

## RAPPORT

TITTEL:	<b>Hensynssoner for Lilleby varmesentral – Final rapport</b>	RAPPORTNR:	R1702
FORFATTER(E):	Ingar Fossan Bjørn Erling Vembe	PROSJEKTNR:	100482
ANSVARLIG:	Trond Evanger <i>Trond Evanger</i>	GRADERING:	Fortrolig
OPPDRAAGSGIVER:	Veidekke Eiendom AS	FILEK ARKIVKODE:	Z:\Dist\Prosjekt\100482\Rapport\R1702\R1702 Lilleby Draft.docx
OPPDRAAGSGIVERS REF.:	Finn Hvoslef / Kari Sollie	KVALITETSSIKRING:	Trond Evanger
		ANTALL SIDER:	37
		DATO:	06.04.2017

### SAMMENRAG

ComputIT har, på vegne av Veidekke Eiendom AS, beregnet risikobaserte hensynssoner omkring Lilleby Varmesentral. Kravet til hensynssoner er hjemlet i brann- og eksplosjonsvernloven. Formålet er å sørge for at arealplanlegging rundt virksomheter som håndterer farlig stoff tar hensyn til de potensielle konsekvensene ved ulykker på anlegget. Kriteriene for hensynssoner er beskrevet av DSB i dokumentet «Sikkerheten rundt anlegg som håndterer brannfarlige, reaksjonsfarlige, trykksatte og eksplosjonsfarlige stoffer. Kriterier for akseptabel risiko». Kriteriet sier at området utenfor anleggets eiendomsgrenser ikke skal utsettes for en uakseptabel konsekvens hyppigere enn 1 gang per million år, og fanger opp at risiko er et begrep som beskriver hyppigheten for en uønsket konsekvens. Dette er et svært lavt nivå som ivaretar at den risiko man utsettes fra anlegget er lavere eller på nivå med andre aktiviteter en typisk norsk borger utsettes for i løpet av et livsløp. Nivået satt av kriteriet er imidlertid svært mye lavere sammenlignet direkte med den risiko man er eksponert for til daglig, for eksempel en dagligdags aktivitet som bilkjøring.

Analysen har omfattet å beregne hensynssoner resulterende fra ulykkesutslipp av LNG som genererer en brennbar blanding av omgivende luft og gass, og foreslå mulige risikoreduserende tiltak for å bringe risiko til et så lavt nivå som mulig. Studien har imidlertid også sett på potensielle konsekvenser ved antennelse av en av de største mulige lekkasjene på anlegget. Konsekvenser ved eksplosjoner i kjelhus og tankbrudd (BLEVE) er ikke analysert. En eksplosjon inne i kjelhuset vil kunne skje gjennom en lekkasje inne i huset som antennes en viss tid etter at lekkasjen startet. Det vil da kunne forplantes en trykkbølge som brer seg utover i nærliggende omgivelser. BLEVE kan dannes ved et tankbrudd som skyldes eskalering forårsaket av en initiell brann som eksponerer LNG-tanken.

Metodikk for beregning av hensynssoner er basert på verdensledende teknologi gjennom bruk av dataverktøyet Kameleon FireEx KFX<sup>®</sup>. Verktøyet tar hensyn til LNG sin oppførsel under de rådende geometriske forhold gitt av anleggets design og omkringliggende omgivelser.

Beregningene i analysene fokuserer på en fremtidig situasjon hvor området omkring anlegget er fullt utbygget. Dette for å kartlegge nødvendigheten av tiltak som har robusthet for den endelige

ADRESSE  
Postboks 1260 Sluppen  
7462 Trondheim

TELEFON  
73 89 59 00

FAKS  
73 89 59 01

E-POST  
computit@computit.no

FORETAKSREGISTERET  
NO 981 248 252 MVA

situasjonsplanen. Resultatene viser at det er behov for å innføre tiltak for å kontrollere risiko innenfor angitt kriterium. Det er risiko knyttet til lekkasjer som skyldes brudd på rørføringer, koplinger eller ventiler som bør reduseres. Det er flere mulige tiltak som vil redusere risiko knyttet til disse hendelsen. I studien er det sett på en ytre gasstett vegg som fungerer som et basseng for gassen som spres utover. Den vil håndtere små og mellomstore lekkasjer. I tillegg har studien demonstrert en stor effekt av å forbedre evnen til å detektere lekkasjer for å deretter raskt kunne stenge ned anlegget.

I videre studier vil det ses på en rekke tiltak, hver for seg og i kombinasjon, som vil redusere risiko betydelig. I tillegg til videre forbedring av design av løsninger for kontroll av gasspredning og oppgradering av systemer for deteksjon og nedstengning, vil det sees på tiltak som reduserer muligheten for store lekkasjer fra systemet samt tiltak som reduserer muligheten for antennelse av lekkasjer. Alle disse tiltakene vil også ha en risikoreduserende effekt på brannrisiko. Utført beregning av konsekvens ved brann fra stor lekkasje i anlegget viser at videre studier må se på tiltak for å bringe brannrisiko til et lavere nivå. På listen over mulige tiltak er også et system for påføring av vann. Det vil kunne ha en positiv effekt på gasspredning idet den vil tilføre gasskyen oppdrift, men vil også kunne ha en kombinert effekt som et brannvannssystem, og dermed redusere konsekvenser ved branner i anlegget.

Brannrisiko vil være den gjenstående risiko for omgivelsene om anlegget konverteres til drift med biodiesel istedenfor LNG. Risiko vurderes å være kontrollerbar innenfor kriteriene med god margin, men dette må verifiseres gjennom en egen studie. Sikkerhetsteknisk sett vil følgelig biodiesel som fyringsmiddel være en attraktiv løsning.

## Innhold

<b>1</b>	<b>INNLEDNING</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>HENSIKT</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>METODEBESKRIVELSE</b> .....	<b>5</b>
3.1	RISIKOANALYSEMETODIKK .....	5
3.2	KAMELEON FIREEX KFX <sup>®</sup> .....	7
<b>4</b>	<b>MODELL AV ANLEGGET</b> .....	<b>8</b>
4.1	GENERELT .....	8
4.2	PROSESS OG SIKKERHETSSYSTEM.....	8
4.3	BILDER FRA RESULTERENDE MODELL .....	11
<b>5</b>	<b>LEKKASJEBILDE</b> .....	<b>14</b>
5.1	INNLEDNING .....	14
5.2	MODELL FOR LEKKASJEFREKVENS .....	14
5.3	TOTAL LEKKASJEFREKVENS .....	15
5.4	RISIKODRIVENDE LEKKASJEPUNKT.....	20
<b>6</b>	<b>BESKRIVELSE GASSPREDNINGSBEREGNINGER</b> .....	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>RISIKOBILDE</b> .....	<b>28</b>
7.1	GASSEKSPONERING .....	28
7.2	EKSPONERING AV STRÅLING .....	33
<b>8</b>	<b>KONKLUSJON</b> .....	<b>35</b>
<b>9</b>	<b>REFERANSER</b> .....	<b>37</b>

## 1 Innledning

Denne rapporten er utført av ComputIT på vegne av Veidekke Eiendom AS for å bestemme risikobaserte hensynssoner omkring Lilleby Varmesentral.

Arbeidsomfang inkluderer kun beregning av hensynssoner for eksponering av brennbar konsentrasjon av LNG i henhold retningslinjer definert av DSB (Ref. /7/). Andre typer ulykkeslaster, slik som eksplosjonstrykk eller varmestråling som kan genereres ved antennelse, er ikke analysert i detalj. Det er gjennomført én beregning av en antent stor lekkasje for å kartlegge eksponering av omgivelsene utenfor anlegget for stråling. Forplantning av trykkbølge i omgivelsene som følge av eksplosjoner i kjelhus er ikke vurdert.

Metodikk for beregning av hensynssoner er basert på simulering med vårt ledende CFD verktøy Kameleon FireEx KFX<sup>®</sup>. Verktøyet tar hensyn til LNG sin oppførsel under de rådende geometriske forhold gitt av anleggets design og omkringliggende omgivelser.

## 2 Hensikt

Hensikten med studien er å beregne hensynssoner omkring Lilleby Varmesentral som følge av eksponering av brennbar gass, og foreslå mulige risikoreducerende tiltak for å bringe 3. part risiko knyttet til anlegget til et så lavt nivå som mulig.

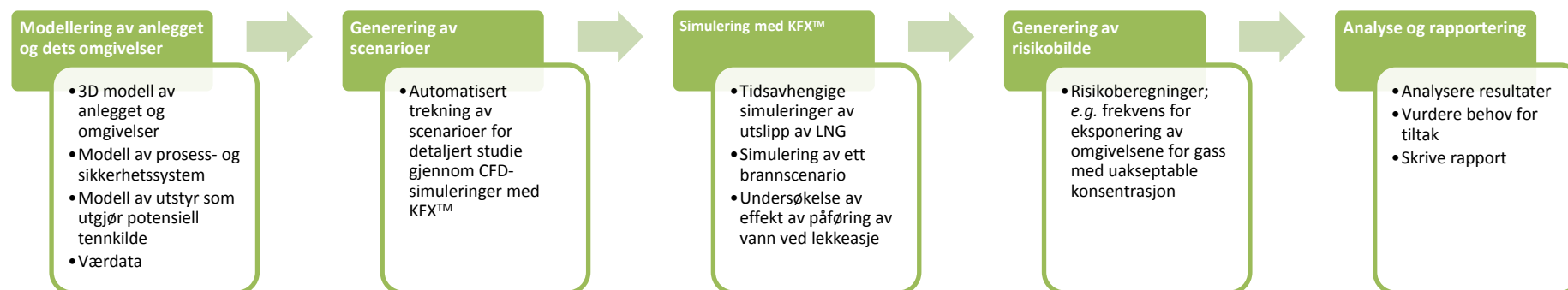
## 3 Metodebeskrivelse

### 3.1 Risikoanalysemetodikk

Metodikk for analyse av risiko er sentrert rundt simulering av konsekvenser i faktiske geometriske omgivelser ved bruk av vårt ledende CFD verktøy Kameleon FireEx KFX<sup>®</sup> (beskrevet i etterfølgende avsnitt). Egenskapene til anlegget og dets omgivelser modelleres i 3D, som gjør at vi kan ta hensyn til objektenes interaksjon med de fysiske fenomenene som utspiller seg ved et utslipp, inkludert en eventuell antennelse. Med egenskaper menes ikke bare den fysiske obstruksjonen som de ulike objektene utgjør, men også objektenes egenskaper som bidragsytere til sannsynligheten for at de potensielle initielle hendelsene skal oppstå, samt objekts eventuelle påvirkning på utfallet av de ulike potensielle hendelsene. For Lilleby varmesentral er den typiske initielle hendelsen et utslipp av brennbar gass eller flytende LNG. Det etableres følgelig en fullintegreert modell av anlegget som danner et helhetlig utgangspunkt for å estimere risikobildet knytte til anlegget. Tradisjonell risikoanalysemetodikk er typisk basert på en risikomodell hvor risikoberegningene utføres utenfor verktøyet som benyttes for å estimere konsekvensene, eller alternativt i verktøy hvor beregningen av konsekvensene er forenklet (betydning av geometriske objekter for strømningsforhold er i begrenset grad reflektert).

Modulen i Kameleon FireEx KFX<sup>®</sup> som benyttes for å bygge modellen og gjennomføre risikoberegningene heter KFX<sup>™</sup>-RBM (KFX<sup>™</sup> - Risk & Barrier Management). KFX<sup>™</sup>-RBM generer et unikt grunnlag for å forstå samspill mellom initierende hendelse og barrierer som påvirker utviklingen av scenarioet. Modellen representerer ledende teknologi for risikoberegning, men kanskje vel så viktig er evnen verktøyet har til å kommunisere komplekse fysiske prosesser og risiko på en effektiv måte gjennom visualisering av risiko i den faktiske geometrien for anlegget/systemet. Det gir beslutningstaker nødvendig kunnskapsstyrke til å forstå hvordan risiko kan reduseres gjennom tiltak på mest mulig effektiv måte.

De overordnede trinnene i analysemetodikken for Lilleby varmesentral er beskrevet i Figur 1.



Figur 1: Overordnede trinn i analysemetodikk

### 3.2 Kameleon FireEx KFX<sup>®</sup>

KFX<sup>™</sup> er en 3-dimensjonal transient CFD (Computational Fluid Dynamics) programkode. Den er spesielt tilpasset beregning av strømming og varmetransport i fluider med kjemiske reaksjoner. Dette inkluderer også full termodynamikk og forbrenning. KFX<sup>™</sup> er utviklet ved NTNU/SINTEF/ComputIT (Computational Industry Technologies AS) og har i stor utstrekning blitt benyttet i brann- og gasspredningsanalyser for offshoreinstallasjoner, skip og rigger i nesten 30 år. I dag benyttes KFX<sup>™</sup> i et stort antall industrielle analyser over hele verden. I de senere årene har KFX<sup>™</sup> i økende grad blitt brukt i brann- og ventilasjonsanalyser av tunnelsystemer for vei og bane.

For analyser av gasseksplosjoner i 3-dimensjonale, komplekse geometrier benyttes den internasjonalt anerkjente eksplosjonssimulatoren EXSIM, som er en integrert del av KFX<sup>™</sup>-beregningsteknologien. EXSIM er utviklet ved Høgskolen i Telemark/Tel-Tek/Aalborg Universitet/Universitetet i Stavanger i tett samarbeid med Shell og er benyttet i industrielle eksplosjonsanalyser siden 1989.

KFX<sup>™</sup>-Exsim er i dag verdens ledende simuleringsverktøy for brann og eksplosjoner, samt spredning av gasser, eksos, partikler og lignende i forhold til arbeidsmiljø i olje- og gassindustrien, spesielt innenfor offshore sektor.

I tillegg til simulering av spredning av olje, LNG, gass, samt simulering av brann og eksplosjoner, omfatter teknologien også simultan simulering av innvirkningen på brannforløp fra vannsystemer som deluge, sprinkler, vanntåke osv, for å analysere og dimensjonere brannslukkesystemer basert på vann. Videre er det direkte koplet mot strukturreponskoden Usfos for beregning av respons i bærende strukturer fra brann- og eksplosjonslaster.

Verktøyet har bidratt til en markant heving av sikkerhetsnivået gjennom forbedret design og konstruksjon både med hensyn på personellsikkerhet, for eksempel rømning og arbeidsforhold, sikring av verdier, og ikke minst forbedrede risikoanalyser. I tillegg er det dokumentert store kostnadsreduksjoner ved bruk av denne teknologien, samtidig som altså sikkerhetsnivået økes og miljøet forbedres.

Teknologien i seg selv er helt generisk og ikke knyttet til offshoreinstallasjoner i seg selv. Verktøyene er også i stor grad blitt benyttet innen for samferdselssektoren, spesielt tunneler for vei og bane, inkludert undergrunnsanlegg som tog- og metrostasjoner.

Geotrimodelleringen i KFX<sup>™</sup>-Exsim er basert på import av CAD-modeller, der geometrier i CAD-modellen konverteres automatisk til faste konstruksjoner eller flate-/volum-porøsiteter i KFX<sup>™</sup>. Porøsiteter blir automatisk beregnet for objekter som er mindre enn maskevidden på beregningsnettverket. Porøsitet er svært nyttig for beregning av strømming i områder med høy grad av detaljering i konstruksjonen, uten at detaljene trenger å bli fullt ut reflektert i kontrollvolumene. Dette bidrar til å gjøre koden så anvendbar for praktiske problemstillinger.

KFX<sup>™</sup>-Exsim har også muligheten til å importere elektroniske kart over terreng, bygninger, moduler og prosessanlegg fra flere ulike CAD -systemer. For komplekse tunnel løsninger kan KFX<sup>™</sup> også kombinere tre-dimensjonale beregninger med en-dimensjonale beregninger. For lange tunneler er dette svært gunstig og effektiviserende. Å regne tredimensjonalt på tunneler som er mer enn 10 km anses som meget krevende. Dette kan forenkles ved at man beregner tre-dimensjonalt der strømningsfeltet har tre-dimensjonale effekter og går over til en-dimensjonale beregninger der strømningsfeltet blir ensrettet.

KFX™-Exsim er omfattende validert på mange ulike nivå, både mot laboratorieeksperimenter og mot realistiske fullskalaforsøk.

En egen modul for beregning av risiko, f.eks. hensynssoner og risikokonturer i henhold til DSB sitt regelverk, er implementert i KFX™, navngitt som Kameleon FireEx Risk & Barrier Management. KFX™-RBM generer et unikt grunnlag for å forstå samspill mellom initierende hendelse og barrierer som påvirker utviklingen av scenarioet. Modellen representerer ledende teknologi for risikoberegning, men kanskje vel så viktig er evnen verktøyet har til å kommunisere komplekse fysiske prosesser og risiko på en effektiv måte gjennom visualisering av risiko i den faktiske geometrien for anlegget/systemet. Det gir beslutningstaker nødvendig kunnskapsstyrke til å forstå hvordan risiko kan reduseres gjennom tiltak på mest mulig effektiv måte.

KFX™ er utviklet i samarbeid med bl.a. Statoil, Total, ENI, ConocoPhillips, Gassco, Engie, Norges Forskningsråd, og Sandia National Laboratories, USA.

## 4 Modell av anlegget

### 4.1 Generelt

Det er etablert en fullintegret 3D modell i KFX™-RBM som inkluderer:

- Alle relevante geometriske objekter. Med relevant menes objekter som basert på erfaring har signifikant betydning for strømningsforhold
- Topografi
- Prosesssystem med ventiler, flenser, instrumenter, tanker og rørføringer
- Detektorer
- Potensielle tennkilder
- Statistiske data over vindforhold for Vold værstasjon i Trondheim

### 4.2 Prosess og sikkerhetssystem

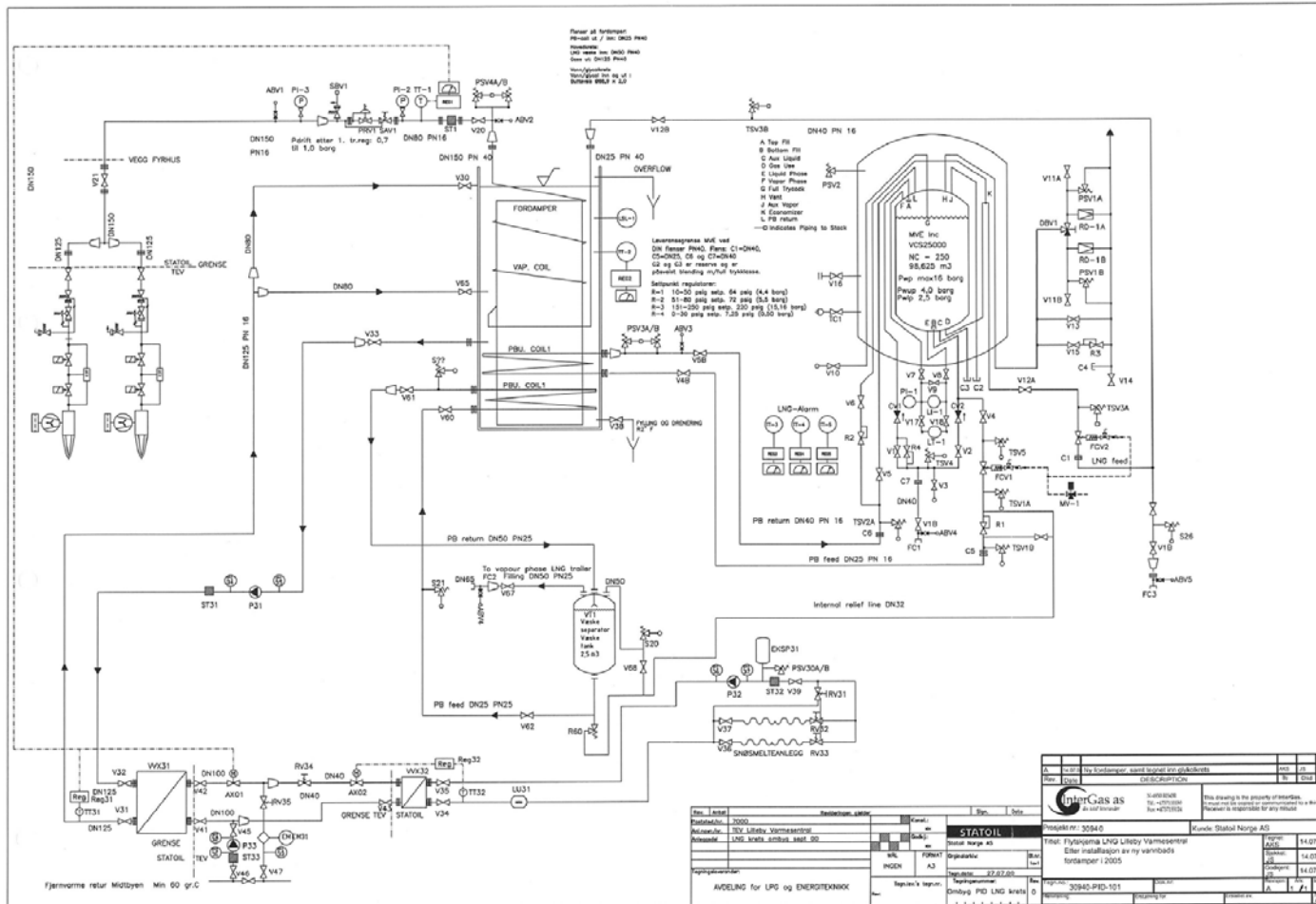
Modell av prosesssystemet er basert på P&ID vist i Figur 2.

Følgende beskriver sentrale egenskaper knyttet til modellen av anlegget:

- 1) Væskeseparator (VT1) er ikke bruk. Ventil V68 er antatt å være i stengt posisjon
- 2) Stengventilene FCV1 og FCV2 står i normalt åpent posisjon og lukker ved
  - a. brudd på tilførselssystem for ventilens aktuator (f.eks. avbrenning på grunn av brann)
  - b. aktivering av nødstopp knapp for anlegget. Aktivering av nødstopp betinger deteksjon, enten manuelt eller fra alarm gitt av de 3 temperaturredektorer beliggende i fangdam under LNG lagertank. I analysen er det benyttet en modell som beskriver varierende sannsynlighet for suksessfull lukking av stengeventilene som funksjon av tid fra start av lekkasjen
- 3) Ventilene oppstrøms tilbakeslagsventilene CV1 og CV2 (for eksempel V1B) er kun trykksatt under lasting



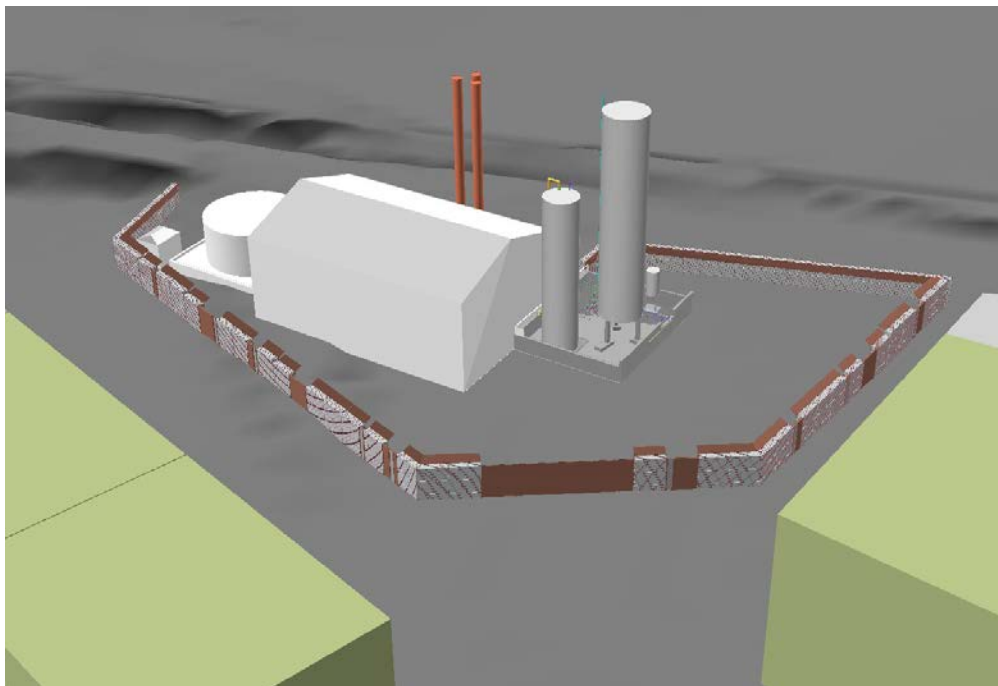
- 4) Antall lasteoperasjoner er satt til i gjennomsnitt å være 152 per år. Dette er basert på erfaring over de siste 19 årene (Ref. /1/)
- 5) Fremtidig tilkoplingspunkt er antatt plassert på vestsiden (se Figur 5)
- 6) Utstyr beliggende i fangdam er sertifisert for bruk i klassifisert sone i henhold til ATEX-direktiv. Utstyr over karmen til fangdam, for eksempel lysarmatur/lyskastere på veggen til kjelhus er ikke Ex-sikkert.
- 7) Driftstrykk for tanken er satt til 4 bara.
- 8) Sammensetning til LNG er antatt å være 91 vol% metan, 9 vol% etan og 1 vol% propan
- 9) Tetthet og temperatur i tanken er estimert til henholdsvis 448 kg/m<sup>3</sup> og -130°C for gitt trykk og sammensetning
- 10) Det er lagt inn potensielle tennkilder i modellen i henhold til MISOF (Ref. /4/). Tennkilder er lagt inn på en slik måte at tennsannsynligheten vil bli høy ved eksponering av brennbar gass utenfor anleggets område, hvor det er ikke er kontroll på tennkilder. Potensielle tennkilder på utsiden er typisk kjøretøy (tennsannsynlighet gitt eksponering av gass er 90%) og elektrisk utstyr (for eksempel veibelysning og elektrisk utstyr på utsiden av boligenheter). Det kan ikke sees bort fra at gass migrerer inn i boligenhetene gjennom åpne vinduer eller dører. På innsiden av anlegget er det lagt inn generisk data for Ex-sikkert utstyr i fangdam. Det er lysarmatur på utsiden av kjelhuset som ikke er Ex-sikkert.
- 11) Det er foreslått en tett vegg med en høyde på 2 m som omrammer anlegget. Funksjon til denne veggen er å kontrollere spredningen av gassen ved store lekkasjer. Det er foreslått en skrå innoverlent plate på toppen av veggen for å holde gassen på innsiden. Design av veggen er utviklet av Asplan Viak, Trondheim (Ref. /6/).



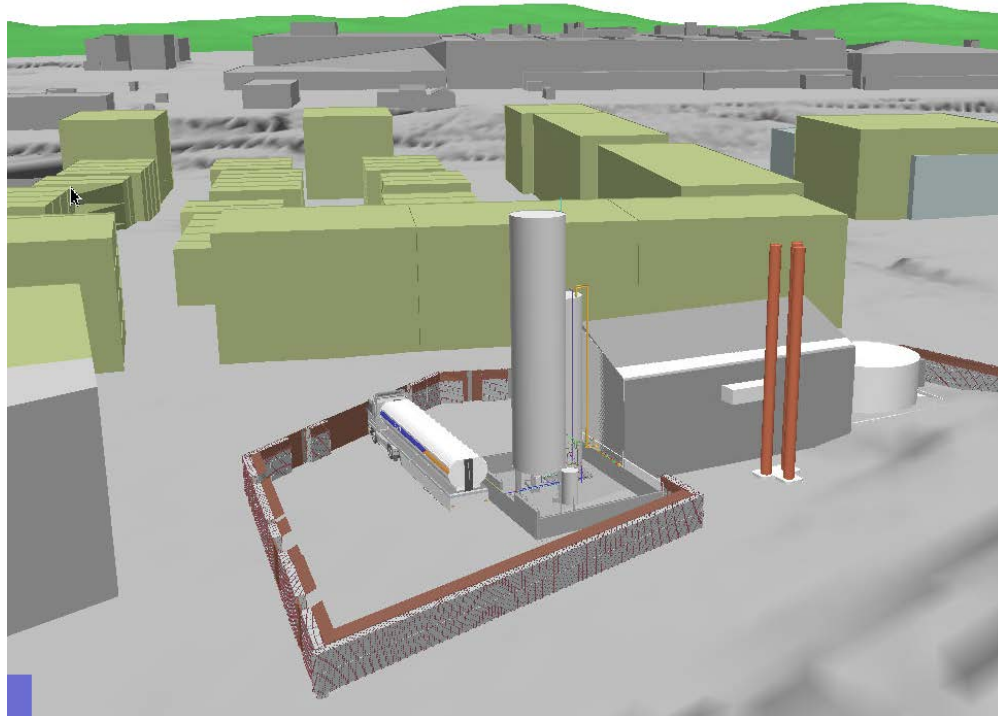
Figur 2: P&ID Lilleby varmesentral

### 4.3 Bilder fra resulterende modell

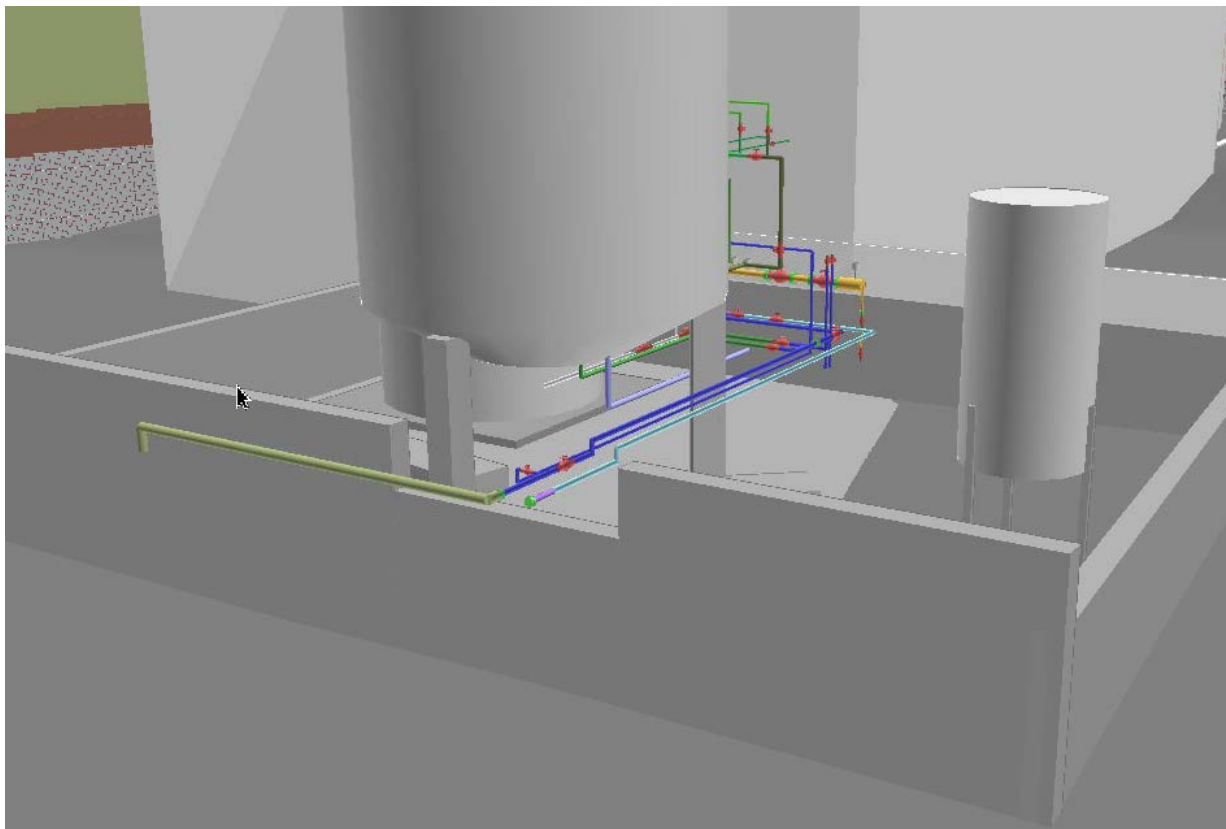
Noen bilder fra resulterende modell er vist i etterfølgende figurer.



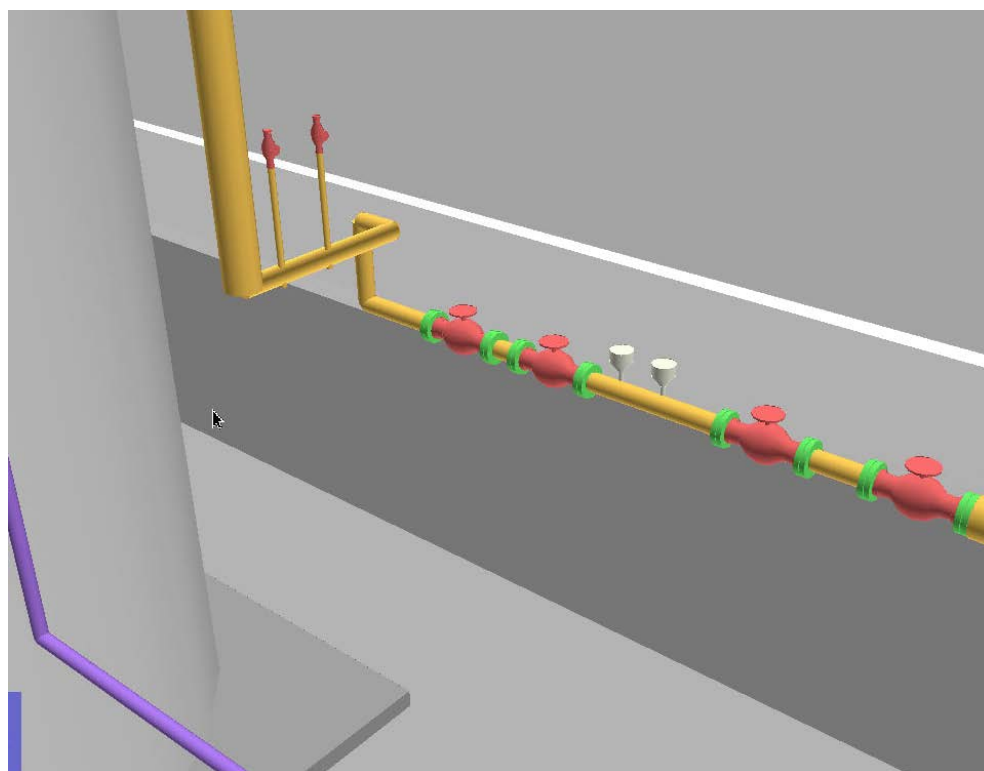
Figur 3: Anlegg sett fra nordvest med fremtidige bygninger i forkant



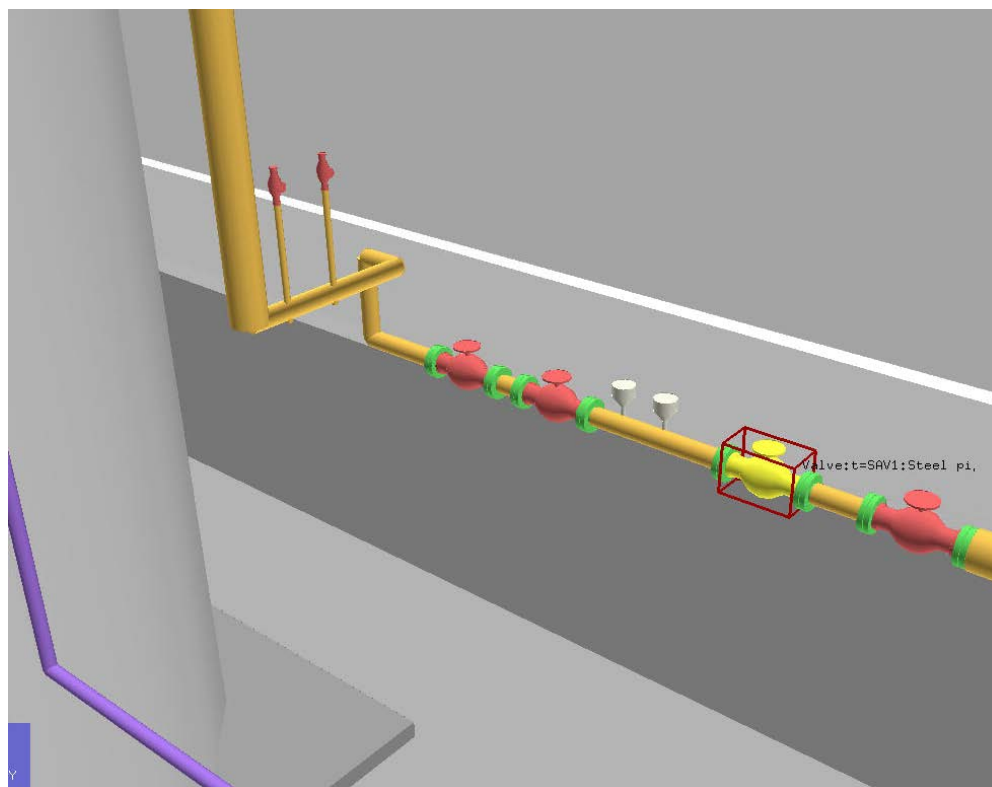
Figur 4: Anlegg sett fra sør med fremtidige bygninger i forkant (bygning i bakkant er City Lade). Bildet viser plassering av tankbil (antageligvis overdrevet størrelse)



Figur 5: Nærbilde av fangdam under LNG lagertank (VCS25000), fordamper og væskeseparator (VT1). Antatt fremtidig tilkoplingspunkt (FC1 og FC3) er plassert i forkant



Figur 6: Nærbilde av modell av føde til kjelhus. Grønne objekter er flenser. Røde objekter er ventiler og lyse grå enheter er instrumenter



Figur 7: Nærbilde av modell av gassføde til kjelhus (DN80). Ventilen «SAV1» er markert

## 5 Lekkasjebilde

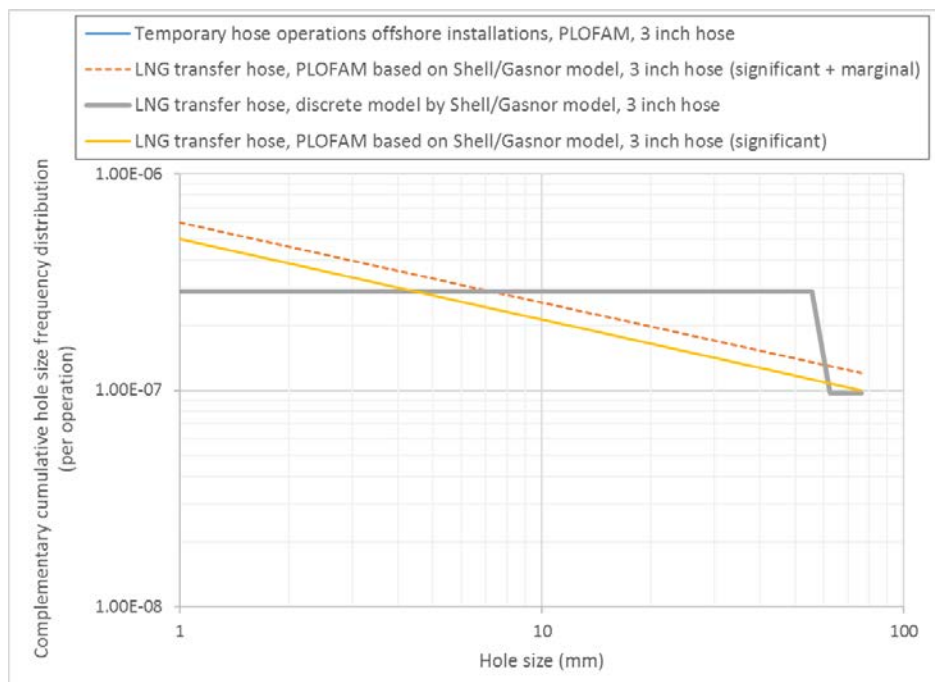
### 5.1 Innledning

Dette kapitlet beskriver resulterende beregning av lekkasjescenarioer. Beregningen utføres integrert i KFX<sup>TM</sup>-RBM basert på modellen beskrevet i foregående avsnitt.

### 5.2 Modell for lekkasjefrekvens

Frekvensen for alle komponenter bortsett lekkasjer ved lastoperasjoner beregnes ved bruk av PLOFAM (Ref./2/). PLOFAM er utviklet av olje- og gassindustrien i Norge basert på data for offshoreinstallasjoner i Nordsjøen. Det kan hevdes at det finnes tekniske og operasjonelle forhold ved LNG anlegget som avviker fra en gjennomsnittlig offshoreinstallasjon i Nordsjøen. På den annen side er det rimelig å hevde at mange forhold er tilsvarende. Vi er ikke kjent med andre modeller som vil være mer relevant å benytte enn PLOFAM. Sammenligning med data for landanlegg for norske landanlegg rapportert i RNNP-rapporten ([www.ptil.no](http://www.ptil.no)) indikerer at PLOFAM er representativ også for anlegg på land.

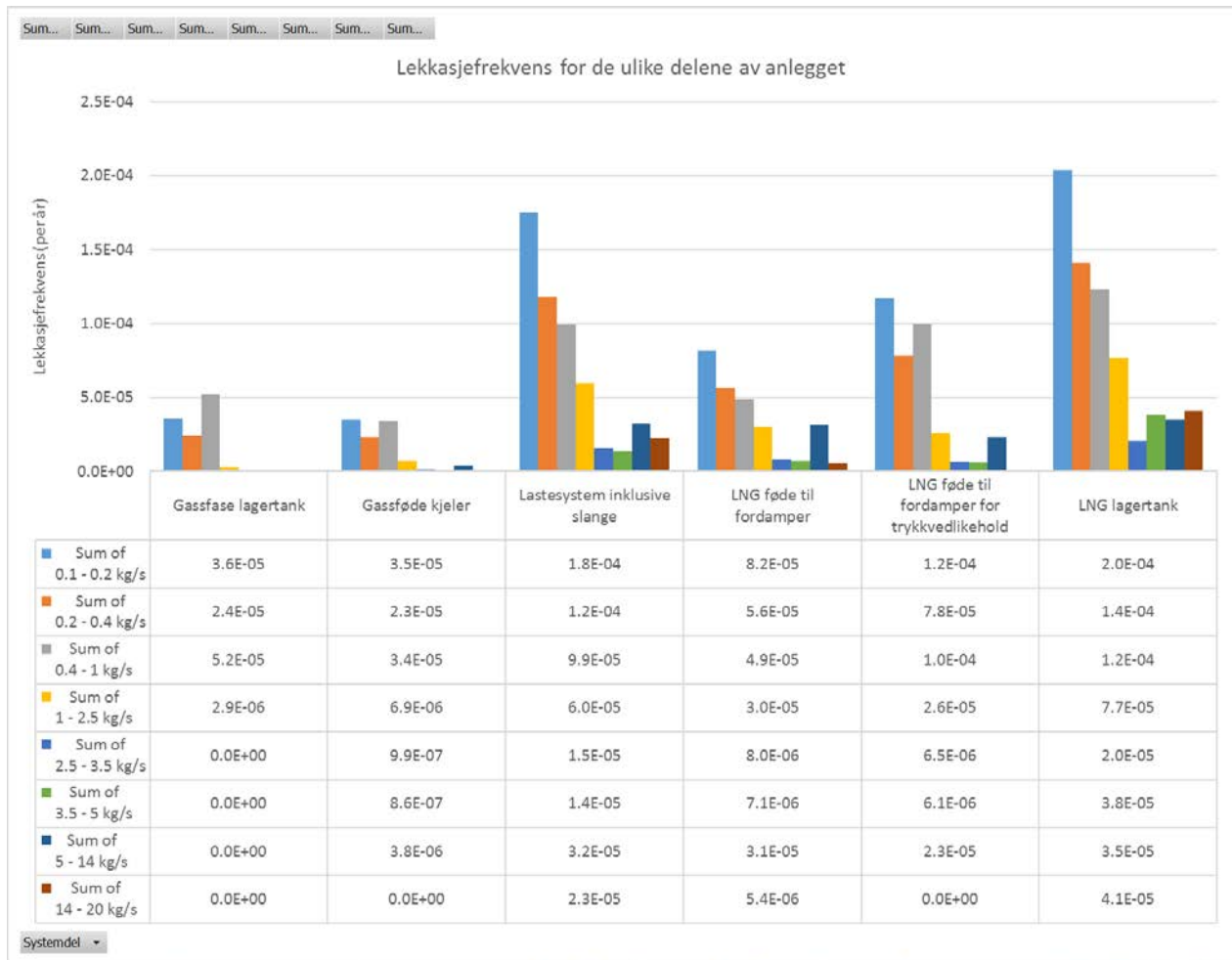
For lekkasjer av LNG under lasting er det etablert en egen modell basert på det matematiske rammeverket i PLOFAM. Basert på Ref. /3/, som kun angir frekvensen knyttet til to definerte hullstørrelser, er det tilpasset en kontinuerlig modell med hensyn på hullstørrelse. Den resulterende modellen er vist i Figur 8. Denne modellen gir et bedre grunnlag for estimering av frekvens for lekkasjer under fylleoperasjoner enn modellen typisk benyttet industrien tidligere (Ref. /5/). Modellen samsvarer bedre med at det antageligvis ikke har vært betydelige lekkasjer med LNG under losse- eller lasteoperasjoner i industrien i Norge. Dette er ikke verifisert gjennom systematisk samling data.



**Figur 8: Tilpasset modell for LNG lasteoperasjon basert på matematisk rammeverk i PLOFAM (Ref. /2/) og diskret modell foreslått av Shell/Gasnor i Ref. /3/ (illustrert med fet grå kurve i plott)**

### 5.3 Total lekkasjefrekvens

Estimert total lekkasjefrekvens for lekkasjer med initiell rate høyere enn 0.1 kg/s for anlegget er vist i Figur 9, Tabell 2 og Tabell 3. De ulike delene av anlegget er beskrevet i Tabell 1. Total lekkasjefrekvens for alle scenarioene er  $2.1 \cdot 10^{-3}$  per år. Det impliserer en returperiode for lekkasjer med en initiell rate på 0.1 kg/s på ca. 500 år. I gjennomsnitt forventes altså én lekkasje hvert 500. år. Det betyr at lekkasjer forventes å være svært sjelden hendelse på Lilleby varmesentral, og henger sammen med at det er få potensielle lekkasjepunkt på anlegget.



**Figur 9: Estimert lekkasjefrekvens for Lilleby varmesentral**



**Tabell 1: Beskrivelse av systemdeler for separat beregning av lekkasjefrekvens**

Systemdel	Beskrivelse
Gassfase lagertank	Lekkasjepunkt som kommuniserer med gassfase i LNG lagertank (for eksempel V5, V15 og CV1)
Gassføde kjeler	Lekkasjepunkt nedstrøms fordamper beliggende på utsiden av kjelhus (for eksempel V20, PI-3 og SAV1)
Lastesystem inklusive slange	Lekkasjepunkt oppstrøms CV1 og CV2 (for eksempel V1, TSV4 og LNG lasteslange koplet til FC1)
LNG føde til fordamper	Lekkasjepunkt nedstrøms stengeventil FCV2 og fordamper (for eksempel C1, TSV3B og V12B)
LNG føde til fordamper for trykkvedlikehold	Lekkasjepunkt nedstrøms stengeventil FCV1 og fordamper (for eksempel R1, TSV1A og V68)
LNG lagertank	Lekkasjepunkt som kommuniserer med væskeside på LNG lagertank uten stengeventil mellom seg selv og tanken (se Figur 10)

Tabell 2: lekkasjefrekvens for lekkasjepunkt utendørs presentert per type lekkasjepunkt

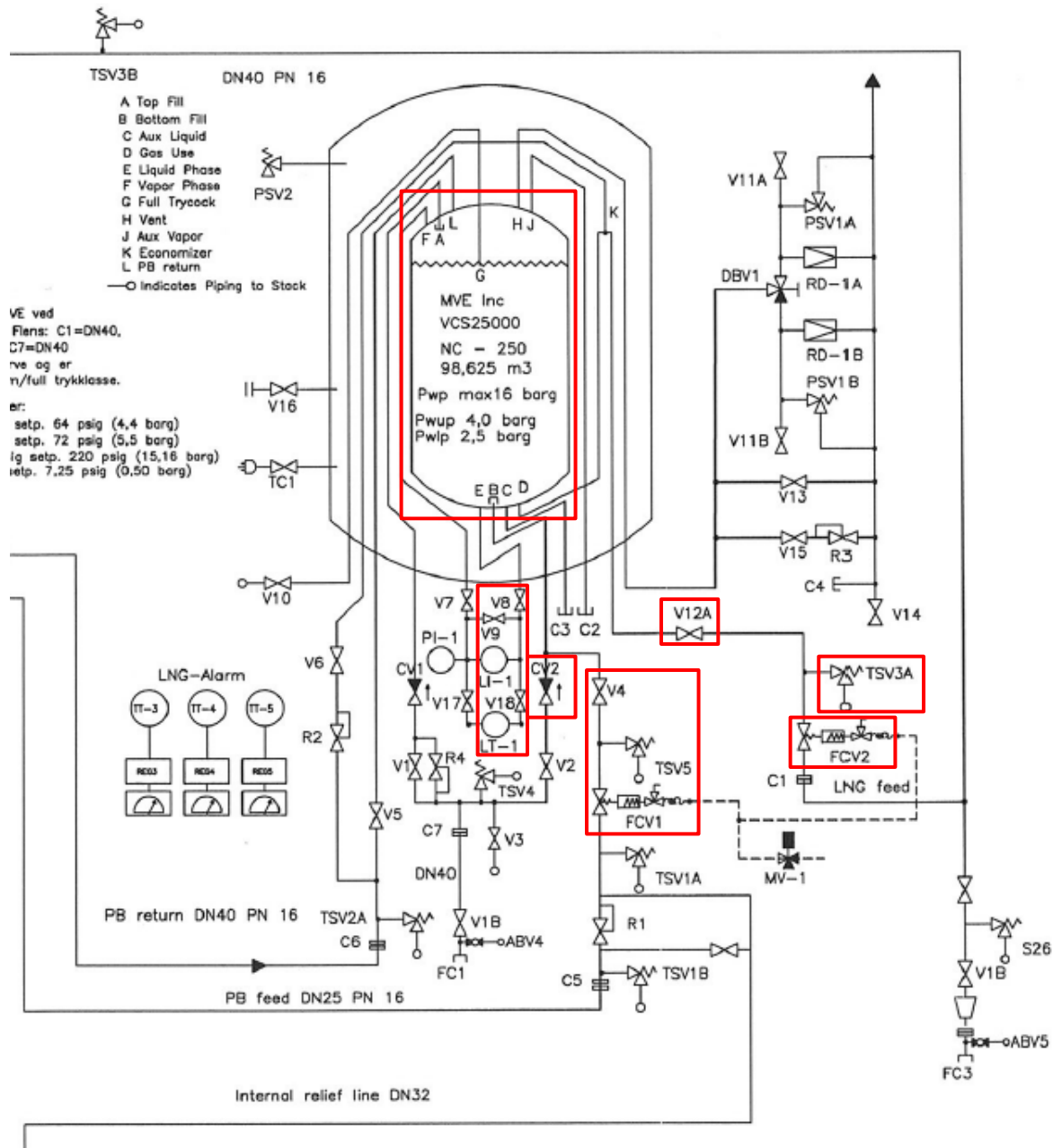
Fase / utstyrstype	0.1 - 0.2 kg/s	0.2 - 0.4 kg/s	0.4 - 1 kg/s	1 - 2.5 kg/s	2.5 - 3.5 kg/s	3.5 - 5 kg/s	5 - 14 kg/s	14 - 20 kg/s
<b>LNG</b>	<b>5.4E-04</b>	<b>3.7E-04</b>	<b>3.2E-04</b>	<b>1.9E-04</b>	<b>5.0E-05</b>	<b>6.4E-05</b>	<b>1.2E-04</b>	<b>6.9E-05</b>
Instrument	1.6E-05	1.1E-05	8.9E-06	5.2E-06	1.3E-06	1.1E-06	3.2E-06	1.7E-06
Process vessel	2.6E-05	1.9E-05	1.8E-05	1.2E-05	3.5E-06	2.3E-05	0.0E+00	0.0E+00
Standard flange	5.8E-06	5.1E-06	5.8E-06	4.9E-06	1.6E-06	1.6E-06	4.0E-06	1.2E-06
Valve	3.3E-05	2.5E-05	2.4E-05	1.7E-05	4.9E-06	4.5E-06	9.9E-06	2.0E-05
Heat exchanger	1.0E-05	7.2E-06	6.3E-06	3.9E-06	1.0E-06	9.1E-07	2.6E-06	1.2E-06
LNG transer hose	7.4E-05	5.4E-05	5.0E-05	3.3E-05	9.0E-06	8.2E-06	3.1E-05	1.6E-05
Steel pipe	3.7E-04	2.5E-04	2.0E-04	1.2E-04	2.9E-05	2.5E-05	7.2E-05	2.9E-05
<b>Gas</b>	<b>1.1E-04</b>	<b>7.3E-05</b>	<b>1.4E-04</b>	<b>1.0E-05</b>	<b>1.1E-06</b>	<b>1.5E-06</b>	<b>3.8E-06</b>	<b>0.0E+00</b>
Instrument	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Standard flange	5.4E-06	3.9E-06	6.0E-06	1.3E-06	3.5E-07	8.0E-07	1.1E-06	0.0E+00
Valve	2.2E-05	1.6E-05	4.6E-05	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Steel pipe	8.0E-05	5.3E-05	9.0E-05	9.0E-06	7.7E-07	6.6E-07	2.7E-06	0.0E+00
<b>Grand Total</b>	<b>6.5E-04</b>	<b>4.4E-04</b>	<b>4.6E-04</b>	<b>2.0E-04</b>	<b>5.1E-05</b>	<b>6.6E-05</b>	<b>1.3E-04</b>	<b>6.9E-05</b>

**Tabell 3: Lekkasje frekvens for lekkasjepunkt utendørs presentert per systemdel**

Systemdel (se Tabell 1)	0.1 - 0.2 kg/s	0.2 - 0.4 kg/s	0.4 - 1 kg/s	1 - 2.5 kg/s	2.5 - 3.5 kg/s	3.5 - 5 kg/s	5 - 14 kg/s	14 - 20 kg/s
Gassfase lagertank	3.6E-05	2.4E-05	5.2E-05	2.9E-06	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Gassføde kjeler	3.3E-05	2.2E-05	3.1E-05	6.9E-06	9.9E-07	8.6E-07	3.8E-06	0.0E+00
Lastesystem inklusive slange	1.8E-04	1.2E-04	9.9E-05	6.0E-05	1.5E-05	1.4E-05	3.2E-05	2.3E-05
LNG føde til fordamper	8.2E-05	5.6E-05	4.9E-05	3.0E-05	8.0E-06	7.1E-06	3.1E-05	5.4E-06
LNG føde til fordamper for trykkvedlikehold	1.2E-04	7.8E-05	1.0E-04	2.6E-05	6.5E-06	6.1E-06	2.3E-05	0.0E+00
LNG lagertank	2.0E-04	1.4E-04	1.2E-04	7.7E-05	2.0E-05	3.8E-05	3.5E-05	4.1E-05
<b>Grand Total</b>	<b>6.5E-04</b>	<b>4.4E-04</b>	<b>4.5E-04</b>	<b>2.0E-04</b>	<b>5.1E-05</b>	<b>6.6E-05</b>	<b>1.3E-04</b>	<b>6.9E-05</b>

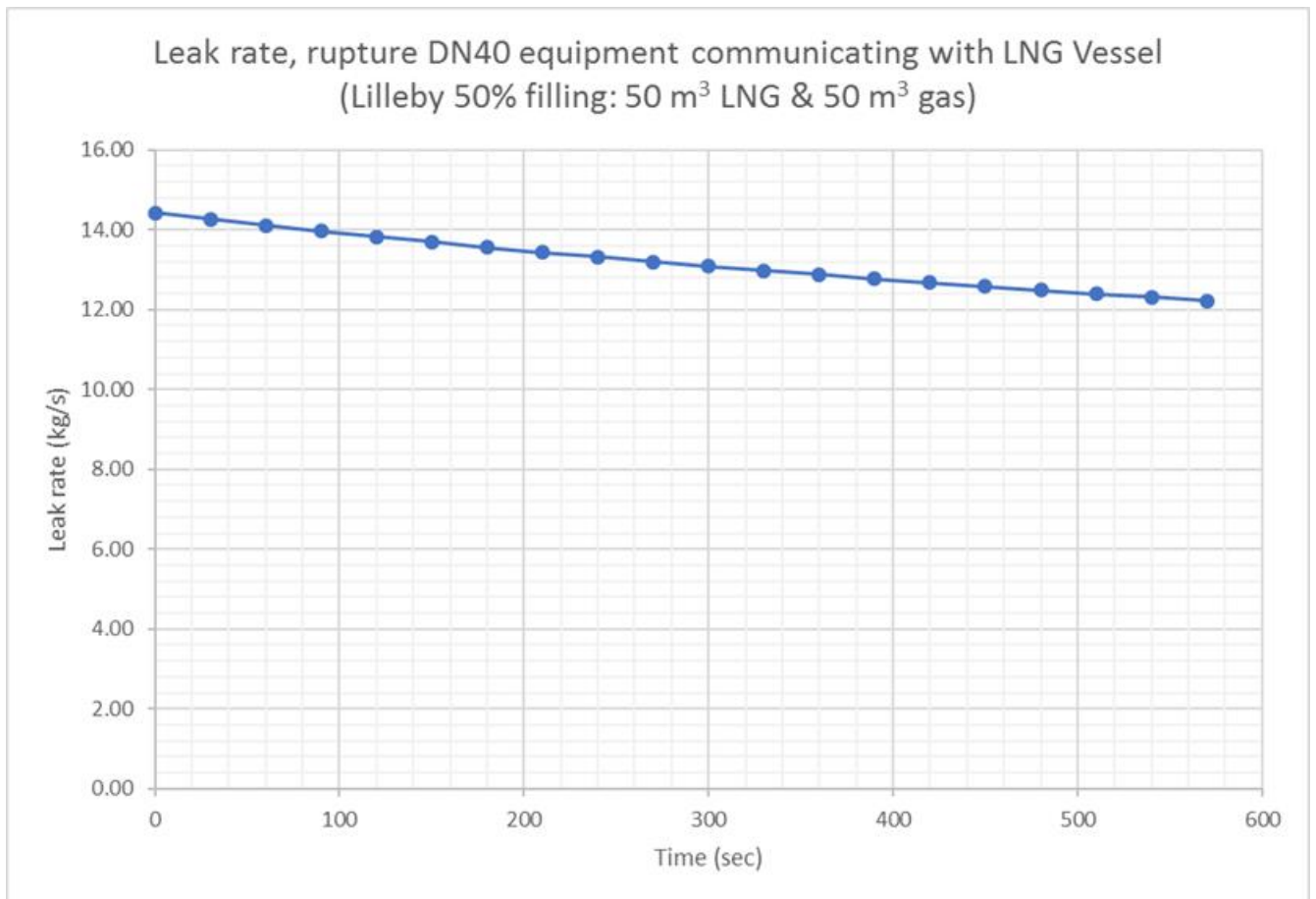
## 5.4 Risikodrivende lekkasjepunkt

Avgjørende bidragsyttere til risiko er lekkasjepunkt som kommuniserer med væskeside i LNG lagertank. Disse lekkasjepunktene er markert med omsluttende røde bokser i Figur 10.

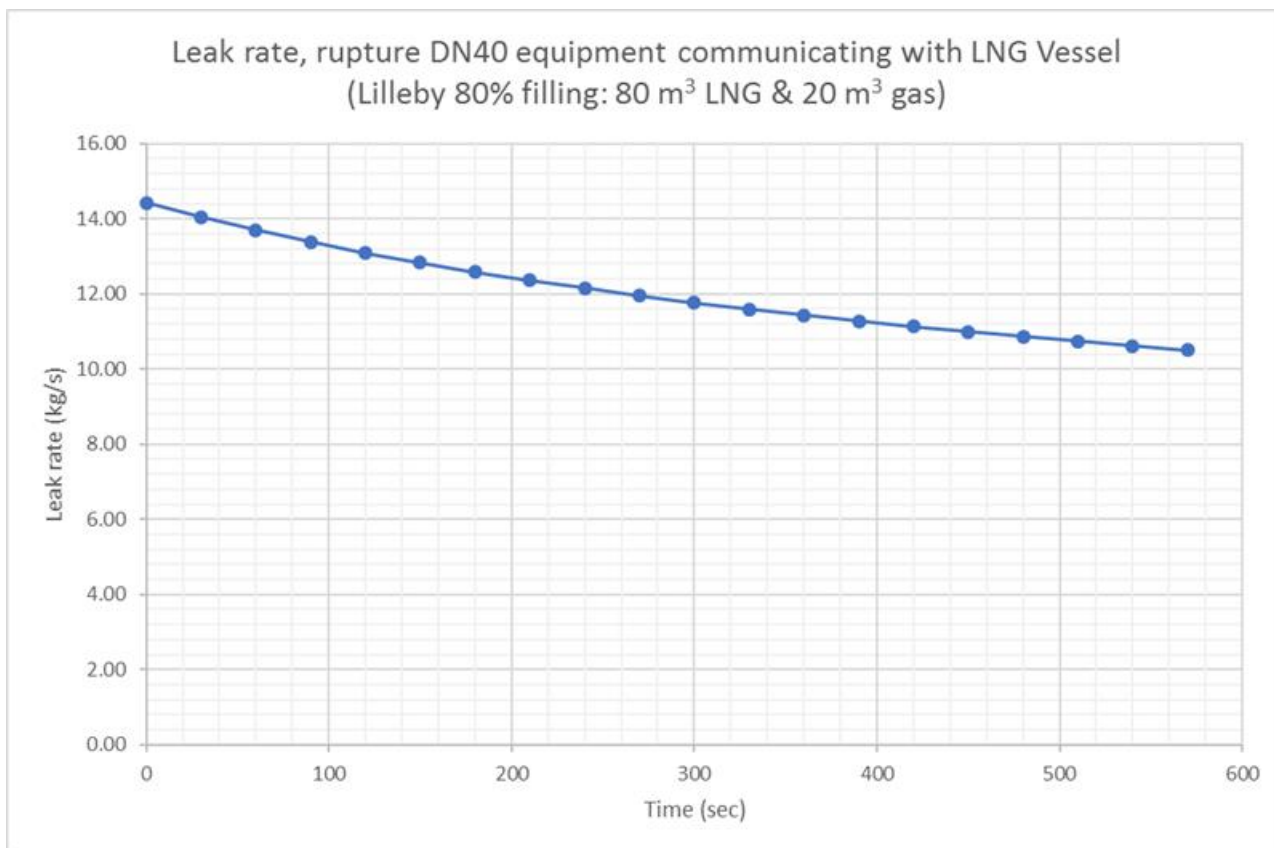


**Figur 10: P&ID Lilleby varmesentral: potensielle lekkasjepunkt som kommuniserer med væskeside i LNG lagertank uten stengeventil mellom seg selv og tankvolum**

Ved lekkasje i et av disse punktene vil hele tankvolumet lekke ut. Den transiente lekkasjeraten for fullt brudd på utstyr med indre diameter på 40 mm (DN40) ved bruk av Clapeyrons forhold for metan (det vil si vi antar adiabatisk prosess – ingen varmeoverføring til systemet) og 50% fylling er vist i Figur 11. Figuren viser at raten vil holde seg høy over svært lang tid. Raten vil falle litt raskere ved høyere fyllingsgrad, men raten vil fortsatt holde seg høy innenfor de første 10 minuttene (se Figur 12).

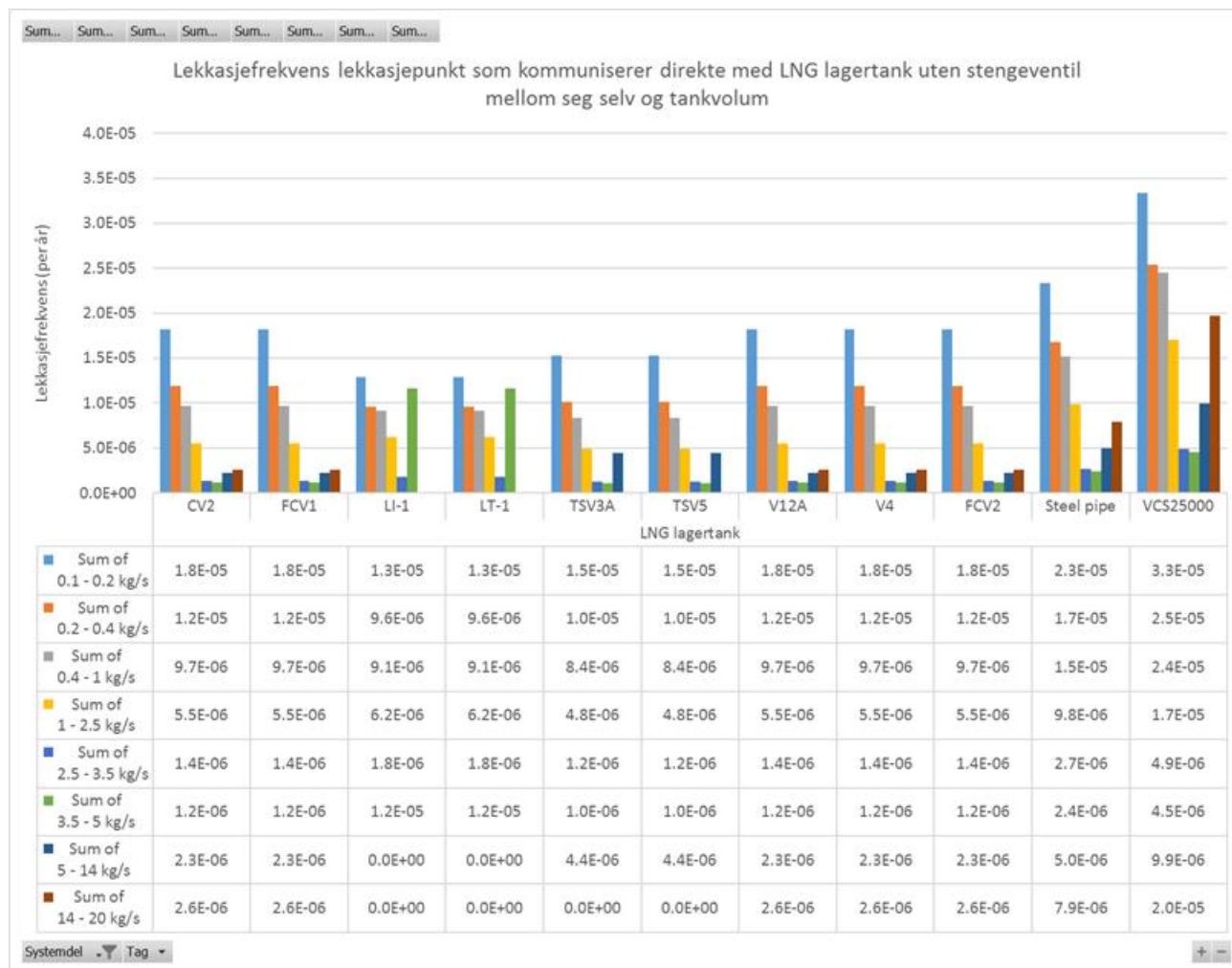


**Figur 11: Tidsavhengig lekkasje fra fullt brudd i rørføring eller utstyr med en indre diameter på 40 mm som kommuniserer med LNG lagertank uten stengeventil mellom seg selv og væskesiden i tanken. Det er antatt at tanken er halvfull med LNG. Driftstrykk er 4 bara. Hydrostatisk trykk er neglisjert (ca. 0.5 bar). Resultat frem til 10 minutter etter start lekkasje er vist**



**Figur 12: Tidsavhengig lekkasje fra fullt brudd i rørføring eller utstyr med en indre diameter på 40 mm som kommuniserer med LNG lagertank uten stengeventil mellom seg selv og væskesiden i tanken. Det er antatt at tanken er 80% full med LNG. Driftstrykk er 4 bara. Hydrostatisk trykk er neglisjert (ca. 0.5 bar). Resultat frem til 10 minutter etter start lekkasje er vist**

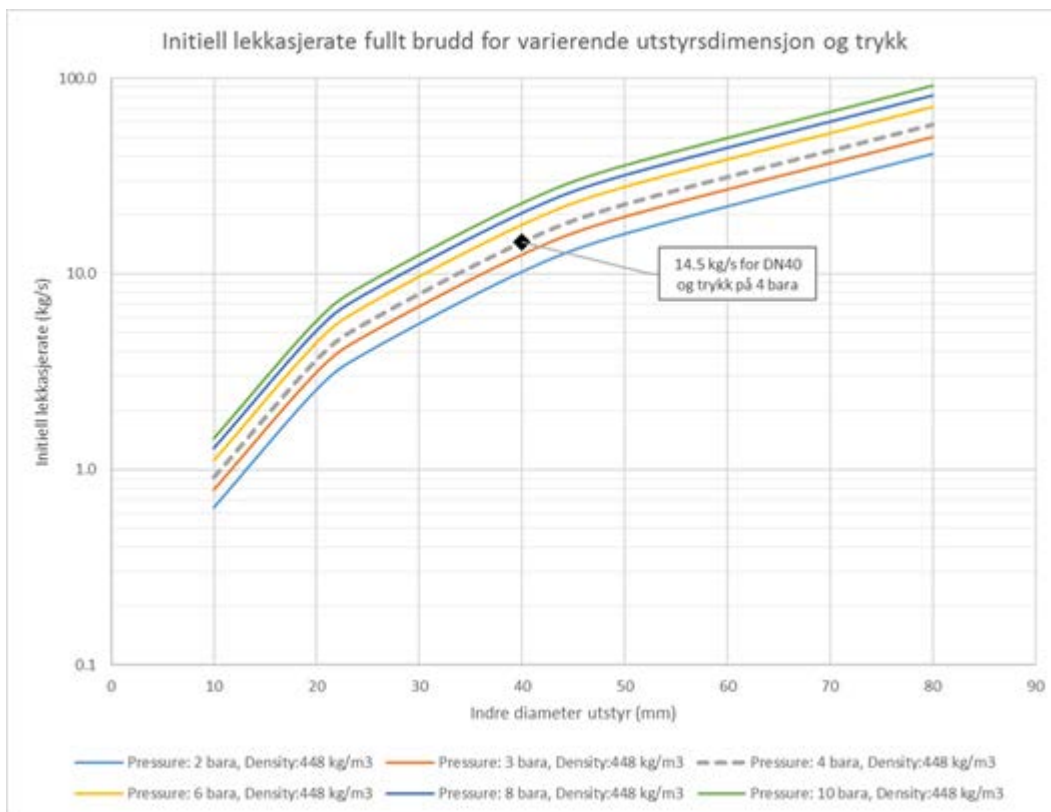
Resulterende lekkasjefrekvens relatert til disse lekkasjepunktene er presentert i Figur 13.



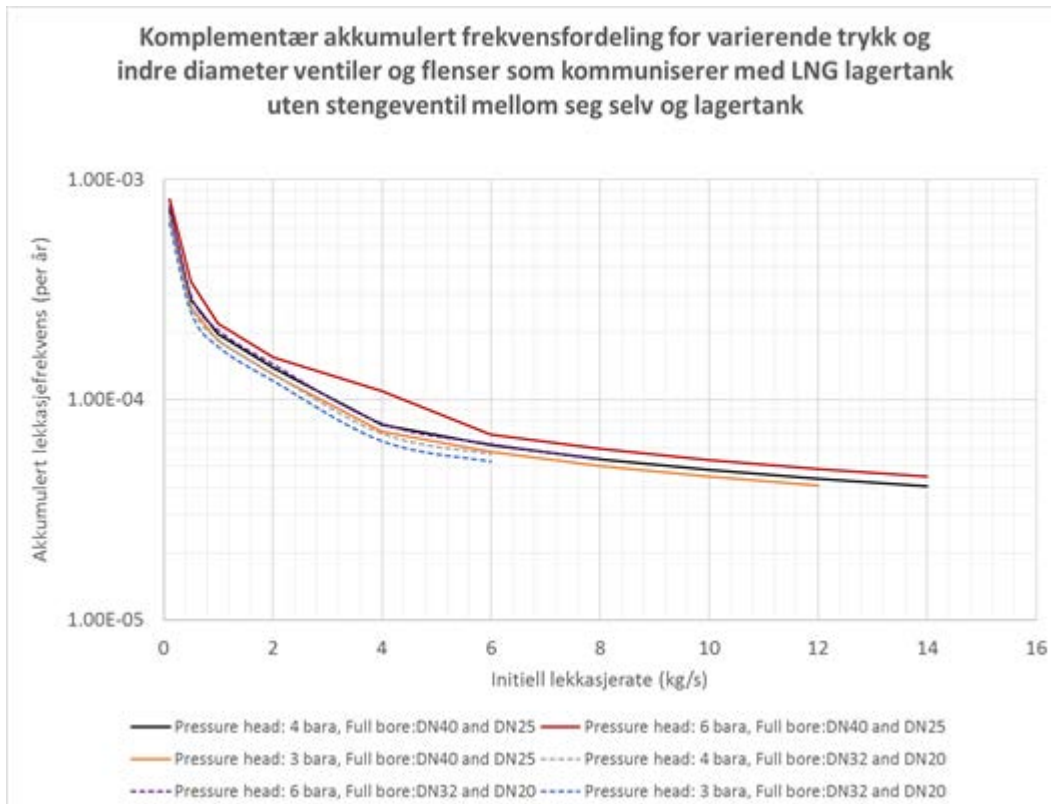
**Figur 13: Lekkasjefrekvens knyttet til lekkasjepunkt som kommuniserer med væskeside i LNG lagertank uten stengeventil mellom seg selv og tankvolum**

Det er lekkasjer som gir en rate høyere enn 3-5 kg/s initielt som er sentrale i forhold til eksponering av areal utenfor anlegget (se kap. 6). Den totale frekvensen for lekkasjer i intervallet 5 – 14 kg/s er  $3.5 \cdot 10^{-5}$  per år. Frekvensen for 14 kg/s (som er raten ved brudd på utstyr med indre diameter på 40 mm (DN40)) er  $4.1 \cdot 10^{-5}$  per år. Total frekvens er  $7.6 \cdot 10^{-5}$  per år, noe som tilsvarer en returperiode på 13 000 år. Det betyr at det i praksis er svært lite sannsynlig at en slik lekkasje skal skje i løpet av anleggets levetid. Slike lekkasjer forekommer med en svært lav frekvens. Samlet sett for alle olje- og gassinstallasjoner på norsk og britisk sektor i Nordsjøen har det vært noen få titalls slike lekkasjer siden starten på 90-tallet (Ref. /2/). Typiske feilmøder er overstryking eller latente feil forårsaket av feil under installasjon eller vedlikehold. Generelt er 2/3 av årsaker til lekkasjer relatert til menneskelige feilhandlinger/feiloperasjoner.

Sammenheng mellom frekvens og rate vil være avhengig av utstyrsdimensjon og trykkforhold. Figur 15 viser effekt på kumulativ lekkasjefrekvensfordeling for disse lekkasjepunktene for varierende utstyrsdimensjon og varierende trykk. Driftstrykket vil variere avhengig av forbruk og fyllingsgrad, men beregningen viser at det ikke er av stor betydning for frekvensbildet hvilket driftstrykk som legges til grunn. Utstyrsdimensjon har større effekt. Figur 14 viser effekt på initiell lekkasjerate ved brudd for varierende utstyrsdimensjon og varierende driftstrykk. Den fete lysegrå kurven representerer betingelser lagt til grunn i studien for Lilleby varmesentral.



Figur 14: Initiell lekkasjerate ved fullt brudd for varierende utstyrsdimensjon og trykk



Figur 15: Sensitivitet varierende indre diameter utstyr og varierende trykk i lagertank. Lekkasjefrekvens for lekkasjepunkt som kommuniserer med LNG lagertank uten stengeventil mellom seg selv og tankvolum. Resultat er visualisert ved å akkumulere frekvens med hensyn på rate, fra høy til lav rate. Total lekkasjefrekvens for lekkasjer over 0.1 kg/s er ca.  $7 \cdot 10^{-4}$  per år



## 6 Beskrivelse gasspredningsberegninger

Basert på modellen av anlegget og værdata for Voll værstasjon i Trondheim er det valgt ut 130 lekkasjescenarioer gjennom en separat rutine.

De ulike lekkasjescenarioene dekker varierende:

- Lekkasjepunkt
- Lekkasjeretning
- Medium (LNG og gass)
- Lekkasjerate (*i.e.* beregnet ut fra trykk, tetthet og lekkasjehull)
- Værforhold, dvs. vindretning og vindhastighet (10 meter over bakken). Turbulens i vindfelt er definert ut fra nøytrale atmosfæriske forhold (typisk for værforhold i Trondheim).

Alle lekkasjescenarioer er kjørt med konstant rate inntil «steady state» tilstand for gasskyen innenfor brennbarhetsområdet (som er 5 – 15 vol%) har blitt etablert.

Rutinen for utvalg av scenarioer styres slik at det er fokusert på scenarioer som driver risikobildet i forhold til grenser for hensynssoner definert av DSB (Ref. /7/), som er lekkasjer med initell rate større enn 3-5 kg/s og med lang varighet.

Det er generelt kjørt 5 værforhold:

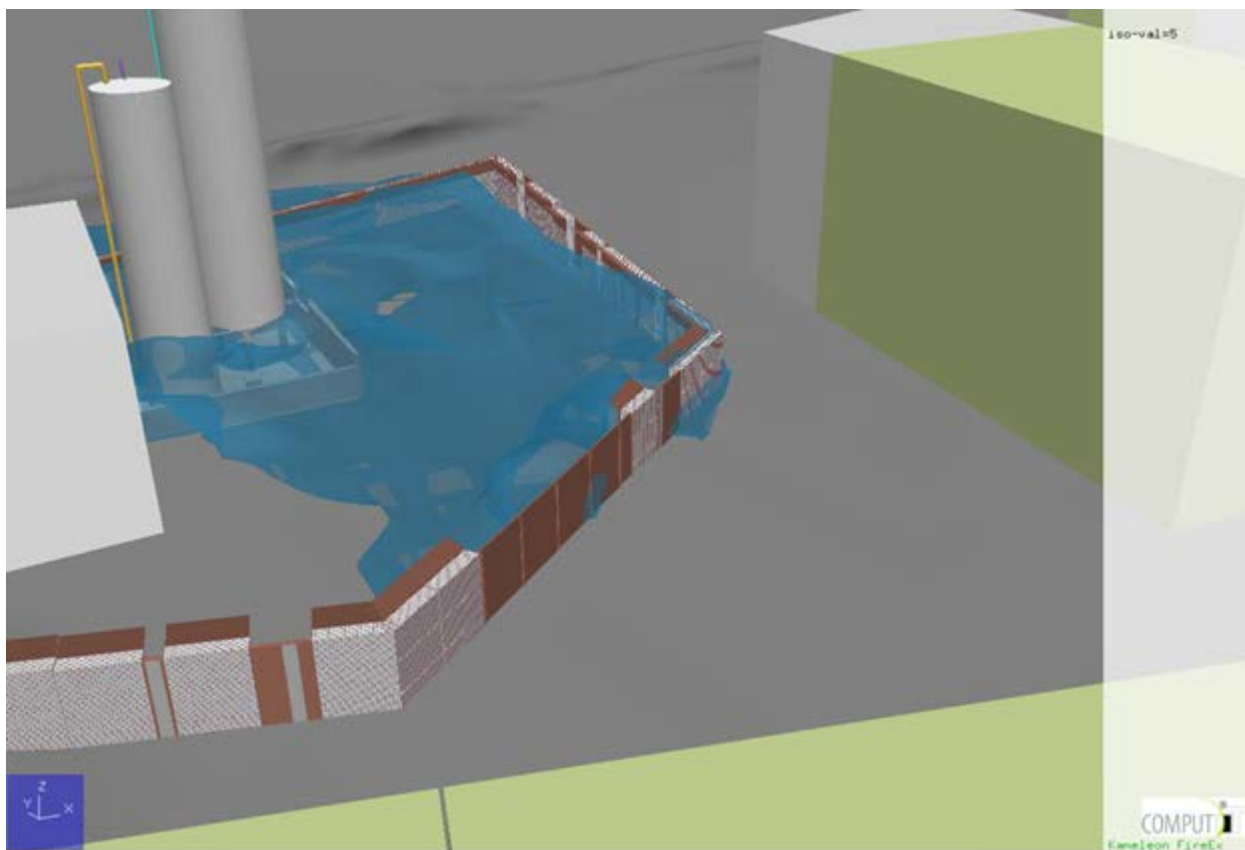
- 1,75 m/s 10 meter over bakken fra nord-nordøst
- 1,75 m/s 10 meter over bakken fra øst-nordøst
- 0,75 m/s 10 meter over bakken fra sør-sørvest
- 2,75 m/s 10 meter over bakken fra sør-sørvest
- 4,75 m/s 10 meter over bakken fra sør-sørvest

Dominerende vindretning er sør-sørvest. De tre siste vindforholdene dekker 50% av værforholdene. Totalt dekker de kjørte beregningene 2/3 av værforholdene.

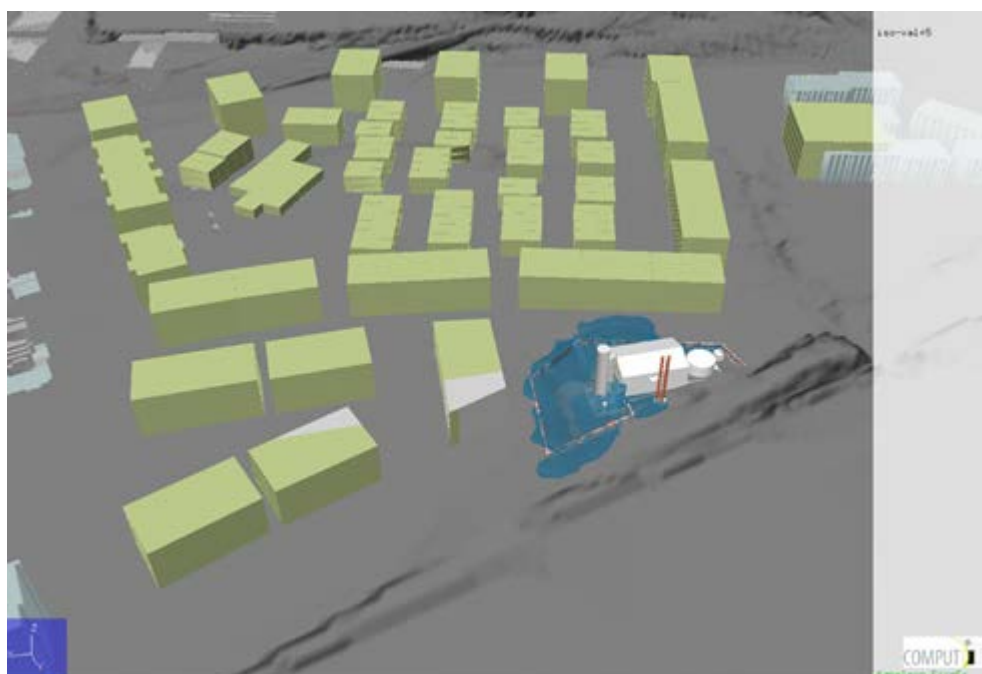
Omgivelsestemperatur er satt til 10°C i alle beregningene. Den vil typisk variere mellom -10°C og 10°C for normal driftsperiode.

Figur 16 viser brennbar gassky 5 minutter etter start av lekkasjen for en konstant lekkasjerate på 3 kg/s LNG. Beregningen viser at den brennbare gassen vil kontrolleres av barrierene omkring anlegget.

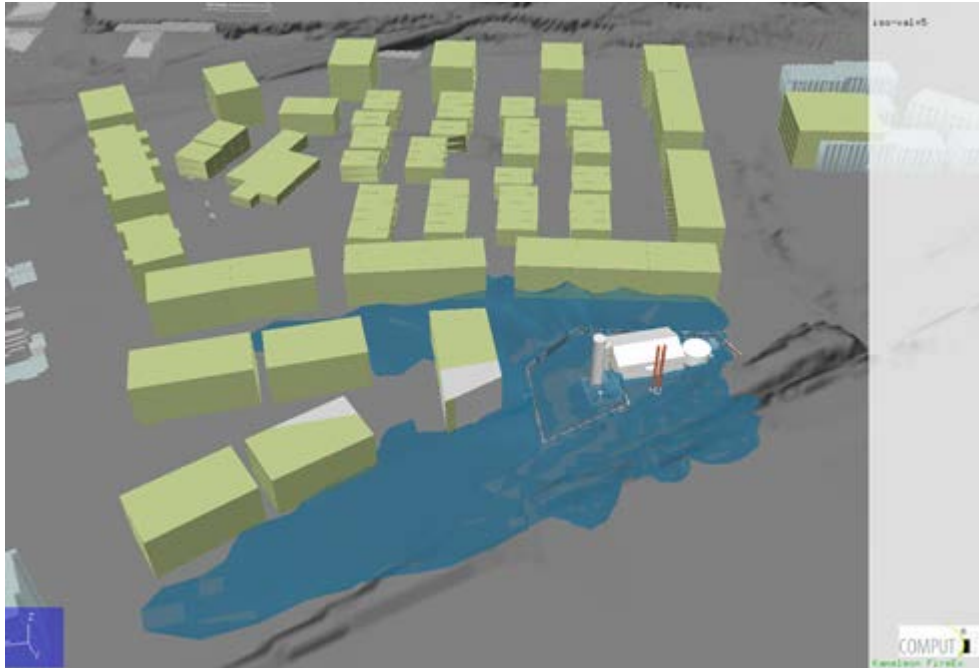
Figur 17 og Figur 18 viser brennbar gassky henholdsvis 1 og 5 minutter etter start av lekkasjen for en konstant lekkasjerate på 14 kg/s. Beregningen viser at den brennbare gassen vil kontrolleres av barrierene omkring anlegget i det første minuttet etter at lekkasjen starter, men deretter vil mengden som genereres overstige kapasiteten til bassenget definert av barrierene. Den brennbare gassen vil spre seg over 100 meter utenfor anlegget. Legg merke til at gassen sprer seg mot vindretningen, noe som er drevet av tetthetsforskjellen mellom gassblandingen og omgivende luft. Gassblandingen har vesentlig lavere temperatur enn den omgivende luften. Dette er vist i Figur 19. Legg merke til temperaturoverføring i grensesjikt mot bakken.



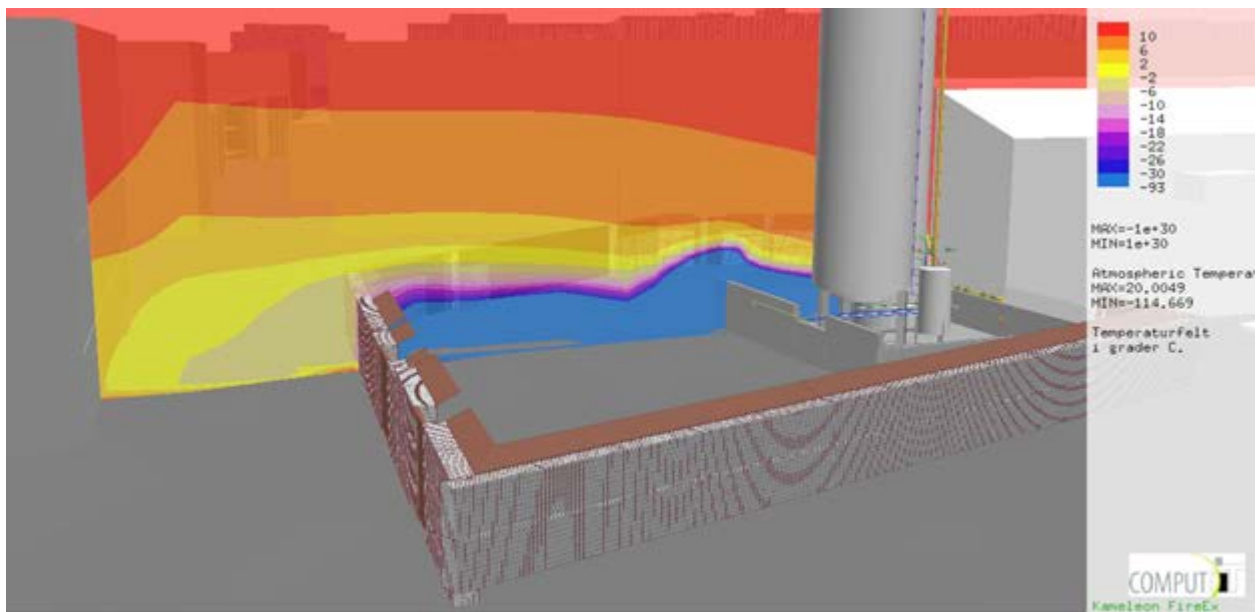
Figur 16: Brennbar gassky 5 minutter etter start av lekkasje med rate på 3 kg/s LNG og 0.75 m/s vind fra sør-sørvest (vindretning imot perspektiv i plott)



Figur 17: Brennbar gassky 1 minutt etter start av lekkasje med rate på 14 kg/s LNG og 0.75 m/s vind fra sør-sørvest (vindretning parallell med perspektiv i plott)



Figur 18: Brennbar gassky 5 minutter etter start av lekkasje med rate på 14 kg/s LNG og 0.75 m/s vind fra sør-sørvest (vindretning parallell med perspektiv i plott)



Figur 19: Temperaturfelt i gassky 5 minutter etter start av lekkasje med rate på 14 kg/s LNG og 0.75 m/s vind fra sør-sørvest (vindretning parallell med perspektiv i plott); altså samme tidspunkt og scenario som vist i Figur 18. Legg merke til temperaturoverføring i grensesjikt langs bakken

## 7 Risikobilde

### 7.1 Gasseksponering

Figur 20 til Figur 27 viser resulterende frekvens for eksponering for brennbar gass for ethvert punkt i og omkring anlegget. For et gitt punkt representerer estimatet frekvensen for eksponering for brennbar gass i det bestemte punktet. For to tilgrensende punkt kan det være ulike scenarier som bidrar til eksponering. Det betyr at for et objekt med en vesentlig utstrekning, slik som en bygning, vil den akkumulerte frekvensen for eksponering av et eller annet punkt på bygningen kunne være høyere enn indikert av isorisk-konturene.

Kriteriene gitt i Ref. /7/ av DSB definerer  $10^{-6}$  per år som øvre grense for eksponering av brennbar gass.

Resultatene viser at konturen definert av frekvensen for eksponering for brennbar gass for  $10^{-6}$  per år eller høyere strekker seg betydelig lengre ut enn selve varmesentralen. Bidraget er dominert av lekkasjer knyttet til lekkasjepunkt som kommuniserer med væskesiden i LNG lagertank uten stengeventil mellom seg selv og tankvolum. Bidraget fra disse scenarioene er illustrert i Figur 21. Det typiske forløpet er illustrert i foregående avsnitt i Figur 17, Figur 18 og Figur 19.

Figur 22 og Figur 23 viser effekten av fangdam og omkringliggende vegger på frekvens for eksponering av omgivelsene. Den omkringliggende veggen reduserer frekvensen for eksponering med en faktor på 5 – altså tiltaket er vesentlig. Figur 27 demonstrerer den tilsvarende effekten av fangdammen på mindre lekkasjer.

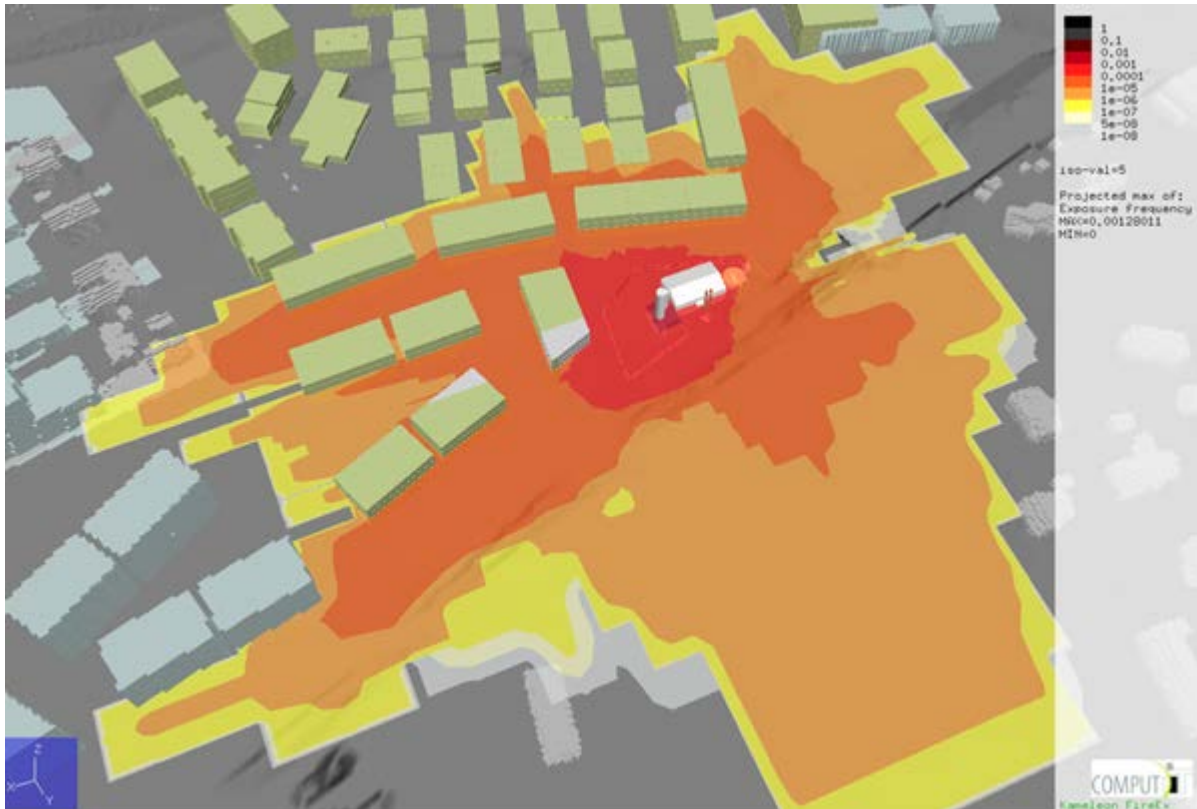
Dette betyr at videre tiltak bør vurderes for å bringe risiko til et lavere nivå. Tiltak som bør vurderes er:

- Forhøye høyde på vegg omkring anlegget. Beregningene viser at de foreslåtte veggene som omgir anlegget vil kunne kontrollere gassspredning resulterende fra en lekkasjerate i området 3-5 kg/s. Gassmengden generert ved brudd på utstyr med en indre diameter på 40 mm vil ikke kunne holdes igjen på innsiden av anlegget. For å håndtere disse lekkasjene må imidlertid høyden på veggene være vesentlig høyere, anslagsvis en faktor 3 høyere (det vil si en høyde større enn 6 meter). Dette må verifiseres med beregninger. Det er også en mulighet for at dette ikke er tilstrekkelig.
- Forhøye høyde på vegger til fangdam. Dette for å forsinke overløp av kald gass til det større bassenget definert av de foreslåtte omkringliggende veggene. Varmeovergang til gassen er en langsom prosess og forsinkelse av spredning vil øke tiden tilgjengelig for varmeoverføring.
- Se på om antall lekkasjepunkt kan reduseres, og da spesielt de som kommuniserer med væskeside i LNG tankvolum og ikke kan isoleres med stengeventil.
- Se på om utstyrsdimensjon kan reduseres for å begrense maksimal strømningsrate ved brudd på utstyret. Med DN40 er maksimal rate ca. 14 kg/s. Ved reduksjon til f.eks. DN32 vil den største lekkasjeraten reduseres til under 10 kg/s.
- Vurdere reduksjon av operasjonstrykk for å redusere potensiell lekkasjerate, og da spesielt relatert til brudd på utstyr.
- Besørge at eksterne årsaker til lekkasjer (inntrengning av uvedkommende) elimineres.
- Gå gjennom barrieren for tennkildekontroll på anlegget for å besørge at objekter som potensielt kan resultere i antenning er redusert til et absolutt minimum.
- Vurdere effekten av et system som sprayer vann ned i fangdam og eventuelt innenfor areal definert av foreslåtte omkringliggende vegger. Her kan man eventuelt bruke vann fra fjernvarmesystemet, men krever et skreddersydd system lokalt koplet til dette. Effekt av

påføring av vann kan kvantifiseres gjennom beregninger med Kameleon FireEx KFX<sup>®</sup>, men en slik modell må verifiseres før resultatene kan brukes for detaljert design.

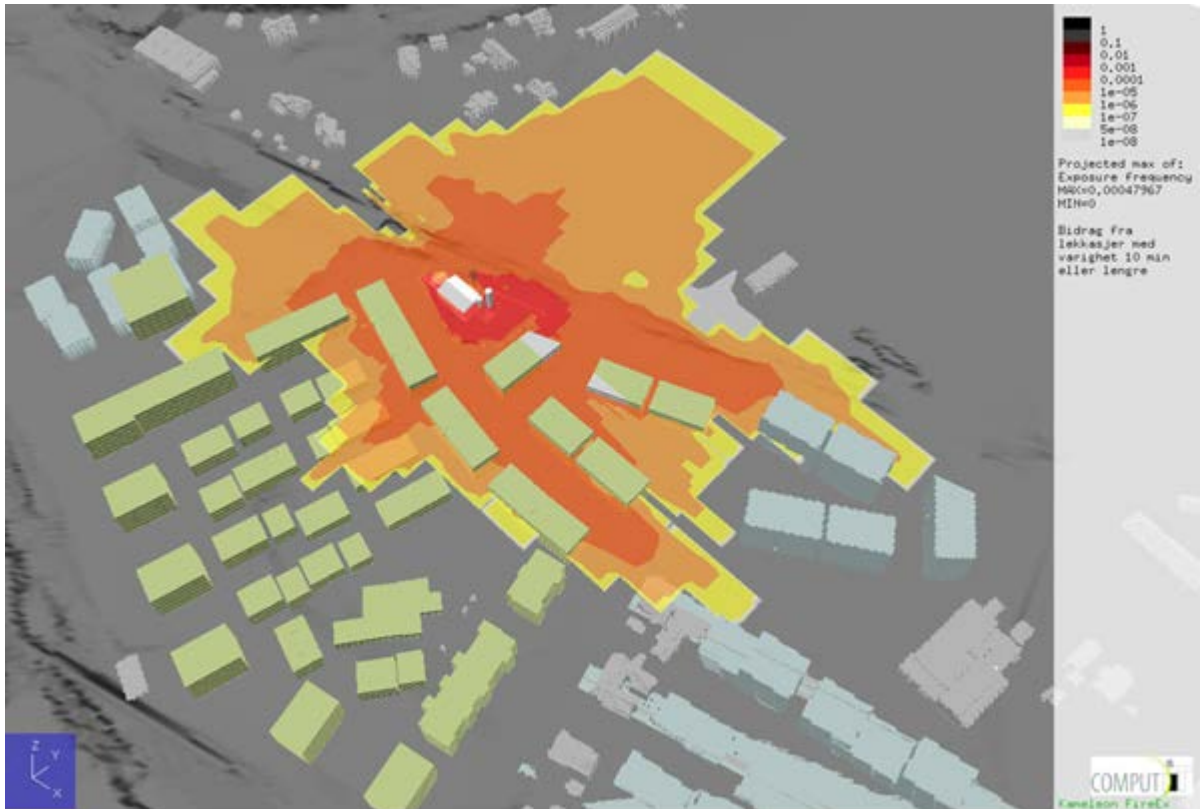
- Øke avstand mellom anlegg og nærmeste bebyggelse.

Den optimale løsningen finnes trolig gjennom en kombinasjon av ovenstående tiltak.

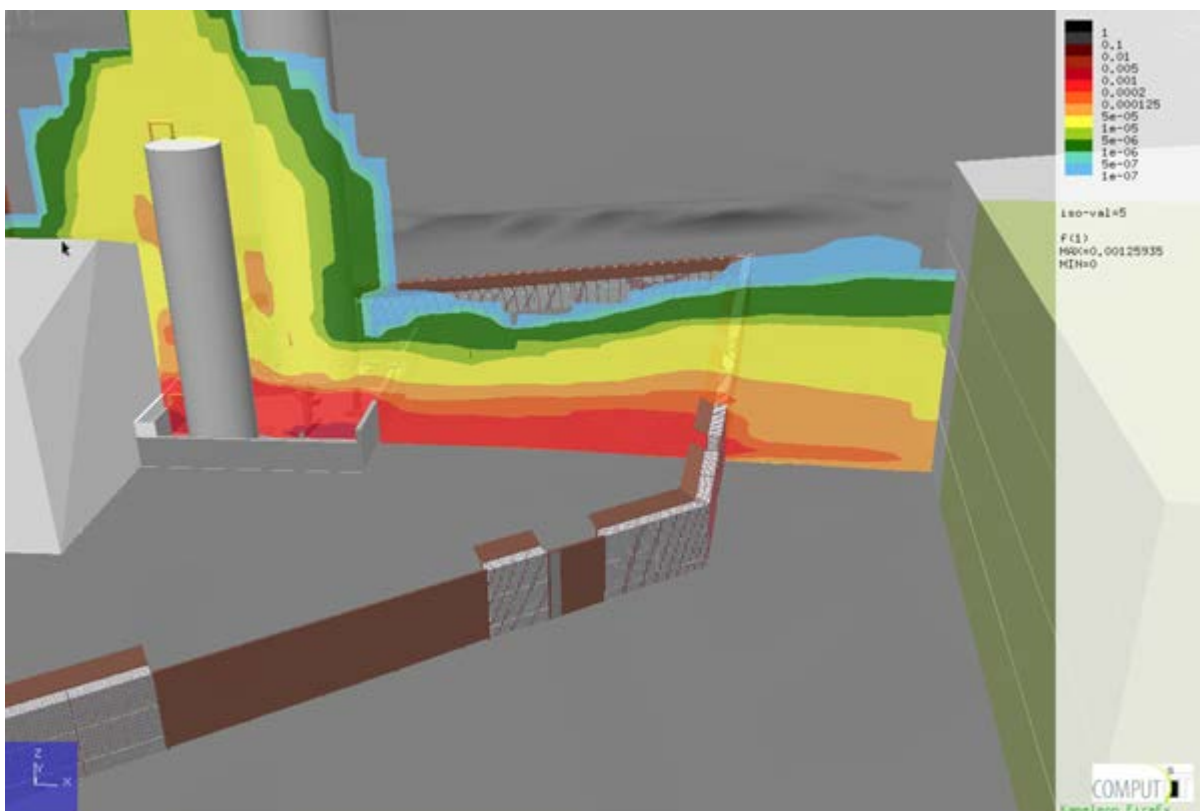


**Figur 20: Isorisk konturer for eksponering av brennbar gass. Kravet gitt av DSB er  $10^{-6}$  per år. Lys orange farge indikerer punkter med frekvens høyere enn  $10^{-6}$  per år**

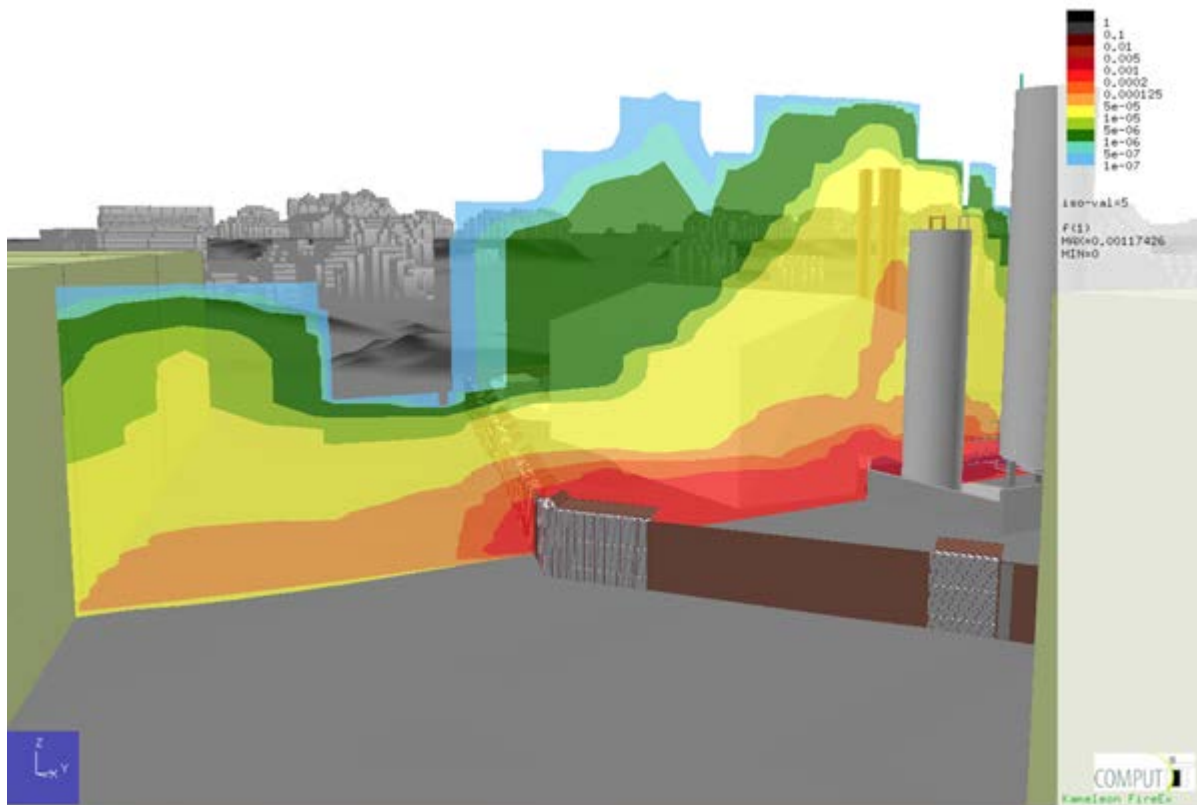




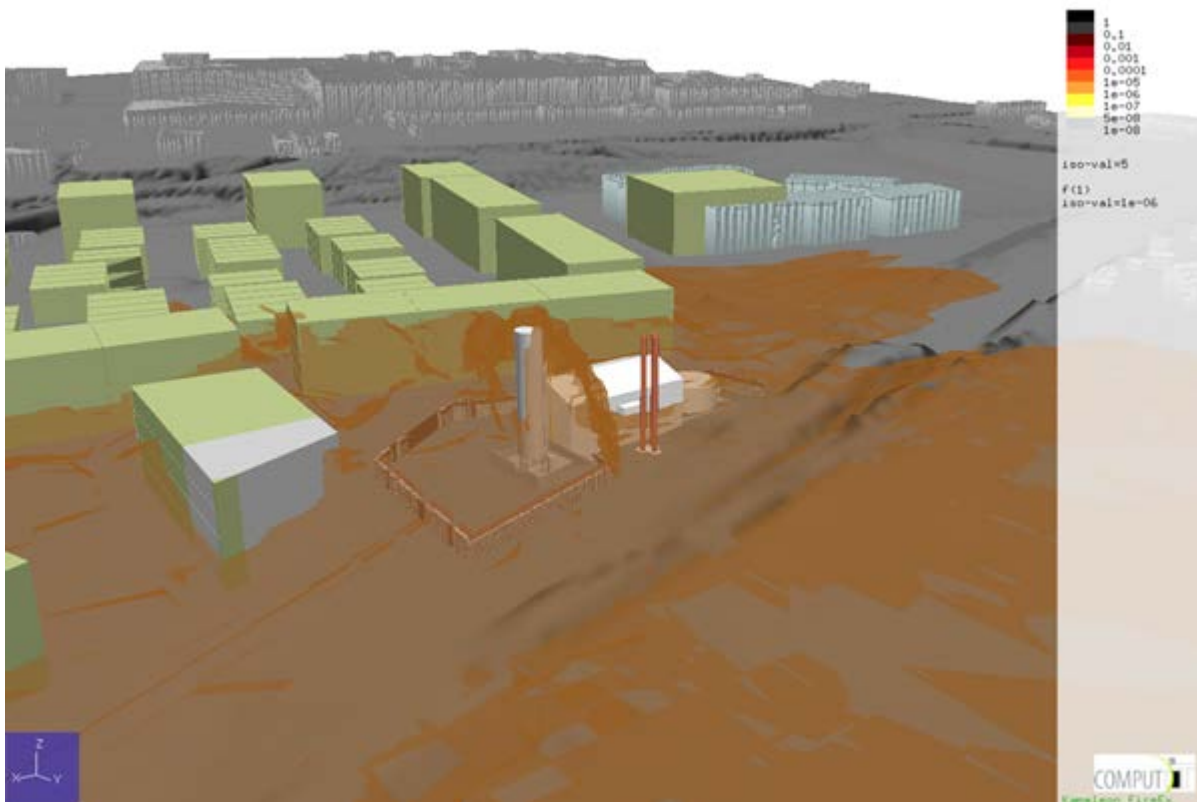
Figur 21: Isorisk konturer for eksponering av brennbar gass som følge av bidrag fra lekkasjer som varer 10 minutter eller lengre (se ). Kravet gitt av DSB er  $10^{-6}$  per år. Lys orange farge indikerer punkter med frekvens høyere enn  $10^{-6}$  per år



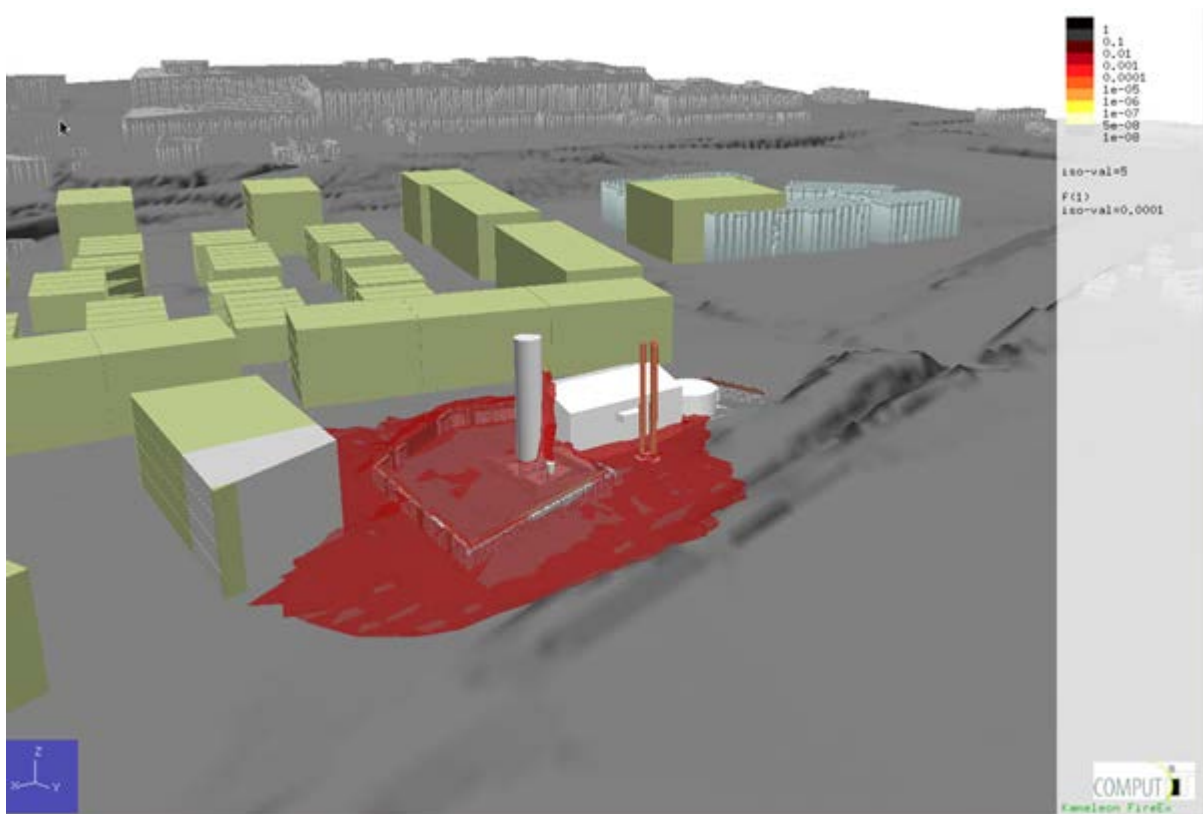
Figur 22: Vertikale isorisk konturer for eksponering av brennbar gass. Kravet gitt av DSB er  $10^{-6}$  per år (lys grønn farge indikerer punkter med frekvens høyere enn  $10^{-6}$  per år)



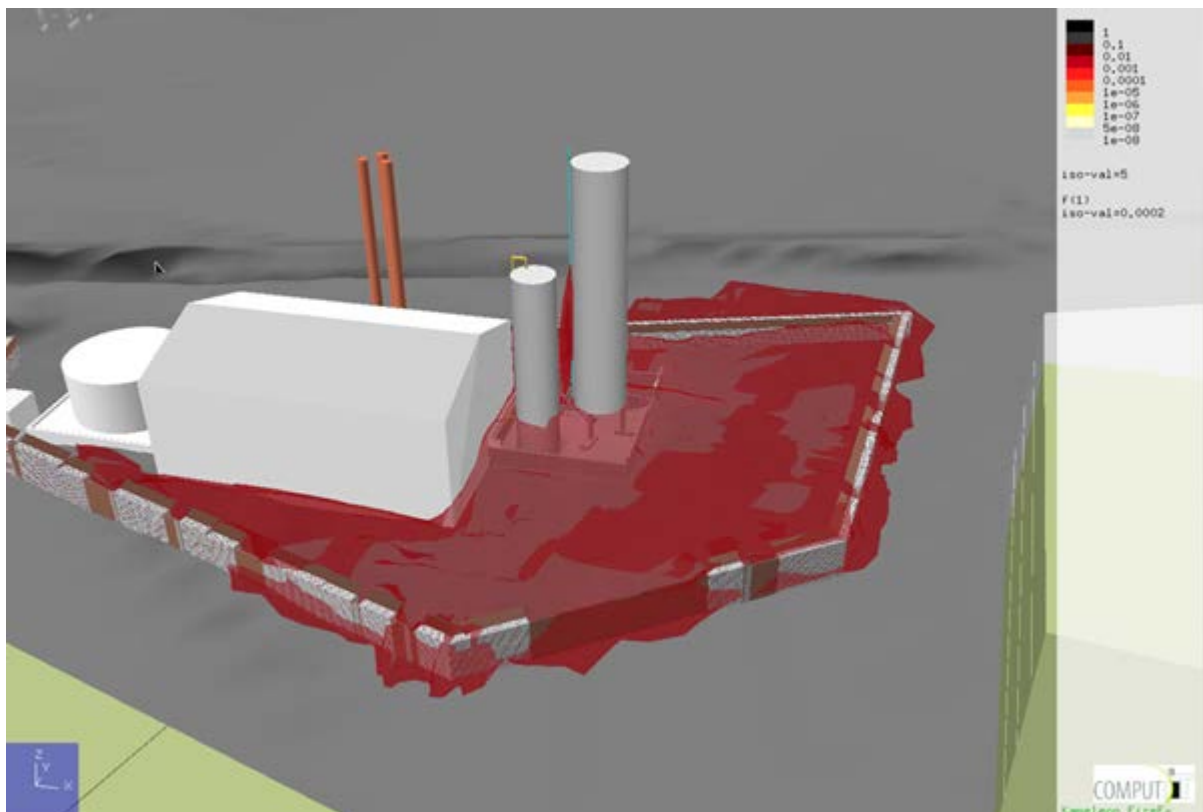
Figur 23: Vertikale isorisk konturer for eksponering av brennbar gass. Kravet gitt av DSB er  $10^{-6}$  per år (lys grønn farge indikerer punkter med frekvens høyere enn  $10^{-6}$  per år)



Figur 24: 3D isorisk flate for en frekvens på  $10^{-6}$  per år eller høyere for eksponering for brennbar gass

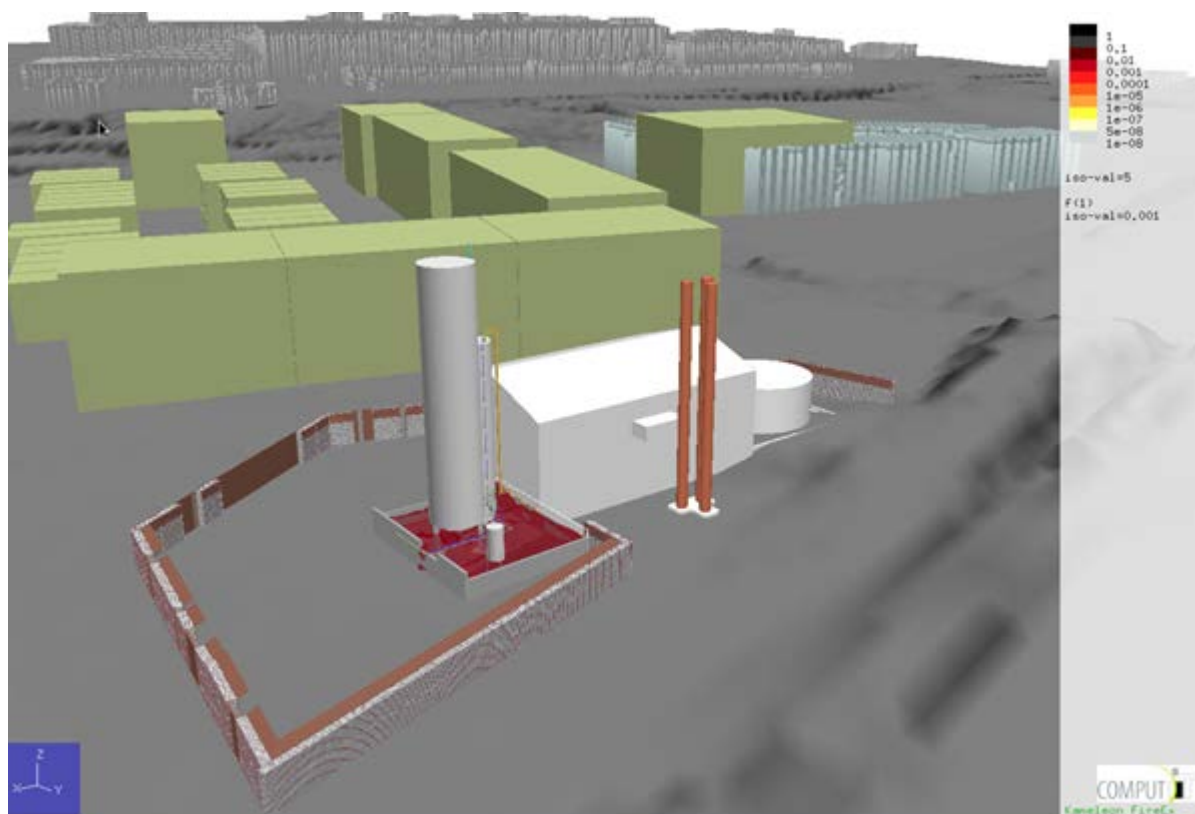


Figur 25: 3D isorisk flate for en frekvens på  $10^{-4}$  per år eller høyere for eksponering for brennbar gass



Figur 26: 3D isorisk flate for en frekvens på  $2 \cdot 10^{-4}$  per år eller høyere for eksponering for brennbar gass





Figur 27: 3D isorisk flate for en frekvens på  $10^{-3}$  per år eller høyere for eksponering for brennbar gass

## 7.2 Eksponering av stråling

Figur 29 viser kontur som avgrensner en strålingsfluks  $10 \text{ kW/m}^2$  fra antent  $14 \text{ kg/s}$  LNG spray (samme scenario som vist i Figur 17). Brannen er illustrert grafisk i Figur 28. Resultat viser at de nærmeste blokkene eksponeres for strålingsflukser som mennesker kan klare å oppholde seg i kun i en kort tidsperiode. Det er også fare for antennelse av brennbart materiale.

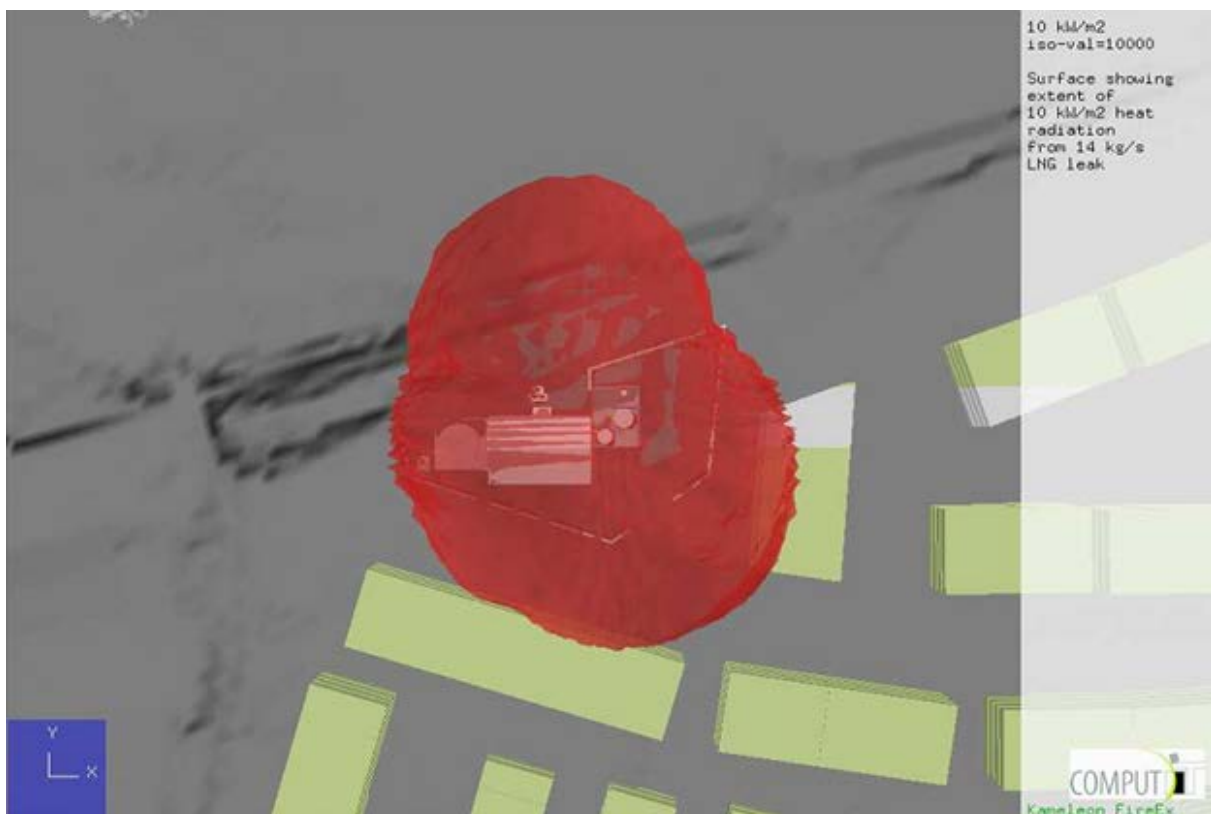
Frekvensen for antennelse er ikke beregnet, men det vurderes at frekvensen for eksponering av de nærmeste blokkene vil ligge i området definert av DSB sine kriterier (Ref. /7/).

Reduksjon av antall lekkasjepunkt og/eller reduksjon av utstyrsgdimensjon, foreslått for å redusere risiko knyttet til gasspredning, vil også ha en risikoreducerende effekt på brannrisiko.

Det bemerkes at risiko knyttet til eventuell BLEVE scenario ikke er vurdert. Frekvensen for et slikt scenario vil være lav, men bør verifiseres som grunnlag for en endelig løsning.



**Figur 28: Antent 14 kg/s LNG spray (samme scenario som vist i Figur 17)**



**Figur 29: Strålingsfluks fra antent 14 kg/s LNG spray (samme scenario som vist i Figur 17)**

## 8 Konklusjon

Resultatene viser at konturen definert av frekvensen for eksponering for brennbar gass for  $10^{-6}$  per år eller høyere, strekker seg betydelig lengre ut enn selve varmesentralen. Bidraget er dominert av lekkasjer knyttet til lekkasjepunkt som kommuniserer med væskesiden i LNG lagertank uten stengeventil mellom seg selv og tankvolum.

Effekten av fangdam og omkringliggende vegger på frekvens for eksponering av omgivelsene er betydelig. Den omkringliggende veggen reduserer frekvensen for eksponering med omkring en faktor på 5.

Overskridelsen av toleransekriteriet betyr at videre tiltak bør vurderes for å bringe risiko knyttet til gasseksponering til et lavere nivå. Tiltak som bør vurderes er:

- Forhøye høyde på vegg omkring anlegget. Beregningene viser at de foreslåtte veggene som omgir anlegget vil kunne kontrollere gasspredning resulterende fra en lekkasjerate i området 3-5 kg/s. Gassmengden generert ved brudd på utstyr med en indre diameter på 40 mm vil ikke kunne holdes igjen på innsiden av anlegget. For å håndtere disse lekkasjene må imidlertid høyden på veggene være vesentlig høyere, anslagsvis en faktor 3 høyere (det vil si en høyde større enn 6 meter). Dette må verifiseres med beregninger. Det er også en mulighet for dette ikke er tilstrekkelig.
- Forhøye høyde på vegger til fangdam. Dette for å forsinke overløp av kald gass til det større bassenget definert av de foreslåtte omkringliggende veggene. Varmeovergang til gassen er en langsom prosess og forsinkelse av spredning vil øke tiden tilgjengelig for varmeoverføring.
- Se på om antall lekkasjepunkt kan reduseres, og da spesielt de som kommuniserer med væskeside i LNG tankvolum og ikke kan isoleres med stengeventil.
- Se på om utstyrsdimensjon kan reduseres for å begrense maksimal strømningsrate ved brudd på utstyret. Med DN40 er maksimal rate ca. 14 kg/s. Ved reduksjon til f.eks. DN32 vil den største lekkasjeraten reduseres til under 10 kg/s.
- Vurdere reduksjon av operasjonstrykk for å redusere potensiell lekkasjerate, og da spesielt relatert til brudd på utstyr.
- Besørge at eksterne årsaker til lekkasjer (inntrengning av uvedkommende) elimineres.
- Gå gjennom barrieren for tennkildekontroll på anlegget for å besørge at objekter som potensielt kan resultere i antenning er redusert til et absolutt minimum.
- Vurdere effekten av et system som sprayer vann ned i fangdam og eventuelt innenfor areal definert av foreslåtte omkringliggende vegger. Her kan man eventuelt bruke vann fra fjernvarmesystemet, men krever et skreddersydd system lokalt koplet til dette. Effekt av påføring av vann kan kvantifiseres gjennom beregninger med Kameleon FireEx KFX<sup>®</sup>, men en slik modell må verifiseres før resultatene kan brukes for detaljert design.
- Øke avstand mellom anlegg og nærmeste bebyggelse.

Den optimale løsningen finnes trolig gjennom en kombinasjon av ovenstående tiltak.

Simulering av et verste branntilfelle (antennelse av fullt brudd på utstyr som kommuniserer med LNG tankvolum) viser at de nærmeste blokkene eksponeres for strålingsflukser som mennesker kan klare å oppholde seg i kun i en kort tidsperiode. Det er også fare for antennelse av brennbart materiale. Frekvensen for antennelse er ikke beregnet, men det vurderes at frekvensen for eksponering av de

nærmeste blokkene vil ligge i området definert av DSB sine kriterier (Ref. /7/). Tiltak bør vurderes basert på mer detaljerte analyser.

Det bemerkes at risiko knyttet til et eventuelt BLEVE brannscenario eller eksplosjoner inne i kjelhus ikke er vurdert. Frekvensen for et slike ulykkesscenarioer forventes å være lav, men dette bør verifiseres som grunnlag for en endelig løsning.

## 9 Referanser

- /1/ Epost fra Bård Andreassen, Statkraft, til Ingar Fossan, ComputIT, datert 9. januar 2017.
- /2/ Lloyd's Register Consulting: "Process leak for offshore installations frequency assessment model – PLOFAM", report no: 105586/R1, Rev: Final B, Date: 18.03.2016
- /3/ Shell Global Solutions (US) Inc.: "LNG Hose Failure Probability", B.A. Otis (PTS/TPTS), SR.14.11417
- /4/ Lloyd's Register: "Modelling of ignition sources on offshore oil and gas facilities - MISOF ", report no: 106364/R1, Rev: Final, Date: 25.11.2016.
- /5/ National Institute of Public Health and the Environment (RIVM): "Reference Manual Bevi Risk Assessments", version 3.2.
- /6/ Epost fra Sigrid Vasseljen, Asplan Viak, til Ingar Fossan, ComputIT, datert 2. februar 2017.
- /7/ DSB: «Sikkerheten rundt anlegg som håndterer brannfarlige, reaksjonsfarlige, trykksatte og eksplosjonsfarlige stoffer. Kriterier for akseptabel risiko», Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) 2012, ISBN 978-82-7768-310-2.