



Universitetet  
i Stavanger

## DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

# MASTEROPPGAVE

<u>Studieprogram/spesialisering:</u> Risikostyring/offshoresikkerhet	Vårsemesteret, 2011 Åpen
<u>Forfatter:</u> Espen Hviding	..... (signatur forfatter)
<u>Fagansvarlig:</u> Jan Roar Bakke (UiS)	
<u>Veiledere:</u> Jan Roar Bakke (UiS) Marie Judith Saltkjel (Safetec Nordic)	
<u>Tittel på masteroppgaven:</u>  En studie av to metoder for gjennomføring av probabilistisk brannanalyse.	
<u>Studiepoeng:</u> 30	
<u>Emneord:</u> <ul style="list-style-type: none"><li>- Probabilistisk brannanalyse (PBA)</li><li>- CFD-modellering</li><li>- Kamelon FireEx KFX ®</li><li>- Risikoanalyse</li></ul>	<u>Sidetall:</u> 100  <u>vedlegg/annet:</u> 31  Stavanger, 10.06.2011

## **SAMMENDRAG**

Probabilistisk brannanalyse er en kvantitativ analyse som kombinerer brannlast med brannfrekvens for å fastsette dimensjonerende ulykkeslast (DUL). I påvente av at en metode for probabilistisk brannanalyse som skal publiseres i NORSOK Z-013, finnes det en mengde uoffisielle metoder som utvikles og praktiseres av ulike aktører i bransjen. Detaljgraden til disse metodene varierer.

Variierende detaljgrad i metoder for probabilistisk brannanalyse vil påvirke detaljgraden av resultater og ressursbruk. Stor forskjell i ressursbehov mellom metodene, medfører at valg av metode vil gi forskjellige analysekostnader. Det er derfor hensiktsmessig å vurdere om det er behov for et høyt detaljnivå i metoden, eller om generiske modeller gir tilstrekkelig informasjon.

To metoder for probabilistisk brannanalyse med forskjellig detaljgrad er studert og sammenlignet. Hovedforskjellen mellom metodene er at den mest detaljerte metoden konsekvent benytter CFD-modellering for å fastsette brannbelastning og presenterer varmebelastningen i form av varmedose. Metoden med lavere detaljgrad fastsetter dimensjonerende brannvarighet, og den tilhørende varmebelastningen beregnes ved å benytte CFD-modellering, eller benytte normative brannlaster som er foreslått i NORSOK S-001.

Et casestudie er utført hvor det er fastsatt dimensjonerende brannlast i henhold til begge metodene. Dette for å få en bedre innsikt i metodebruken og studere om det finnes forbedringspotensial i metodene. Det er ønskelig å redusere det nødvendige antallet brannscenario som må CFD-modelleres, uten å øke usikkerheten i analysen. En måte å få til dette er å benytte metoder som effektivt prosesserer den data som er tilgjengelig, uten å kreve for mye ressurser.

Det er presentert et forslag til ny metode for å redusere antall brannscenario som er nødvendig å CFD-modellere for å fastsette brannbelastning. Metoden er et grunnlag for videre studier og verifisering.

## INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>FORORD .....</b>	<b>V</b>
<b>FORKORTELSER .....</b>	<b>VI</b>
<b>TABELLOVERSIKT .....</b>	<b>VII</b>
<b>GRAFOVERSIKT .....</b>	<b>VII</b>
<b>FIGURLISTE.....</b>	<b>VIII</b>
<b>1 INNLEDNING .....</b>	<b>1</b>
<b>2 TEORI.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Risikoanalyse.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Brannteori .....</b>	<b>5</b>
2.2.1 Brannlaster .....	5
2.2.2 Flashbrann.....	9
2.2.3 Jettbrann.....	9
2.2.4 Pølbrann .....	11
<b>2.3 Simuleringsverktøy .....</b>	<b>12</b>
2.3.1 Kamelon FireEx KFX ®.....	12
2.3.2 FAHTS – Fire And Heat Transfer Simulations .....	13
2.3.3 USFOS – ikke lineær statisk og dynamisk analyse av strukturer i rommet..	14
<b>3 PROBABILISTISK BRANNANALYSE (PBA) .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Probabilistisk brannanalyse, FABIG – Metode 1.....</b>	<b>15</b>
3.1.1 Introduksjon .....	15
3.1.2 Innledende risikovurdering og generell QRA.....	18
3.1.3 Brannmodellering med bruk av CFD.....	19
3.1.4 Brannrisikoanalyse .....	21
3.1.5 Strukturell responsanalyse .....	22
<b>3.2 Probabilistisk Brann Analyse, Safetec-metode - Metode 2 .....</b>	<b>23</b>
3.2.1 Generell QRA.....	24
3.2.2 Brannanalyse .....	26
<b>3.3 Sammenligning av metodene .....</b>	<b>27</b>
3.3.1 Mål med analysene.....	27
3.3.2 Generell QRA.....	28
3.3.3 Brannanalyse .....	29
3.3.4 Dimensjonerende ulykkeslast.....	31
3.3.5 Hovedforskjeller.....	36
<b>4 CASESTUDIE.....</b>	<b>37</b>
<b>4.1 Geometri.....</b>	<b>38</b>
<b>4.2 DUL, Metode 2.....</b>	<b>39</b>
4.2.1 Lekkasje frekvenser .....	39

4.2.2	Antennelsessannsynligheter .....	40
4.2.3	Brannfrekvenser .....	41
4.2.4	Brannvarigheter .....	42
4.2.5	Varighet vs. Brannfrekvensfrekvens .....	42
<b>4.3</b>	<b>DUL - CFD .....</b>	<b>44</b>
4.3.1	Risikovurdering .....	44
4.3.2	Brannscenario .....	45
4.3.3	Frekvensberegninger for brannscenario .....	47
4.3.4	Varmedose .....	48
<b>5</b>	<b>DISKUSJON .....</b>	<b>52</b>
5.1	Diskusjon av detaljgrad i probabilistisk brannanalyse .....	52
5.2	Diskusjon av karakteristiske faktorer i metode 1 og metode 2 .....	56
5.3	Forslag til forbedring .....	60
5.4	Diskusjon av caseresultater .....	65
<b>6</b>	<b>KONKLUSJON .....</b>	<b>67</b>
	<b>REFERANSER .....</b>	<b>68</b>
	<b>VEDLEGG A .....</b>	<b>70</b>
	<b>FIGURLISTE, VEDLEGG A .....</b>	<b>71</b>
	<b>Innledning .....</b>	<b>72</b>
	Plassering A03, lekkasjerate: 0,5 kg/s .....	77
	Plassering A03, lekkasjerate: 5 kg/s .....	78
	Plassering A03, lekkasjerate: 20 kg/s .....	79
	Plassering A01, lekkasjerate: 0,5 kg/s .....	80
	Plassering A01, lekkasjerate: 5 kg/s .....	81
	Plassering A01, lekkasjerate: 20 kg/s .....	82
	Plassering A05, lekkasjerate: 0,5 kg/s .....	83
	Plassering A05, lekkasjerate: 5 kg/s .....	84
	Plassering A05, lekkasjerate: 20 kg/s .....	85
	<b>VEDLEGG B .....</b>	<b>88</b>
	<b>FIGURLISTE, VEDLEGG B .....</b>	<b>89</b>
	Innledning .....	90
	Metode .....	91
	Resultat .....	91

## **FORORD**

Denne rapporten er resultatet av den avsluttende prosjektoppgaven for masterstudiet Risikostyring, med fordypelse i Offshoresikkerhet, ved Universitetet i Stavanger.

Arbeidet med masteroppgaven har gått over et helt semester og oppleves som lærerikt og utfordrende.

Takk til faglig ansvarlig, Jan Roar Bakke. Jeg vil også takke min veileder fra Safetec Nordic, Marie Judith Saltkjel, for gode råd og veiledning i løpet av semesteret. I tillegg vil jeg takke Bjørn Erling Vembe fra ComputIT for opplæring og veiledning til CFD-modellen Kamelon FireEx KFX ®.

Stavanger, 10. Juni 2011

## FORKORTELSER

ALARP	<i>As Low As Reasonable Practicable</i> , Så lavt som praktisk mulig
CFD	<i>Computational fluid dynamics</i> , Numerisk strømningsdynamikk
DUL	Dimensjonerende ulykkeslast
ESD	<i>Emergency shut down valve</i> , ventiler som skiller segmentene fra hverandre hvis nødvendig. Dette for å redusere omfanget av en eventuell lekkasje
HSE	<i>Health and Safety Executive</i>
JIP	Modell for antennessannsynligheter
KFX	<i>KFX Kamelon</i> , CFD modell
NORSOK	Norsk sokkels konkurranseposisjon, et samarbeid ledet av Oljeindustriens landsforbund som har utviklet ca 40 standarder for å øke sikkerhetsnivået ved norsk sokkel
OLF	Modell for antennessannsynligheter
PBA	Probabilistisk brannanalyse. Detaljert brannanalyse som kombinerer kvantitativ data med brannlaster for å definere dimensjonerende brannlast
PBB	Passiv brannbeskyttelse
TDIIM	<i>Time Dependent Internal Ignition Model</i> , Metode for beregning av tennsannsynlighet
SERA	<i>Safetec Explosion Risk Assessor</i> , Modell for vurdering av eksplosjonsrisiko
QRA	<i>Quantitative risk analysis</i> , kvantitativ risikoanalyse. Omfatter all relevant storulykkerisiko, inkludert: <ul style="list-style-type: none"><li>• Brann</li><li>• Eksplosjon</li><li>• Kollisjon</li><li>• Naturlaster</li></ul>

## TABELLOVERSIKT

Tabell 2.2-1, Varmelaster oppgitt i NORSOK S-001 .....	8
Tabell 2.2-2, Flammetemperatur i en jetflamme basert på strålefluksmålinger [8] .....	11
Tabell 3.1-1, Typisk lekkasjerate for brannanalyse og QRA [11].....	19
Tabell 3.2-1, Omslutningssannsynlighet .....	24
Tabell 3.2-2, Antennessannsynlighet, umiddelbar antennelse [14] [15] .....	25
Tabell 3.3-1, Sammenligning av metode 1 og metode 2 .....	33
Tabell 3.3-2, Sammenligning av metode 1 og metode 2, brannanalyse .....	34
Tabell 4.2-1, Lekkasjeklasse, casestudie.....	39
Tabell 4.2-2, Lekkasjefrekvens, casestudie.....	40
Tabell 4.2-3, Forsinket antennessannsynlighet, case.....	41
Tabell 4.2-4, Gassdeteksjonssannsynligheter, case .....	41
Tabell 4.3-1, Risikorangering, case .....	44
Tabell 4.3-2, Brannfrekvens, case.....	47
Tabell 4.3-3, Varmefluks og varmedose, brannscenario 1-33.....	48
Tabell 4.3-4, Varmedose mot kumulativ brannfrekvens, case.....	49
Tabell 5.2-1, Kumulativ frekvens, case.....	59
Tabell 5.4-1, Sammenligning av caseresultater .....	66

## GRAFOVERSIKT

Graf 3.1-1, Varmedose/ brannfrekvensplott, eksempel [13].....	22
Graf 4.2-1 - Total brannfrekvens mot varighet.....	42
Graf 4.3-1 - Varmedose / brannfrekvens, case .....	50
Graf 4.3-2 - Brannscenario/ årlig brannfrekvens, case .....	50
Graf 5.3-1, Lekkasjesenario mot kumulativ frekvens, diskusjon .....	61
Graf 5.3-2, Lekkasjesenario mot kumulativ frekvens, diskusjon-2.....	61
Graf 5.3-3, Brannfrekvens, diskusjon.....	62

## FIGURLISTE

Figur 2.1-1, Hovedsteg i en risikoanalyse [2] .....	3
Figur 2.2-1, Branntrekant.....	5
Figur 2.2-3, Flammtemperatur i en jetflamme [8] .....	11
Figur 2.3-1, Illustrasjon viser hvordan temperaturen er fordelt til en gitt tid i et gitt brannforløp. Analysen er utført i FAHTS [9].....	14
Figur 3.1-1, Flytdiagram av metode for å finne probabilistisk brannlast [11] .....	16
Figur 3.3-1, Oversikt brannscenario.....	30
Figur 4.1-1, Inndeling av områder i kjellerdekk.....	39
Figur 4.3-1, Lekkaspunkt, segment 8.....	45
Figur 4.3-2, Grid.....	46
Figur 4.3-3, Scenariooversikt, case .....	47
Figur 4.3-4, Brannscenario 06, Representerer dimensjonerende brannlast.....	51
Figur 5.2-1, Struktur og utstyr eksponert for varme.....	56
Figur 5.3-1, Flytdiagram over forslag til videre studier av metode for probabilistisk brannanalyse.....	64



## 1 INNLEDNING

Denne rapporten er et resultat av en avsluttende oppgave utført for masterstudie i risikostyring ved Universitetet i Stavanger. Oppgaven omhandler et studie av metode for probabilistisk brannanalyse og vil i hovedsak sammenligne to metoder med forskjellig detaljgrad samt diskutere detaljbehovet i en probabilistisk brannanalyse mot kost og nytte.

### **Bakgrunn**

Per dags dato finnes det ingen offisielt publiserte metoder som beskriver utførelsen av en probabilistisk brannanalyse. I påvente av at en metode for probabilistisk brannanalyse som skal publiseres i NORSOK Z-013, finnes det en mengde uoffisielle metoder som utvikles og praktiseres av ulike aktører i bransjen. Detaljgraden til disse metodene varierer. Detaljerte analyser som baseres på numerisk strømningsdynamikk vil kunne gi stor kunnskap om brannens konsekvenser for å finne dimensjonerende ulykkeslast. Mindre detaljerte analyser vil også konkludere med en dimensjonerende ulykkeslast, men baseres på mer generiske modeller og gir ikke samme grad av detaljert informasjon om brannlastene.

### **Problemstilling**

Variierende detaljgrad i metoder for probabilistisk brannanalyse vil påvirke detaljgraden av resultater og ressursbruk. Stor forskjell i ressursbehov mellom metodene, medfører at valg av metode vil gi forskjellige analysekostnader. Det er derfor hensiktsmessig å vurdere om det er behov for et høyt detaljnivå i metoden, eller om generiske modeller gir tilstrekkelig informasjon.

I denne rapporten er to metoder med forskjellig detaljnivå studert, hvor den mest detaljerte fastsetter dimensjonerende brannbelastning, fastsetter den mindre detaljerte metoden en dimensjonerende brannvarighet, med en probabilistisk framgangsmåte. For å få en dypere innsikt i metodenes karakteristikk, er det utført et casestudie som fastsetter dimensjonerende ulykkeslast (DUL) i henhold til begge metodene. Fordeler og ulemper ved bruk av de forskjellige detaljgradene er diskutert for å bidra med forslag til videreutvikling av metode for probabilistisk brannanalyse.

### **Avgrensinger**

Simuleringsverktøy er en nødvendighet for å gjennomføre en detaljert brannanalyse. Potensielle brannscenario er derfor simulert i CFD programmet Kamelon FireEx KFX®. Det er en svært omfattende prosess å gjennomføre en brannanalyse i henhold til begge analysemetodene. Innhentede geometriske data og brannstatistikk fra tidligere analyser er derfor benyttet for å redusere

arbeidsmengden til et realistisk nivå for en oppgave av denne typen. Av samme grunn er antallet simulerte brannscenario redusert til et minimum.

### **Disposisjon**

Del 1 består av kapittel 1, 2 og 3. Kapittel 1 beskriver en generell introduksjon til oppgaven. Kapittel 2 tar for seg teori og forklaringer av begreper rundt risikoanalyse, brannteori og bruksområder for et utvalg av simuleringsverktøy. Kapittel 3 beskriver to metoder for gjennomføring av probabilistisk brannanalyse og underliggende metoder for datainnsamling.

Del 2 består av kapittel 4 og vedlegg A. I kapittel 4 gjennomføres et casestudie hvor dimensjonerende brannlast fastsettes i henhold til metodene for probabilistisk brannanalyse som beskrives i kapittel 3. I vedlegg A presenteres data og resultater fra casestudiet som er beskrevet i kapittel 4.

Del 3 består av kapittel 5 og 6. I kapittel 5 diskuteres behov for detaljgrad i metode for probabilistisk brannanalyse. I tillegg diskuteres karakteristiske faktorer i analysene som beskrives i kapittel 3 samt resultater fra casestudiet i kapittel 4.

Del 4 består av vedlegg B og er en beskrivelse av et tillegg studie som er utført i samarbeid med ComputIT hvor målet har vært å prøve en ny metode for å presentere varmelaster kombinert med probabilistisk data.

## 2 TEORI

Kapitlet vil ta for seg teori og forklaringer av begreper rundt risikoanalyse, brannteori og bruksområder for et utvalg av simuleringsverktøy.

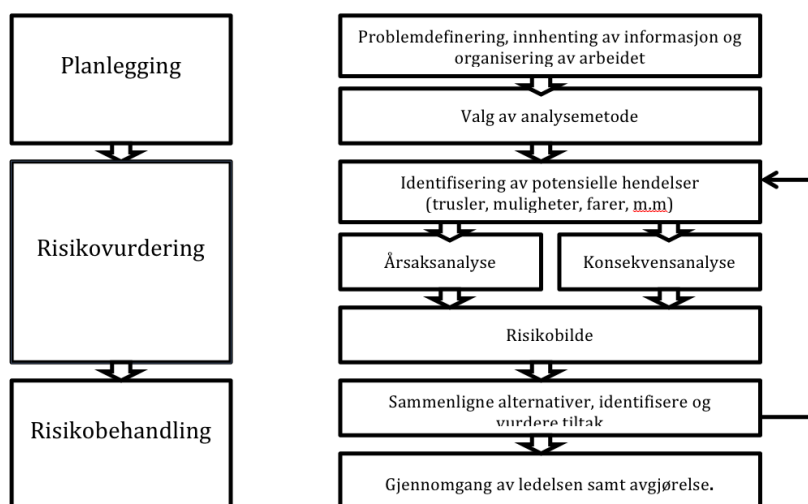
### 2.1 Risikoanalyse

I NORSOK Z-013 blir risikoanalyse definert på følgende måte:

”Strukturert bruk av tilgjengelig informasjon for å identifisere potensielle hendelser og for å beskrive risiko.” [1]

Målet med en risikoanalyse er at man først skal kartlegge mulige hendelser som potensielt kan oppstå knyttet til et tiltak, en aktivitet eller et system. Deretter vurdere årsaker og sannsynligheter for at de forskjellige hendelsene vil inntreffe samt konsekvenser ved at hendelsen inntreffer. Til slutt vil en ende opp med en oversikt over risikosituasjonen og et grunnlag til å foreta en risikoevaluering. I denne delen av analysen vurderes det om det må implementeres ytterligere barrierer i systemet. En barriere har som funksjon å motvirke eller begrense en uønsket hendelse. Hvilke barrierer og dimensjonering av disse avgjøres ofte basert på akseptkriterium. Et eksempel på et akseptkriterium som ofte benyttes er at en ikke aksepterer at hendelsen skal inntreffe mer enn hvert 10 000 år, eller  $1 \cdot 10^{-4}$  hendelse per år. Hendelsesfrekvenser mot konsekvensvurderinger benyttes da for å dimensjonere barrierene, eventuelt beregne om hendelsesfrekvensen reduseres når de nye barrierene er implementert. På den måten vil sannsynligheten for at hendelsen inntreffer og/eller konsekvensen ved at en hendelse inntreffer, reduseres. Eventuelt kan det hende at risikoanalysen avdekker en så stor risiko at det ikke vil være forsvarlig å fortsette.

En risikoanalyse har vanligvis følgende struktur:



Figur 2.1-1, Hovedsteg i en risikoanalyse [2]

## **Konsekvensanalyse**

Som en del av en risikoanalyse, spiller konsekvensanalysen en viktig rolle når risikobehandling vurderes. Konsekvensanalysen gir en oversikt over hvilke laster en eventuell hendelse kan belaste systemet med. En målrettet prosess med vurdering av hendelsesfrekvenser, konsekvenser mot akseptkriterium resulterer ofte med en dimensjonerende last som gir grunnlag for videre vurderinger av hvor det er størst behov for barrierer. En detaljert konsekvensanalyse vil gi en vurdering av den gitte situasjonen. Risikoen kan på denne måten styres veldig effektivt.

## **Usikkerhet**

En risikoanalyse uttrykker risiko som gir et beslutningsgrunnlag for valg mellom ulike løsninger. Dette kan være i form av en sannsynlighet for at en hendelse inntreffer. Hva er usikkerheten i denne sannsynligheten. I henhold til klassisk sannsynlighetsperspektiv er vil den sanne sannsynligheten representere antall ganger hendelsen vil inntreffe dersom en gjentar forsøket et stort antall ganger. Denne sannsynligheten er ikke kjent og må derfor estimeres. Dette kan en gjøre ved å benytte metoder som feiltre- og hendelsestreanalyser. Ved å vurdere parametere på et lavere nivå, som ved sikkerhetssystemer, vil en til slutt ende opp med en estimert sannsynlighet for at hendelsen inntreffer. Målet er at den estimerte sannsynligheten skal være så nært den faktiske sannsynligheten som mulig. Usikkerheten til den estimerte sannsynligheten kan være tilknyttet metoden en bruker for å estimere. Analysemetoden unnlater viktig informasjon. Eller at barrieresystemet er feildefinert, som leder til feil beregninger.

En annen viktig faktor for usikkerhet er knyttet til estimeringen av sannsynlighetene som representerer påliteligheten til sikkerhetssystemene rundt den hendelsen en studerer. Dette kan skyldes at:

- Det benyttes data som ikke er representative
- Dataanalysemetodene er feilaktige
- Feil beskrivelse av utstyr som vil bli brukt
- Lite datagrunnlag

## 2.2 Brannteori

En brann er en kjemisk reaksjon som er avhengig av at det er tilgang på oksygen, brennstoff og en varmekilde. Dette illustreres ofte ved hjelp av en branntrekant:



Figur 2.2-1, Branntrekant

Tilgangen på oksygen, brennstoff og varme er avhengig av hverandre for at en brann skal oppstå og vedvare. Hvis tilgangen på en av dem reduseres, vil brannen slukke. Eventuelt hvis en hindrer faktorene i å være til stede samtidig, vil det ikke kunne oppstå en brann i utgangspunktet. Dessverre er ikke dette praktisk gjennomførbart i enkelte bransjer og situasjoner. Det er derfor ønskelig å finne best mulig løsninger for å redusere sannsynligheten for at en brann oppstår samt redusere konsekvensene hvis en brann oppstår, men allikevel beholde mulighetene en får ved å jobbe med brennbart materiale.

Det skiller ofte mellom gass- og flytende utslipp av brennbart materiale. Gassutslipp kan blant annet resultere i at det dannes en jetflamme, diffusjonsflamme, flash- eller gasskybrann. Hvilken gassbrann som oppstår er spesielt avhengig av hvor raskt gassen antennes. Lekkasje av flytende brannkilder kan resultere i pølbranner i åpne forhold med fri tilgang på luft, og i lukkede rom uten fri tilgang på luft. Det kan også oppstå spraybranner hvor utslippet skjer under høyt trykk og væsken blir spredd i dråpeform. Det kan også forekomme brann i rennende væsker.

I etterfølgende delkapitler vil karakteristika til de vanligste brannformer samt former for varmeoverføring forklares nærmere.

### 2.2.1 Brannlaster

Det er tre hovedformer for varmeoverføring; varmeledning, konveksjon og stråling. Til en viss grad vil alle tre bidra med varmeoverføring i et hvert brannscenario.

#### 2.2.1.1 Varmeledning

Varmeledning er den mekanismen som fører til at varmen forflytter seg igjennom materialer. Kunnskap om hvordan materialene som involveres i et brannscenario tar opp og leder varme er svært viktig for å identifisere faren for

antennelse og spredning av flammer i brennbare materialer. Beregning av varmeledning vil bidra til å dimensjonere brannmotstand som hindrer spredning og svekkelse av strukturer med bærende funksjoner samt kartlegging av potensielle antennelseskilder. Det er høyt ønskelig at rør og lagringstanker som inneholder brennbart materiale holder sin integritet gjennom et brannforløp. Beregning av varmeledning i strukturen vil da være nødvendig for å fastsette behov for varmebeskyttelse.

Varmefluks fra en varm til en kald side i et materiale kan beregnes med følgende formel:

$$\dot{q}_x'' = -k \frac{dT}{dx} [3]$$

hvor  $dT$  er temperaturdifferansen mellom hver av sidene,  $dx$  er lengden varmen beveger seg,  $k$  er varmeledningsevnen til materialet

### 2.2.1.2 Konveksjon

Konveksjon er varme som blir overført fra fluider til konstruksjoner, ved hjelp av strømning. Når en fluid strømmer over en kaldere overflate vil det overføres varme til den kaldere overflaten. Det skilles mellom tvungen og fri konveksjon.

Fri konveksjon er når en fluid beveger seg på grunn av tetthetsforskjeller. En varm fluid vil ha en større gjennomsnittlig avstand mellom molekyllene enn en kald fluid. Av den grunn vil en varm fluid være lettere enn en kald og vil derfor stige samtidig som den kalde blir presset ned. Eksempelvis vil en varmekildes omliggende luft stige opp i et lukket rom. Dette gir mindre plass til den kalde luften som vil bli presset ned for så å bli varmet opp og stige opp til takhøyde igjen. Etter hvert som rommet fylles med varm luft vil konveksjon bidra til oppvarming av vegger, tak og annet materiale som befinner seg i rommet. Denne form for konveksjon foregår spesielt ved pølbranner og gass-diffusjonsbranner.

Tvungen konveksjon er når en fluid bevegelse skjer på grunn av en ekstern kraft. Dette kan for eksempel være ved et rørbrudd fra en rørsystem med høyt trykk, hvor et gassutslipp antennes og en jetflamme dannes. Konveksjonen fra jetflammen anses som tvungen konveksjon.

Formelen for konveksjon som strømmer over en flate er uttrykt som:

$$\dot{q}'' \approx \frac{k}{\delta_\theta} (T_\infty - T_s), [3]$$

hvor  $k$  er varmeledningsevnen til fluiden,  $\delta_\theta$  er tykkelsen til det termiske grenselaget, og  $T_\infty$  og  $T_s$  er temperaturen til henholdsvis den varme fluiden og temperaturen til overflaten som berøres.

### **2.2.1.3 Termisk stråling**

Termisk stråling er en form for varmeoverføring som ikke er avhengig av noen form for medium mellom varmekilde og mottaker. Termisk stråling kan derfor lede varme gjennom vakum. Varmeoverføringen skjer ved at energi fra ladde atomer og partikler blir overført med elektromagnetisk stråling. Store mengder energi blir frigitt fra brannen. Termisk stråling bidrar mye til forvarming av omliggende struktur som kan bidra til svekkelse av integritet, eller at brannen lettere spres fra brannkilden.

En varmekildes bidrag med strålevarme kan beregnes med følgende formel:

$$E = \varepsilon\sigma T^4, [3]$$

Hvor  $\varepsilon$ , emissiviteten, er et mål på effektiviteten til varmekilden som strålende legeme.  $\sigma$  er Stefan-Boltzmann konstant ( $5.67 \cdot 10^{-8} W/m^2K^4$ )

### **2.2.1.4 Dimensjonerende ulykkeslast (DUL)**

I henhold til Innretningsforskriften [4] skal en dimensjonerende ulykkeslast med en årlig frekvens større enn eller lik  $10^{-4}$ , ikke medføre tap av en hovedsikkerhetsfunksjon. I beskrivelsen av hovedsikkerhetsfunksjonene settes krav til hindring av eskalering-, opprettholdelse av hovedbæreevne- og beskyttelse av sikre områder samt områder som er av betydning for bekjempelse av ulykkeshendelser, til innretningen er evakuert. Det skal også opprettholdes minst en evakueringsvei fra ethvert område der personell kan oppholde seg inntil evakuering til innretningens sikre områder og redning av personell er gjennomført. [5] Det vil si at brannscenario må vurderes og utstyr, struktur og rømningsfunksjoner må dimensjoneres slik at de opprettholder sin undergitte tålegrenser i forhold til varmelast og varighet. Kravene i innretningsforskriften er funksjonskrav som refererer til nasjonale og internasjonale standarder.

I siste utgave av NORSOK S-001 [6] presenteres varmelaster som skal ha en dimensjonerende funksjon, med mindre det blir utført spesifikke brannanalyser som fastsetter varmelaster. Det noteres at standardlaster som er presentert i

Tabell 2.2-1 er dekkende i de fleste tilfeller, men i et reelt brannscenario kan lastene som representerer en årlig hendelsesfrekvens på  $10^{-4}$  være både høyere og lavere enn den standarden setter som dimensjonerende.

**Tabell 2.2-1, Varmelaster oppgitt i NORSOK S-001**

	Jettbrann		Pølbrann kW/m <sup>2</sup>
	For lekkasjerater m>2 kg/s kW/m <sup>2</sup>	For lekkasjerater 0,1kg/s<m<2 kg/s kW/m <sup>2</sup>	
Lokal maksimal punktlast	350	250	150
Global gjennomsnittlig varmelast	100	0	100

Standarden beskriver lokal maksimal punktlast som;

”Den lokale maksimale punktlasten eksponerer et lite (lokalt) område av prosessesegmentet eller strukturen for den maksimale varmefluksen. Den lokale maksimale punktlasten, med høyest varmefluks, er avgjørende for bruddtemperaturen til forskjellig utstyr og rørsystemene i prosessegmentet. Den lokale maksimale punktlast har liten betydning for trykkprofilen for prosessegmentet.

Den globale gjennomsnittlige varmelasten representerer den gjennomsnittlige varmelasten som eksponerer et signifikant del av prosessegmentet eller strukturen. Den globale gjennomsnittlige varmelasten står for hoveddelen av varmetilførselen til prosessegmentet og vil derfor påvirke trykket i segmentet”.  
[6]<sup>1</sup>

Her presenteres varmelaster i kilowatt per kvadratmeter, som er kombinert termisk stråling, varmeledning og konveksjon, også kalt total varmefluks. Den totale varmefluksen vil variere utover brannforløpet. I den sammenheng kan det være interessant å studere områdets mottatte varmedose, megajoule per kvadratmeter. Varmedosen representerer den totale varmemengden som er mottatt gjennom hele brannforløpet. En kan på denne måten få en oversikt over

---

<sup>1</sup> The global average heat load represents the average heat load that expose a significant part of the process segment or structure. The global average heat load provides the major part of the heat input to the process segment and, hence, affects the pressure in the segment. The local peak heat load exposes a small (local) area of the process segment or of the structure to the peak heat flux. The local peak heat load, with the highest heat flux, determines the rupture temperature of different equipment and piping within the process segment. The local peak heat load has marginal influence on the pressure profile within the process segment.



den totale varmebelastningen som påvirker det eksponerte området og vil gjøre det lettere å avgjøre hvilke laster som er dimensjonerende.

### **2.2.2 Flashbrann**

En flashbrann kan forekomme dersom en lekkasje av brennbar gass eller damp blandes med luft og utsettes for en forsinket antennelse. Hvis et utslipp av flytende, brennbart materiale skaper en pøl, vil det dannes en gassky over pølen som beveger seg med vinden. Det vil etter hvert dannes en brennbar blanding ettersom gassen blandes med omliggende luft. Gasskyen sprer seg med vinden og vil med stor sannsynlighet komme i kontakt med potensielle antennelseskilder. Hvis gasskyen antennes, vil det oppstå en flashbrann.

Hovedfaktoren som skiller et flashbrannscenario fra et eksplosjonsscenario er flammehastigheten, som er hastigheten flammen propagerer inn i den brennbare gasskyen. Hvis en lekkasje med etterfølgende antennelse skjer i et område med mange fysiske hindringer som skaper turbulens og akselererer blandingshastigheten ved flammefronten, økes flammehastigheten betraktelig og en eksplosjon kan forekomme. En eksplosjon vil gi et større trykk enn en flashbrann, og kan derfor gi større konsekvenser ved antennelse. Når en flashbrann antennes vil en relativt kortvarig brann forekomme. Brannen vil bevege seg fra tennpunktet til gasskilden igjennom de forblandede områdene av gasskyen. Flammehastigheten vil variere avhengig av vindforhold og blandingsforholdet i gasskyen.

Hvis en gassky slippes ut under høy trykk over kort tid, dannes en gassky. Hvis denne antennes vil konvektive krefter danne et innsug av luft ved bakkenivå og brenne opp igjennom ildkulen som danner en soppsky.

Flammetemperaturen til en flashbrann vil ikke være homogen igjennom hele gasskyen. Temperaturene ved kjernen av gasskyen vil være tilnærmet adiabatisk, men i enden av brannen hvor det vil være mer tilgang på frisk luft, vil temperaturen nærme seg lik som ved en diffusjonsflamme. [7]

En flashbrann vil være svært kortvarig og det er som regel ikke nødvendig å dimensjonere bygninger mot denne mengden varme. Det kan på en annen side være farlig for mennesker å befinne seg i områder nær en flashbrann. For nær kontakt vil medføre øyeblikkelig død.

### **2.2.3 Jettbrann**

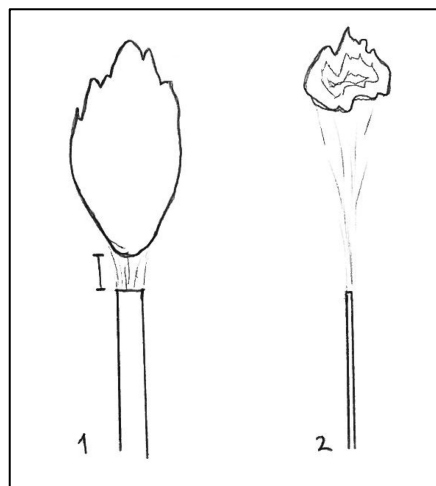
En jettbrann kan forekomme hvis en gasslekkasje fra en kilde med høyt trykk antennes. Typiske lekkasjekilder kan være prosessutstyr. Hvis for eksempel en tank som lagrer LNG (Liquefied natural gas) varmes opp av en ekstern

varmekilde, vil trykket i tanken øke og en trykkavlastingsventil vil sørge for at trykket ikke øker slik at det blir brudd på i tanken. Hvis gassene fra trykkavlastingsventilen antennes kan det resultere i en jetflamme på mellom 5 og 50 meter [8], avhengig av lekkasjeraten, noe som vil begrense rømningsveier og omslutte omliggende utstyr slik at de blir belastet med varme.

Når gassen lekker fra en kilde med høyt trykk, vil gassen brenne litt over lekkasjepunktet. Dette fenomenet kalles "lift-off", og skjer fordi gassen ikke vil brenne før strømningshastigheten på utslippet er redusert slik at den ikke er høyere enn turbulent forbrenningshastighet.

Hvis lekkasjehullet er veldig lite og trykket er høyt vil gasstrømmen være så turbulent at flammen ikke antennes før nedre brennbarhetsgrense er nådd. Dette fenomenet kalles "blow-off". [8]

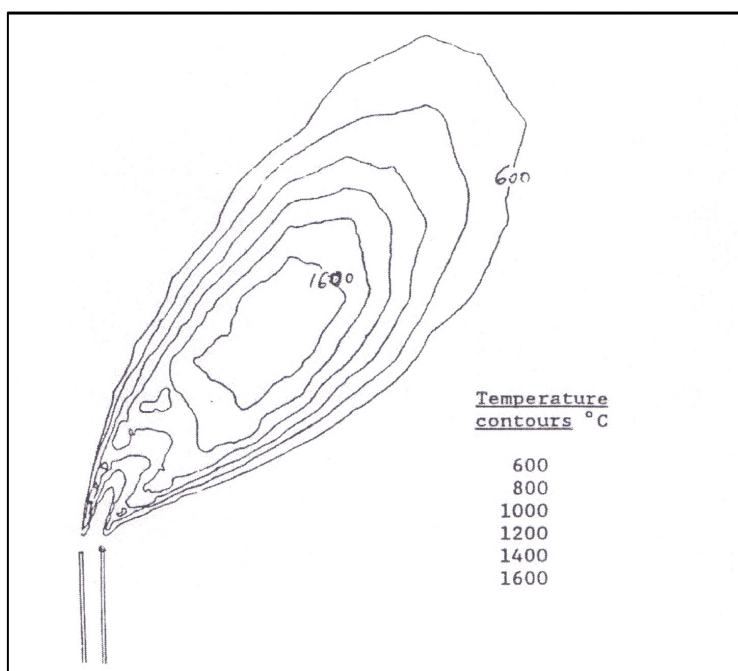
Figur 2.2-2 viser to jettbranner. Den første figuren fra venstre illustrerer en jetflamme med lift-off. Den andre figuren fra venstre illustrerer fenomenet blow-off.



Figur 2.2-2, "Lift-off" og "Blow-off"

Ved en jetflamme er den høye utslippsraten fordelt over et lite lekkasjeareal slik at gassen strømmer med høy hastighet og flammen har form som en lang kjegle. Lengden og formen på flammen vil avhenge av hastigheten og retningen til utslippet, vindforhold og nærliggende utstyr. Hvis en lekkasje i et horisontalt lekkasjepunkt antennes, vil gassens utgangsretning styre flammen i horisontal retning. Etter hvert som flammen trekker inn luft og strømningshastighetene reduseres, vil oppdriftskreftene løfte tuppen på flammen. I tillegg vil vindforhold dreie flammen i sin retning.

Den hurtige blandingen av luft og gass vil føre til en ekstremt effektiv forbrenning som gir høye temperaturer. Som en ser på Figur 2.2-3, oppnår en jetflamme sin toppetemperatur på 1600 grader celsius ved kjernen, og blir kaldere når en nærmer seg omliggende luft.



Figur 2.2-3, Flammentemperatur i en jetflamme [8]

Ved å måle strålefluksen fra jetflammer er det mulig å måle den effektive flammentemperaturen. I 1997 gjorde SINTEF, Norwegian Fire Research Laboratory en studie hvor dette ble gjort. I Tabell 2.2-2 ser man resultatet fra et utvalg hydrokarboner.

Tabell 2.2-2, Flammentemperatur i en jetflamme basert på strålefluksmålinger [8]

Hydrokarboner	Effektiv flammentemperatur, kalkulert fra termisk stråling
Metan	1,016
Etan	1,317
Ethylen	1,449
Propan	1,288
Isobutan	1,281
Butan	1,339
Propylen	1,217

En jetflamme gir fra seg mye strålevarme, men når en jetflamme er i fysisk kontakt med en gjenstand, vil de konvektive kreftene være ekstremt kraftige og av og til mye kraftigere enn den varmen som blir tilført av varmestråling. Dette blir tydeligere ettersom hastigheten på utslippet øker.

#### 2.2.4 Pølbrann

En pølbrann i det fri kan være forårsaket av et utslipp av hydrokarboner i væskeform. Det skilles mellom en kortvarig lekkasje og en vedvarende lekkasje. Når en kortvarig lekkasje antennes, vil den brenne opp etter en kort tid. Hvis en

kontinuerlig lekkasje antennes, vil diameteren til pølen reduseres eller vokse avhengig av tid til antennelse, til utslippsraten er lik avdampingsraten til brannen. Væskediameteren er i likevekt og en kan finne den dimensjonerende størrelsen på brannen. I slike tilfeller vil brannvarigheten bestemmes av aktive barrierer eller mengden på tilgjengelig brennstoff.

Flammeformen til en pølbrann vil være avhengig av diameter på pøl, vindforhold og omliggende utstyr. Det finnes gode modeller for beregning av flammehøyde, men grovestimat er at en kan doble diameteren til pølen for å finne flammehøyden. Omliggende vegger eller gjenstander vil påvirke flammeform og flammehøyde. Hvis en flamme ligger inntil en vegg vil den ikke få tilførsel av luft fra denne siden. Brennbare avgasser må dermed stige høyere for å få tilgang på luft og flammehøyden vil bli høyere. Ellers vil vindforhold påvirke flammeformen ved at brennbare avgasser vil følge vindens retning og skape en vinkel på flammen. Dette vil igjen resultere i en lavere brannenergi, på grunn av at en lavere andel av varmestråling fra flammen vil bidra til oppvarming av hydrokarbonene. Dette medfører redusert avdamping av brennbare gasser.

Hvis en pølbrann oppstår inne i et lukket område er det flere faktorer som vil påvirke brannscenariets utvikling. Oppvarming av omliggende vegger og utstyr samt røyklaget, vil bidra til oppvarming av pølen som igjen bidrar til økt avdamping av brensel og økt brannenergi. I tillegg kan omliggende, brennbart materiale antenne og bidra til brannutviklingen. Tilgangen på luft vil være en begrensende faktor i en slik situasjon. Brannen er derfor luftkontrollert. Når brannen har fri tilgang på luft, er brannen brenselkontrollert.

## **2.3 Simuleringsverktøy**

Hvis en skal beregne realistisk varmespredning, gassdistribusjon eller lignende, må en ta hensyn til mange variabler ettersom forholdene forandrer seg kontinuerlig. Store regnestykker med mange variabler kan beregnes ved hjelp av avanserte simuleringsverktøy. En har da mulighet til å legge inn spesifikk informasjon om et gitt case som: strukturgeometri, data om materialer, hydrokarboner, ventilasjon og mer. Volumet vil så bli delt opp i et grid av beregningsceller. Antall beregningsceller varierer, avhengig av hvilken detaljgrad som ønskes.

I de neste delkapitlene følger en kort beskrivelse av simuleringsverktøy som ofte blir brukt for å simulere brannscenario og strukturrespons.

### **2.3.1 Kamelon FireEx KFX<sup>®</sup>**

Kamelon FireEx KFX er en avansert simulator som beregner blant annet gasspredning, brannsimuleringer og annen turbulent flyt av fluider over

avansert geometri. Store anerkjente olje og gass-selskap har vært partnere i utviklingen og bruker teknologien til KFX Kamelon i design og drift.

Detaljerte 3- dimensjonale CAD-modeller importeres i modellen og deles inn i et grid hvor numeriske beregninger utføres for hvert delvolum. Metoden gir en svært korrekt gjengivelse av faktorer i et brannforløp, som :

- Tidsutvikling
- Brannutvikling/spredning
- Eksponering av konstruksjoner
- Varmeflukser og temperaturer
- Stråling
- Sikt i rømningsveier
- Konsentrasjoner av giftige gasser
- Effekt av ventilasjon
- Effekt av brannreducerende tiltak som sprinkler, deluge, vanntåke, vanngardiner, og lignende)

Analysen som kan utføres i KFX vil typisk være:

- Simulering av forskjellige branner som; pølbranner, jettbranner, spray branner. Disse brannene vil settes inn i tilhørende omgivelser avhengig av om de er i geometrisk komplekse, åpne, avgrensede områder.
- Integritetstesting av strukturer og utstyr
- Kalkulasjon av størrelse på gassky
- Evaluering av evakueringsruter
- Med mer

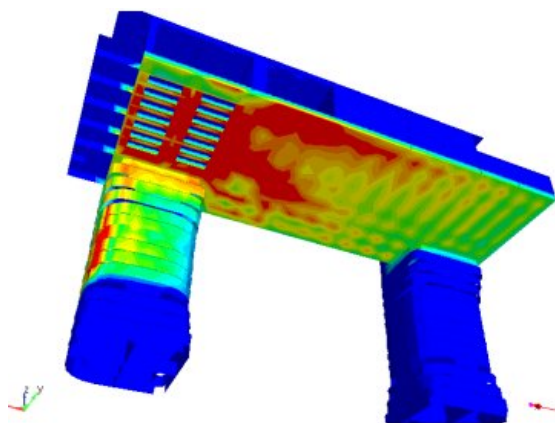
KFX utvikles og selges av ComputIT som befinner seg i Trondheim og Stavanger.

### **2.3.2 FAHTS – Fire And Heat Transfer Simulations**

FAHTS er et programvare som kan brukes direkte i KFX Kamelons grensesnitt, og beregner temperaturdata som kan brukes videre i struktur-responsanalyser. FAHTS er verifisert med laboratoriumstester

Programvaren benyttes for å:

- Optimalisere dimensjonering av passiv brannbeskyttelse
- Simulering av trykkforhold i rør og lagringstanker
- Evaluering av effekten fra delugeanlegg
- Sammen med programvaren USFOS, estimeres strukturell integritet



Figur 2.3-1, Illustrasjon viser hvordan temperaturen er fordelt til en gitt tid i et gitt brannforløp.  
Analysen er utført i FAHTS [9]

Figur 2.3-1 viser hvordan temperaturen er fordelt utover strukturen etter å ha blitt eksponert fra et brannforløp, tidligere simulert i KFX Kamelon. Fargekodene representerer forskjellige temperaturer.

### 2.3.3 USFOS – ikke lineær statisk og dynamisk analyse av strukturer i rommet.

USFOS er en ledende programvare som utfører ikke-lineær statisk og dynamisk analyse av strukturer. USFOS brukes over hele verden av oljefirma og rådgivende ingeniører for å vurdere integritet, muligheten for struktur kollaps under belastning av brannkrefter. Simuleringen følger hele prosessen, fra varmebelastningens start til strukturen kolliderer. Programmet bidrar til kostnadseffektivitet i form av redusert over/underdimensjonering av brannbeskyttelse. Programmet er brukervennlig og krever ikke detaljert kunnskap om ikke-lineære analyser. [10]

### **3 PROBABILISTISK BRANNANALYSE (PBA)**

Når en skal utføre brannanalyse ved hjelp av probabilistisk metode, tas spesifikke data for en gitt modul i bruk for å identifisere lekkasjefrekvenser, antennessannsynligheter, potensielle brannscenario, mengde og type brennbart materiale. Funnene vurderes og analyseres for å vurdere konsekvensene av de potensielle brannscenarioene med tilhørende sannsynlighet. Ved å definere et akseptkriterium for årlig brannfrekvens, kan en vurdere hvilken brannenergi som representerer brann-DUL (Design ulykkeslast) Resultatene vil gi grunnlag for dimensjonering av passiv og aktiv brannbeskyttelse, samt gi en sannsynlighet for eskaleringspotensialet til modulen.

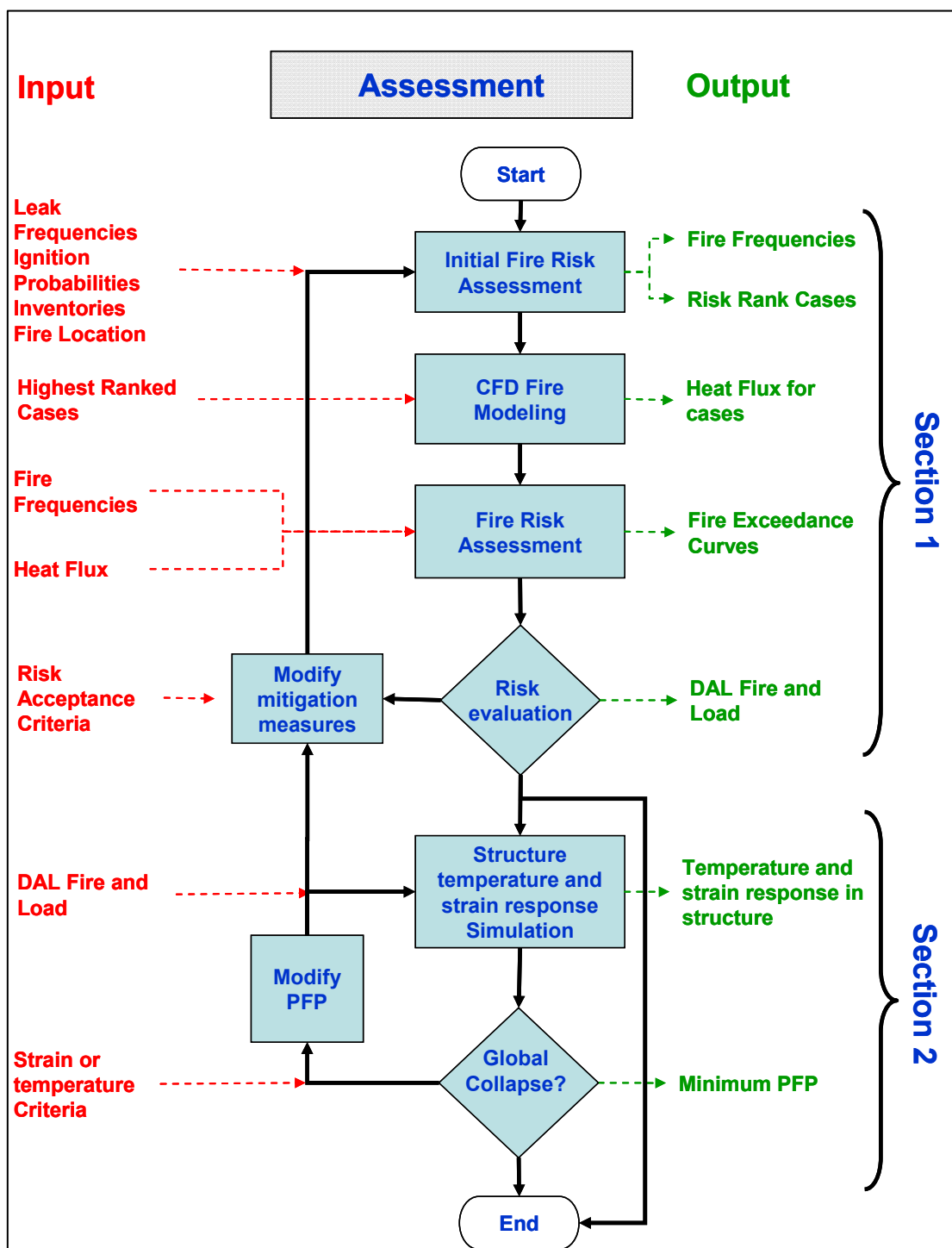
En veiledende metode for gjennomføring av probabilistisk brannanalyse er under utvikling og vil publiseres i NORSOK Z013. I forkant av lanseringen skal to uoffisielle metoder studeres. En av metodene er svært detaljert og er beskrevet i "FABIG technical note 11". I delkapittel 3.1 er et sammendrag beskrevet av denne metoden. En alternativ metode med en lavere detaljgrad beskrives i delkapittel 3.2.

#### **3.1 Probabilistisk brannanalyse, FABIG – Metode 1**

Teksten under er basert på Vedlegg A i FABIG Technical Note 11, [11], heretter kalt; Metode 1.

##### **3.1.1 Introduksjon**

Den probabilistiske vurderingen for estimering av brannlaster og strukturell respons er delt inn i to hovedseksjoner som illustrert i Figur 3.1-1:



Figur 3.1-1, Flytdiagram av metode for å finne probabilistisk brannlast [11]

Metoden kan deles opp i 13 punkt som er listet opp under, etterfulgt av en mer detaljert forklaring.



### *Innledende brann-risikoanalyse*

1. Estimer lekkasjefrekvenser, antennessannsynlighet, mengden hydrokarboner i alle segment.
2. Presenter brannfrekvenser
3. Risikoranger identifiserte case

### *CFD-modellering*

4. Dokumenter lekkasjerate, brannplassering, jettretning, vindforhold og numerisk grid etc.
5. Definer input slik at simuleringer tar hensyn til; effekt av feedback fra modulen i form av stråling og konvektiv varme, effekt av vinkel og plassering av utstyr, transiente effekter. Simuleringen skal være så realistisk som mulig.
6. Presenter resultater fra simuleringer hvor netto-, stråle- og konvektiv-fluks presenteres over tid. Total varmedose skal også presenteres.
7. Presenter maksimal varmedose i modulen, med tilhørende sannsynlighet for at strukturen i de forskjellige områdene eksponeres for varme.

### *Brann-risikoanalyse*

8. Alle case som ble identifisert i den innledende brannanalysen samt sub-cases vurderes i brannrisikoanalysen hvor det tas hensyn til effektene av ESD, trykkavlastning, olje og gassbranner, feedback fra stål og eksisterende PBB, omslutningssannsynlighet og ventilasjonsforhold.
9. Vurdere tid til aktivering og fullføring av; ESD og trykkavlastning. Stressteste disse for å studere effektiviteten av tiltakene.
10. Gass og oljebranner behandles separat slik at bidraget til den totale varmelasten spesifiseres. Forebyggende og konsekvensreducerende tiltak vil være forskjellige for de to branntypene.
11. Hovedresultatet av analysen er et frekvens/varmedose-plot som baserer seg på kombinasjon av konsekvenser, sannsynligheter og frekvenser. Varmedosen er gjengitt fra en spotverdi, i  $\text{MJ m}^{-2}$ , på x-aksen og kumulativ frekvens på y-aksen.
12. DUL finnes fra frekvens/varmedose-plottet ved å ha definert et akseptkriterium for kumulativ brannfrekvens. DUL er varmemengden ved den gitte frekvensen. Alle hendelser med lavere varmemengde vil da bli dimensjonert for. Hendelser med høyere varmemengde dimensjoneres ikke for siden sannsynligheten for at en så stor hendelse vil inntreffe er for lav.

## **Valg av brannlast**

Seksjon 1 Figur 3.1-1, beskriver hvordan en går fram for å etablere dimensjonerende ulykkeslast (DUL) for brann, basert på brannrisikoanalyse i henhold til Metode 1.

Først utføres en innledende brannanalyse med grunnlag i lekkasjefrekvenser, antennessannsynligheter og innhold av brennbare stoffer. De identifiserte, potensielle brannscenario rangeres etter risikopotensial, basert på kombinasjonen av konsekvens og sannsynlighet for at hendelsen inntreffer. Konsekvensen beskrives i form av brannlast som er beregnet for hvert case ved hjelp av CFD modeller. Det er de brannscenario som utpeker seg som kritiske som skal studeres nærmere. Ideelt sett ville alle potensielle brannscenario simuleres, men dette er ikke hensiktsmessig på grunn av, for stort arbeidsomfang.

Data vil bli prosessert og presentert i et plott hvor en får oversikt over brannlast med tilhørende årlig frekvens. Akseptkriterium blir så definert for å avgjøre DUL for brannlast.

### **3.1.2 Innledende risikovurdering og generell QRA**

Det skal dannes en oversikt over hvilke brannscenario med tilhørende risiko, som kan forekomme i området som skal studeres. Brannscenarioene risikorangeres og de høyest vurderte studeres videre. Vurderingen foretas ved å systematisk se på lekkasjefrekvenser, antennessannsynligheter, hydrokarbonenes egenskaper og branntyper. Hvis det tidlig i et studie identifiseres at det kan være hensiktsmessig å implementere sikkerhetstiltak, brukes disse videre i studiet.

### **Lekkasjefrekvenser og antennessannsynligheter**

Lekkasjefrekvenser og antennessannsynligheter er ofte beregnet i QRA, i henhold til metoder beskrevet i NORSOK Z-013 [1] og FABIG technical note 8 [12]. Innhold av brannfarlige stoffer er beskrevet som massen av hydrokarboner i hvert av segmentene. For å finne massen er det normal prosedyre å beregne volumet i prosessutstyr mellom ESD ventilene og multiplisere med tettheten til hydrokarbonet ved operasjonstrykk.

### **Lekkasjerate**

Det brukes ofte samme inndeling av lekkasjerate som ble brukt i QRA analysen. Dette er også avhengig av hvilken konsekvensanalyse som skal utføres. Skal en se på CFD modellering brukes en litt mer detaljert inndeling. Hvis mer detaljert informasjon ønskes, som i eksplosjonsberegninger eller for enkelte

brannområder, kan detaljnivået økes ytterligere. For hver av jettbrannene som simuleres, bør en bruke hver av lekkasjeratene som presenteres i tabellen under.

**Tabell 3.1-1, Typisk lekkasjerate for brannanalyse og QRA [11]**

QRA		Small			Medium			Large						
	range		0.1-2			2-16			16 - >					
value (kg s <sup>-1</sup> )		0.5			5			50						
CFD Coarse	range	0.1-1		1-2	2-8		8-16	16 - 32	32-64	64-256			256 ->	
	value (kg s <sup>-1</sup> )	0.5		1.25	5		10	25	50	100			500	
CFD Fine	range	0.1-0.5	0.5-1	1-2	2-4	4-8	8-16	16-32	32-64	64-128	128-256	256-512	512-1024	1024-2048
	value (kg s <sup>-1</sup> )	0.3	0.75	1.5	3	6	12	24	48	96	192	384	768	1536

I små prosessområder kan det oppstå en ventilasjonskontrollert brann. Det er da redusert tilgang på oksygen og gasskonsentrasjonen blir høyere enn nedre brennbarhetsgrense som resulterer i en ufullstendig brann. Det vil oppstå en diffusjonsflamme på utsiden av en modulen når den mettede gassblandingen kommer i kontakt med oksygen. I noen situasjoner vil dette være unødvendig informasjon og en øvre lekkasjerate vil begrense brannen til å foregå inne i modulen. En unngår på denne måten unødvendige brannsimuleringer.

### Risikorangering av casene

Når alle case er definert, rangeres casene etter høyest risiko. Høyest kombinasjon av brannfrekvens og innhold av farlig materiell, gir høy risiko. Disse case går så igjennom en konsekvensanalyse.

Når lekkasjeraten beskrives i kg s<sup>-1</sup> vil størrelse på hull og trykk spille en viktig rolle. Men kg s<sup>-1</sup> blir fellesbetegnelsen som beskriver konsekvensen av en lekkasje i det området. Stort hull med lavt trykk kan gi samme lekkasjerate som lite hull med stort trykk.

### 3.1.3 Brannmodellering med bruk av CFD

CFD modellering brukes etter en har vært igjennom den innledende analysen. Resultatene er input til den probabilistiske analysen.

### Valg av brannscenario til CFD modelleringen.

I fra den innledende risikovurderingen har en kommet fram til en samling brannlokasjoner som er mer uønsket enn andre. Det er kanskje brannscenario for et eller flere segment som skiller seg spesielt ut ved å ha høyt risikopotensial. Det kan også hende at en må vurdere mange brannscenario i samme segment.

Enhver brannplassering skal vurderes med mange variasjoner av parameterne. Lekkasjerate, lekkasjelokasjon, jetretning, jetmoment og vindforhold skal vurderes i mange variasjoner.

De brannscenario som benyttes i den kvantitative risikoanalysen, kan brukes så langt det er mulig. Et brannscenario er knyttet til et sub-segment av et segment. Et segment kan bevege seg over flere områder og deles derfor opp i sub-segment. Et område skiller av fysiske hindringer som brannvegger eller utgang til det fri. Å holde oversikten over områdene, segmentene og sub-segmentene kan medføre store mengder informasjon, det bør derfor etableres et system som identifiserer alle områdene med tilhørende segmenter og sub-segmenter.

### **Brannplassering**

Antall brannplasseringer varierer med størrelsen på området som skal vurderes. For et gjennomsnittlig prosessområde skal 2-3 brannscenario analyseres. Typisk bør det velges en plassering i midten og i hver av kantene på modulen. Det bør i tillegg plasseres en brann i de områdene som inneholder rør og utstyr.

### **Jetretning**

Det bør simuleres jetbranner som er både lange, horisontale men fortsatt innenfor området som vurderes. Det bør også simuleres jetbranner som kommer i kontakt med rør og utstyr og de plasseres gjerne slik at de treffer direkte på en vegg, tak, gulv eller utstyr.

### **Vindforhold**

Vindforhold har mindre betydning enn andre parametere som jetmoment og oppdrift, men burde bli rettet slik at brannen vil bli ledet inn mot prosessområdet. Hvis røykspredning skal studeres spiller vindretning en større rolle og det kan være hensiktsmessig å bruke vindrose for å få med sannsynlighetene for de forskjellige retningene i vurderingen.

### **Hvordan resultatene fra en CFD analyse benyttes**

Resultater fra analysen brukes direkte i den probabilistiske og den strukturelle analysen. Fra analysen får en ut detaljert informasjon om blant annet brannens varmelaster.

### **Varmelaster**

CFD gir ut 3-D bilder av varmespredning i modulene. En kan også få ut målinger av blant annet konvektiv varme, stråling og total varmekraft mottatt ved en gitt tid og sted. Varmedose [ $Mm^{-2}$ ] er den totale varmen som er mottatt til en gitt tid etter brannen har startet. Den er definert som integralet av netto varmekraft

over tid. Når en definerer målepunkter for varmefluks i en simulering kan det være lurt å tenke på plassering og vinkelen til målepunktet. Ved å vurdere dette vil en finne den verste kombinasjonen som vil representere det verste tenkelige utfallet av varmebelastning på målepunktet.

### **Effekten av feedback fra omliggende struktur**

Når stålet rundt en brann varmes opp vil det etter en stund bidra med varme. Dette er noe som må være med i den probabilistiske analysen og er spesielt viktig i situasjoner hvor brannen er langvarig. Mengden PBB som brukes vil også påvirke feedbacken fra stålet. Effekten av feedback bør bli inkludert og dokumentert.

### **Finne maksimal dose**

Varmen blir gitt over et 3-dimensjonalt grid av det området som modelleres. For hver av beregningscellene integreres varmefluksen over tid for å gi varmedose. Det området som gir høyest verdi representerer maksimal varmedose.

Hvis volumet er delt inn i veldig små gridvolumer, vil verdiene representere veldig små områder som ikke nødvendigvis vil være en representative hver for seg. Det kan da være hensiktsmessig å sette en minimumsgrense for gridvolumet for å unngå fokus på små områder med ekstrem belastning i forhold til nærliggende områder.

#### **3.1.4 Brannrisikoanalyse**

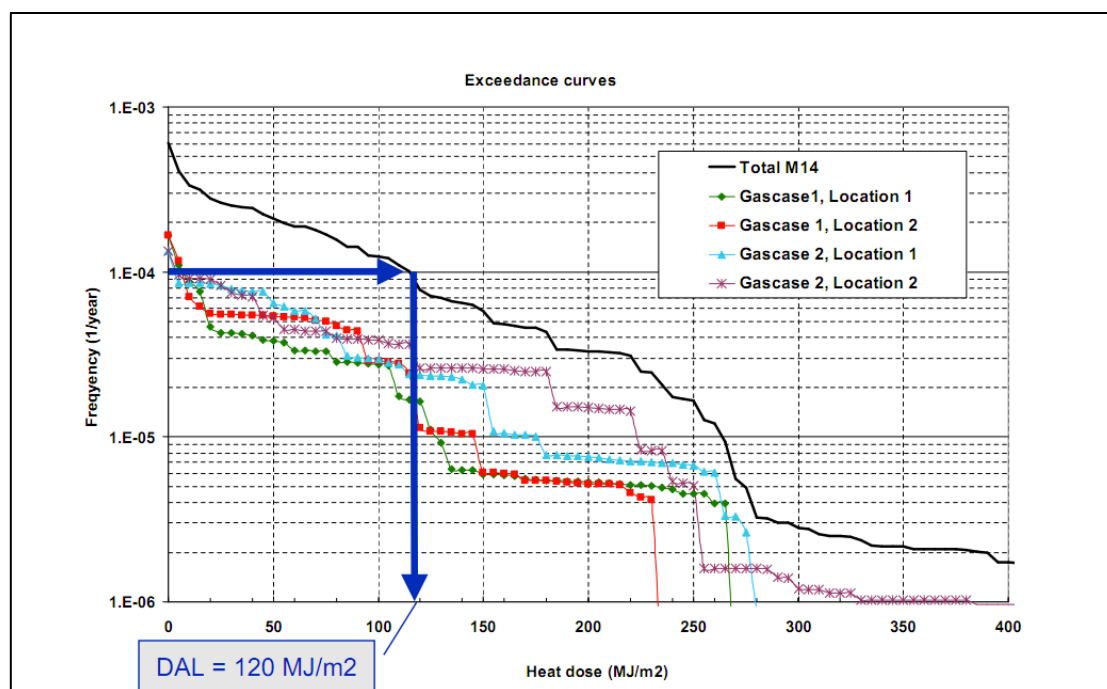
En brannrisikoanalyse utføres ved at resultatene fra CFD modelleringen settes sammen med korresponderende sannsynligheter for jettretning, vind og andre variabler.

CFD analysen produserer et representativt sett av deterministiske case. Scenarioene som blir brukt er valgt ut ifra den innledende brannrisikoanalysen og representerer et sub-sett av alle scenario og blir analysert og kombinert for å representere alle scenario. Effekten av ESD og trykkavlastning inkluderes i lekkasjeprofilkalkulasjonene. Det bør også tas hensyn til den faktiske tiden til deteksjon og tid for å stenge ESD ventiler og for å initiere trykkavlastning.

### **Varmedose/ brannfrekvens-plott**

Når varmedose mot brannfrekvens plottes, kombineres konsekvenser i form av varmelaster mot brannfrekvenser for å avgjøre brannrisikoen. Plottet er hovedresultatet av den probabilistiske brannanalysen. Verdien som brukes er varmedose [ $M m^{-2}$ ] mottatt ved et dimensjonerende punkt. Når brannlasten er beregnet rangeres brannscenarioene fra lavest varmedose til høyest, med tilhørende brannfrekvens. Ved at brannfluksen kombineres med gjeldende tid for utslippet, tas det hensyn til alle lekkasjerater og varigheter. Listen over

varmedose fra de forskjellige brannscenario tar derfor hensyn til at langvarige branner med lav fluks og kortvarige branner med høyere fluks kan ha samme varmedose. Det blir så dannet en kumulativ frekvens som plottes mot brannlasten i et varmedose/ brannfrekvens-plott. Alle brannscenario med en varmedose lavere enn DUL brannen, som vises i x-aksen, vil bli dimensjonert for. Ingen av brannscenarioene som har en høyere varmedose enn DUL brannen vil bli dimensjonert for, dette på grunn av at hendelsesfrekvensen er lavere enn det definerte akseptkriterium. I grafen under ser man et eksempel fra en presentasjon om probabilistisk brannanalyse av Asmund Huser. Figuren viser hvordan varmedose/ brannfrekvens-plott brukes for å identifisere dimensjonerende brannlast. I dette tilfellet ble den dimensjonerende ulykkeslasten, her DAL for Design Accidental Load,  $120 \text{ MJ m}^{-2}$ . Alle brannlaster høyere enn  $120 \text{ MJ m}^{-2}$  vil inntreffe sjeldnere enn  $10^{-4}$  ganger i året og vil derfor ikke dimensjoneres for.



Graf 1.1-1, Varmedose/ brannfrekvensplott, eksempel [13]

## Risikoevaluering

Når resultatene fra brannrisikoanalysen er presentert må de evalueres og det må tas en avgjørelse om risikonivået er tilfredsstillende. I denne fasen vil det vurderes om det er nødvendig å implementere tiltak for å redusere brannrisikoen, eller om forholdene er tilfredsstillende.

### 3.1.5 Strukturell responsanalyse

DUL brannen fra den probabilistiske brannanalysen brukes videre for å vurdere strukturen og utstyrets respons på den varmemengde som brannen vil avgi.

Software som KFX, FATHS og USFOS benyttes for å vurdere henholdsvis brann, oppvarming av struktur og responsanalyser. Den probabilistiske analysen brukes for å vurdere hvilke brannscenario som representerer DUL brannen.

Flammene plasseres ved den mest utsatte området med hensyn på utstyr og struktur. Dette er steder hvor omslutningssannsynligheten er høy, og faren for trykkøkning i prosessutstyr er stor. Et område med høy sannsynlighet for omslutning vil derfor være bra for å vurdere potensiell konsekvens i et område en ikke ønsker for stor varmebelastning. Hvis en da observerer struktursvikt eller brudd, kan det tidlig konkluderes med at det er behov for passiv brannbeskyttelse. Disse brannene settes inn forskjellige steder i området som simuleres. Passiv brannbeskyttelse implementeres de steder det er behov, slik at strukturen ikke taper sin bæreevne.

Det er også mulig å vurdere strukturen mot temperatur. En kan, konservativt, vurdere at stålet vil miste 50% av sin bæreevne ved 500 grader celsius, som vil medføre strukturskade.

### **3.2 Probabilistisk Brann Analyse, Safetec-metode - Metode 2**

Teksten under er et utdrag fra Safetec Nordic sin metode for gjennomføring av Probabilistisk brannanalyse, heretter kalt: Metode 2.

Det er utviklet en forenklet metode for probabilistisk brannanalyse, basert på FABIGTechnicalNote11 – Fire load on structures.

Metoden følger 10 steg:

1. Lekkasjefrekvenser per segment beregnes.
2. Varigheten på lekkasjer beregnes basert på volum av rør og størrelse på lekkasje.
3. Brannfrekvenser er beregnet basert på lekkasjefrekvenser og antennelsessannsynligheter. For å finne antennelsessannsynligheter brukes SERA, som benytter TDIIM modellen, eller generiske antennelsessannsynligheter.
4. Brannfrekvenser mot varighetskurver blir beregnet for følgende:
  - a. Gassbranner
  - b. Oljebranner
  - c. Total (gass og oljebranner)

I tillegg er olje og gassbranner beregnet for små, medium og store branner.

5. For å medregne sannsynligheten for at utstyr blir eksponert for brann med hensyn på de forskjellige brannstørrelsene, blir sannsynligheten for eksponering av utstyr, omslutningssannsynlighet, multiplisert med brannfrekvensen. Omslutningssannsynlighet kan være:

Tabell 3.2-1, Omslutningssannsynlighet

<b>Sannsynligheten for at brann kommer i kontakt med utsyr</b>	
Stor brann	0,9
Middels brann	0,5
Liten brann	0,1

Denne vurderingen kan bli gjort ut ifra en individuell vurdering, hvor det blir tatt hensyn til geometri og plassering av brann samt utstyr. Eller man kan utføre detaljerte simuleringer. Som et konservativt tiltak kan en for alle medium og store brannstørrelser anta en omslutningssannsynlighet på 1,0, og for små branner, en omslutningssannsynlighet på 0,5

6. En total "branneksponeringsfrekvens mot varighet" kurve blir beregnet for gassbranner og oljebranner.
7. Basert på kurven som er beskrevet i punkt 6, kan de dimensjonerende brannvarighetene for olje- og gassbranner beregnes. De normative NORSOK lastene (250/350 kW/m<sup>2</sup> for gassbranner og 150 kW/m<sup>2</sup> for oljebranner) kan brukes, eventuelt kan detaljerte CFD simuleringer benyttes for å vurdere brannbelastning.
8. De identifiserte dimensjonerende brannvarighetene kan brukes som terskelverdier i en rørbruddanalyse for å identifisere hvilke rør/segmenter som har behov for PBB for å beholde integritet ut brannforløpet. Sannsynligheten for at brannen eskalerer vil da holde seg under 10<sup>-4</sup>.
9. Segmenter med høyt trykk, eller segmenter med stort innhold av hydrokarboner bør behandles separat siden eskalering til et slikt segment vil medføre stor risiko. Selv når den dimensjonerende brannvarigheten er akseptert med hensyn på den strukturelle integriteten, skal slike segment behandles separat.
10. Beskyttelse av rørstøtte, tankstøtte og andre kritiske strukturelle elementer blir studert separat.

### 3.2.1 Generell QRA

#### Lekkasjefrekvenser

Lekkasjefrekvenser beregnes ved hjelp av generiske data for lekkasjer på utstyr, for eksempel fra HSE, kombinert med utstyrsdata samt mengden utstyr i segmentene. Det er da antatt at utstyret holder en normal standard og at vedlikehold er utført i henhold til regelverk. Med denne antakelsen i bakhånd kan også generiske lekkasjefrekvenser benyttes. I henhold til modellen, presenteres det lekkasjefrekvenser for gass- og flytende utslipp som igjen deles opp i forhold til lekkasjeratene; neglisjerbar, liten, medium og stor hvor



lekkasjene er innenfor intervallene henholdsvis: <0,05kg/s, 0,05 – 1kg/s, 1-10 kg/s og >10 kg/s.

### Lekkasjevarighet

Lekkasjevarighet beregnes for hvert av segmentene. Beregningene baseres på: volumet på innsiden av rørene i segmentet, hvilke stoffer segmentet inneholder, tettheten til stoffet ved operasjonstrykk og temperatur samt lekkasjeraten. Lekkasjetid er beregnet til lekkasjeraten er redusert til under 0,05 kg s<sup>-1</sup>.

### Antennessanssynlighet

Antennessanssynligheten er delt inn i sannsynlighet for øyeblikkelig antennelse og for forsinket antennelse. Sannsynligheten for øyeblikkelig antennelse presenteres i liten, medium og stor lekkasjerate. Det samme gjelder for forsinket antennelse, i tillegg deles sannsynligheten opp i underkategorier for antennelse avhengig av om lekkasjen er detektert eller ikke. I henhold til metode 2, beregnes antennessanssynligheter ved hjelp av DNV og Scandpowers retningslinjer for bruk av JIP-antennelsesmodell [14], eller Scandpowers OLF tenmodell [15]. Generiske sannsynligheter for umiddelbar antennelse benyttes i henhold til JIP- og OLF-tenmodell og presenteres i Tabell 3.2-2.

Tabell 3.2-2, Antennessanssynlighet, umiddelbar antennelse [14] [15]

Tennmodell	Sannsynlighet for umiddelbar antennelse		
	Liten lekkasje	Medium lekkasje	Stor lekkasje
JIP	0,01%	0,10%	1,00%
OLF	0,005%	0,10%	1,00%

I DNV og Scandpowers veiledning for bruk av JIP antennelsesmodell [14], forklares forbindelsen mellom lekkasjerate og umiddelbar antennessanssynlighet, ved at en lekkasje forårsakes oftest av:

- Rørbrudd (energien fra gnister eller høy temperatur som genereres på grunn av bruddet)
- Varme arbeider
- Elektriske gnister
- Andre årsaker (f.eks overheting av maskineri, fallende objekter eller lignende)

Rørbrudd skjer ofte i forbindelse med høyt trykk og vil føre til store utslippsrater. På grunn av energien som frigis ved et stort rørbrudd, er det antatt at økt lekkasjerate vil ha høyere antennessanssynlighet.

Antennessanssynlighetene for forsinket antennelse kan beregnes basert på TDIIM-metoden (Time Dependent Internal Ignition Modelling). Metoden tar

hensyn til hvilket utstyr som er i modulen og hvor stor andel av tiden utstyret er i drift, for å vurdere bidrag til antennessannsynligheten. Eventuelt benyttes OLF modellen for å finne tennsannsynligheter. Både OLF metoden og TDIIM JIP-metoden tar hensyn til gassdistribusjon over forskjellige tidsintervall med hensyn på hvor stor andel av den antenkelige gass-luft blandingen som eksponeres for potensielle tennekilder.

### **3.2.2 Brannanalyse**

#### **Branneksponeringsfrekvens**

Brannfrekvenser blir beregnet basert på lekkasjefrekvenser og antennessfrekvenser. Sannsynligheten for at utstyr blir eksponert av brannen legges til for så å beregne en branneksponeringsfrekvens over tid. Resultatet gir utgangspunktet for å identifisere dimensjonerende brannvarigheter. Sannsynligheten for at utstyr eksponeres av brann, omslutningssannsynlighet, fastsettes på grunnlag av mange varierende faktorer, som:

- Massefluks
- Geometri
- Plassering av utstyr
- Vindforhold
- Flammeplassing
- Flammeretning
- Forhold mellom brensel og lufttilgang

Metode 2 foreslår at en kan vurdere omslutningssannsynligheten detaljert ved hjelp av simuleringsverktøy eller at det antas en konservativ omslutningssannsynlighet på 0,5 og 1,0 for henholdsvis små- og middels/store branner.

#### **DUL (Design ulykkeslast)**

Den dimensjonerende ulykkeslasten fastsettes ved at det plottes kurver for årlig brannfrekvens mot brannvarighet. Det tas så utgangspunkt i akseptkriteriet som tilsier at en dimensjonerende ulykkeslast inntreffer med en årlig frekvens på  $10^{-4}$ . Når dimensjonerende brannvarighet er fastsatt i henhold til dette akseptkriteriet, foreslår modellen to metoder for å finne dimensjonerende varmelast fra brannen. Den ene metoden bruker CFD-modeller for å beregne dimensjonerende varmelast. Det andre alternativet er å bruke de normative varmelastene som er beskrevet i NORSOK. [6]

Vanlig praksis når brannbelastningen beregnes ved hjelp av CFD i henhold til metode 2, er å definere brannscenario for å nå definerte målsetninger med analysen. Ethvert brannscenario defineres for å gi informasjon om lekkasjepunktets høyest potensielle konsekvens. Lekkasjepunkt og retning

plasseres gjerne i områder som vil gi en høy omslutningssannsynlighet av sårbart utstyr eller struktur. Ethvert brannscenario vil ha en gitt varighet som er beregnet med hensyn på segmentstørrelse og lekkasjerate. Denne varigheten tas ikke direkte hensyn til under CFD modelleringen. Brannscenarioene simuleres med en fast lekkasjerate, ikke en avtagende som ved et reelt tilfelle. Når forholdene er stabile med den gitte lekkasjeraten stanses simuleringen. Det er mulig å overvåke for eksempel inn-/ut strømming av gasser og stabilitet av termisk strålingskoeffisient, for å avgjøre om forholdene i modellen har stabilisert seg og om en vil få realistiske resultater fra det definerte scenariet.

### **3.3 Sammenligning av metodene**

#### **3.3.1 Mål med analysene.**

For å kunne bestemme hvilken framgangsmåte og hvilken detaljgrad for resultater som ønskes fra analysen, må analysens mål være definert. Det er først når en har definerte målsetninger en vil kunne bestemme hva som må studeres og hvilken framgangsmåte som må benyttes for å nå målsettingene. Hvis en behøver et grunnlag for dimensjonering av passiv brannbeskyttelse, kreves en detaljert probabilistisk vurdering for å effektivisere bruken av materiell. Hvis målet med brannanalysen er å finne eskaleringssannsynligheter eller redusert kapasitet av rømningsveier kreves en kombinert kvalitativ og kvantitativ analyse. Det kan det være hensiktsmessig å definere målsettingen før analyseprosessen starter. På denne måten kan ønsket detaljnivå defineres og brannanalysen effektiviseres.

#### **Metode 1:**

Metode 1 har stort fokus på detaljert vurdering av dynamiske faktorer i de områdene som studeres. Når metoden benyttes vil en ende opp med resultater som kan benyttes i mange tenkelige del-analyser. De fleste ønskelige resultater som for eksempel varmebelastning, røykspredning, gasskonsentrasjoner, branneksplosjonering vil finnes og en kan på den måten innfri de fleste målsetninger for analysen.

#### **Metode 2;**

Metode 2 har en lavere detaljgrad og det vil av den grunn være desto viktigere med en spesifikk målsetting for å kunne styre analysen i riktig retning. Metoden gir allikevel valgmuligheter som styrer detaljgraden etter behov. Eksempelvis gis valg mellom å benytte normative brannlaster mot detaljvurderte CFD simuleringer. Det gis også valg mellom å bruke konservativ, forhåndsdefinert omslutningssannsynlighet mot vurdert omslutningssannsynlighet fra CFD modellering. En analyse som krever spesifikk innsikt i varmebelastning ved et gitt punkt vil kreve CFD modellering.

### 3.3.2 Generell QRA

#### Lekkasjefrekvenser

Metode 2 baserer lekkasjefrekvensene på for eksempel historisk HSE-data, mengden og type utstyr. Metode 1 baserer seg på standarder og retningslinjer som beskrevet i NORSOK Z-013 og FABIG Technical note 8. [12] [1,1] I begge metoder beregnes lekkasjefrekvenser for forskjellige lekkasjerater for mer detaljert å kunne vurdere risikonivået. Lekkasjefrekvenser skal finnes for hvert sub-segmet.

#### Antennessanssynligheter.

Metode 1 benytter JIP modellering og det samme gjør metode 2. Tennsannsynligheter kan også modelleres ved hjelp av OLF tenmodell fra 2007 [15]. TDIIM (Time Dependent Internal Ignition Model) er retningslinjer for bruken av JIP modellen [16]. Modellen tar hensyn til mengden utstyr og med tilhørende operasjonstid, når bidrag til den totale antennessanssynligheten beregnes.

#### Volumberegning og lekkasjevarighet

Mengden brennbar gass eller væske beregnes med grunnlag i segmentets interne rør- og tankvolum og hydrokarbonenes tetthet ved operasjonstrykk. Her benyttes samme metode for begge modeller. Det utføres volumberegninger for hvert segment som er involvert i analysen.

I henhold til metode 1 beregnes lekkasjevarighet ved å kalkulere trykkfall for gassen i systemet det lekker fra. Brannvarighet antas å være fra lekkasjen starter til lekkasjeraten er redusert til konsekvensen anses som tilstrekkelig liten, ved  $0,1 \text{ kg s}^{-1}$ . Tiden til ESD-ventilene stenges er antatt å være 30 sekunder og tid til trykkavlastningen starter er antatt å være 5 minutter. Effekten av trykkavlastning er at trykket reduseres til 6,9 barg innen 15 minutter, eller halve designtrykket under en normal trykkavlastning hvis systemet er designet etter retningslinjer fra API (American petroleum guidelines)

I henhold til metode 2 beregnes også lekkasjevarigheten med hensyn på lekkasjerater, prosessforhold som temperatur og trykk samt utslippsberegninger. Det tas også her hensyn til trykkavlastning og nedstengingstid. Lekkasjevarigheten beregnes til lekkasjeraten har nådd  $0,05 \text{ kg s}^{-1}$ . De dynamiske utslippsratene for gass beregnes i henhold til forhold som beskriver massefluks under begrenset flyt (choked flow). Begrenset flyt er en lekkasjetilstand som oppstår når absolutt trykkrate er rundt 0,528, avhengig av gasstype. Dette vil si at trykket på lavtrykkssiden er ca 52,8% av trykket på den siden med høyest trykk. Når lekkasjen har nådd denne tilstanden, kan ikke

hastigheten til gassmolekylene øke igjennom lekkasjehullet. Dette betyr ikke at lekkasjen har nådd sin øvre lekkasjerate for den gitte hullet. Lekkasjerate er bestemt av sammenhengen mellom partikkelhastighet, hullstørrelse, trykk og tettheten til fluiden som lekker ut. Det vil si at når partikkelhastigheten har nådd sitt toppunkt er det tettheten som kan variere ved økt trykk.

For oljeutslipp beregnes utslippsraten med hensyn på Bernoullis prinsipp som sier at en fluid sin hastighet øker samtidig som trykket reduseres eller at statisk energi reduseres. Beregningsmåten gir en dynamisk oversikt over massefluksen ettersom trykket i utslippskilden varierer.

### **3.3.3 Brannanalyse**

#### **Bestemmelse av antennespunkter og retninger**

I henhold til Metode 1, er et representativt utvalg av lekkasjehendelser identifisert i den innledende risikoanalysen. Brannscenario rangeres etter potensiell risiko med utgangspunkt i hvilke brennbare stoffer som befinner seg i området, samt sannsynligheten for lekkasje og størrelse på den potensielle lekkasjen. De brannscenario som er høyest rangert vil bli vurdert videre i analysen. For hver av lekkasjeplasseringene og jettretningene på flammen, skal det simuleres for lekkasjeratene i Tabell 3.1-1. Det bør vurderes hvorvidt det kan være hensiktsmessig å sette en grense for øvre lekkasjerate som vil føre til en brenselskontrollert flamme. Først må det avgjøres om en diffusjonsflamme ved utsiden av arealet vil medføre konsekvenser.

Antall brannplasseringer avhenger av størrelsen på prosessområdet, men typisk skal det simuleres for en lekkasje ved hver side av modulen og en i midten, i tillegg skal brannen plasseres i nærheten av rør og utsyr.

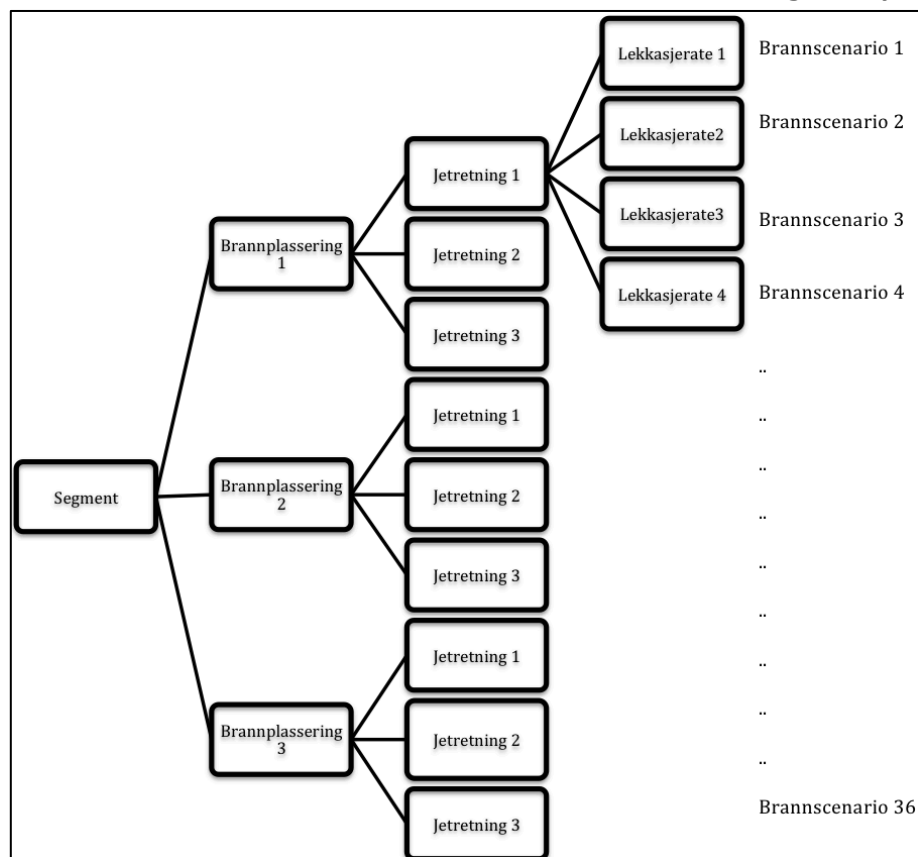
Scenario skal i henhold til metode 1 defineres slik at en får minst to lange jetflammer som dekker hele området. En jetflamme og en pølbrann bør plasseres i et område med mye utstyr som høy omslutningssannsynlighet. Flammeretninger som ikke medfører noe konsekvens trenger ikke simuleres, herav jettretninger som leder direkte til det fri.

I henhold til studier utført av Det Norske Veritas [17], konkluderes det med at vindforhold er en faktor som spiller liten rolle i forhold til lekkasjerate, jettretning og brannplassering. Dette er spesielt på grunn av at den store hastigheten til en jetflamme ikke vil påvirkes i stor grad av vindforhold. En diffusjonsflamme derimot vil bøye seg etter vinden. Det kan derfor være hensiktsmessig å simulere vindretning slik at flammen vil bevege seg innover i prosessområdet. Denne situasjonen vil gi størst konsekvenser. I de situasjoner

hvor vinden spiller en stor rolle, kan vindrosen inkluderes for å ta med vurdering av sannsynligheten for vindretningen.

Metode 2 beskriver i utgangspunktet ikke denne typen CFD analyse. I hovedsak er modellen lagt opp for å finne dimensjonerende brannvarighet, for så å benytte forhåndsdefinerte brannlaster [6,6]. Modellen gir en detaljert innsikt i de forskjellige segmenters lekkasjefrekvenser, antennelsessannsynligheter og brannvarigheter. Resultatene presenteres som brannvarighet mot årlig frekvens.

Metoden er åpen for å benytte CFD modellering som en alternativ løsning til å finne brannlaster og omslutningssannsynlighet. Om denne framgangsmåten foretrekkes, vil det resultere i en langt mer detaljert og arbeidskrevende analyse. En vil til gjengjeld sitte igjen med færre antakelser og en detaljert beskrivelse av varmebelastningen som analyseres. For å redusere antall brannscenario gjøres først en grovvurdering for å luke ut de som ikke gir konsekvens. Som eksempel skal ikke et brannscenario hvor jetflammen er rettet ut mot det fri simuleres. Figur 3.3-1, viser en illustrasjon over hvordan antall brannscenario øker ettersom en vurderer en ny faktor i et brannscenario. Hvis en vurderer hvilke av situasjonene som er dimensjonerende tidlig i analyseprosessen, kan en utelukke de hendelser som ikke medfører noen spesiell risiko. Dette vil føre til økt kostnadseffektivitet i form av et redusert antall nødvendige analyser.



Figur 3.3-1, Oversikt brannscenario

### 3.3.4 Dimensjonerende ulykkeslast

Hvis det skal dannes et sammenligningsgrunnlag for resultatene fra forskjellige probabilistiske brannanalyser, bør det skapes en definisjon på hvordan resultatene presenteres. Metode 1 presenterer brann-DUL som mottatt varmedose, mens metode 2 presenterer brann-DUL som varmemengde over tid.

#### Metode 1

Hovedresultatene fra metode 1 presenteres i et last/frekvens-plott, hvor konsekvensen på x-aksen er definert som total varmemengde som er mottatt gjennom hele brannforløpet ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ), og eventuelt stykket opp i forskjellige faser av brannforløpet.

Den mottatte varmemengden  $\text{MJ}/\text{m}^2$ , er definert som integralet av varmemengde over varigheten til brannen og representerer den verste plasseringen som måles. Varmelasten kan føre til lokale brudd på rør eller vegger, plassering bør derfor dokumenteres for å lettere kunne tilføre brannbeskyttelse. Når varmedosen presenteres for et brannscenario mister man oversikten over dynamikken til varmeavgivelsen. For eksempel kan en brann som er kortvarig, men har en høy varmemengde gi samme varmedose som en langvarig brann med en lavere varmemengde. Dette er spesielt kritisk i områder med rør med små dimensjoner som inneholder trykksatt gass. Slike rør kan få en kraftig trykkøkning ved en kortvarig stor varmemengde. Det bør derfor presenteres egne resultater for forskjellige tidsintervaller av brannforløpet.

I den probabilistiske prosedyren samles data (oversikt over maksimal varmemengde samt bilder av 3-dimensjonal varmemengde) for så å kombineres med en probabilistisk analyse for å skape en oversikt over alle mulige branner. Når brannlastene fra alle mulige scenario er funnet plottes disse i en frekvens/varmelast-kurve. Når mange scenario skal sammenlignes, blir mottatt varmedose rangert. Varmedose presenteres på x-aksen av årlig-frekvens/varmelast-plottet.

#### Metode 2

Hovedresultatet fra metode 2 presenteres i en årlig-frekvens/ brannvarighet plott, hvor konsekvensen, på x-aksen, er definert som brannvarighet. En akseptert årlig frekvens på  $10^{-4}$  benyttes for å fastsette dimensjonerende brannvarighet. Metoden tar så utgangspunkt i normative brannlastene beskrevet i NORSOK S-001 hvor brannlastene gis i  $\text{kW m}^{-2}$ .

Denne form for analyse tar ikke hensyn til brannplassering, jetretning eller vindretning. Metoden gir et godt grunnlag for å vurdere sannsynligheten for at

en hendelse inntreffer. En vil få en detaljert oversikt over dimensjonerende varighet, men ikke om brannens dynamikk. Dette kan medføre usikkerhet ved dimensjonering av barrierer. Det vil være en større mulighet for at deler av området som analyseres vil under- eller overdimensjoneres.

Som tidligere nevnt gir metode 2 mulighet for å benytte CFD-modellering, som igjen vil gi mulighet for denne type analyse. Hovedforskjellen mellom metodene vil da være i hvilket format resultatene presenteres.



## Informasjonsinnhenting

Tabell 3.3-1, Sammenligning av metode 1 og metode 2

Handling	Metode 1	Metode 2	Merknad
Lekkasjefrekvenser	X	X	FABIG refererer til NORSOK Z-013 og Fabig Technical Note 8 [12] [1]
Antennessannsynlighet	X	X	FABIG referer til NORSOK Z-013 og FABIG Technical Note 8
Lekkaserater	X	X	Deles opp i forskjellige rateklasser hvor detaljgraden er avhengig av hvilken type analyse som skal gjennomføres. Se Tabell 3.1-1
Geometri	X	X	Innsamling av geometridata er essensielt for å kunne analysere ihht. Metode 1. Metode 2 er ikke avhengig av samme detaljgrad, så lenge CFD modellering ikke utføres, men er, som metode 1, avhengig av å få kartlagt rør og utstyrsinnholdet til installasjonen.
Grov vurdering av identifiserte brannscenario	X	X	Ihht. metode 1 utføres en grov risikovurdering av identifiserte brannscenario for å velg ut de som gir høyest risiko

Tabell 3.3-2, Sammenligning av metode 1 og metode 2, brannanalyse

Handling	Metode 1	Metode 2	Metode 2 m/CFD	Merknad
Brannfrekvenser	X	X	X	Brannfrekvenser er direkte beregnet med bakgrunn i innehentet lekkasjefrekvenser og antennessannsynligheter
Lekkasjevarighet	X	X	X	Lekkasjevarigheter beregnes med hensyn på rør og tankers innhold og lekkasjerate.
Omslutningssannsynlighet	X	X	X	I metode 1 inkluderes brannekspneringen av struktur og utstyr i vurderingen av lokalt varmpunkt. I metode 2 benyttes en omslutningssannsynlighet på 1 for stor og medium lekkasjerate og 0,5 for liten lekkasjerate. Det foreslås også å studere denne nærmere ved å benytte CFD modellering.
Simulere med hensyn på: Brannplassering, jettretning, vindforhold, forskjellige utslippsrater	X		X	Nevnte faktorer vil ha en stor innvirkning på resultat av beregnet brannenergi og fordeling av varme.

Brannfrekvenser mot varighet		X	X	Metode 2 presenterer kurver som viser antall minutter et brannscenario varer på x-aksen, og den årlige frekvensen på y-aksen. Her plottes grafer for de forskjellige lekkasjerater for gass- og pølbranner.
Total brannekspneringsfrekvens mot varighet		X	X	Omsetningssannsynligheten for de forskjellige lekkasjerater legges til. Grafene viser årlig frekvens for summen av alle lekkasjerater, mot varighet.
Mulighet for detaljerte målinger av gasskonsentrasjoner, varme- og gasspredninger, fluksmålinger, m.m.	X		X	Metode 1 benytter CFD modellering for å beregne brannodynamikken. CFD-modellering åpner muligheter for å gjøre detaljerte punktberegninger for blant annet gasskonsentrasjoner, varme fluks og gasspredning. Metode 2 gir mulighet for samme målinger når CFD-modellering benyttes.
Total varme fluks	X	X	X	Ved å benytte metode 1 har en mulighet for å finne total varme fluks hvor en ønsker i området som modelleres. For metode 2 gjelder det samme, når CFD-modellering benyttes. Ellers benyttes brannlaste som er presentert i NORSOK S-001
Exceedancekurve med total varmedose fra en spotverdi	X			Metode 1 presenterer grafer som viser kombinasjonen av total varmedose på x-aksen, og årlig frekvens på y-aksen.
DUL	X	X	X	Ved å benytte et akseptnivå for årlig frekvens for en hendelse, kan en ut ifra exceedancekurvene for varmedose og for brannvarighet finne den dimensjonerende lasten.

### 3.3.5 Hovedforskjeller

Innsamling og beregning av data som; lekkasjefrekvenser, antennessannsynlighet, lekkasje- og brannvarighet utføres med samme detaljgrad for både metode 1 og 2.

Metode 1 har en detaljert beskrivelse av hvordan ethvert ledd i analyseprosessen skal gjennomføres, mens metode 2 har en mer åpen struktur. Målsettingen med analysen i metode 2, vil bestemme hvilken detaljgrad som er nødvendig for å komme fram til ønsket resultat. Dette gir større mulighet til å styre detaljgraden, i form av muligheten til å velge bort den detaljerte CFD-modelleringen til fordel for de normative NORSOK lastene, beskrevet i delkapittel "2.2.1.4", om dimensjonerende ulykkeslast.

Metodebeskrivelsene varierer også med krav til resultatpresentasjon. I henhold til metode 1 skal resultatet presenteres i form av en varmedose, som gir oversikt over den totale brannenergien ved det verste punktet i det verste brannforløpet. Varmedose kombinerer varmefluks og brannvarighet, og presenterer brannbelastningen i form av et tall og gjør det derfor lettere å sammenligne flere brannanalyser mot hverandre.

Hovedforskjellen mellom de to metodene er da metode 1 sin konsekvente bruk av detaljerte CFD-modelleringer for fastsettelse av brannenergi, mot metode 2 sin mulighet til bruk av normative brannlaster beskrevet i NORSOK S-001. I tillegg er forskjellen i presentasjonsform av den dimensjonerende brannlasten en av de største forskjellene mellom metodene.

## 4 CASESTUDIE

Hvis en brannanalyse utføres for et stort område med varierende behov for detaljerte resultat, kan det være hensiktsmessig å utføre analyser i henhold til metoder med forskjellig detaljgrad, for hvert av områdene. Ved detaljerte brannanalyser utføres numeriske strømningsdynamikk ved hjelp av avansert software, kort forklart under delkapittel 2.3. Denne form for analyser krever en større arbeidsmengde enn de forenklete analysene i henhold til metode 2, hvor brannbelastningen beskrives fra en dimensjonerende brannvarighet. For å sikre kostnadseffektivitet bør slike analyseformer kombineres for å komme fram til et sikkert resultat uten for store analysekostnader.

I dette casestudiet skal den dimensjonerende brannlasten for kjellerdekket ved en plattform fastsettes. Først i henhold til den forenklete metode 2, som beskrevet i kapittel 3. Det samme området skal i tillegg analyseres ved å ta i bruk CFD modellering, i henhold til metode 2, for å finne den dimensjonerende brannlasten. Resultatsammenligning vil gi grunnlag for diskusjon av metodebruk ved probabilistisk brannanalyse.

I tillegg skal varmelastresultater fra CFD analysene kombineres med tilhørende lekkasjefrekvenser for å teste et nytt tilleggsprogram i KFX som presenterer varmelasten direkte på strukturen, med tilhørende brannfrekvens. Det er tatt utgangspunkt i et reelt, detaljert område av en plattform som har flere potensielle lekkasjepunkter. Forskjellige brannscenario vil simuleres i CFD modellen, KFX Kamelon. Strålevarme skal logges når brannen er stabil og vil kartlegges i form av fargekoder direkte på strukturen i en CAD-modell av gjeldende område. Når varmelastene kombineres med beregnede frekvenser for gjeldende brannscenario, og gjentas over flere potensielle brannscenario, vil en få en oversikt over hvordan strukturen og komponenter i området vil belastes av varmestråling, for en gitt brannfrekvens. Denne form for presentasjon av brannlast vil gi et bra grunnlag for vurdering av den dimensjonerende brannlasten til et gitt område samt detaljert dimensjonering av brannbeskyttelse. Denne delen av oppgaven gjøres som et tilleggsstudie og presenteres i vedlegg B

Alle beregninger og tall som fremstår i caset er basert på reelle målinger og beregninger i forbindelse med en kvantitativ risikoanalyse (QRA) som er utført av Safetec Nordic, for den gjeldende installasjonen. Plattformgeometri er fremskaffet av ComputIT, som også har bidratt med tilgang til programvaren Kamelon FireEx KFX samt veiledning og opplæring.

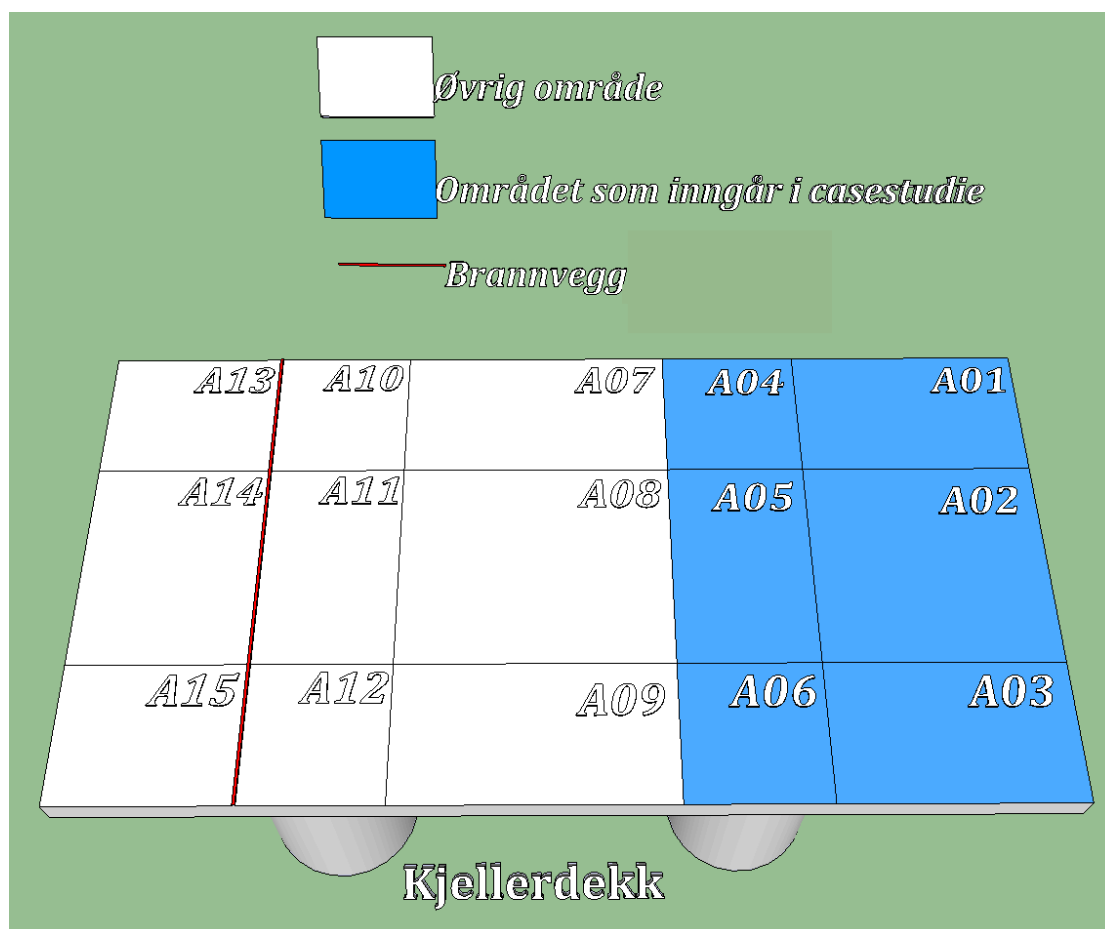
## 4.1 Geometri

Casestudiet tar for seg en installasjon på norsk sokkel. Eierne av installasjonen har gitt tillatelse til å bruke nødvendige data for å gjennomføre et casestudie, men navn på installasjonen vil ikke oppgis. Installasjonen vil fra nå omtales som "plattformen".

Området som skal analyseres, inkluderer forskjellige prosessegment og befinner seg på kjellerdekk. Denne del av plattformen inneholder mye prosessutstyr for separasjon og gassbehandling som er plassert i en kompleks geometri. Hydrokarboner opereres under høyt trykk og området anses i forkant av analysen å ha et høyt potensial for lekkasje med tilhørende antennelse.

Prosessområdet er delt over to plan som skilles av plater og rister. Videre opp er etasjene delt med et brannskillende dekke. Det antas derfor at en eventuell brann i første omgang vil begrenses til det gjeldende området. Prosessområdet er avgrenset av en brannvegg som hindrer spredning til området som befinner seg under boligområdet. At geometrien er så åpen gjør at sannsynligheten for brannekspensjonering av utstyr er stor. Dette gjør at risikoen for eskalering øker og muligens at behovet for økt detaljgrad ved en eventuell analyse øker.

CFD-analysene er begrenset til å studere forskjellige brannscenario i området lengst borte fra boligområdet. I Figur 4.1-1 illustreres inndelingen av modulene som inngår i kjellerdekket til den gjeldende plattformen. Den røde linjen markerer brannveggen som skiller A13, A14 og A15 fra resten av kjellerdekket. Som figuren viser, er store deler av kjellerdekket åpent og eventuelle varmelaster vil lett kunne belaste store mengder prosessutstyr. For å lettere holde oversikt over inndelingen av kjellerdekket er samtlige områder navngitt i form av nummerering fra A01 til A15.



Figur 4.1-1, Inndeling av områder i kjellerdekk

## 4.2 DUL, Metode 2

Dimensjonerende ulykkeslast skal fastsettes for kjellerdekket ved å studere brannfrekvenser mot brannvarigheter, i henhold til metode 2. Alle data er basert på en kvantitativ risikoanalyse som er utført av Safetec Nordic.

### 4.2.1 Lekkasje frekvenser

Studiet er begrenset til å studere gasslekkasjer i form av jetflammer. For å kunne vurdere risikonivå er lekkasjeratene deles inn i følgende klasser:

Tabell 4.2-1, Lekkasje klasse, casestudie

Lekkasje klasse	Gass	
	Skala	Typisk
Ubetydelig	<0,05 kg/s	-
Liten	0,05 – 1 kg/s	0,5 kg/s
Medium	1 – 10 kg/s	5 kg/s
Stor	>10 kg/s	20 kg/s

Ved gjeldende område er det beregnet følgende frekvenser for lekkasjeratene:

Tabell 4.2-2, Lekkasje frekvens, casestudie

Område Prosess- Kjeller dekk	Lekkasje frekvens			
	Segment	Liten	Medium	Stor
1		$1,4 \times 10^{-3}$	$4,7 \times 10^{-4}$	$2,7 \times 10^{-4}$
2		$2,9 \times 10^{-3}$	$7,9 \times 10^{-4}$	$5,9 \times 10^{-4}$
3		$1,7 \times 10^{-3}$	$5,4 \times 10^{-4}$	$3,1 \times 10^{-4}$
4		$1,5 \times 10^{-4}$	$6,2 \times 10^{-4}$	$2,2 \times 10^{-4}$
5		$1,2 \times 10^{-4}$	$7,3 \times 10^{-5}$	$3,2 \times 10^{-5}$
7		$7,6 \times 10^{-4}$	$1,9 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-4}$
8		$1,1 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-3}$	$1,9 \times 10^{-3}$
9		$2,2 \times 10^{-3}$	$6,6 \times 10^{-4}$	$4,8 \times 10^{-4}$
10		$3,2 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$5,9 \times 10^{-4}$
11		$4,4 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-3}$	$9,7 \times 10^{-4}$
12		$2,6 \times 10^{-2}$	$6,4 \times 10^{-3}$	$5,4 \times 10^{-3}$
13		$1,4 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-4}$	$2,5 \times 10^{-4}$
14		$7,5 \times 10^{-3}$	$2,2 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-3}$

#### 4.2.2 Antennessannsynligheter

Antennessannsynlighetene deles inn i umiddelbar antennelse og forsinket antennelse. I henhold til metode 2 benyttes de umiddelbare antennessannsynlighetene som er beskrevet i Scandpowers OLF-tennmodell [15] og er presentert Tabell 4.2-3. Sannsynligheter for forsinket antennelse presenteres i tabellen under og stammer fra en SERA-analyse utført av konsultentselskapet Safetec Nordic. Merk at beskrivelsen "deteksjon" og "ingen deteksjon" i tabellen refererer til gassdeteksjon. Når gasslekkasjen detekteres stenges tennkilder ned, og antennessannsynligheten blir derfor lavere enn når gasslekkasjen ikke detekteres.



Tabell 4.2-3, Forsinket antennessannsynlighet, case

Segment	Deteksjon			Ingen deteksjon		
	Liten	Medium	Stor	Liten	Medium	Stor
1	$2,3 \times 10^{-4}$	$9,6 \times 10^{-4}$	$3,1 \times 10^{-3}$	$7,9 \times 10^{-4}$	$2,6 \times 10^{-3}$	$9,6 \times 10^{-3}$
2	$2,6 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-3}$	$7,9 \times 10^{-3}$	$8,5 \times 10^{-4}$	$3,4 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-2}$
3	$2,5 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-3}$	$7,7 \times 10^{-4}$	$2,6 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-2}$
4	$2,2 \times 10^{-4}$	$5,8 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-3}$	$7,9 \times 10^{-4}$	$3,2 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-2}$
5	$1,9 \times 10^{-4}$	$3,5 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$4,3 \times 10^{-4}$	$6,6 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-3}$
7	$2,0 \times 10^{-4}$	$8,5 \times 10^{-4}$	$5,2 \times 10^{-3}$	$8,9 \times 10^{-4}$	$5,2 \times 10^{-3}$	$3,4 \times 10^{-2}$
8	$2,0 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-2}$	$8,9 \times 10^{-4}$	$5,8 \times 10^{-3}$	$7,9 \times 10^{-2}$
9	$1,2 \times 10^{-4}$	$3,0 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-3}$	$4,4 \times 10^{-4}$	$8,5 \times 10^{-4}$	$3,5 \times 10^{-3}$
10	$2,9 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$5,6 \times 10^{-3}$	$8,0 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^{-2}$
11	$2,7 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$6,6 \times 10^{-3}$	$8,6 \times 10^{-4}$	$3,6 \times 10^{-3}$	$2,2 \times 10^{-2}$
12	$2,3 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$9,6 \times 10^{-3}$	$8,9 \times 10^{-4}$	$4,1 \times 10^{-3}$	$2,2 \times 10^{-2}$
13	$8,4 \times 10^{-5}$	$2,6 \times 10^{-4}$	$6,4 \times 10^{-4}$	$1,8 \times 10^{-4}$	$4,7 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-3}$
14	$1,1 \times 10^{-4}$	$3,3 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$8,0 \times 10^{-4}$	$2,6 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-2}$

Deteksjonssannsynlighetene for de forskjellige lekkasjefrekvensene er beregnet til å være:

Tabell 4.2-4, Gassdeteksjonssannsynligheter, case

Gassdeteksjonssannsynligheter, case		
Liten lekkasje	Medium lekkasje	Stor lekkasje
P=0,50	P=0,62	P=0,99

### 4.2.3 Brannfrekvenser

Basert på lekkasjefrekvenser og antennessannsynligheter beregnes brannfrekvenser med følgende formel:

$$\begin{aligned}
 \text{Frekvens}_{\text{Brann}} = & (P_{\text{Deteksjon}} \cdot P_{\text{Forsinket antennelse m. deteksjon}} + (1 - P_{\text{Deteksjon}}) \\
 & \cdot P_{\text{Forsinket antennelse u. deteksjon}} + P_{\text{Umiddelbar antennelse}}) \cdot \text{Frekvens}_{\text{Lekkasje}}
 \end{aligned}$$

hvor:

- $\text{Frekvens}_{\text{Brann}}$  er frekvensen for brann per år.
- $P_{\text{Deteksjon}}$  er sannsynligheten for at gassutslipp detekteres
- $P_{\text{Forsinket antennelse m. deteksjon}}$  er sannsynligheten for forsinket antennelse gitt at gassen detekteres
- $P_{\text{Forsinket antennelse u. deteksjon}}$  er sannsynligheten for forsinket antennelse gitt at gassen ikke detekteres
- $P_{\text{Umiddelbar antennelse}}$  er sannsynligheten for øyeblikkelig antennelse
- $\text{Frekvens}_{\text{Lekkasje}}$  er lekkasjefrekvens per år

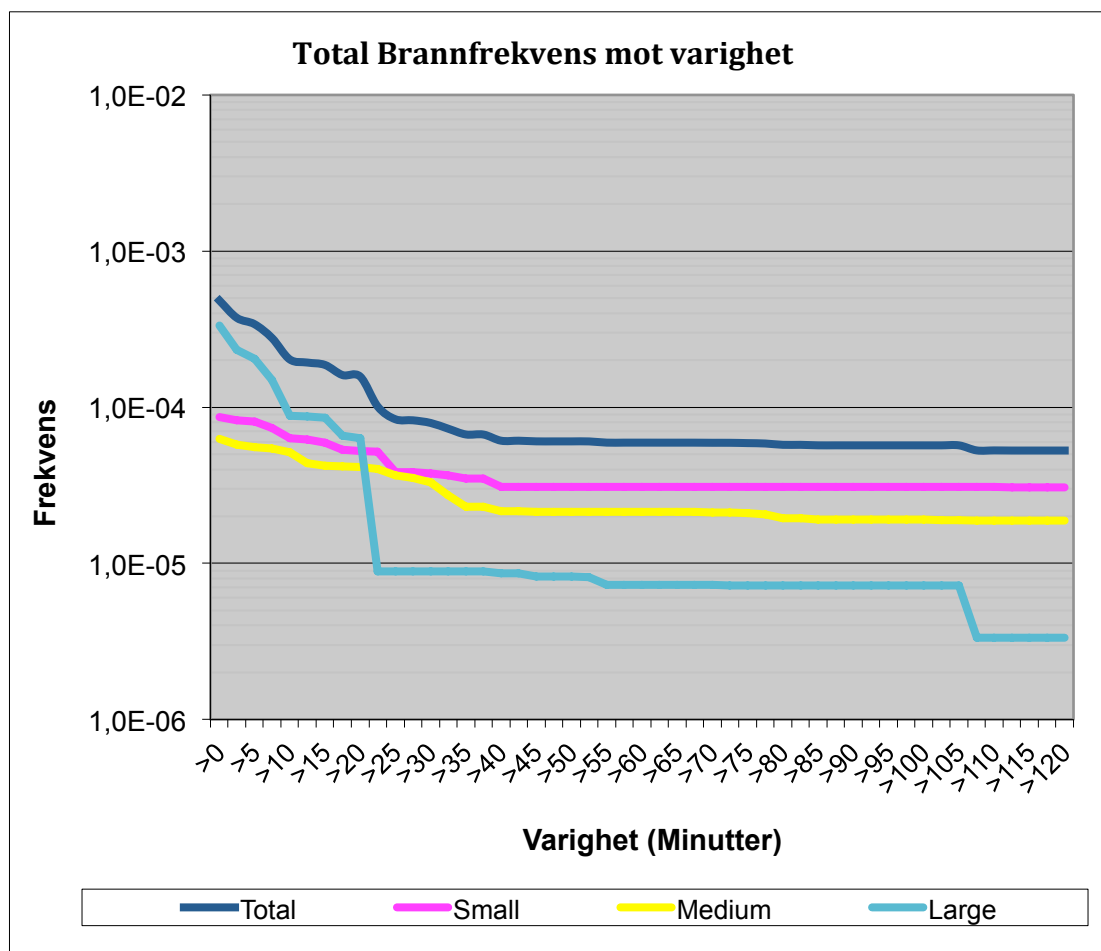
#### 4.2.4 Brannvarigheter

Brannvarigheter beregnes som forklart i 3.2. Det tas hensyn til alle segment med fire tilhørende lekkasjescenario med tilhørende årlig brannfrekvens:

- Vellykket segmentisolering, vellykket nedblåsing
- Vellykket segmentisolering, uten nedblåsing
- Uten segmentisolering, uten nedblåsing
- Uten segmentisolering, vellykket nedblåsing

#### 4.2.5 Varighet vs. Brannfrekvensfrekvens

Varighet mot brannfrekvens settes opp mot hverandre for å få en oversikt over hvilken varighet som er dimensjonerende. En dimensjonerende brannlast skal ikke redusere funksjonene til nærliggende utstyr slik at brannen eskalerer eller bidrar til tap av hovedsikkerhetsfunksjonene. Brannbeskyttelse dimensjoneres til utstyr, basert på en brannvarighet med en årlig frekvens på  $10^{-4}$  og normative brannlaster som er beskrevet i NORSOK S-001.



Graf 4.2-1 - Total brannfrekvens mot varighet

Brannfrekvensen for en liten eller medium brann, med utslippsrate på henholdsvis mellom 0,05-1 kg/s og mellom 1-10 kg/s, er så liten at den faller utenfor akseptkriteriet og trenger derfor ikke dimensjoneres for. Den årlige

frekvensen fra de store brannscenarioene, med utslippsrate over 10kg/s, er  $10^{-4}$  ved 8,5 minutters brannforløp. I henhold til metode 2 for probabilistisk brannanalyse vil dette være den dimensjonerende brannvarigheten på kjellerdekket ved den gjeldende plattformen, med tilhørende brannbelastning på 350 kW/m<sup>2</sup>. Hvis man antar at varmekraften vil være konstant igjennom hele brannforløpet vil dette resultere i følgende varmedose på strukturen:

$$\text{Varmedose} = \int_{t_0}^t Q dt = \int_0^{510} 350 dt = 178,5 \text{ MJ m}^{-2}$$

### 4.3 DUL - CFD

Beregninger av brannlaster er utført i CFD verktøyet, Kamelon FireEX KFX.

#### 4.3.1 Risikovurdering

For å redusere antall brannscenario som skal simuleres er det utført risikovurdering som vil hjelpe å avgjøre hvilke segmenter som vil representere en brann med høyest konsekvens. I risikovurderingen er det tatt hensyn til varigheten til en eventuell lekkasje/brann samt den gjeldende frekvensen for at lekkasjen inntreffer. Frekvensen for en liten, medium og stor lekkasje er multiplisert med lekkasjevarigheten ved en henholdsvis, liten, medium og stor lekkasje, og deretter summert sammen. Dette er gjort for alle segment i kjellerdekket og har resultert i en liste over segmenter rangert etter potensiell risiko.

$$\text{Potensiell risiko} = \sum (\text{Freq}_{\text{Lekkasjerate}} \cdot \text{Varighet}_{\text{Lekkasjerate}})$$

Hvor:

*Freq* er frekvensen for en liten, medium eller stor lekkasjerate

*Varighet* er varigheten til en liten, medium eller stor lekkasje

*Lekkasjerate* representerer gjeldende lekkasjerate

Lekkasjevarigheten er beregnet ved å anta at isolering samt nedblåsing av segmentet er vellykket. Tabellen under viser segmentene med høyest relativ risiko, med hensyn på den høyest beregnede potensiell risiko:

Tabell 4.3-1, Risikorangering, case

Segment	Relativ risiko
12	1
8	0,29
11	0,21
10	0,16
2	0,14

Tabell 4.3-1 viser de 5 mest kritiske segmentene i kjellerdekket, basert på lekkasjevarighet og frekvens. I tillegg til frekvens og varighet har plassering av lekkasjepunkt og potensiell omslutning av utstyr vært med i vurderingen av hvilke segment som bør benyttes. For å effektivisere studiet har deler av målet vært å spre lekkasjepunktene på en slik måte at størst mulig andel av området vil rammes av de valgte brannscenario. Segmentene 2, 10 og 8 har utstyr plassert slik at ved å simulere forskjellige lekkasjerater og lekkasjeretninger, vil store deler av caseområdet belastes. Ideelt sett burde alle de 5 høyest rangerte segmentene inngå i analysen, spesielt segment 12 på grunn av den høye risikorangeringen. På grunn av segmentenes plassering vil gi økt

varmebelastning til omliggende utstyr og tidsbegrensinger i dette studiet vil segment 2, 10 og 8 benyttes videre.

#### 4.3.2 Brannscenario

I ethvert brannscenario er det tatt hensyn til faktorer som:

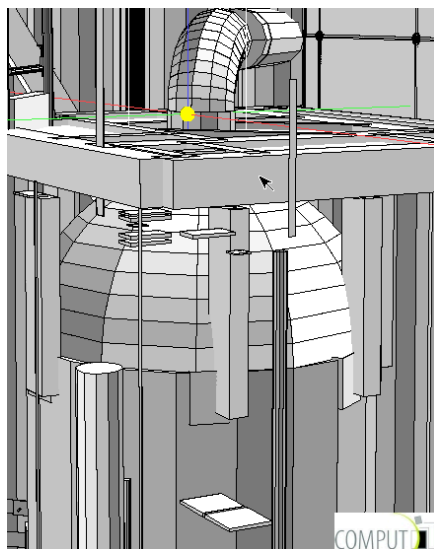
- Lekkasjerate
- Plassering av lekkasjepunkt
- Jettretning
- Segmentets karakteristika som
  - Operasjonstrykk
  - Operasjonstemperatur
  - Hydrokarbonets molvekt
  - Vindretning og vindstyrke

#### Lekkasjerate

I denne delen av casestudiet benyttes samme lekkasjerater for CFD simuleringer som ved den probabilistiske brannanalysen i henhold til metode 2. Da skillet mellom liten, medium og stor lekkasjerate er definert som et intervall, er det benyttet typiske lekkasjerater for hver av klassene. Lekkasjeratene er presentert i Tabell 3.1-1.

#### Plassering av lekkasjepunkt

Lekkasjepunkt på utstyret er plassert ved potensielle svake ledd som flenser, ventiler og lignende. I tillegg må alle ønskelige jettretninger være mulige fra det gitte lekkasjepunkt. I Figur 4.3-1 vises at et lekkasjepunkt ved en gassinjeksjonsvæskeutskiller i segment 8 er plassert ved flensen, i øverste del av tanken.



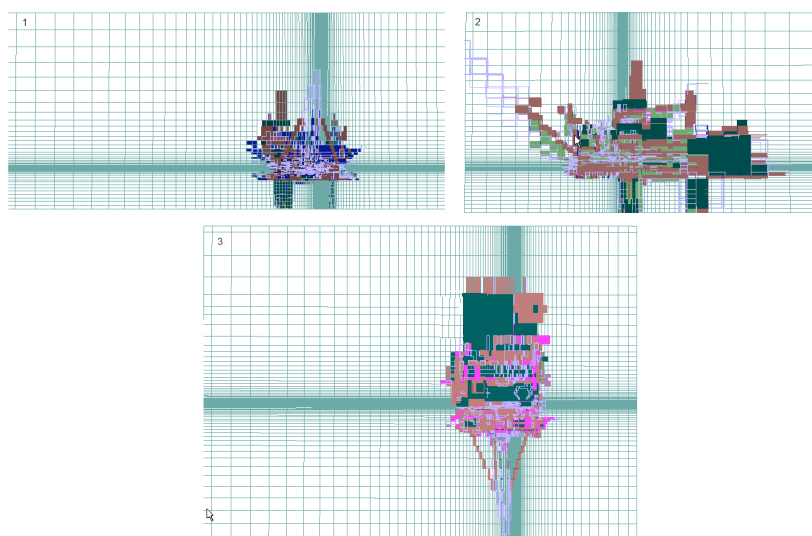
Figur 4.3-1, Lekkasjepunkt, segment 8

## Jettretning og vindretning

Når valg av jettretninger vurderes, tas det hensyn til lekkasjepunktets plassering i forhold til nærliggende utstyr og struktur. Det tas hensyn til jettretninger som vil gi størst mulig konsekvens og omslutning av utstyr. Jettretninger som er rettet mot det fri vil ikke benyttes i denne sammenheng. Det er brannbelastningen i simuleringsområdet som er interessant i dette casestudiet og ikke andre forhold som røykspredning og tap av rømningsvei. Av samme grunn er valg av vindretning vurdert for ethvert brannscenario basert på hvilken vindretning som vil gi størst konsekvens for varmebelastning av området.

## Hydrokarbonenes karakteristika og fordeling av grid

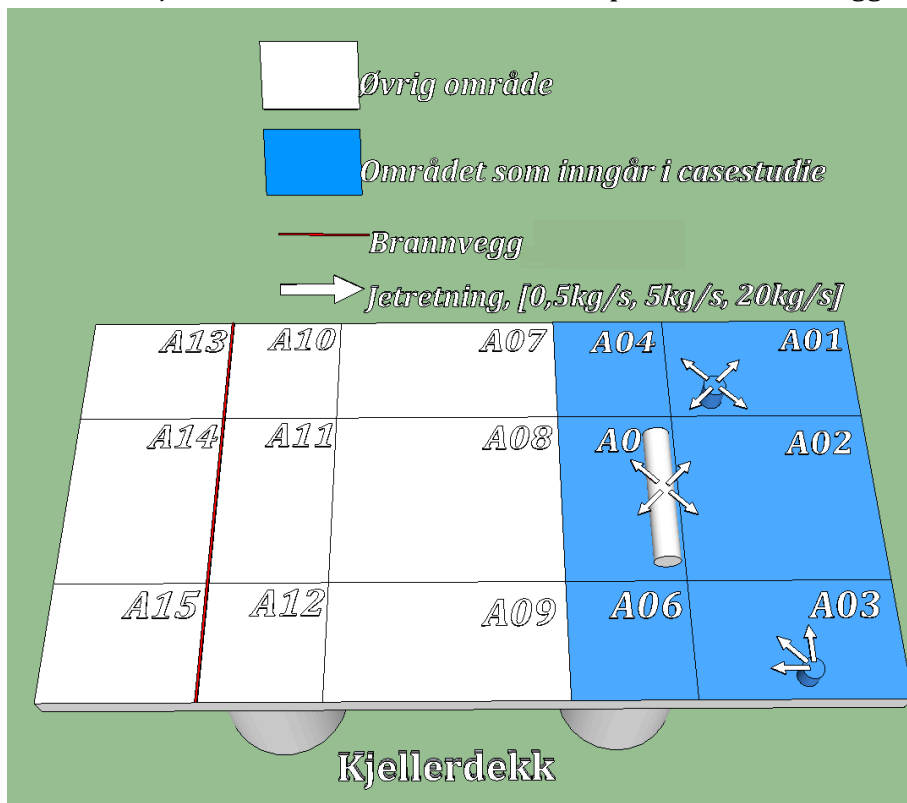
Ethvert segment opererer med forskjellige trykk, temperatur og kombinasjon av hydrokarboner. Dette er informasjon som er viktig for beregning av størrelse på lekkasjehull. Størrelsen på lekkasjehull er avgjørende for fastsette et optimalt grid i CFD modelleringen. Et grid fordeles ved at modellen går igjennom en gridgenerering hvor området deles inn i en stor mengde beregningsceller. Hvor mange beregningsceller som er ønskelig varierer avhengig av nødvendig detaljgrad. I KFX Kamelon finnes en funksjon som genererer gridet automatisk med hensyn på jettretning, lekkasjehull og vindretning. Funksjonen konsentrerer gridet rundt utslippsområdet og i det området som vil påvirkes av flammene. Det vil si at det tas hensyn til vindretning og utslippsrate. Gridet som genereres må allikevel sjekkes og optimaliseres hvis det er nødvendig. Det er, for å få best mulig beregningsresultat, viktig å fordele gridet slik at beregningscellene er tilnærmet kvadratiske. Antallet beregningsceller varierer etter behov. I dette casestudiet er det benyttet mellom 500 000 og 700 000 beregningsceller. Figur 4.3-2 viser et eksempel på hvordan gridet er fordelt i forhold til x-,y- og z-aksen, fra et av brannscenarioene som er simulert i casestudiet.



Figur 4.3-2, Grid

## Scenariooversikt

Når det er tatt hensyn til faktorene som er nevnt over, er det 32 brannscenario identifisert som nødvendige for gi grunnlag til å finne gjeldende brannbelastning. Plassering av lekkasjepunkter samt jettretninger er grovt illustrert i Figur 4.3-3. Detaljert informasjon om ethvert brannscenario er presentert i vedlegg A.



Figur 4.3-3, Scenariooversikt, case

### 4.3.3 Frekvensberegninger for brannscenario

Basert på tabellene:

Tabell 4.2-2, Lekkasjeffrekvens, casestudie

Tabell 4.2-3, Forsinket antennelsessannsynlighet, case og

Tabell 4.2-4, Gassdeteksjonssannsynligheter, case er brannfrekvensene for segment 2, 8 og 10 beregnet i henhold til delkapittel 4.3.2, og presentert i tabellen under.

Tabell 4.3-2, Brannfrekvens, case

Brannfrekvens			
	Liten	Medium	Stor
Brannplassering A03	$3,1 \times 10^{-6}$	$2,5 \times 10^{-6}$	$1,1 \times 10^{-5}$
Brannplassering A01	$1,1 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$4,0 \times 10^{-5}$
Brannplassering A05	$1,1 \times 10^{-6}$	$6,9 \times 10^{-6}$	$3,0 \times 10^{-5}$

#### 4.3.4 Varmedose

Basert på brannsimuleringer av brannscenario beskrevet i vedlegg A, er følgende oversikt over varmefluks og beregnet varmedose satt opp:

Tabell 4.3-3, Varmefluks og varmedose, brannscenario 1-33

Plassering	Lekkasjerate	Scenario	Max [kW/m <sup>2</sup> ]	Brannfrekvens	Varighet [s]	Varmedose
A03	Liten	Case02	250	3,09 x10 <sup>-6</sup>	2070	569,25
	Liten	Case04	258			
	Liten	Case07	<b>275</b>			
	Medium	Case01	320	2,49 x10 <sup>-6</sup>	1590	682,11
	Medium	Case05	<b>429</b>			
	Medium	Case08	730			
	Stor	Case03	380	1,07 x10 <sup>-5</sup>	690	273,93
	Stor	Case06	<b>397</b>			
Stor	Case09	381				
A01	Liten	Case10	229	1,08 x10 <sup>-5</sup>	1020	360,06
	Liten	Case13	213			
	Liten	Case16	344			
	Liten	Case19	<b>353</b>			
	Medium	Case11	395	9,99 x10 <sup>-6</sup>	1560	655,2
	Medium	Case14	<b>420</b>			
	Medium	Case17	357			
	Medium	Case20	307			
	Stor	Case12	377	4,04 x10 <sup>-5</sup>	1050	520,8
	Stor	Case15	388			
	Stor	Case18	466			
Stor	Case21	<b>496</b>				
A05	Liten	Case22	<b>262</b>	1,08 x10 <sup>-6</sup>	2400	628,8
	Liten	Case25	176			
	Liten	Case28	227			
	Liten	Case31	256			
	Medium	Case23	319	6,92 x10 <sup>-6</sup>	960	338,88
	Medium	Case26	350			
	Medium	Case29	<b>353</b>			
	Medium	Case32	342			
	Stor	Case27	371	2,96 x10 <sup>-5</sup>	336	129,13
	Stor	Case24	319			
	Stor	Case30	<b>422</b>			
Stor	Case33	417				

For hvert lekkasjepunkt er det simulert for tre lekkasjerater og tre til fire lekkasjeretninger. Lekkasjepunktene er tilknyttet segmenter som har en beregnet brannfrekvens og lekkasjevarighet. Ethvert brannscenario er simulert



med en jevn, ikke avtagende lekkasjerate. Varmefluksen som er hentet ut, er den høyest målte når forholdene i beregningsmodellen er stabile. Videre kombineres resultatene fra brannscenarioene med lik plassering og lekkasjerate sammen. Den høyest målte varmekraften benyttes så som den dimensjonerende lasten for å beregne varmedosen ved å integrere varmekraften med hensyn på tid. Lekkasjetiden er beregnet ved tidligere QRA-analyser utført av Safetec Nordic.

$Varmedose = \int_{t_0}^t Q dt$ , hvor:

$Q$ , er varmekraft

$t_0$ , er tiden ved starten av brannscenarioet

$t$ , er tiden ved slutten av brannscenarioet

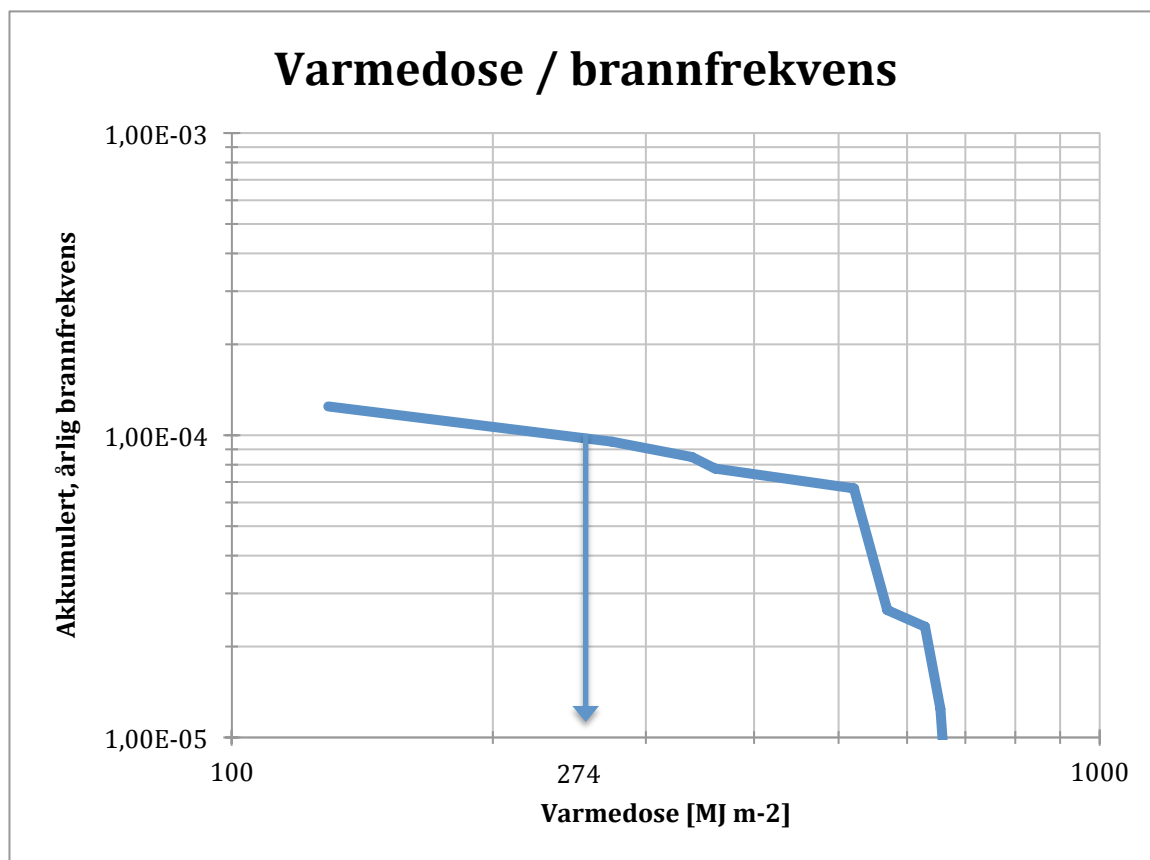
Basert på de forskjellige brannvarighetene og varmebelastningen til de forskjellige brannscenarioene er varmedose rangert fra lavest til høyest. Kumulativ, årlig brannfrekvens er i tillegg beregnet slik at en kan få oversikt over dimensjonerende brannfrekvens.

**Tabell 4.3-4, Varmedose mot kumulativ brannfrekvens, case**

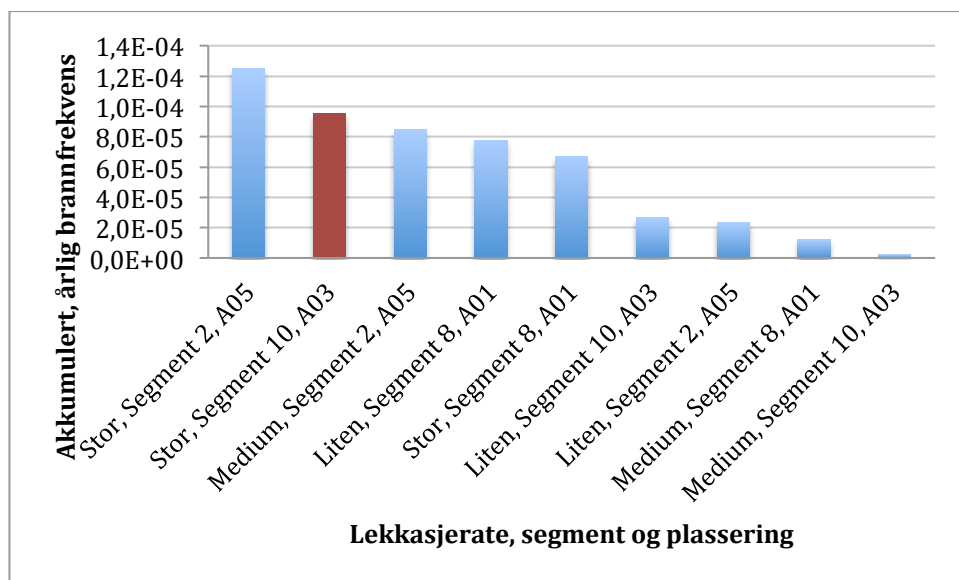
<b>Sortert</b>				
<b>Segment, Plassering</b>	<b>Lekkasjerate</b>	<b>Varmedose</b>	<b>Brannfrekvens</b>	<b>Kumulativ brannfrekvens</b>
Segment 2, A05	Stor	129,132	2,96E-05	1,25E-04
Segment 10, A03	Stor	273,93	1,07E-05	9,52E-05
Segment 8, A01	Liten	360,06	1,08E-05	8,45E-05
Segment 2, A05	Medium	338,88	6,92E-06	7,37E-05
Segment 8, A01	Stor	520,80	4,04E-05	6,68E-05
Segment 10, A03	Liten	569,25	3,09E-06	2,64E-05
Segment 8, A01	Medium	655,2	9,99E-06	2,33E-05
Segment 10, A03	Medium	682,11	2,5E-06	1,33E-05
Segment 2, A05	Liten	628,80	1,08E-05	1,08E-05

Tabellen over presenteres også i Graf 4.3-1 for å gi en bedre oversikt over hvordan varmedose mot kumulativ brannfrekvens er fordelt. Plottet benyttes for å avgjøre den dimensjonerende ulykkeslasten ved å lese av varmedosen som har en årlig kumulativ brannfrekvens på  $10^{-4}$ . Dimensjonerende varmedose er her 274 MJ m<sup>-2</sup>.

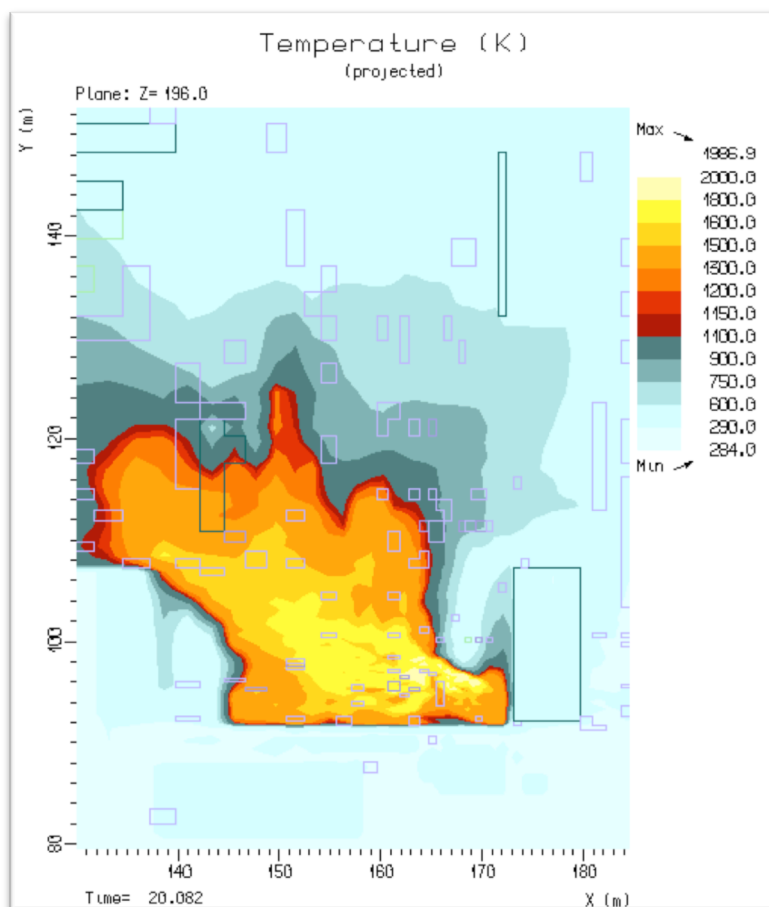
I Graf 4.3-2 er brannscenarioene fordelt etter kumulativ brannfrekvens. Dette for å gi en oversikt over hvilket av brannscenarioene som representerer den dimensjonerende ulykkeslasten. I Figur 4.3-4 vises temperaturdistribusjonen til det brannscenarioet som representerer den dimensjonerende ulykkeslasten.



Graf 4.3-1 - Varmedose / brannfrekvens, case



Graf 4.3-2 - Brannscenario/ årlig brannfrekvens, case



**Figur 4.3-4, Brannscenario 06, Representerer dimensjonerende brannlast**

Figur 4.3-4 viser temperatordistribusjonen til det brannscenarioet som representerer den dimensjonerende ulykkeslasten. Figuren viser et snittbilde av gjeldende område, sett ovenfra.

## 5 DISKUSJON

### 5.1 Diskusjon av detaljgrad i probabilistisk brannanalyse

#### Mål med analysen

Når en brannanalyse skal gjennomføres må målene for analysen fastsettes. Først når mål er definert kan en vurdere hvilken informasjon som er nødvendig og hvilken metode man må bruke for å oppnå målsettingene. Behovet for detaljert informasjon vil bestemme hvilken detaljgrad på analysemetoden som vil være nødvendig. Ved å velge den metoden som passer best for å oppnå de definerte målene, vil en skape en tid- og kostnadseffektiv analyseprosess. Her kan det være et problem å skille ut hvilke analyseresultater som blir nødvendig, og om informasjon som ikke avdekkes i en analysemetode vil bli nødvendig ved en senere anledning.

En detaljert brannanalyse vil kunne avdekke store mengder informasjon om et gitt brannscenario. En vil på denne måten kunne fremskaffe informasjon som kan besvare til et vidt spekter med problemstillinger, også til andre deler av et prosjekt. Informasjon som varmelast, røykspredning eller temperaturfordeling kan i tillegg til å avklare målsettinger, bidra til avgjørelser i forbindelse med beredskapsanalyser eller forbedring av rømningsveier og design.

I metode 1 og 2 for gjennomføring av probabilistisk brannanalyse, har begge metodene samme hovedmål, å fastsette dimensjonerende ulykkeslast. Forskjellene i metodene gjør at nødvendig analysetid er høyest for metode 1, men til gjengjeld gir denne metoden mer detaljert informasjon om brannodynamikken til de forskjellige brannscenario.

#### CFD

En CFD-modellering bidrar til en svært detaljert analyse og beregner mange forhold under et brannscenario. Forhold som varmebelastning, røykspredning og -konsentrasjon, belastning på rømningsveier og struktur. Det finnes ingen garanti for at resultatene fra en slik simulering vil representere et virkelig scenario med hundre prosent nøyaktighet, men modellene er nøye testet og validert og vil med riktig bruk være en svært bra tilnærming.

Problemet med bruken av CFD-modellering som hjelpemiddel i brannanalyser, er at de er svært tidkrevende. For å få et realistisk resultat må en studere mange forskjellige brannscenario. Avhengig av hvor mange sekunder av et brannscenario en ønsker å simulere og gridinndelingen til beregningscellene, vil beregningstiden variere. Basert på erfaring fra simuleringer utført i forbindelse med casestudiet som beskrives i kapittel 4, vil typisk simuleringstid for et

brannscenario med en varighet på 20 sekunder, være mellom et og to døgn. Hvis en da skal simulere alle potensielle brannscenario vil det bli en tidkrevende prosess. Det kan da være hensiktsmessig å redusere antall brannscenario til et mer praktisk gjennomførbart nivå som allikevel representerer de brannscenario med høyest risikopotensial.

En CFD-modellering vil kunne bidra videre med input til detaljerte strukturreponsanalyser. Generelt sett skal alle deler av en konsekvensanalyse utføres med samme detaljnivå. Hvis en skal ta i bruk CFD modellering, må også strukturelle responsanalyser bli utført med avanserte analysemodeller.

### **Generiske laster**

Hvilken form for analyse vil gi en redusert innsikt i detaljer rundt selve brannscenarioet. Ved å benytte generiske laster vil en aldri være sikker på om brannlastene representerer de faktiske lastene som vil oppstå i det gjeldende området som analyseres. Dette vil gi en mulighet for å over-, eller underdimensjonere barrierer. Praktisk sett vil anvendelsen av generiske laster redusere nødvendig analysetid.

### **Over- og underdimensjonering**

En detaljert vurdering av hvilke laster som belaster det gjeldende området, vil redusere sannsynligheten for over- eller underdimensjonering av passive og aktive barrierer.

Overdimensjonering kan resultere i økonomisk tap i form av økt behov for materiell og arbeidskraft. Montører eksponeres for risiko når barrierer skal installeres og vedlikeholdes, antall arbeidstimer bør derfor reduseres til det minimale. I tillegg har både arbeid og materiell et potensial til å bidra med slitasje på utstyr og dermed øke sannsynligheten for lekkasjer. Spesielt med tanke på overdimensjonering av passiv brannbeskyttelse, er det studert sammenhengen mellom mengden passiv brannbeskyttelse som er brukt og hvordan det påvirker utfallet ved en eventuell eksplosjon. Ved å påføre passiv brannbeskyttelse på en gjenstand, økes volumet og omliggende fritt volum (områder uten utstyr eller struktur) blir redusert. Ved en eventuell eksplosjon, vil dette bidra til en økt trykkoppbygging samt økt belastning på isolert utstyr på grunn av økt eksponeringsareal. Dermed økes konsekvens og risiko på grunn av eksplosjon [17]. I tillegg øker passiv brannbeskyttelse vekten på en installasjon og øker dermed utnyttelsesgraden på styrken i bærende konstruksjon, med mindre reststyrke til å ta ulykkeslaste og utmatting.

Å implementere for mye barrierer i et system høres ikke i utgangspunktet ut som en risiko, men når det studeres nærmere viser det seg at det kan medføre økt risiko for andre deler av systemet.

Underdimensjonering av brannbeskyttelse vil gi økt sannsynlighet for eskalering av brannforløp til annet utstyr og andre områder, og økt sannsynlighet for skade på bærende konstruksjon og hindring av rømningsveier. Det er med andre ord viktig at brannbeskyttelse dimensjoneres riktig, og at ulike alternativer vurderes for å komme fram til en sikker løsning.

### **Usikkerhet i metodene**

Analysen for å fastsette en dimensjonerende ulykkeslast er basert på mange data som estimeres ved å benytte egne metoder. For eksempel er antennessannsynligheter estimert ved å benytte TDIIM metoden eller OLF metoden. Det finnes potensielle feilkilder i disse metodene som vil følge med videre i analysen og skape usikkerhet ved de årlige brannfrekvensene. Når et estimat er basert på for mange andre estimater, blir det vanskelig å holde oversikten. Det finnes også usikkerhet i å benytte analysemetoder som ikke er tilstrekkelig validert og testet.

Valg av detaljgrad vil gi ulik form for usikkerhet. En detaljert metode med mange faktorer som er avhengig av hverandre kan gi resultater med stor usikkerhet ved at metoden inneholder for mange potensielle feilkilder. En mindre detaljert metode kan være usikker ved at bruk av generiske verdier ikke nødvendigvis representerer det gitte området som studeres.

### **Detaljgrad i PBA**

Det finnes fordeler og ulemper med forskjellig bruk av detaljgrad i en analysemetode. Avhengig av målsettingen med analysen og behovet for detaljert informasjon må behovet for detaljgrad i analysen vurderes. Det er klart at hvis alle mulige brannscenario simuleres i en CFD-modell og alle parametere inkluderes og stresstestes for å kartlegge usikkerhet, vil en få en svært dekkende oversikt over gjeldende brannbelastninger med tilhørende brannfrekvenser. Problemet er at en slik analyse vil kreve så stor arbeidsbelastning at det ikke blir praktisk gjennomførbart med hensyn til kostnader og simuleringskapasitet. Det er derfor viktig å vurdere hvilke parametere som gir store utfall på resultatet og har en stor effekt på resultatet. For effektivt å kunne redusere antall brannscenario som skal studeres, bør denne kunnskapen benyttes når dimensjonerende brannscenario defineres.

Over store områder med mindre kompleks geometri og utstyrssammensetting vil behovet for brannbeskyttelse være mer eller mindre homogent. I slike sammenheng vil det være svært kostnadseffektivt å finne den dimensjonerende brannlasten ved å benytte generiske metoder. Ved mer komplekse områder er det en del usikkerhet rundt brannens dynamikk og varmebelastning på omliggende utstyr kan variere. I slike sammenheng vil det være beste praksis å utføre en CFD-modellering av området for å få en detaljert oversikt over brannens belastning på omliggende utstyr.

Det er viktig at riktig sikkerhetsnivå opprettholdes til en hver tid. Men det er ikke nødvendigvis i sammenheng mellom detaljgraden og sikkerhetsnivået til en analyse. Hvis det opprettes gode retningslinjer for å vurdere detaljbehov for oppnåelse av analysemaal, vil det kunne kombineres forskjellige metoder for gjennomføring av brannanalyse i en og samme analyseprosess.

## 5.2 Diskusjon av karakteristiske faktorer i metode 1 og metode 2

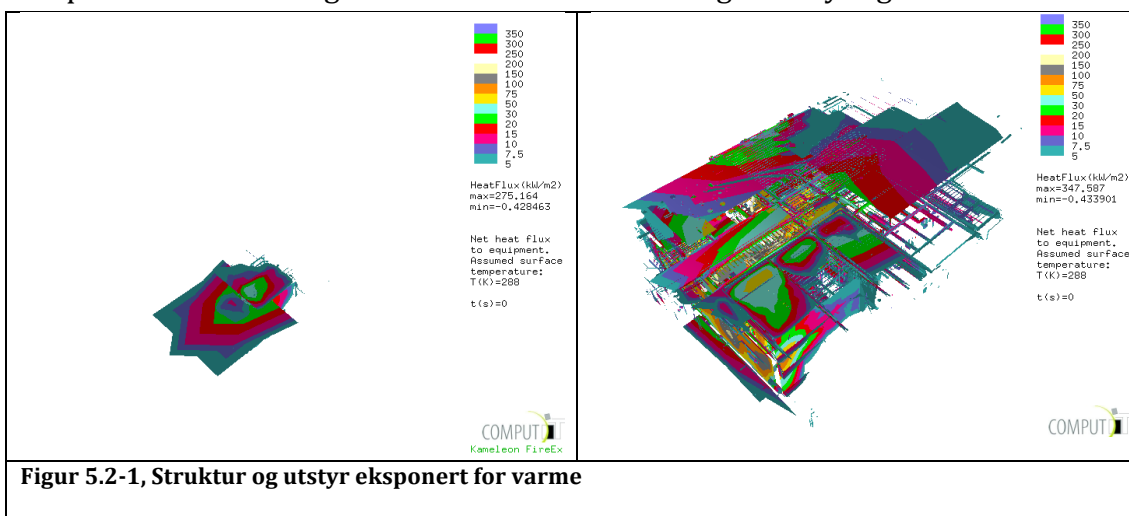
I dette kapittelet diskuteres faktorer som skiller seg ut og er karakteristiske i de probabilistiske brannanalysemetodene som beskrives i kapittel 3.

### Generell QRA

Store deler av den probabilistiske brannanalysen i metode 1 og metode 2 er basert på generell QRA. Her inngår frekvensberegninger, antennessannsynligheter, segmentinndeling og varighetsberegninger. Metoder for beregning av disse vil ikke diskuteres videre i denne rapporten.

### Omslutningssannsynlighet

I henhold til metode 2 beregnes det varighet/frekvenskurver for jettbranner og pølbranner. I forbindelse med eskaleringsanalyser skal sannsynligheten for at en brann vil omslutte omliggende utstyr eller struktur, som avhenger av størrelsen på flammen og lekkasjestørrelsen, være med i vurderingen. Den delen av utstyret og strukturen en flamme eksponerer er mindre dersom lekkasjeraten reduseres. Denne omslutningssannsynligheten multipliseres med brannfrekvensen når dimensjonerende ulykkelast skal fastsettes. Dette er nærmere forklart i delkapittel 3.2. Konservativt så antas det at en liten jetflamme vil ha en omslutningssannsynlighet på 50%. I realiteten vil omslutningssannsynligheten variere fra situasjon til situasjon og det er derfor også mulig å vurdere denne ut fra CFD-modelleringer. Figuren under viser struktur og utstyr som er eksponert for varme. Utstyr som belastes med varmelaster over  $5\text{ kW/m}^2$  vises i forskjellige fargekoder. Ut ifra denne figuren kan en gå inn og studere om utstyr er eksponert for varme og dermed vurdere omslutningssannsynligheten.



En jetbrann med en utslippsrate på  $0,5\text{ kg/s}$  vil, i henhold til brannanalyser fra casestudiet, ha en flammelengde på mellom 6 og 10 meter og vil med stor



sannsynlighet omslutte store deler av det nærliggende utstyret. Desto lavere utslippsraten til en brann er, desto større blir varigheten til utslippet. Dette er på grunn av at det vil ta lenger tid å tømme et segment etter nedstenging, desto lavere lekkasjeraten er. En typisk jetflamme med en utslippsrate i denne størrelsen vil bidra med en typisk varmelast på  $250 \text{ kW/m}^2$  [6].

Utstyret i nærheten av en liten jetflamme vil derfor ha en stor varmebelastning over lengre tid, hvis det ført eksponeres. Dette kan medføre en stor fare for svekkelse av trykksatt utstyr i tilknytning til enten samme segment eller nabosegment. Denne svekkelsen kan medføre nye brudd som medfører potensielt større lekkasjerater som skaper nye scenario.

Når en jetflamme med en lekkasjerate på  $0,5 \text{ kg/s}$  (liten lekkasje) ble studert ved hjelp av CFD-modellen KFX, observeres det at området som belastes av varme av svært lav, som vist i Figur 5.2-1, men ved hjelp av slike studier kan en vurdere hva sannsynligheten for omslutning blir ved å studere belastningen på nærliggende utsyr. Avhengig av mengden og tettheten av utstyr i området og retning på jetflammen vil denne variere, men en typisk omslutningssannsynlighet er i henhold til metode 2 på rundt 10%.

En flamme med stor lekkasjerate og en større omslutning vil bidra til at et større område eksponeres for varme. Det er logisk å tenke at sannsynligheten for eskalering vil øke betraktelig. Men når varigheten til en liten flamme vil være så mye større kan det tenkes at sannsynligheten for eskalering til nærliggende utstyr og segment er stor. Hvis en tar hensyn til hva sannsynligheten for at en liten flamme vil eksponere det totale mengden utstyr, blir brannfrekvensen til en liten flamme beregnet til å være svært liten. Dette betyr at når dimensjonerende brannlast skal fastsettes, prioriteres store branner med kortere varighet over langvarige branner med små lekkasjerater. Omslutningssannsynlighet bør kanskje vurderes slik at den får en verdi på 100% eller 0% avhengig av om utstyr eksponeres eller ikke. Hvis utstyr i nærheten av lekkasjen eksponeres for varme, må dette tas hensyn til i samme grad uavhengig av om sannsynligheten for å eksponere annet utstyr er stor eller liten.

## **DUL**

I henhold til metode 1 og metode 2 presenteres den dimensjonerende ulykkeslasten som henholdsvis varmedose og brannvarighet. Da varmedose er varmefluks integrert med hensyn på tid, er hovedforskjellen mellom disse måtene å beskrive varmebelastning på, at varmefluksmåling er en dynamisk verdi som endres i løpet av brannscenarioet, mens varmedose er en verdi som viser hvor mye energi et gitt punkt er belastet med i fra start til tidspunktet når

lekkasjen er avsluttet. Fluksmålinger forteller hvilken varme et gitt målepunkt mottar i form av konveksjon, strålevarme eller varmeoverføring til en hver tid. Dette er forhold som varierer igjennom et brannscenario ettersom forholdene som påvirker brannforløpet kan endre seg. For eksempel når lekkasjeraten ved et lekkasjepunkt avtar vil flammelengden og flammeformen endre seg. Dette vil medføre at punktet som blir mest eksponert for strålevarme vil forflytte seg i løpet av brannscenarioet. En antent, stor lekkasje i et lite område vil kanskje ha størst brannbelastning ved utsiden hvor det er fri tilgang på luft, mens etter hvert som lekkasjeraten synker vil brannen bevege seg nærmere lekkasjepunktet.

Varmedose er et mål på totalt mottatt varme i løpet av et helt brannscenario. Målepunktet som skal benyttes for å vurdere vurderinger er det punktet som mottar høyest belastning av varmekraft. Metode 1 tar hensyn til en transient lekkasjerate. Det vil si at varmekraften vil bevege seg ettersom lekkasjeraten reduseres i løpet av brannscenarioet. Det er her praksis å måle varmekraft ved forskjellige tidspunkt i løpet av brannscenarioet. En gjennomsnittsbetegnelse benyttes videre for å vurdere total varmedose. I henhold til metode 2, benyttes normative varmelaster fra NORSOK S-001, eller CFD-analyser med stabil lekkasjerate for å vurdere brannbelastning.

Varmedose forteller ingenting om tidsaspektet i en brann. En liten flamme med lang varighet kan dermed gi en like stor varmedose som en stor flamme med kort varighet. Dette gjør at enhver størrelse på brann vil bli tatt hensyn til i vurderingen av dimensjonerende ulykkeslast. Hvorvidt varmedosen belaster struktur eller utstyr i området, vurderes i henhold til metode 1 og metode 2 ved å medregne omslutningssannsynlighet i brannfrekvensen.

Fordelen med å benytte varmedose som dimensjonerende mål kan være at:

- En får en oversikt over belastningen i form av varmekraft og tid i ett tall
- En har lettere mulighet for å kunne sammenligne DUL opp mot forskjellige moduler eller plattformer. Eventuelt kan DUL evalueres igjennom de forskjellige prosjektfasene ved bygging eller vedlikehold av en plattform ettersom endringer utføres og barrierer implementeres

Den dimensjonerende ulykkeslasten fastsettes ved at konsekvens settes opp mot årlig frekvens og presenteres i en årligfrekvens/last kurve. Y-aksen i plottet viser den gjeldende brannfrekvensen, mens x-aksen viser konsekvensen. Ved å ha et klart definert akseptkriterium, vil en finne den dimensjonerende brannulykkeslasten fra plottet. Ved å benytte den årlige hendelsesfrekvensen  $10^{-4}$  som akseptkriterium, vil en få en tilhørende ulykkeslast på x-aksen. Alle laster på venstre side av ulykkeslasten i grafen vil være mindre og dermed være

dimensjonert for. Til høyre for den dimensjonerende ulykkeslasten er lastene høyere, men har en så lav årlig hendelsesfrekvens at de har en akseptert risiko.

I henhold til metode 1 er last / årlig brannfrekvens - plottet basert på en rangert liste over konsekvensen til alle potensielle brannscenario fra lav til høy, med tilhørende brannfrekvens. Årlig brannfrekvens summeres så i en egen kolonne fra høy konsekvens og opp til lav, som vist i

Tabell 5.2-1.

Tabell 5.2-1, Kumulativ frekvens, case

Konsekvens	Frekvens	Kumulativ frekvens
$Last_1$	$Frekvens_1$	$Frekvens_{1+\dots+(n-1)+n}$
...	...	...
...	...	...
...	...	...
$Last_{n-1}$	$Frekvens_{n-1}$	$Frekvens_{(n-1)+n}$
$Last_n$	$Frekvens_n$	$Frekvens_n$

Dette betyr at hvor nøyaktig den dimensjonerende ulykkeslasten blir, avhenger av hvor mange simuleringer som er utført og hvor stor konsekvens de forskjellige brannscenarioene representerer. Hvis det er gjort et dårlig utvalg av brannscenario som ikke representerer verste utfall, vil den kumulative frekvensen nå akseptkriteriet på  $10^{-4}$  når brannlasten er for lav. Hvis en ikke tar hensyn til alle mulige lekkasjepunkter, men de segmenter som har størst innhold av hydrokarboner og høyest årlig brannfrekvens vil en få en liste over brannscenario som representerer den høyeste konsekvensen. Med tanke på den kumulative frekvensen er disse lastene viktigere enn alle de lave brannlastene. Det er derfor svært viktig at den første risikoanalysen som avgjør hvilke segmenter og brannscenario som skal brukes blir vurdert nøye.

Faren med denne typen tidlig utvelgelse av segmenter med potensielt høy konsekvens og brannfrekvens, er at det kan være vanskelig å avgjøre hvor man skal sette grensen for hvor mange segmenter som skal inngå i analysen. Denne tidlige vurderingen utgjør derfor en usikkerhet. Det mest optimale vil derfor være å inkludere alle segment og alle potensielle brannscenario. Dette er ikke praktisk gjennomførbart fra et økonomisk- og tids-perspektiv i prosjektsammenheng.

I metode 2 presenteres dimensjonerende ulykkeslast som brannvarighet basert på segmentstørrelser, lekkasjefrekvenser, antennessannsynligheter,

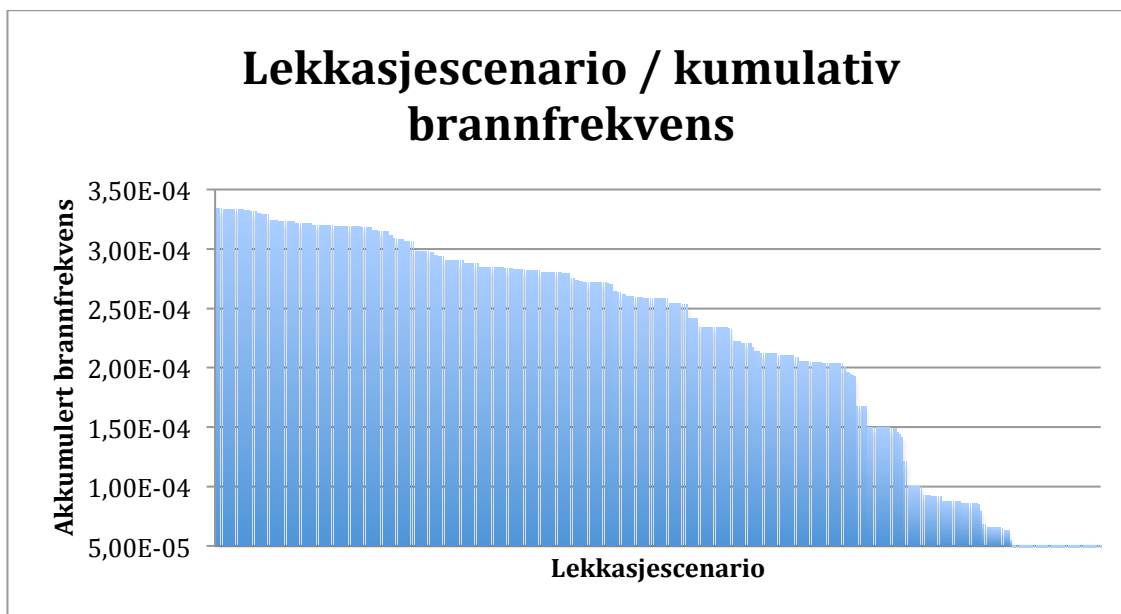
nedstengingstider til segmentene og effekten av trykkavlastning. Den dimensjonerende ulykkeslasten fastsettes på samme måte som i metode 1, hvor lastene (brannvarighetene) rangeres fra lav til høy med tilhørende brannfrekvens. Brannvarighetene plottes så mot kumulativ brannfrekvens. Denne metoden vil inkludere samtlige segmenter og lekkasjerater mot brannfrekvenser. Den potensielle faren for å overse viktige brannscenario vil reduseres kraftig og alle potensielle brannvarigheter med tilhørende brannfrekvens vil være med i vurderingen.

Svakheten med denne metoden er når selve brannbelastningen skal implementeres i analysen. Ved å benytte normative brannlaster og ikke brannlaster som representerer brann i analyseområdet, vil det være stort potensial for sprik i resultater fra brannanalysen og den faktiske dimensjonerende brannlasten som vil oppstå  $10^{-4}$  ganger per år. I henhold til metode 2 er CFD-analyser et alternativ til å bruke disse lastene. Hvis dette skal gjøres er det ønskelig å redusere antallet brannscenario for å ivareta effektiviteten med metoden.

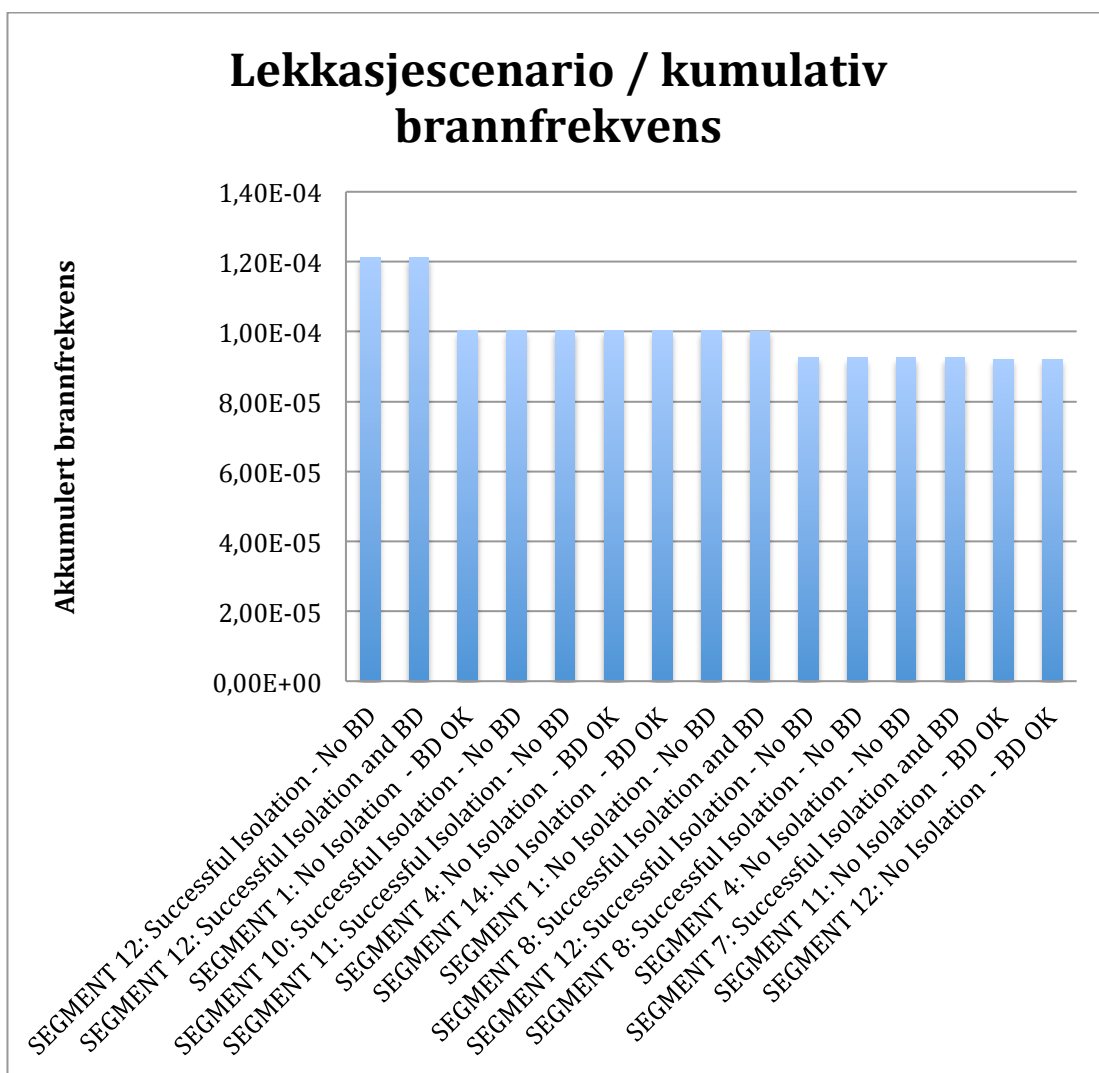
### 5.3 Forslag til forbedring

For å benytte en metode som tar hensyn til alle segmenter, lekkasjerater og varigheter samt unngå å bruke normative brannlaster, bør det vurderes hvilke brannscenario som representerer den dimensjonerende ulykkeslasten før simuleringene starter. Hvis en dimensjonerende brannvarighet beregnes i henhold til metode 2, for hver av lekkasjeratene, kan man sortere disse, som med varmedosene i metode 1, og sette opp en varighet/kumulativ frekvens tabell. Dette gjøres ved å sortere brannvarigheter med tilhørende årlig frekvens og summere kumulativ frekvens, som i Tabell 5.2-1. Hvis en benytter samme datagrunnlag, men lager et plott som erstatter varigheter med de tilhørende lekkasjesenarioene, i x-aksen, kan en finne hvilket segment og som representerer den dimensjonerende brannvarigheten.

Denne metoden er testet for å finne det de segment som representerer den dimensjonerende brannvarigheten fra casestudiet. Brannvarighetene og brannfrekvensene som representerer stor lekkasje ble sortert fra liten varighet til stor, med tilhørende frekvens og er presentert i Graf 5.3-1. Det var over 400 lekkasjesenario med i vurderingen av dimensjonerende lekkasjevarighet. Lekkasjesenario som er i området rundt akseptkriteriet på en årlig brannfrekvens lik  $10^{-4}$  vises derfor for seg selv i Graf 5.3-2.

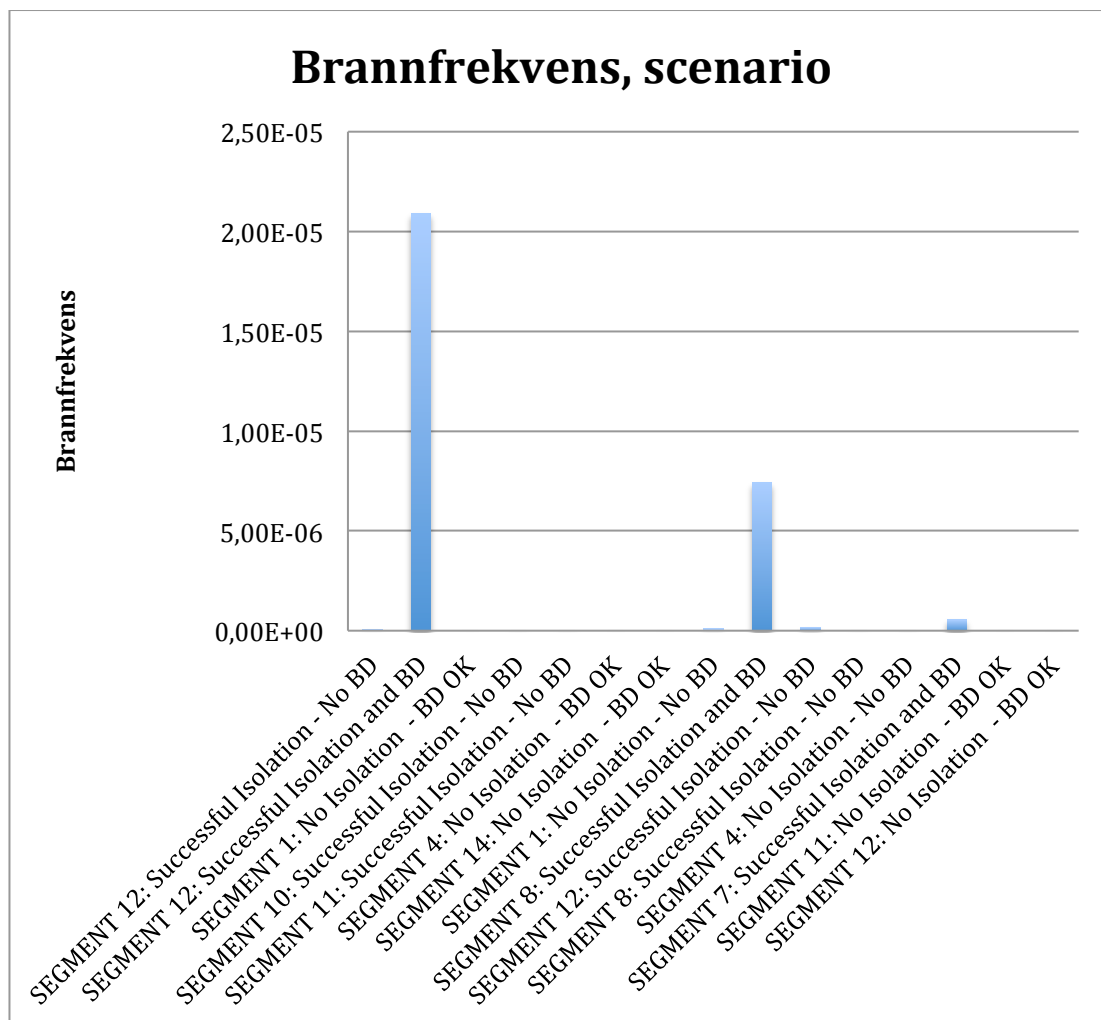


Graf 5.3-1, Lekkasjescenario mot kumulativ frekvens, diskusjon



Graf 5.3-2, Lekkasjescenario mot kumulativ frekvens, diskusjon-2

Det er mange lekkasjescenario med varighet som er i nærheten av akseptkriteriet på  $10^{-4}$ . De samme scenarioene er listet under med tilhørende brannfrekvens for å bidra til vurdering av hvilke lekkasjescenario som bidrar mest til den kumulative brannfrekvensen, og derfor er mer representative.



Graf 5.3-3, Brannfrekvens, diskusjon

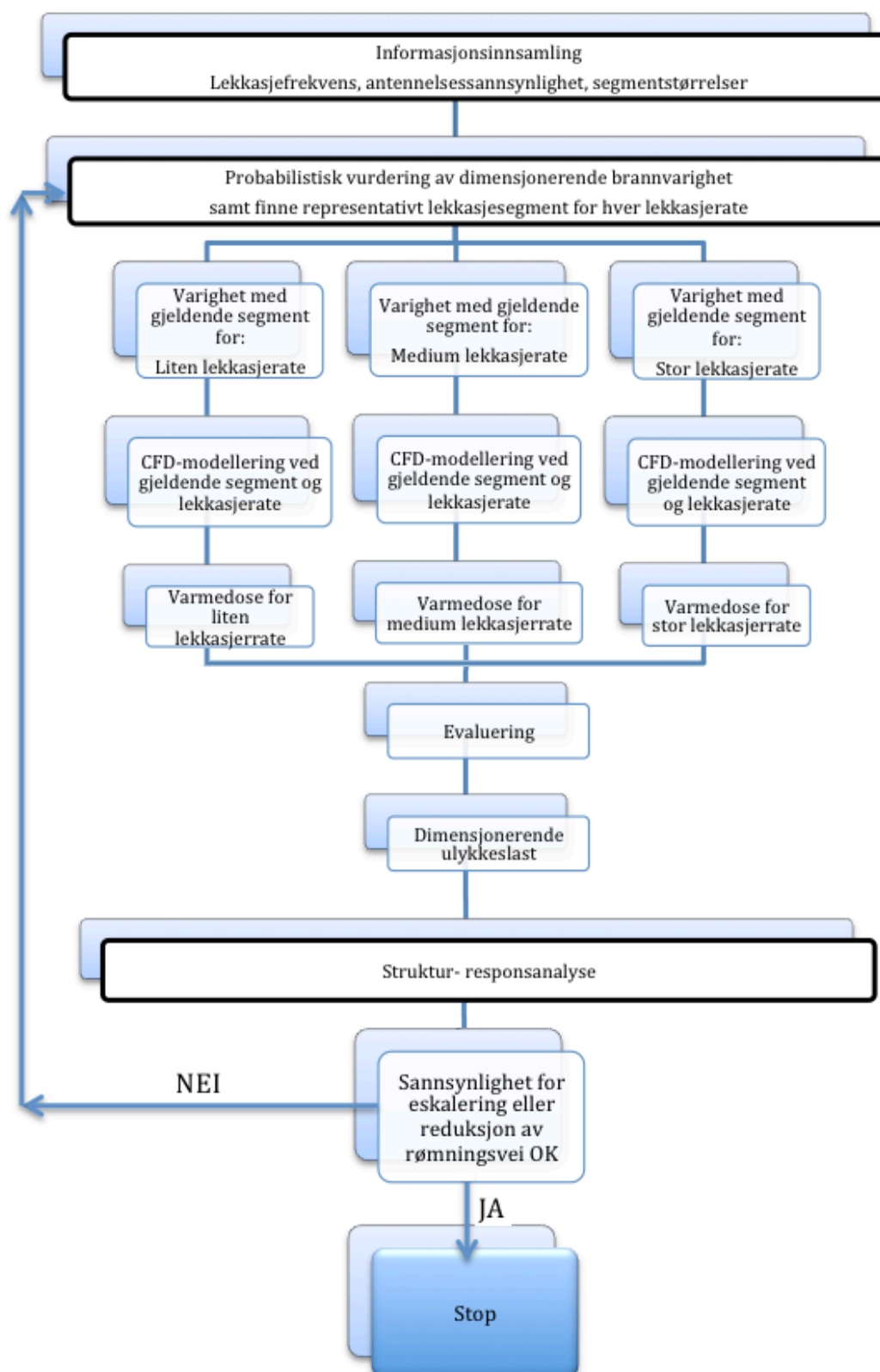
Fra dette finner vi ut at en stor lekkasje i segment 12, 1,10, 11, 4, 14, 8, 4, 7, 11, og 12 vil gi en dimensjonerende lekkasjevarighet, men av de nevnte segmentene er det bare segment 12 og segment 8 som har en høy årlig brannfrekvens. Det betyr at segment 12 og 8 vil være bra representanter for den dimensjonerende brannvarigheten. Hvis en ser tilbake på casestudiet og den første risikovurderingen av segmentene, basert på innhold av hydrokarboner i segmentene og lekkasjefrekvens, er segmentene 12 og 8 to av de fem segmentene som skiller seg ut med høyt risikopotensiale.

Hvis denne metoden benyttes for å selektere ut hvilke segment som representerer den dimensjonerende brannvarigheten, og hvilke brannfrekvenser

de forskjellige lekkasjescenario bidrar med til den kumulative brannfrekvensen, vil en kunne vurdere hvilke segment som representerer den dimensjonerende brannvarigheten.

CFD modellering av lekkasjer ved disse segmentene vil vise hvilke brannlaster som kan forekomme for den dimensjonerende brannvarigheten. Hvis denne prosessen gjentas for alle lekkasjerater som er benyttet i brannvarighetsanalysen, vil en få oversikt over hvilke varigheter og brannlaster en liten, medium og stor lekkasjerate vil bidra med. Ved å integrere varmefluksen med hensyn på dimensjonerende brannvarighet, for hver lekkasjerate, vil en få oversikt over varmedosen for branner med liten, medium og stor lekkasjerate. På denne måten blir det tatt hensyn til alle lekkasjerater og varigheter i vurderingen av den dimensjonerende brannulykkeslast. Og allikevel reduseres antall nødvendige brannscenario til et minimum. Hvis metoden gir bra resultater vil bidra til en tid- og kostnadseffektiv analyseprosess som gir nødvendig informasjon for å gjøre en bra vurdering av brann-DUL. I figur 5.3-2, er forslag til metode satt i et flytdiagram.

Merk at denne metoden for utvelgelse av dimensjonerende lekkasjescenario er et forslag som må studeres videre og valideres før metoden eventuelt kan benyttes.



Figur 5.3-1, Flytdiagram over forslag til videre studier av metode for probabilistisk brannanalyse



## 5.4 Diskusjon av caseresultater

I casestudiet er probabilistiske brannanalyser utført i henhold til metode 1 og metode 2. Brannscenarioene i siste del av casestudiet er bestemt etter en delvis kvantitativ og delvis kvalitativ vurdering. Hvilke segmenter som er representative er vurdert i forhold til segmentenes mengde av brennbar gass og lekkasjesannsynlighet. Videre er lekkasjeretninger, vindretning og andre variabler fastsatt for å gi størst konsekvens med tanke på eksponering av utstyr og struktur. Denne metoden gir et utvalg brannscenario som representerer de verst tenkelige brannbelastningene. En potensiell feilkilde i denne delen av casestudiet er at brannscenario som er viktige for analysen ikke er tatt hensyn til. Å redusere antall brannscenario var nødvendig for å kunne gjennomføre prosjektet i denne sammenheng. Ideelt sett burde alle brannscenario fra de høyest risikorangerte segment, spesielt segment 12 inngått i analysen.

I tillegg er varmelastene som er benyttet i CFD-modelleringene basert på en konstant lekkasjerate. Simuleringen er stanset når forhold, som inn og utstrømning av karboner i modellen og strålefluksraten, er stabile. Strålefluksraten er den andel av varmen som går fra flammen til omgivelsene som i form av strålefluks. Fluksmålingene en da får ut vil representere de målinger fra den høyest tenkelig lekkasjerate. I realiteten vil massefluksen til brenselet avta i løpet av brannforløpet. Dette resulterer i at flammestørrelsen og varmekraft avtar og at den totale varmedosen vil være mindre enn den som fastsettes som dimensjonerende ved å benytte varmekraften fra en konstant lekkasje. I henhold til metode 1 skal man simulere hele brannforløpet og registrere fluksmålinger ved forskjellige tider etter hvert som lekkasjeraten avtar. Det blir så beregnet en form for gjennomsnittsverdi for varmekraften som benyttes videre i beregninger. Dette er ikke mulig når en simulerer for en fast lekkasjerate.

Når den dimensjonerende brannvarigheten er fastsatt i henhold til metode 2, er det tatt hensyn til alle segment med tilhørende lekkasjesenario. Den begrensende faktoren her er at det er benyttet normative laster fra NORSOK S-001, for å fastsette brannbelastning. Brannbelastningen vil ikke representere en faktisk belastning som vil oppstå i den gjeldende modulen. Ved å kombinere den dimensjonerende brannvarighet, med brannbelastninger fra segmentene som representerer varigheten, som diskutert i kapittel 5.3, vil gi en bedre oversikt over den faktiske brannbelastningen.

Resultatene fra hver av metodene er beregnet til varmedose, basert på varmekraft og brannvarigheten vises i Tabell 5.4-1.

Tabell 5.4-1, Sammenligning av caseresultater

Metode	Varmedose [MJ m <sup>-2</sup> ]
1	274
2	178
Metodeforslag	250

Varmedosen fra metode 2 og metodeforslaget som ble diskutert i kapittel 5.3, er basert på samme brannvarighet, men varmekraften er basert på CFD-modellering i metodeforslaget. Varmekraften som er grunnlaget for varmedosen i fra metode 1 og fra metodeforslaget er svært høy i forhold til den normative brannlasten fra NORSOK S-001. Dette kan ha noe med at brannsimuleringene er basert på konstant lekkasjerate og ikke avtagende. En gjennomsnittlig varmekraft gjennom hele brannforløpet vil kunne gi en mer realistisk brannbelastning. På en annen side vil det være vesentlig å ta hensyn til lokale toppunkt for å vurdere om den lokale varmekraften vil være ødeleggende. Det viser at hvordan en vurderer hvilken brannlast som skal benyttes er svært avgjørende for den totale varmedosen.

## 6 KONKLUSJON

I oppgaven er det utført en studie av detaljgrad ved gjennomføring av probabilistisk brannanalyse som fastsetter dimensjonerende brann-ulykkeslast.

En ny metode for gjennomføring av probabilistisk brannanalyse er under utvikling og vil publiseres i NORSOK standard Z-013 så snart den ferdigstilles. I mellomtiden benyttes forskjellige metoder med ulik detaljgrad, av forskjellige aktører i olje- og gassbransjen.

Ulik detaljgrad i analysemetode vil bidra til forskjellige former av usikkerhet i modellene, ulikt behov for arbeidsressurser og ulik grad av innsikt i de forskjellige potensielle brannscenario.

En analyse må ha klart definerte mål for å fastsette behovet for detaljgrad. Det er ønskelig å redusere antallet potensielle brannscenario, uten å øke usikkerheten i analysen. En måte å få til dette er å benytte metoder som effektivt prosesserer den data som er tilgjengelig, uten å kreve for mye ressurser.

Metode 1 benytter konsekvent CFD-modellering for å fastsette brannbelastning og presenterer belastningen i form av varmedose. Metode 2 legger fokus på å fastsette dimensjonerende brannvarighet. Varmebelastningen fastsettes i ved å benytte CFD-modellering, eller benytte normative brannlaster som er foreslått i NORSOK S-001. En måte å effektivisere metoden kan være å kombinere metode 1 og 2. Den dimensjonerende ulykkeslasten fastsettes i henhold til metode 2, men kun segmentene som representerer brannvarigheten benyttes for videre studer av brannbelastning. Denne prosessen utføres for hver av lekkasjeratene, og presenteres i varmedose. En vil da få oversikt over varmebelastningen fra en liten, medium og stor lekkasje og en kan da avgjøre dimensjonerende brannulykkeslast ved at alle segmenter, lekkasjesenario samt gjeldende brannbelastning for samtlige lekkasjerater er med i vurderingen.

## REFERANSER

1. NORSOK. **Risk and emergency preparedness assessment**. [S.l.]. 2009. (Z-013 Draft edition 3).
2. AVEN, T. **Risk Analysis, Assessing Uncertainties Beyond Expected Values and Probabilities**. Stavanger: John Wiley & Sons, Ltd, 2008.
3. DRYSDALE, D. **An Introduction to Fire Dynamics**. 2nd Edition. ed. Edinburg: John Wiley & Sons, 2000.
4. PETROLEUMSTILSYNET. **Innretningsforskriften**. [S.l.]. 2010.
5. PETROLEUMSTILSYNET. **Forskrift om utforming og utrustning av innretninger med mer i petroleumsvirksomheten**. [S.l.]. 2010.
6. NORSOK. **Technical safety**. [S.l.]. 2008. (S-001 4.edition).
7. EISENBERG, N. A. **Vulnerability Model. A Simulation System for assessing Damage resulting from Marine Spills**. Springfield. 1975.
8. SCANDPOWER. **Handbook for Fire Calculations and Fire Risk Assessment in the Process Industry**. 4th Edition. ed. [S.l.]: [s.n.], 2003.
9. FAHTS - Fire And Heat Transfer Simulations for Performance based Fire Design. **Usfos Reality Engineering**. Disponibel em: <[http://www.usfos.no/product\\_info/fahts/index.html](http://www.usfos.no/product_info/fahts/index.html)>.
- 10 USFOS Reality Engineering. Disponibel em: <[www.usfos.com](http://www.usfos.com)>
- 11 FABIG. **Technical note 11: Fire Loading and Structural Respons**. [S.l.]. 2010.
- 12 FABIG. **Technical Note 8: Protection of Piping Systems subject to Fires and Explosions**. [S.l.]. 2005.
- 13 HUSER, A. **Brann- og eksplosjonssikring i petroleumsvirksomheten**. . Haugesund: [s.n.]. 2007.

- 14 DNV-SCANDPOWER. **Guidelines for use of JIP Ignition Model**. Høvik. 1999. . (99-3193).
- 15 SCANDPOWER. **Ignition modeling in risk analysis - OLF**. [S.l.]. 2007. . (89.390.008/R8).
- 16 DNV-SCANDPOWER. **Time Dependent Internal Ignition Modelling**. Høvik. . 1999. (99-3193/27.29.03).
- 17 DNV-CONSULTING. **Towards Probabilistic fire procedure and combined fire and explosion risk based design**. [S.l.]. 2004. (2005-0474).
- 18 PETROLEUMSTILSYNET. Ptil - Rammeforskriften. **Ptil**. Disponibel em: . <[http://www.ptil.no/rammeforskriften/category381.html#\\_Toc280221799](http://www.ptil.no/rammeforskriften/category381.html#_Toc280221799)> .

## **VEDLEGG A**

### Brannsimuleringer med KAMELON FireEx for Casestudie

## FIGURLISTE, VEDLEGG A

Figur A- 1, Scenario 02 .....	77
Figur A- 2, Scenario 04 .....	77
Figur A- 3, Scenario 07 .....	77
Figur A- 4, Scenario 05 .....	78
Figur A- 5, Scenario 08 .....	78
Figur A- 6, Scenario 01 .....	78
Figur A- 7, Scenario 03 .....	79
Figur A- 8, Scenario 06 .....	79
Figur A- 9, Scenario 09 .....	79
Figur A- 10, Scenario 10.....	80
Figur A- 11, Scenario 13.....	80
Figur A- 12, Scenario 16.....	80
Figur A- 13, Scenario 19.....	80
Figur A- 14, Scenario 11.....	81
Figur A- 15, Scenario 14.....	81
Figur A- 16, Scenario 17.....	81
Figur A- 17, Scenario 20.....	81
Figur A- 18, Scenario 12.....	82
Figur A- 19, Scenario 15.....	82
Figur A- 20, Scenario 18.....	82
Figur A- 21, Scenario 21.....	82
Figur A- 22, Scenario 22.....	83
Figur A- 23, Scenario 25.....	83
Figur A- 24, Scenario 28.....	83
Figur A- 25, Scenario 31.....	83
Figur A- 26, Scenario 23.....	84
Figur A- 27, Scenario 26.....	84
Figur A- 28, Scenario 29.....	84
Figur A- 29, Scenario 32.....	84
Figur A- 30, Scenario 27.....	85
Figur A- 31, Scenario 24.....	85
Figur A- 32, Scenario 30.....	85
Figur A- 33, Scenario 33.....	85
Figur A-34, Medium, A03.....	86
Figur A-35, Stor, A03 .....	86
Figur A-36, Liten,A03 .....	86
Figur A-37, Liten, A01 .....	86
Figur A-38, Medium, A01.....	86
Figur A-39, Stor, A05 .....	86
Figur A-40, Stor, A01 .....	87
Figur A-41, Medium,A05.....	87

## **Innledning**

For å fastsette dimensjonerende brannulykkeslast på en plattform, er det gjennomført 33 brannsimuleringer ved å benytte simuleringskoden Kamelon FireEx KFX. Brannscenarioene er definert slik at de vil ha potensial til å gi størst mulig konsekvens, i form av varmelast.

I dette vedlegget er først forutsetningene for hvert brannscenario presentert i tabellform. Denne form for dokumentasjon vil gi grunnlag for videre studier, hvis det skulle bli behov. Videre presenteres et skjermbilde av temperaturdistribusjonen til ethvert brannscenario. De siste bildene viser målinger av hvor mye varmefluks struktur og utstyr blir eksponert for. Kun struktur og utstyr som eksponeres for over 5 kW/m<sup>2</sup> er synlig.



Tabell A-1, Karakteristika for brannscenario

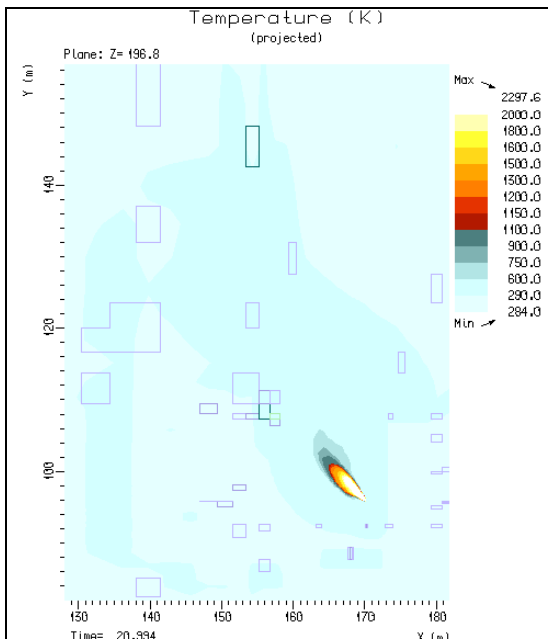
Scenario	Segment	Volum [m <sup>3</sup> ]	Molvekt (HC) [g/mol]	Temperatur [°C]	Trykk [barg]	Koordinater Lekkasje [m]	Retning Jett	Vind [m/s]	Komponent	Hull [m]	Lekkasjerate [kg/s]
01	Scrubber 2 trinn	111,4	29,4	26,6	6,7	X=170,13	X=-0,5	128°	Flens mellom C2006 og gassrør ut.	D=0,069921	5
						Y=95,877	Y=0,5	10		eD=0,1788	
						Z=196,63	Z=0				
02	Scrubber 2 trinn	111,4	29,4	26,6	6,7	X=170,13	X=-0,5	128°	Flens mellom C2006 og gassrør ut.	D=0,069921	20
						Y=95,877	Y=0,5	10		eD=0,1788	
						Z=196,63	Z=0				
03	Scrubber 2 trinn	111,4	29,4	26,6	6,7	X=170,13	X=-0,5	128°	Flens mellom C2006 og gassrør ut.	D=0,018984 7	0,5
						Y=95,877	Y=0,5	10		eD=0,0484	
						Z=196,63	Z=0				
04	Scrubber 2 trinn	111,4	29,4	26,6	6,7	X=170,13	X=-1,0	180°	Flens mellom C2006 og gassrør ut.	D=0,018984 7	0,5
						Y=95,877	Y=0	10		eD=0,0484	
						Z=196,63	Z=0				
05	Scrubber 2 trinn	111,4	29,4	26,6	6,7	X=170,13	X=-1,0	180°	Flens mellom C2006 og gassrør ut.	D=0,060039 4	5
						Y=95,877	Y=0	10		eD=0,1531	
						Z=196,63	Z=0				
06	Scrubber 2 trinn	111,4	29,4	26,6	6,7	X=170,13	X=-1,0	180°	Flens mellom C2006 og gassrør ut.	D=0,12007	20
						Y=95,877	Y=0	10		eD=0,3063	
						Z=196,63	Z=0				
07	Scrubber 2 trinn	111,4	29,4	26,6	6,7	X=170,13	X=0	90°	Flens mellom C2006 og gassrør ut.	D=0,018984 7	0,5
						Y=95,877	Y=1	10		eD=0,0484	
						Z=196,63	Z=0				
08	Scrubber 2 trinn	111,4	29,4	26,6	6,7	X=170,13	X=0	90°	Flens mellom C2006 og gassrør ut.	D=0,060039 4	5
						Y=95,877	Y=1	10		eD=0,1531	
						Z=196,63	Z=0				

Scenario	Segment	Volum [m <sup>3</sup> ]	Molvekt (HC) [g/mol]	Temperatur [°C]	Trykk [barg]	Koordinater Lekkasje [m]	Retning Jett	Vind [m/s]	Komponent	Hull [m]	Lekkasjerate [kg/s]
09	Scrubber 2 trinn	111,4	29,4	26,6	6,7	X=170,13	X=0	90°	Flens mellom C2006 og gassrør ut.	D=0,12007	20
						Y=95,877	Y=1				
						Z=196,63	Z=0	10	eD=0,3063		
10	Injection scrubber	48,6	22,3	50	168,1	X=156,105	X=0,5	0°	Flens mellom C2010 og gassrør ut.	D=0,004424	0,5
						Y=134,603	Y=-0,5				
						Z=194,778	Z=0	10	87 eD=0,0556		
11	Injection scrubber	48,6	22,3	50	168,1	X=156,105	X=0,5	0°	Flens mellom C2010 og gassrør ut.	D=0,013992	5
						Y=134,603	Y=-0,5				
						Z=194,778	Z=0	10	7 eD=0,1760		
12	Injection scrubber	48,6	22,3	50	168,1	X=156,105	X=0,5	0°	Flens mellom C2010 og gassrør ut.	D=0,027985	20
						Y=134,603	Y=-0,5				
						Z=194,778	Z=0	10	4 eD=0,3521		
13	Injection scrubber	48,6	22,3	50	168,1	X=156,105	X=-0,5	330°	Flens mellom C2010 og gassrør ut.	D=0,004424	0,5
						Y=134,603	Y=-0,5				
						Z=194,778	Z=0	10	87 eD=0,0556		
14	Injection scrubber	48,6	22,3	50	168,1	X=156,105	X=-0,5	330°	Flens mellom C2010 og gassrør ut.	D=0,039706	5
						Y=134,603	Y=-0,5				
						Z=194,778	Z=0	10	7 eD=0,1732		
15	Injection scrubber	48,6	22,3	50	168,1	X=156,105	X=-0,5	330°	Flens mellom C2010 og gassrør ut.	D=0,027985	20
						Y=134,603	Y=-0,5				
						Z=194,778	Z=0	10	4 eD=0,3521		
16	Injection scrubber	48,6	22,3	50	168,1	X=156,105	X=0,5	45°	Flens mellom C2010 og gassrør ut.	D=0,004424	0,5
						Y=134,603	Y=0,5				
						Z=194,778	Z=0	10	87 eD=0,0556		
17	Injection scrubber	48,6	22,3	50	168,1	X=156,105	X=0,5	45°	Flens mellom C2010 og gassrør ut.	D=0,013992	5
						Y=134,603	Y=0,5				
						Z=194,778	Z=0	10	7 eD=0,1760		

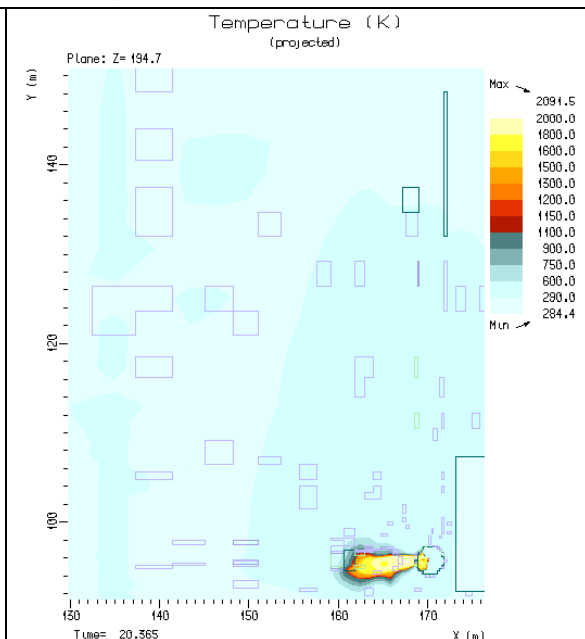
Scenario	Segment	Volum [m <sup>3</sup> ]	Molvekt (HC) [g/mol]	Temperatur [°C]	Trykk [barg]	Koordinater Lekkasje [m]	Retning Jett	Vind [m/s]	Komponent	Hull [m]	Lekkasjerate [kg/s]
18	Injection scrubber	48,6	22,3	50	168,1	X=156,105	X=0,5	45°	Flens mellom C2010 og gassrør ut.	D=0,027985 4	20
						Y=134,603	Y=0,5				
						Z=194,778	Z=0	10		eD=0,3521	
19	Injection scrubber	48,6	22,3	50	168,1	X=156,105	X=-0,5	0°	Flens mellom C2010 og gassrør ut.	D=0,004424 87	0,5
						Y=134,603	Y=0,5				
						Z=194,778	Z=0	10		eD=0,0556	
20	Injection scrubber	48,6	22,3	50	168,1	X=156,105	X=-0,5	0°	Flens mellom C2010 og gassrør ut.	D=0,013992 7	5
						Y=134,603	Y=0,5				
						Z=194,778	Z=0	10		eD=0,1760	
21	Injection scrubber	48,6	22,3	50	168,1	X=156,105	X=-0,5	0°	Flens mellom C2010 og gassrør ut.	D=0,027985 4	20
						Y=134,603	Y=0,5				
						Z=194,778	Z=0	10		eD=0,3521	
22	Inlet separator	201,6	22,8	75	29	X=150,97	X=0,5	180°	Flens mellom CD2001 og ESD ventil	D=0,010645	0,5
						Y=120,06	Y=0,5				
						Z=196,90	Z=-0,25	10		eD=0,0558	
23	Inlet separator	201,6	22,8	75	29	X=150,97	X=0,5	180°	Flens mellom CD2001 og ESD ventil	D=0,033662 4	5
						Y=120,06	Y=0,5				
						Z=196,90	Z=-0,25	10		eD=0,1764	
27	Inlet separator	201,6	22,8	75	29	X=150,97	X=0,5	180°	Flens mellom CD2001 og ESD ventil	D=0,067325	20
						Y=120,06	Y=0,5				
						Z=196,90	Z=-0,25	10		eD=0,3529	
25	Inlet separator	201,6	22,8	75	29	X=150,97	X=0,5	180°	Flens mellom CD2001 og ESD ventil	D=0,010645	0,5
						Y=120,06	Y=-0,5				
						Z=196,90	Z=-0,25	10		eD=0,0558	
26	Inlet separator	201,6	22,8	75	29	X=150,97	X=0,5	180°	Flens mellom CD2001 og ESD ventil	D=0,033662 4	5
						Y=120,06	Y=-0,5				
						Z=196,90	Z=-0,25	10		eD=0,1764	

Scenario	Segment	Volum [m <sup>3</sup> ]	Molvekt (HC) [g/mol]	Temperatur [°C]	Trykk [barg]	Koordinater Lekkasje [m]	Retning Jett	Vind [m/s]	Komponent	Hull [m]	Lekkasjerate [kg/s]
24	Inlet separator	201,6	22,8	75	29	X=150,97	X=0,5	180°	Flens mellom CD2001 og ESD ventil	D=0,067325	20
						Y=120,06	Y=-0,5	10		eD=0,3529	
						Z=196,90	Z=-0,25				
28	Inlet separator	201,6	22,8	75	29	X=150,97	X=-0,5	0°	Flens mellom CD2001 og ESD ventil	D=0,010645	0,5
						Y=120,06	Y=-0,5	0		eD=0,0558	
						Z=196,90	Z=-0,25				
29	Inlet separator	201,6	22,8	75	29	X=150,97	X=-0,5	0°	Flens mellom CD2001 og ESD ventil	D=0,033662	5
						Y=120,06	Y=-0,5	0		4	
						Z=196,90	Z=-0,25			eD=0,1764	
30	Inlet separator	201,6	22,8	75	29	X=150,97	X=-0,5	0°	Flens mellom CD2001 og ESD ventil	D=0,067325	20
						Y=120,06	Y=-0,5	0		eD=0,3529	
						Z=196,90	Z=-0,25				
31	Inlet separator	201,6	22,8	75	29	X=150,97	X=-0,5	0°	Flens mellom CD2001 og ESD ventil	D=0,	0,5
						Y=120,06	Y=0,5	0		eD=0,	
						Z=196,90	Z=-0,25				
32	Inlet separator	201,6	22,8	75	29	X=150,97	X=-0,5	0°	Flens mellom CD2001 og ESD ventil	D=0,	5
						Y=120,06	Y=0,5	0		eD=0,	
						Z=196,90	Z=-0,25				
33	Inlet separator	201,6	22,8	75	29	X=150,97	X=-0,5	0°	Flens mellom CD2001 og ESD ventil	D=0,	20
						Y=120,06	Y=0,5	0		eD=0,	
						Z=196,90	Z=-0,25				

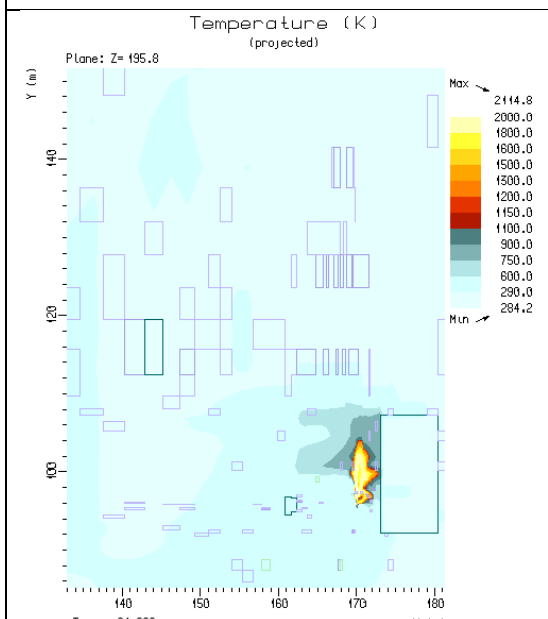
## Plassering A03, lekkasjerate: 0,5 kg/s



**Figur A- 1, Scenario 02**

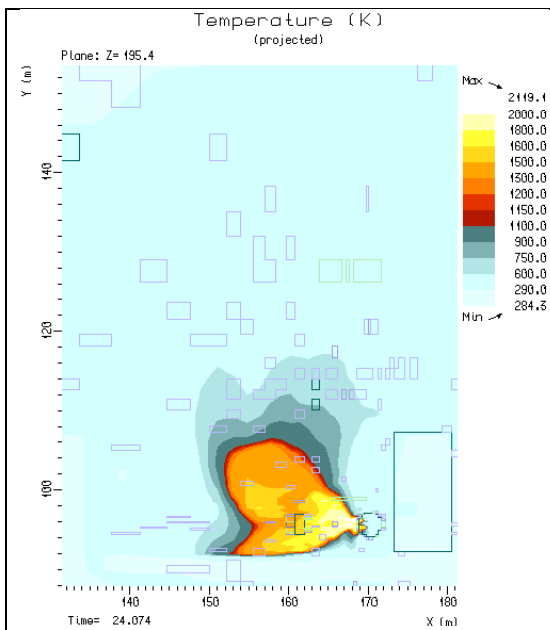


**Figur A- 2, Scenario 04**

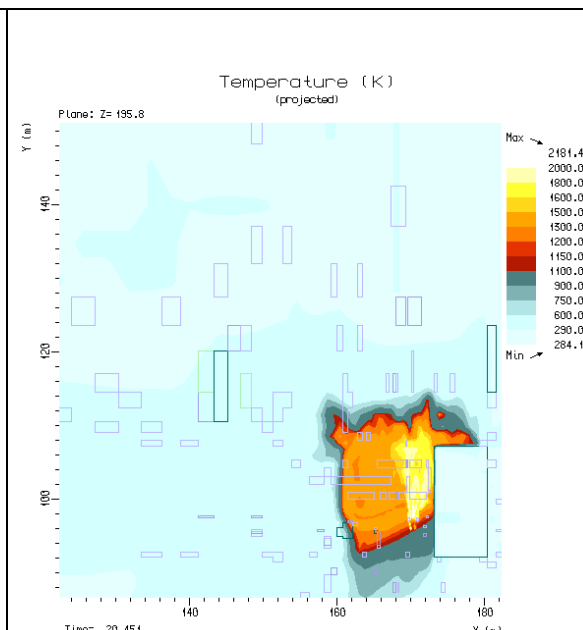


**Figur A- 3, Scenario 07**

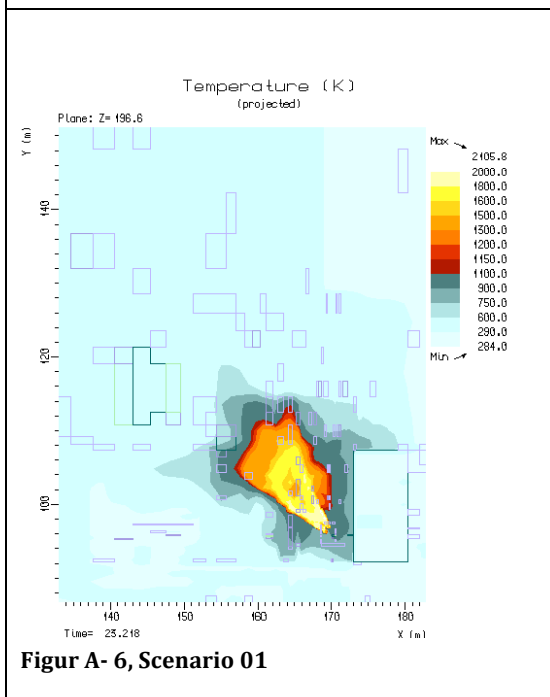
## Plassering A03, lekkasjerate: 5 kg/s



Figur A- 4, Scenario 05

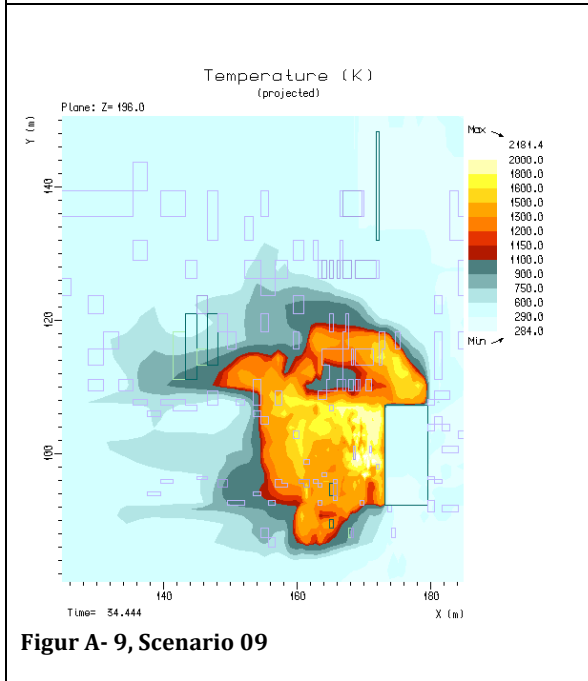
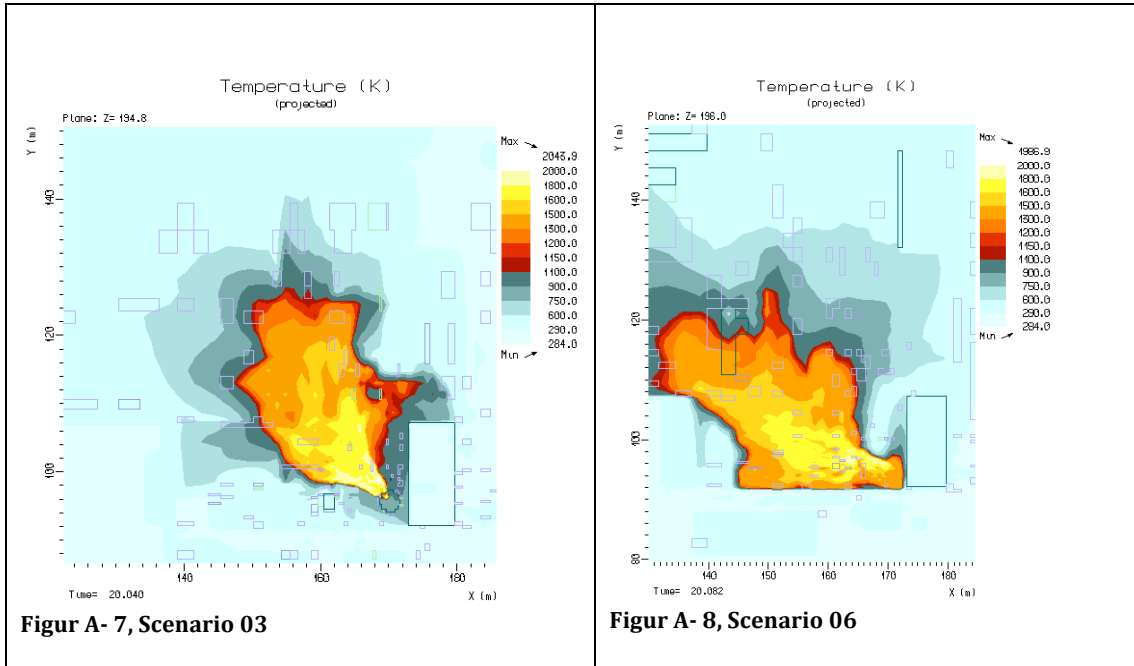


Figur A- 5, Scenario 08

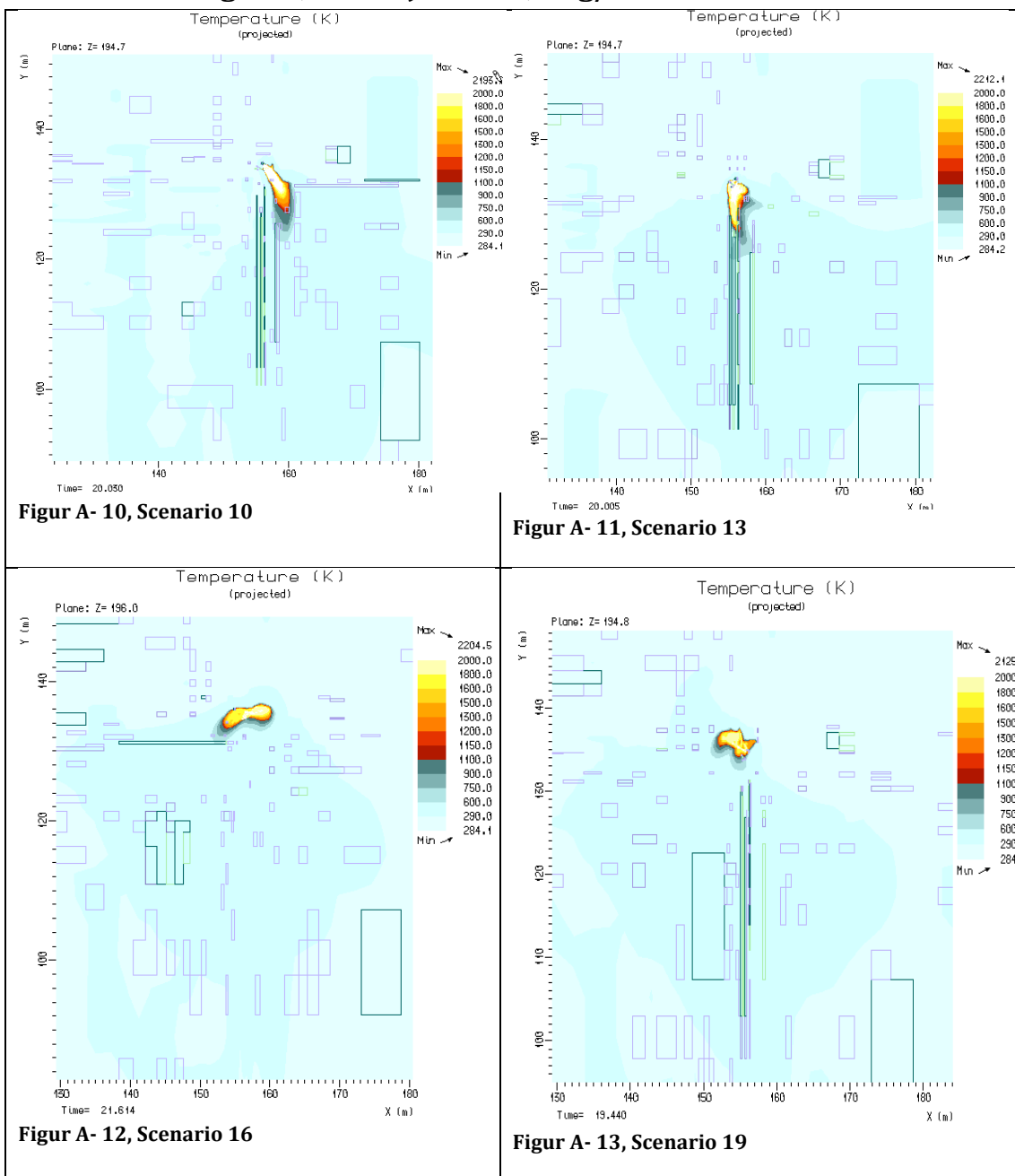


Figur A- 6, Scenario 01

## Plassering A03, lekkasjerate: 20 kg/s

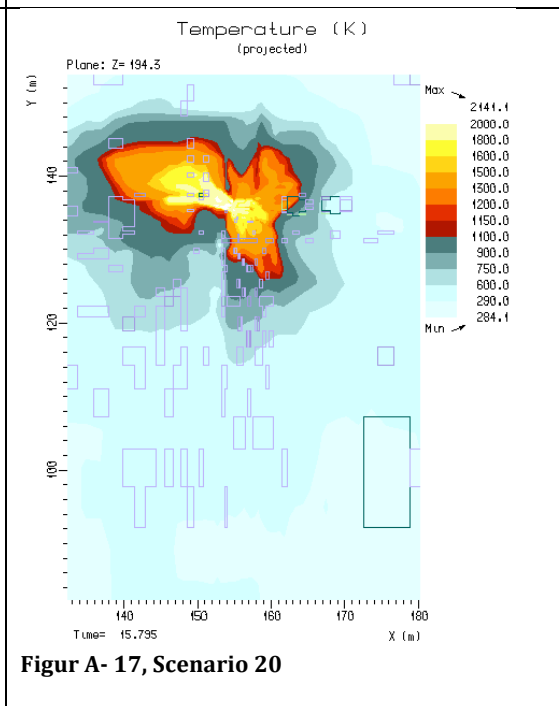
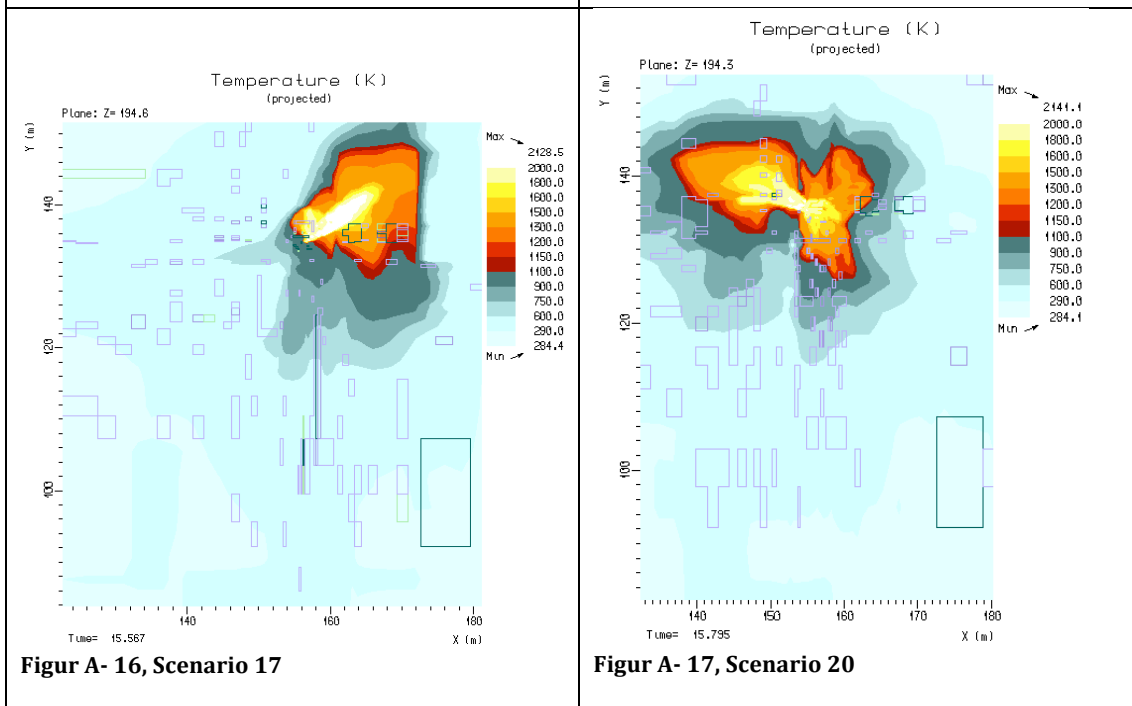
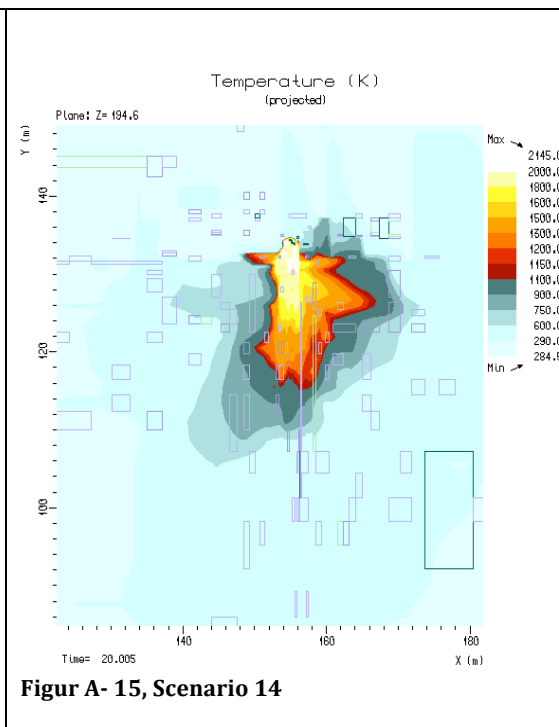
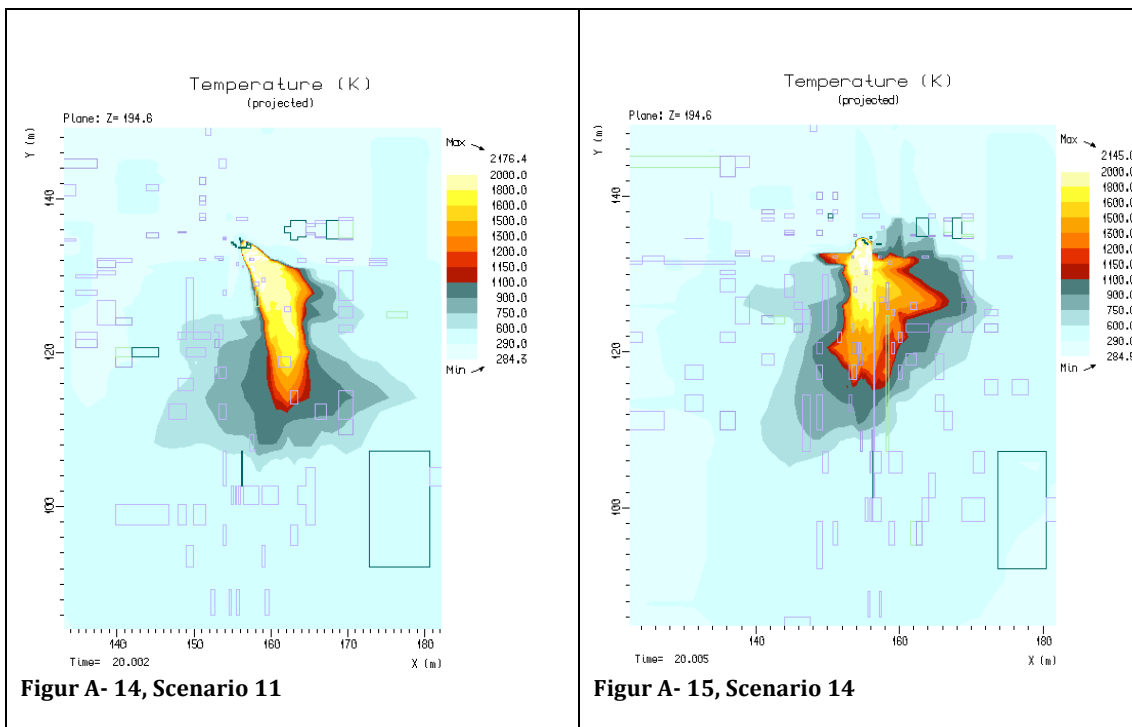


## Plassering A01, lekkasjerate: 0,5 kg/s

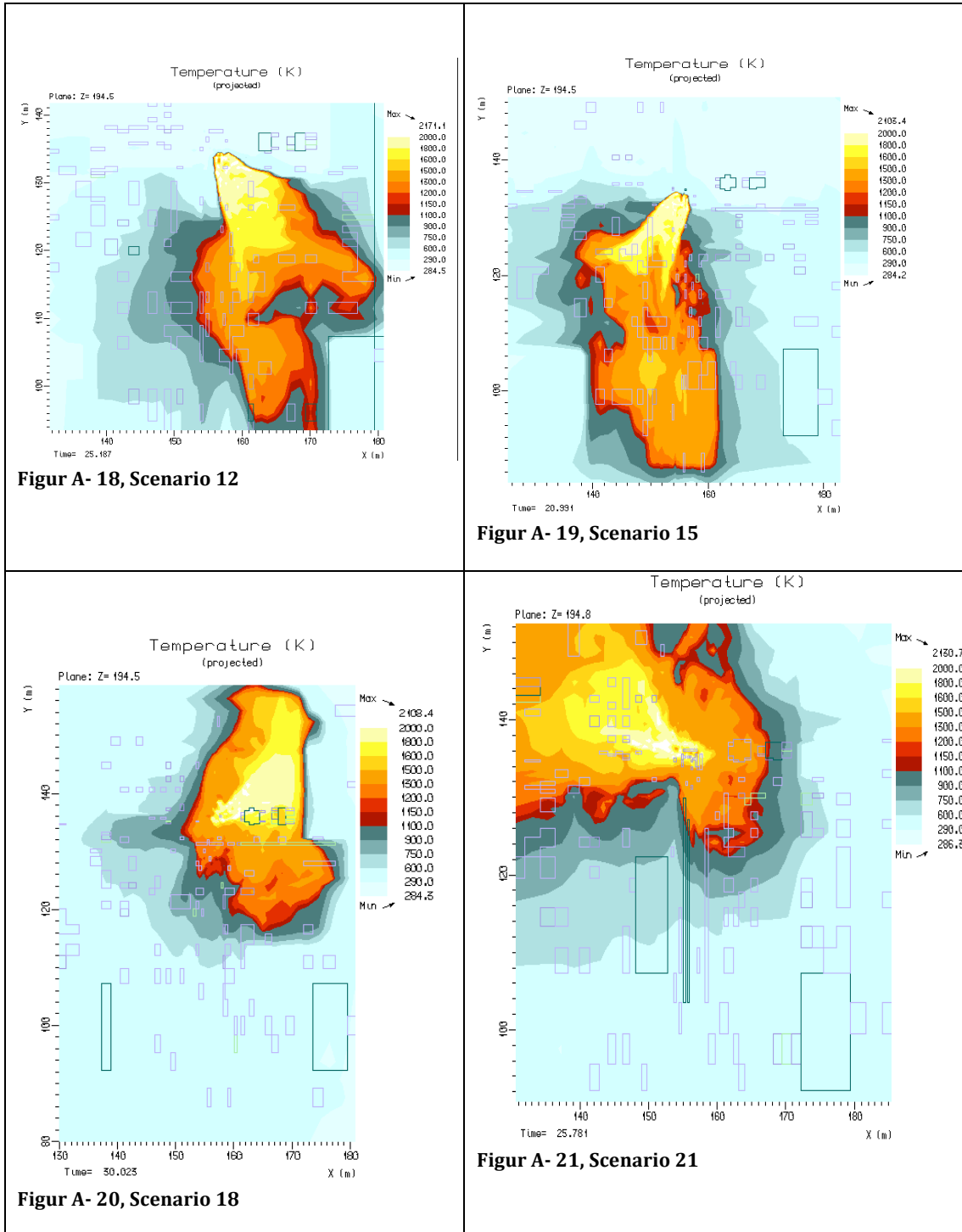




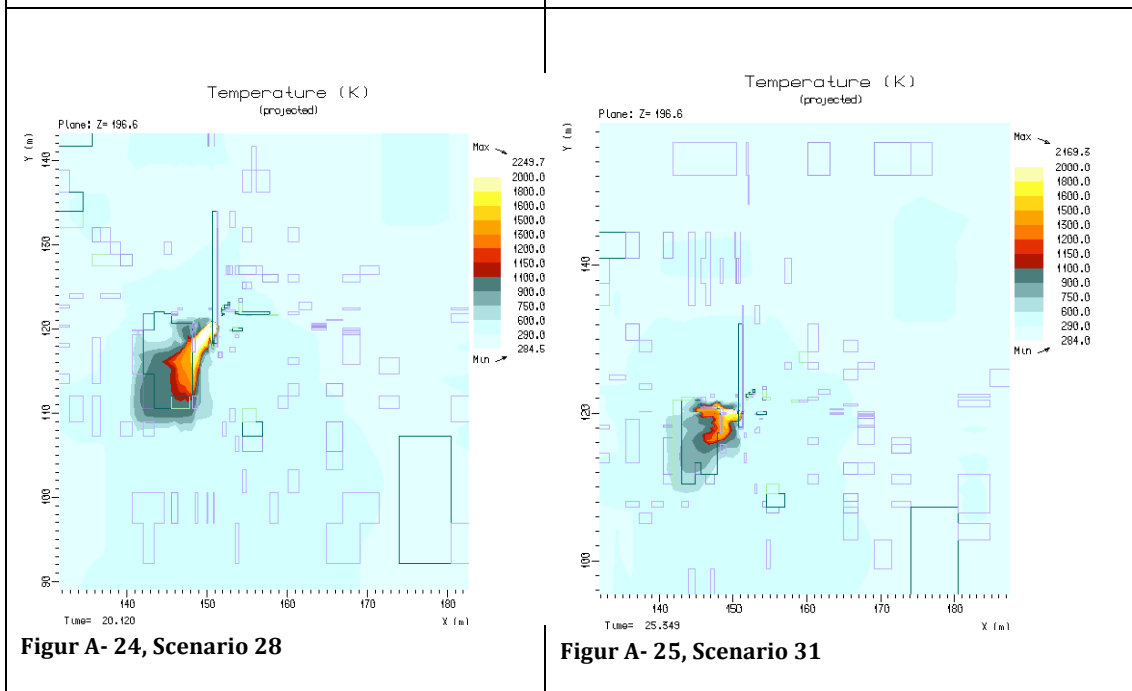
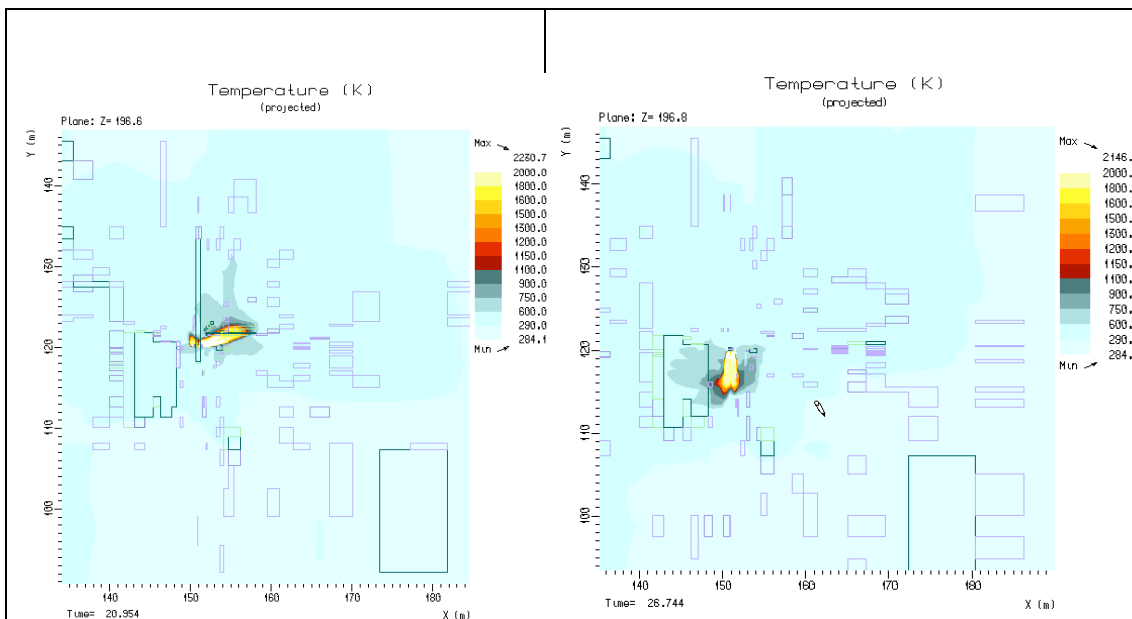
## Plassering A01, lekkasjerate: 5 kg/s



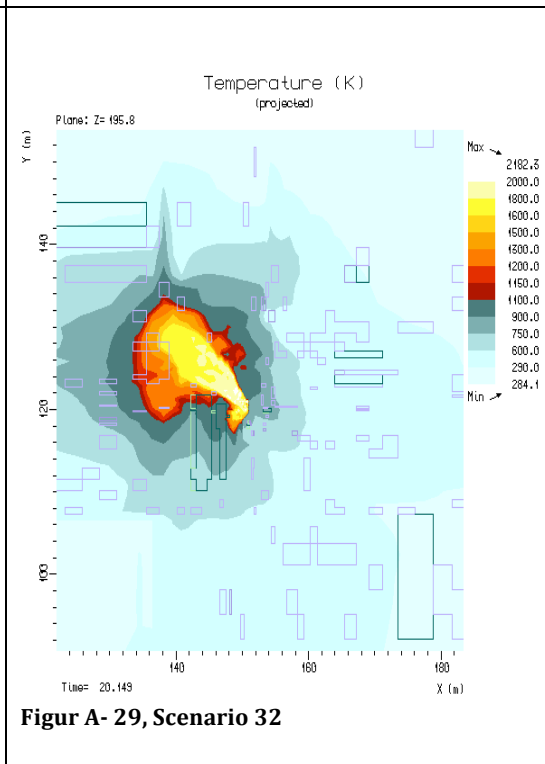
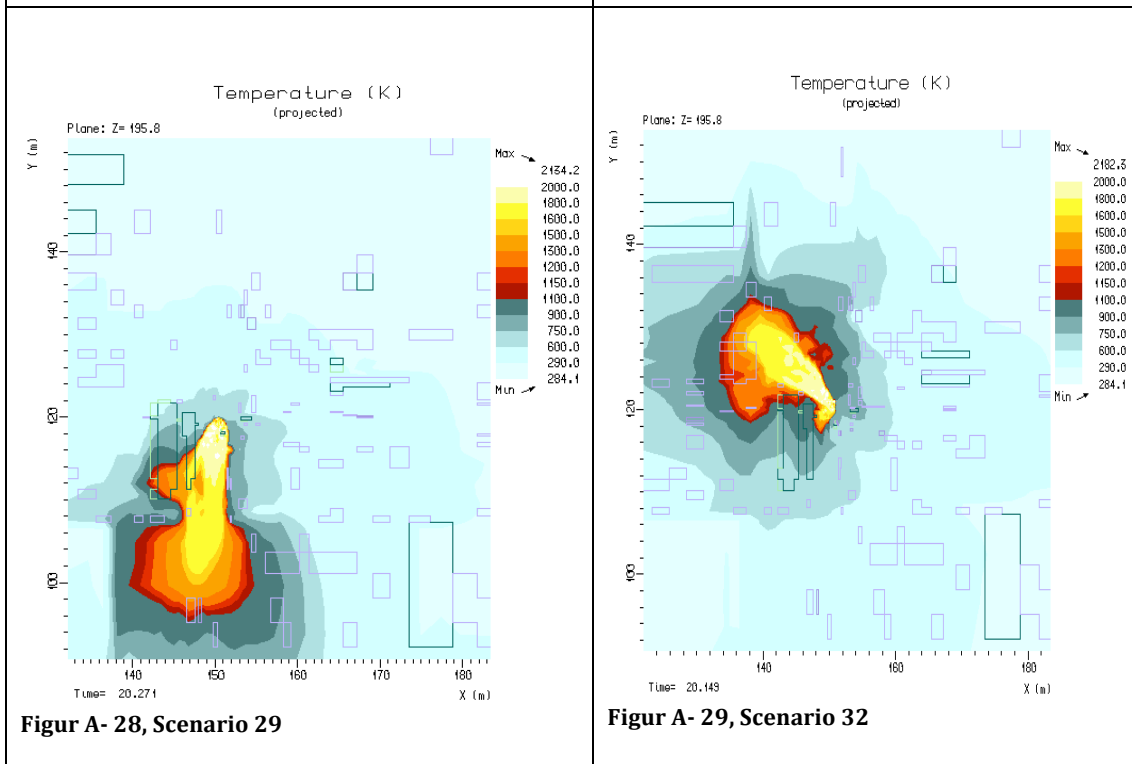
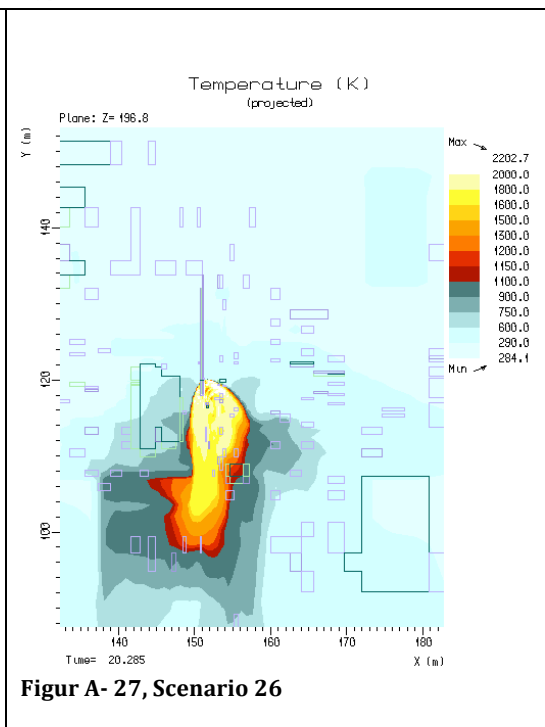
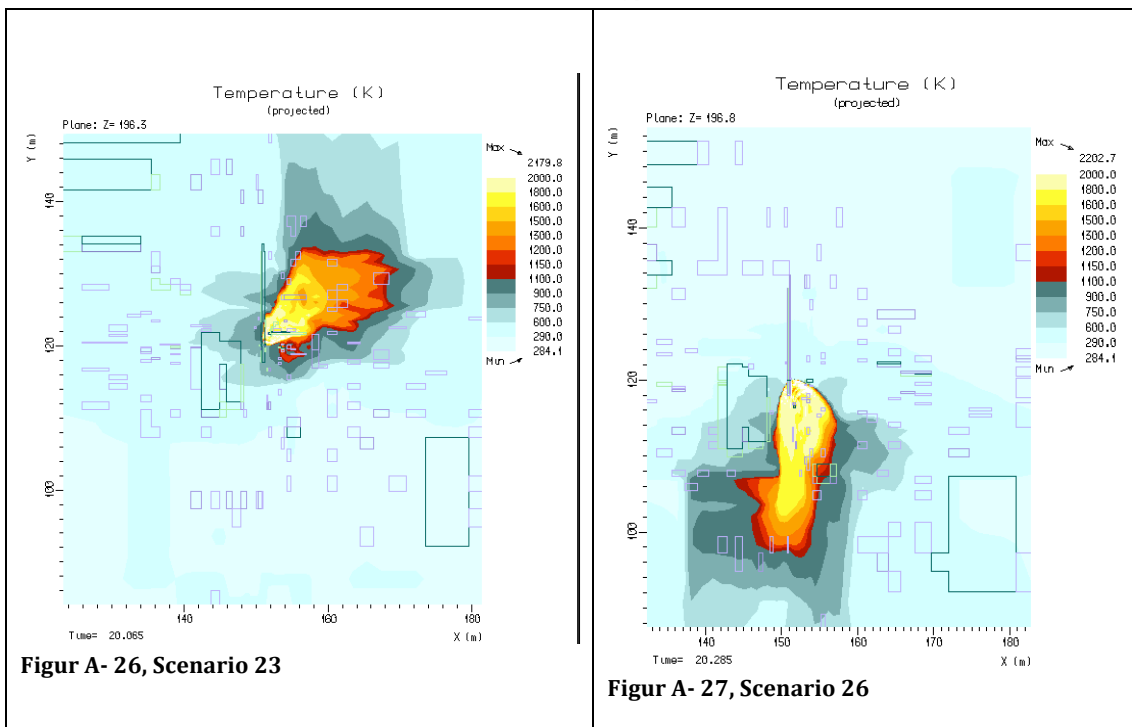
## Plassering A01, lekkasjerate: 20 kg/s



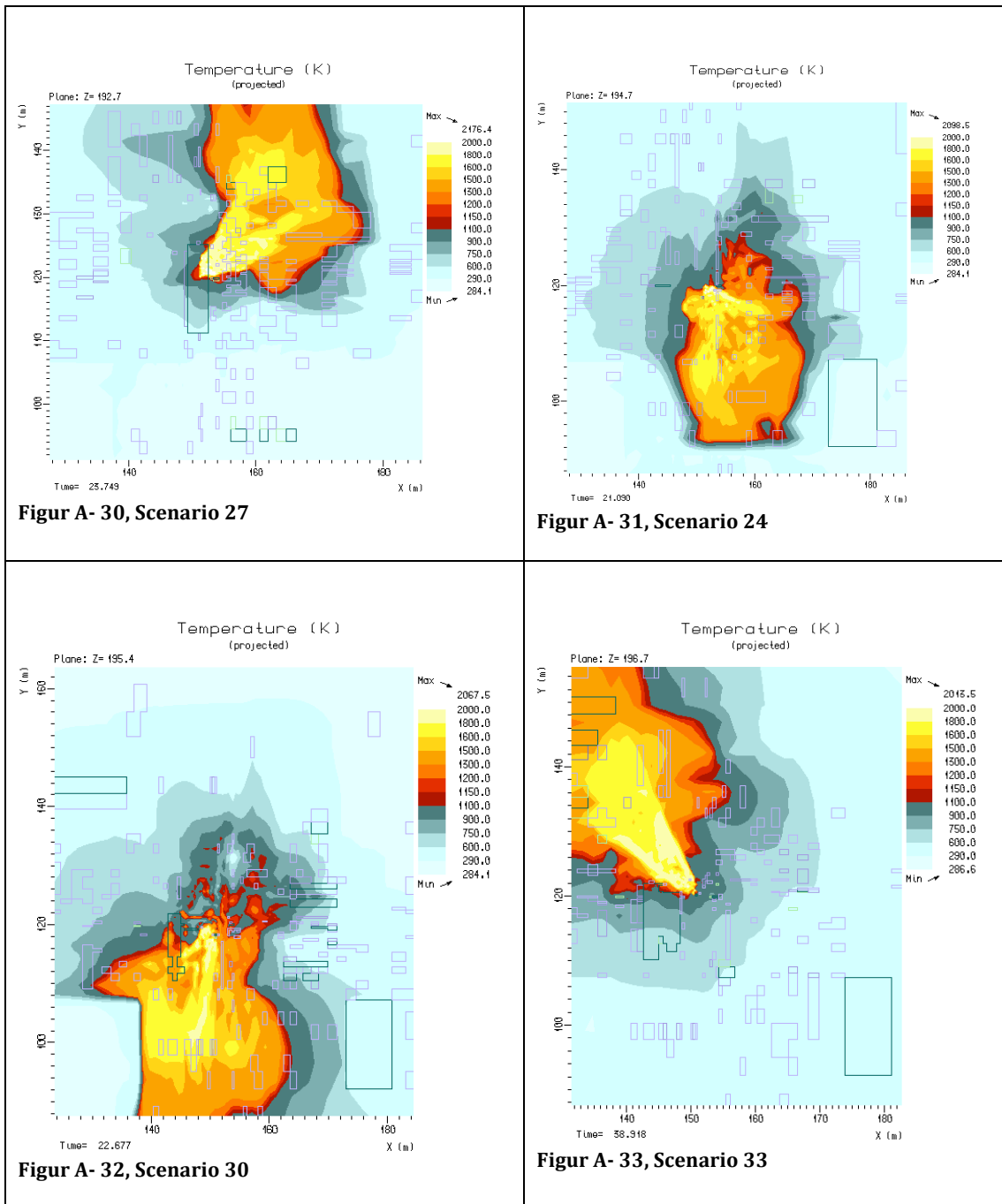
## Plassering A05, lekkasjerate: 0,5 kg/s

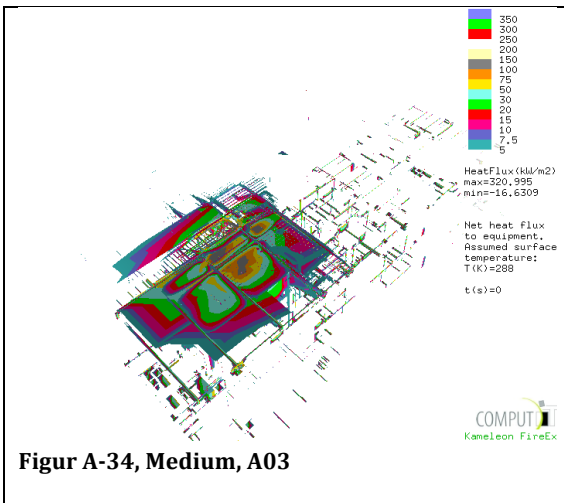


## Plassering A05, lekkasjerate: 5 kg/s

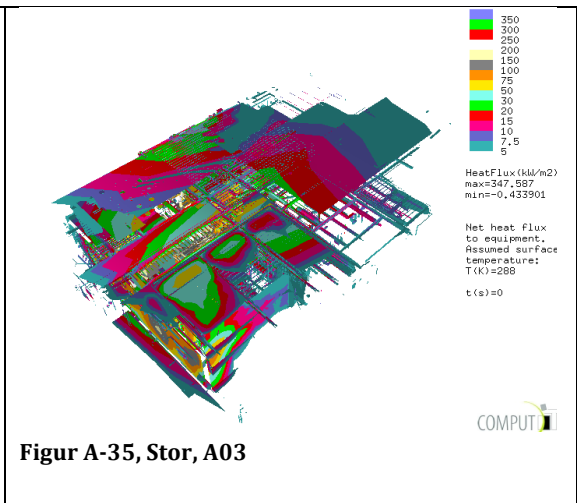


## Plassering A05, lekkasjerate: 20 kg/s

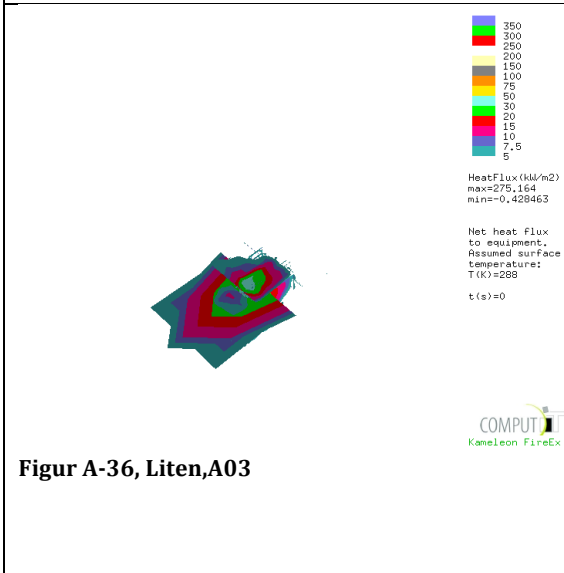




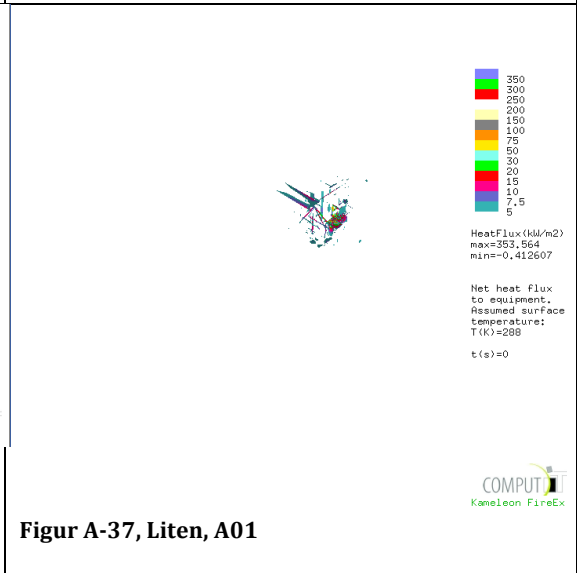
Figur A-34, Medium, A03



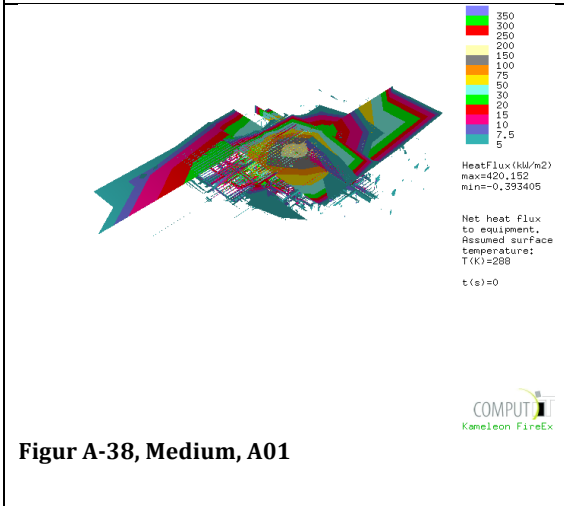
Figur A-35, Stor, A03



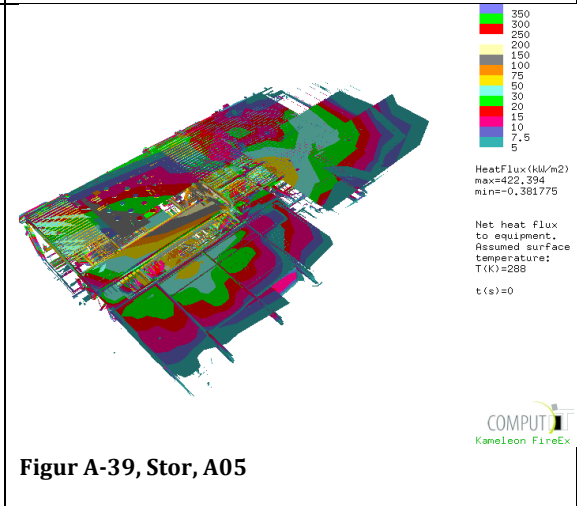
Figur A-36, Liten, A03



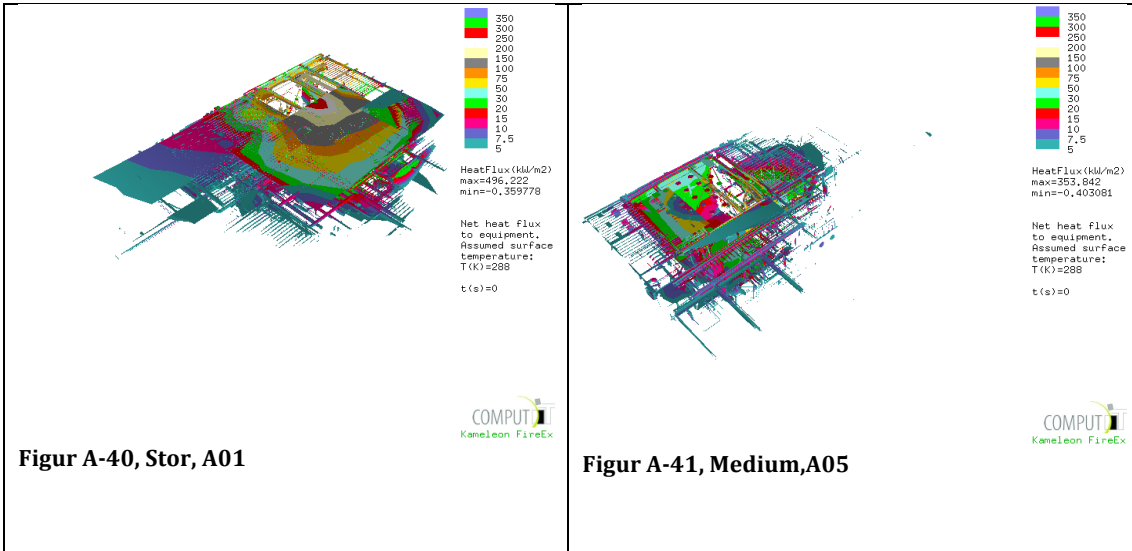
Figur A-37, Liten, A01



Figur A-38, Medium, A01



Figur A-39, Stor, A05



## **VEDLEGG B**

### Kombinasjon av varmelaster med probabilistisk data



## FIGURLISTE, VEDLEGG B

Figur B- 1, Brannbelastning med en årlig brannfrekvens på $10^{-4}$ .....	92
---	----

## Innledning

I forbindelse med dimensjonering av brannbeskyttelse, benyttes varmelaster for å fastsette belastningen på struktur og utstyr. Denne belastningen fastsettes igjennom CFD analyser eller normative brannlaster som er utarbeidet av Scandpower og beskrives i NORSOK Z-013. Ved å finne dimensjonerende ulykkeslast (DUL) fastsettes en felles last for et helt område som representerer det verste potensielle utfall innenfor et gitt aksptkriterium. På denne måten vil alle potensielle brannscenario være dimensjonert for og den nødvendige mengden av passiv brannbeskyttelse kan påføres.

Passiv brannbeskyttelse er dyrt å påføre, kan medføre korrosjon på struktur og utstyr og vil kreve mange arbeidstimer for å montere og vedlikeholdes. Det er derfor ikke ønskelig å benytte unødvendige mengder brannbeskyttelse.

Når en probabilistisk brannanalyse utføres for et område, vil det beregnes årlige brannfrekvenser for segmentene som inngår i analysen. Hvis disse data kombineres med brannsimuleringer utført i KFX, er det mulig å få en detaljert oversikt over den årlige frekvensen for at struktur og utstyret i området vil belastes for en gitt varmefluks. Dette vil gi mulighet for en svært detaljert innsikt i strukturens lokale belastninger og vil være et bra hjelpemiddel for å detalj dimensjonere brannbeskyttelse. Denne informasjon vil bidra som et hjelpemiddel for dimensjonering av PBB.

Dette tilleggsprogrammet til CFD-modellen KFX har foreløpig navnet Problify og er testet for første gang ved å benytte årlige brannfrekvenser og varmelaster fra casestudiet i denne masteroppgaven. Vedlegg B består av en kort forklaring av hvordan programmet fungerer og en presentasjon av resultatene fra de 33 brannscenarioene som er benyttet fra casestudiet, som er nærmere forklart i kapittel 4.

## Metode

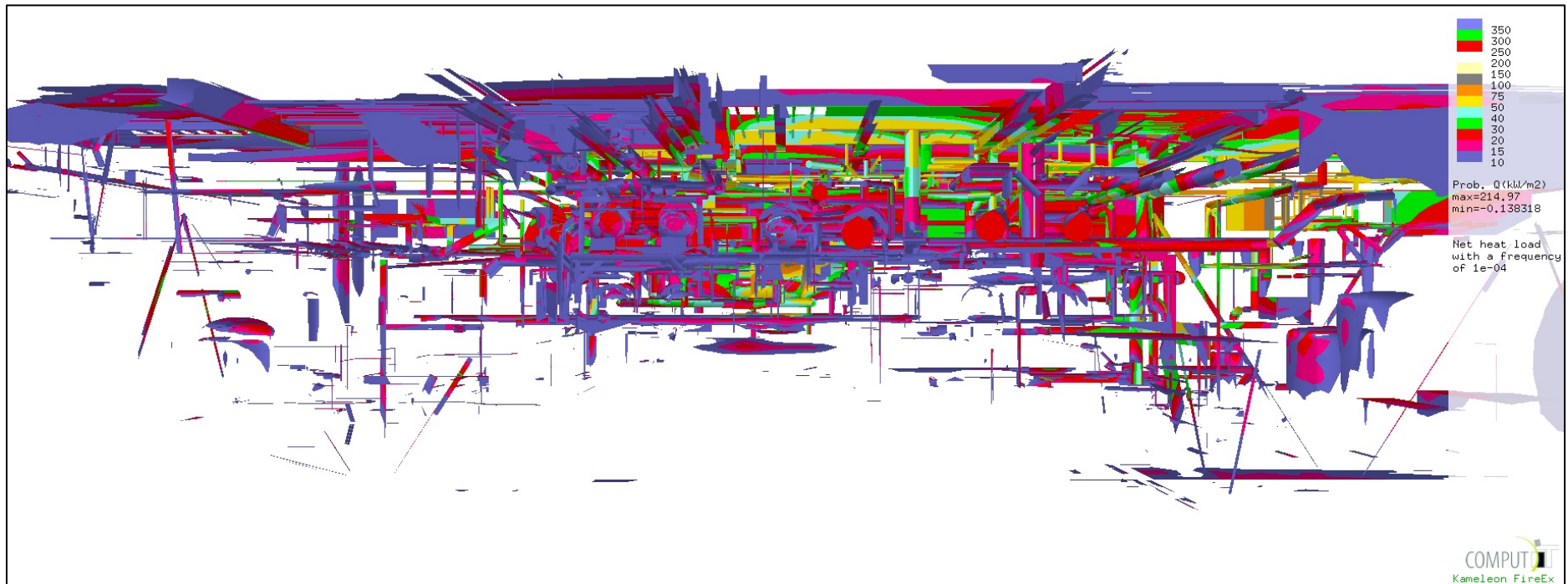
Når Problify skal benyttes for et område må det gjennomføres CFD-analyser av en rekke brannscenario for å skape en oversikt over potensiell konsekvens. Det plasseres loggepunkter over hele området med en uniform fordeling. Behovet for antall loggepunkter vil variere med størrelsen på området samt behovet for detaljgrad. I casestudiet som beskrives i kapittel 4 ble det brukt 400 000 loggepunkt som registrerer mottatt varmefluks når forholdene i CFD-modellen var stabile. Det er mulig å hente data fra loggepunktene til ethvert tidspunkt i brannscenarioet.

Hvert segment har en tilhørende årlig brannfrekvens som er beregnet med hensyn til lekkasjefrekvenser og antennessannsynligheter for forskjellige lekkasjerater. Ved å kombinere denne data med resultatene fra brannsimuleringene vil Problify skape en oversikt over kumulativ årlig brannfrekvens mot varmefluks for hver av loggepunktene i modellen. Det vil da være mulig å hente ut den varmefluks som representerer en ønsket årlig brannfrekvens, for hver av loggepunktene i modellen. Resultatet er et 3-dimensjonelt plott av modellen, med fargekoder på struktur og utstyr som representerer varmefluksen for en gitt årlig hendelsesfrekvens.

Det er også mulig å se på transient lekkasjerate og studere distribusjonen av varmedosen som belaster strukturen og utstyret i området. Ved å studere utviklingen over flere tidsintervall, vil en få oversikt over hvordan den høyeste brannbelastningen beveger seg over området, etter hvert som lekkasjeraten reduseres. Dette kan bidra til vurderingen av representativ, dimensjonerende varmedose.

## Resultat

Som eksempel på modellen er det hentet ut bilde av strålefluksen som vil belaste de forskjellige deler av området, med en årlig brannfrekvens på  $10^{-4}$ . Hvis ønskelig er det er mulig å se på belastningen som representerer høyere og lavere årlige frekvenser, brannbelastning i form av varmedose [ $M$ ]  $m^{-2}$ ] eller varmefluks [ $kWm^{-2}$ ]



Figur B- 1, Brannbelastning med en årlig brannfrekvens på  $10^{-4}$