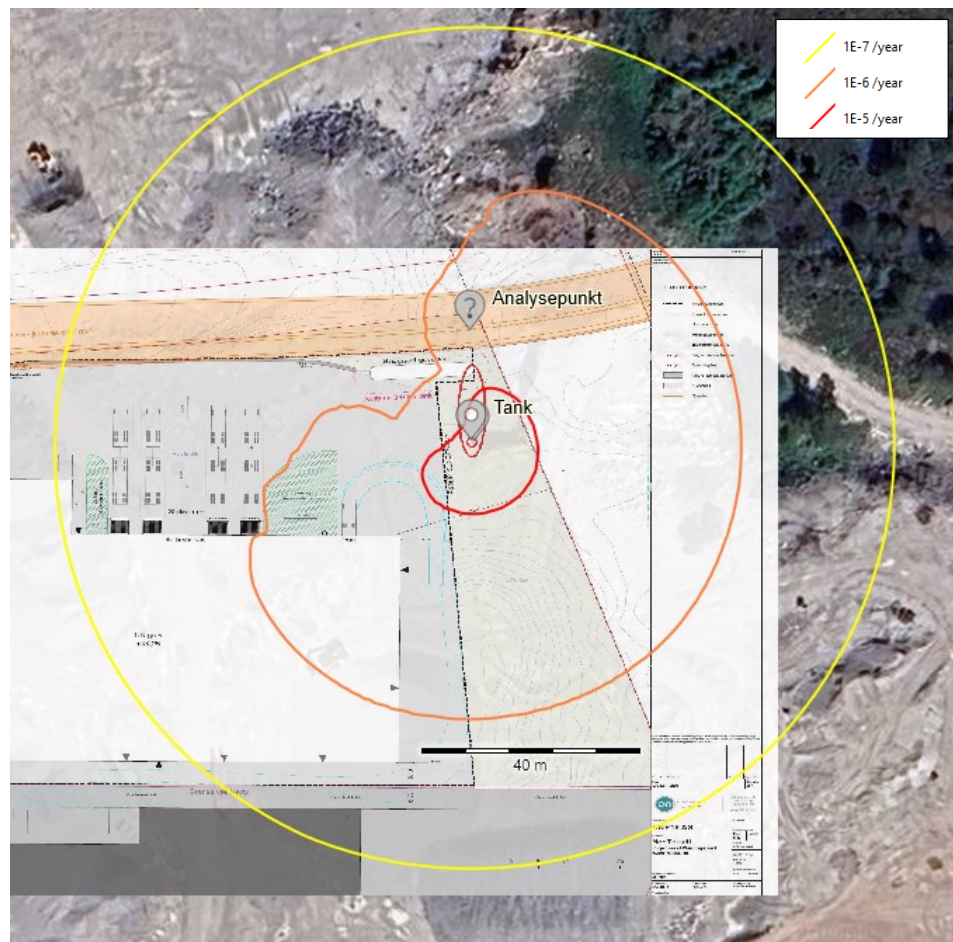
De største risikobidragene i analysepunktet på veien rett bak tanken er oppsummert i Tabell 3 under. Tabellen viser at høytrykks gasslekkasje fra fordamperskapet gir det desidert største bidraget.



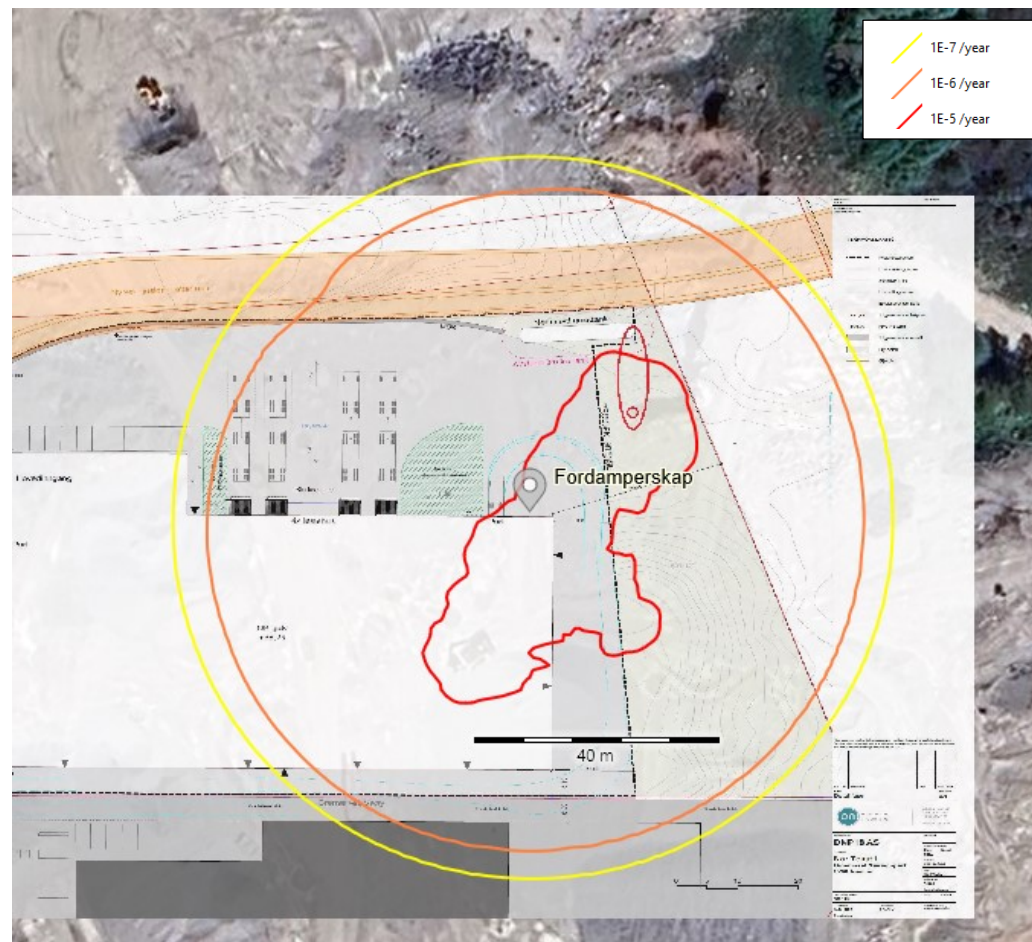
Figur 6: Estimert individuell risiko og hensynssoner i området rundt LPG-anlegget.

Tabell 3: Risikobidrag i Analysepunkt plassert på vei

Utslippsscenario		Bidrag (%)	Frekvens
1.	Gass høytrykk - 056 mm (Fordampere)	64.8	4.66E-06
2.	Gass lavtrykk – 100 mm (Fordampere)	7.3	5.25E-7
3.	Gass - 056 mm (Tankutstyr)	6.6	4.77E-07
4.	Væske - 040 mm (Fordampere)	6.4	4.60E-07
5.	Væske - 056 mm (Tankutstyr)	5.4	3.90E-07



Figur 7: Risikokonturer for alle tankbidrag, inkludert fylløperasjoner



Figur 8: Risikokonturer for alle fordamperbidrag

5 Diskusjon

Hensynssoner for LPG-anlegget ved Nor Tekstil Digerneset Næringspark har blitt estimert basert på gjeldende retningslinjer for kvantitative risikoanalyser, og er vist i Figur 6.

Indre sone (omriss markert i rødt) ligger i all hovedsak inne på Nor Tekstils eget område. Ytterkanten av indre sone, mot nord-øst, strekker seg ut i område regulert til vegetasjonsskjerm. Utstrekningen på indre sone anses å være i henhold til akseptkriteriene, som sier at indre sone skal være virksomhetens eget område, og i tillegg kan innholde natur- eller friluftsområder. Det er verdt å nevne at den relativt større utstrekningen av indre sone mot sør-øst har å gjøre med vindforholdene, der lave vindhastigheter (og tilsvarende mindre effektiv uttynning av brennbar sky ved lekkasje) ofte sammenfaller med vind fra nord-vest. De lave vindhastighetene fra nord-vest har igjen å gjøre med lokasjonen til værstasjonen data er hentet fra. Det er sannsynlig at gjennomsnittlige vindhastigheter ved Digerneset Næringspark er høyere enn ved værstasjonen.

Midtre sone (omriss markert i oransje) strekker seg ut over offentlig vei og andre eiendommer. Alle eiendommene innenfor midtre sone er regulert til næringsvirksomhet. Offentlig vei, samt faste arbeidsplasser innen industri- og kontorvirksomhet, er tillatt innenfor midtre sone.

Ytre sone (omriss markert i gult) strekker seg ut over offentlig vei og andre eiendommer. Eiendommene innenfor ytre sone er regulerte til næringsvirksomhet. Det er ingen sårbare objekter (skoler, barnehager, sykehjem, sykehus og lignende institusjoner, hoteller, etc.) innenfor ytre sone. Industri, områder regulert for boligformål, og områder for annen bruk av den allmenne befolkningen (unntatt sårbare objekter) kan inngå i ytre sone.

Basert på DSBs kriterier for akseptabel risiko vurderes plasseringen av LPG-anlegget som akseptabel.

6 Referanser

- [1] DSB, "Retningslinjer for kvantitative risikovurderinger for anlegg som håndterer farlig stoff - Revidert utgave," 2021.
- [2] DSB, "Sikkerheten rundt anlegg som håndterer brannfarlige, reksjonsfarlige, trykksatte og eksplosjonsfarlige stoffer - Kriterier for akseptabel risiko," 2012.
- [3] HSE, "Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments (02/02/19)," 2019.
- [4] Shell Global Solutions, "LNG Hose Failure Probability, SR.14.11.417," 2014.
- [5] RIVM, "Reference Manual Bevi Risk Assessments - version 3.2," 2009.
- [6] OGP, "Risk assessment Data Directory - Report no. 434-3 - Storage Incident Frequencies," 2022.
- [7] Lloyd's Register, "Process leak for offshore installations frequency assessment model - PLOFAM," 2018.