



Universitetet
i Stavanger

**DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE
FAKULTET
MASTEROPPGAVE**

Studieprogram/spesialisering: Risikostyring – Offshore Sikkerhet	Vår 2012 Åpen
Forfatter: Ruben Holt (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Jan Roar Bakke (UiS) Veiledere: Jan Roar Bakke (UiS) Jens Kristian Holen (Statoil)	
Tittel på masteroppgaven: Undersøkelse av metodikk for beregning av risikobaserte varmelaster	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Risikobasert metodikk CFD-analyse Kameleon FireEx ®	Sidetall: 55 + vedlegg/annet: 26 Stavanger, 15.06.12

Forord

Denne masteroppgaven er avsluttende oppgave i mitt masterstudie innenfor retningen Risikostyring – Offshore sikkerhet. Jeg ønsker å benytte denne anledningen til å takke de som har gitt støtte og hjelp under denne prosessen. Takk til Mats Borgholt Hansen og Sindre Haukaas for mange fine samtaler og god støtte under denne prosessen. Takk til Statoil og alle de ansatte som sitter på K3 på Forus Øst. I tillegg ønsker jeg å rette en spesielt stor takk til:

Jens Kristian Holen, Statoil

For å ta seg tiden til å være veileder. For å ha vært en veileder som har hjulpet meg gjennom hele oppgaven med sin kompetanse, med stor interesse for meg og min oppgave. For å være meget tilgjengelig og hjelpsom under hele prosessen. For alt jeg har lært i denne perioden.

Jan Roar Bakke, UiS og Statoil

For å ha gitt meg muligheten til å skrive denne oppgaven og lagt forholdene til rette. For alltid å være tilgjengelig og bidratt med god veiledning underveis. For og hatt tro på meg i denne prosessen.

Dr. Bjørn Erling Vembe, ComputIT

For undervisning og veiledning i Kameleon FireEx. For alltid å svare på mine spørsmål på mail og telefon. For sitt engasjement og interesse for oppgaven. For å ha bidratt med sin kompetanse innen Kameleon. For å ha brukt tid på å tilrettelegge programmet for nye muligheter som har vært svært viktig for denne oppgaven.

Sammendrag

Denne oppgaven tar utgangspunkt i Scandpower sine retningslinjer for beskyttelse av trykksatt prosessutstyr som utsettes for brann. Metodene som vurderes i denne rapporten er hentet fra retningslinjene. Oppgaven vurderer metoden som benyttes for å konstruere et transient brannscenario ved flere stasjonære branner, samt metodikken som beregner eksponeringssannsynligheten for prosessutstyr som utsettes for gitte varmelaster. Det er i oppgaven foreslått en ny metode som benytter prosessutstyrets areal for å beregne eksponeringssannsynligheten. Kapittel 4.3 viser hvordan man kan benytte overflatearealet av prosessutstyret som en parameter for å logge varmelast. Denne oppgaven introduserer arealet som en parameter for å inkludere den konvektive varmelasten i simuleringene på en mer realistisk måte, da den konvektive varmelasten bestandig vil være forbundet med et objekt. CFD-programmet Kameleon FireEx (KFX) er benyttet som et verktøy i oppgavens studie. Denne studien har sammenlignet metoden Scandpower benytter (flere stasjonære branner) mot ett sammenhengende transient forløp ved å studere varmelaster og ståltemperaturer. Resultatene indikerer at metoden Scandpower benytter generelt genererer høyere gjennomsnittslaster i simuleringene. Studiet har og studert den konvektive varmelasten over rør med ulike diametere og resultatene viser at den konvektive varmelasten for rør med diameter på 25 mm kan overstige 100kW/m^2 . For større rør med diameter mellom 75 mm og 100 mm viste resultatene ikke høyere konvektiv varmelast enn 86 kW/m^2 .

Resultatene fra caset indikerer konservative resultater for de stasjonære scenariene. Trykkavlastning av et prosesselement er en transient prosess, der tilstanden i systemet endres raskt med tid. Derfor bør beregningen av slike systemer baseres på transiente metoder fremfor stasjonære betraktninger. [13]

Tabell-liste	6
Figur-liste	6
1 Introduksjon	8
1.1 Bakgrunn	8
1.2 Struktur på rapporten	9
1.3 Forhold for rapporten og avgrensninger	9
1.4 Definisjoner og forkortelser.....	10
2 Teori	11
2.1 Brann	11
2.1.1 Pølbrann	11
2.1.2 Jet-brann	12
2.1.3 Transient utslipp	13
2.1.4 HC-brann i en offshore modul	13
2.2 Varmelast.....	13
2.2.1 Stråling	13
2.2.2 Konveksjon.....	14
2.2.3 Formler	14
2.3 Brannlaster gitt i standarder.....	14
2.4 Passiv Brannbeskyttelse (PBB)	16
2.5 Simuleringsverktøy.....	17
2.5.1 Kameleon FireEx.....	17
3 Metode	18
3.1 Risikobasert metodikk	18
3.1.1 Lekkasjerater	19
3.1.2 Flammevolum.....	19
3.1.3 Konvektiv varmefluks	20
3.1.4 Total varmelast for volumet	21
3.1.5 Metode for å beregne eksponeringssannsynlighet.....	21
3.2 Vurdering av Scandpower metodikken	22
3.3 Forslag til ny delmetode	23
3.3.1 Lagre data på egen geometri-fil.....	23
3.3.2 Kategorisering av prosessutstyr	24

3.3.3	Fremstilling av resultatene	24
3.3.4	Overflatearealet som en parameter	26
4	Studie	29
4.1	Forutsetninger og antagelser felles for simuleringene	30
4.1.1	Modul	31
4.1.2	Brensel	33
4.1.3	Lekkasjepunkt og jet-retning	33
4.1.4	Vindforhold	34
4.1.5	Geometri og grid	34
4.2	Dette skiller casene	35
4.2.1	Transient utslipp	35
4.2.2	Logging av data	37
4.3	KFX resultater	38
4.3.1	Temperaturbilder	39
4.3.2	Temperatur over tid	41
4.3.3	Ståltemperatur over areal prosessutstyr	44
4.3.4	Varmelast over areal prosessutstyr	45
4.3.5	Konvektiv varmelast	46
5	Diskusjon	47
5.1	Transient forløp	47
5.2	Eksposeringssannsynlighet	48
5.3	Videre arbeid	50
6	Konklusjon	51
7	Referanser	53
8	Vedlegg	54
8.1	Vedlegg A. Viktige punkter fra Scandpower Guideline	54
8.2	Vedlegg B. Inndata til simuleringene	54
8.3	Vedlegg C. Viktige elementer fra KFX	54
8.4	Vedlegg D. Resultater som viser flammebildet	54
8.5	Vedlegg E. Resultater som viser varmelast over areal prosessutstyr	54

Tabell-liste

Tabell 1 Tabellen viser foreslåtte verdier for innfallende varmestrålingsintensitet ved en brenselskontrollert brann. Det er ikke gitt kreditt for deluge. [9]	15
Tabell 2 Tabellen viser eksempel på flammevolum over spesifikke varmeflukser for et utvalg branner. Varmefluksen inkluderer ikke konvektiv varmefluks.	20
Tabell 3 Tabellen viser kategoriseringen av prosessrør	24
Tabell 4 Tabellen viser et eksempel på fremstilling av resultater for eksponert overflateareal.	27
Tabell 5 Tabellen viser egenskaper for C1.4H4.8.	33
Tabell 6 Tabellen viser en oversikt over casene med vindforhold.	34
Tabell 7 Tabellen viser eksakt hvor lenge hvert enkelt brannscenario foregår i studiet.	37
Tabell 8 Tabellen viser koordinater for punkter der maksimaltemperaturen er målt.	41
Tabell 9 Tabellen viser totalvarmelast, strålingslast og konvektiv varmelast for rør med forskjellig diameter.	46

Figur-liste

Figur 1 Figuren viser branntrekanten	11
Figur 2 Figuren viser en pølbrann [2]	12
Figur 3 Figuren viser en jetbrann ved forskjellige hastigheter [2]	12
Figur 4 Figuren viser usikkerhet i forbindelse med tolkningen av varmelaster.	15
Figur 5 Figuren viser flere stasjonære branner satt sammen.	19
Figur 6 Figuren viser et volum som har en strålingslast på 100kW/m ² og høyere [8].	20
Figur 7 Figuren viser definisjon av flamme eksponering i tilfelle ved ingen ende effekter. [9]	21
Figur 8 viser definisjonen av flamme eksponering i tilfelle med ende effekter. [9]	22
Figur 9 Resultatene viser hvor stort overflateareal som har en gitt varmelast eller høyere.	25
Figur 10 Figuren viser alle rør i modulen og tilhørende varmelast.	26
Figur 11 Figuren viser et eksponert areal av røret.	28
Figur 12 Figuren viser en oversikt over casene.	30
Figur 13 Figuren viser modul A	31
Figur 14 Figuren viser mellomdekket i modulen	32
Figur 15 Figuren viser lekkasjefrekvensfordelingen per modul/dekk.	32
Figur 16 Figuren viser brannfrekvens for hver modul.	33
Figur 17 Figuren viser utslippspunktet.	34
Figur 18 Figuren viser geometri-filen som ble benyttet under simuleringer	35
Figur 19 Figuren viser hvordan det transiente forløpet utvikler seg over tid.	36
Figur 20 Figuren viser hvordan det transiente forløpet er satt sammen av flere stasjonære branner.	37
Figur 21 Figuren viser geometrien som brukes for å logge data.	38
Figur 22 Figuren viser en oversikt over casene og sammenligningsgrunnlaget for studiet.	39

Figur 23 Figuren viser flammeutviklingen i case A og C ved en massestrøm på 6 kg/s.	40
Figur 24 Figuren viser flammeutviklingen i case B og D ved en massestrøm på 6 kg/s.	40
Figur 25 Figuren viser temperaturutviklingen i punktet der maksimal ståltemperatur er nådd i Case A. Plottet viser og temperaturutviklingen for case C i det samme punktet.	42
Figur 26 Figuren viser temperaturutviklingen i punktet der maksimal ståltemperatur er nådd i Case C. Plottet viser og temperaturutviklingen for case A i det samme punktet.	42
Figur 27 Figuren viser temperaturutviklingen i punktet der maksimal ståltemperatur er nådd i Case B. Plottet viser og temperaturutviklingen for case D i det samme punktet.	43
Figur 28 Figuren viser temperaturutviklingen i punktet der maksimal ståltemperatur er nådd i Case D. Plottet viser og temperaturutviklingen for case B i det samme punktet.	43
Figur 29 Figuren viser areal prosessutstyr som har en gitt ståltemperatur eller høyere. Figuren viser Case A og C.	44
Figur 30 Figuren viser areal prosessutstyr som har en gitt ståltemperatur eller høyere. Figuren viser Case B og D.	44
Figur 31 Figuren viser areal prosessutstyr som er belastet med en gitt varmelast eller høyere. Figuren viser Case A og C.	45
Figur 32 Figuren viser areal prosessutstyr som er belastet med en gitt varmelast eller høyere. Figuren viser Case B og D.	46
Figur 33 Figuren viser konsentrasjonen av brensel i modulen.	48
Figur 34 Figuren viser varmelast over 4 punkter ved en gitt brann.	49
Figur 35 Figuren illustrerer et eksempel for utstrekningen av rør i et område	50

1 Introduksjon

Det er en iboende risiko relatert til aktiviteter i produksjonen av hydrokarboner. Denne risikoen kan ikke elimineres, men må håndteres. Hydrokarbonlekkasjer har vært den initierende hendelse til flere storulykker. Piper Alpha-ulykken er et eksempel der eskaleringen av et hydrokarbonutslipp førte til total ødeleggelse av plattformen og drepte 167 personer. For offshore installasjoner som er i drift vil det være essensielt å tenke på sikkerheten som en kontinuerlig prosess, hvor det er nødvendig å drive forebyggende arbeid for å opprettholde sikkerheten. For å imøtekomme akseptkriterier og redusere risiko er det viktig å følge opp integriteten på systemer og utstyr, utvikle prosedyrer og bruke risikoanalyser som et verktøy i denne prosessen. Risikoanalysene danner grunnlaget for hvilke anbefalinger som legges til grunn for viktige beslutninger. En målsetning for en slik risikoanalyse kan være å beregne endring i risikonivå for en offshore modul dersom alt eller deler av den opprinnelige spesifiserte passiv brannbeskyttelse (PBB) fjernes, og vurdere om denne endringen i risikonivå er liten nok til å anbefale permanent fjerning av PBB. Risikoanalyser er basert på data, kunnskap og antagelser. Antagelser og forutsetninger for risikoanalyser bør være representative for et gitt scenario.

1.1 Bakgrunn

Passiv brannbeskyttelse implementeres på prosessutstyr for å beskytte mot brann, og er ansett som et effektivt tiltak som reduserer konsekvensene av en brann. PBB er likevel ikke noe man ukritisk bør montere, da bruk av PBB reduserer mulighetene for inspeksjon. Denne beskyttelsen introduserer også problemer knyttet til korrosjon og til slutt mulige hydrokarbonlekkasjer. Scandpower har utviklet retningslinjer for beskyttelse av trykksatt prosessutstyr som utsettes for brann. Retningslinjene brukes som et verktøy for deres studier. Kameleon FireEx (KFX) er et simuleringsverktøy som Scandpower bruker i sine brannanalyser. Denne oppgaven tar utgangspunkt i Scandpowers retningslinjer og vurderer metoden som benyttes for å beregne eksponeringssannsynlighet for prosessutstyr, samt vurderer forenklinger og antagelser i deres brannsimuleringer. Oppgaven baserer seg på en ny versjon av Scandpower retningslinjene som enda ikke er utgitt.

Det er satt opp 2 delmål for denne oppgaven for å tydeliggjøre målsetningen med oppgaven.

Målene for denne oppgaven er:

1. Å vurdere metodikken Scandpower benytter, som setter sammen flere stasjonære¹ branner for å simulere et transient² brannforløp.
2. Å vurdere metoden Scandpower benytter for å beregne eksponeringssannsynlighet for prosessutstyr, samt komme med et forslag til en ny metode som inkluderer den konvektive varmelasten på en annen og mer realistisk måte.

Et sentralt element i denne oppgaven er å etterstrebe realistiske brannscenarier og bidra til nye idéer som kan implementeres til de metodene som brukes i dag.

1.2 Struktur på rapporten

Hovedpunktene i denne rapporten er som følger

1. kapittel 2 inkluderer relevant teori for oppgaven.
2. kapittel 3 beskriver viktige momenter fra Scandpowers Guideline og presenterer en ny delmetode for beregning av eksponeringssannsynlighet for rør.
3. kapittel 4 beskriver en casestudie som er laget for å belyse og svare på målsetningene i oppgaven.
4. kapittel 5 og 6 diskuterer og konkluderer oppgaven.

1.3 Forhold for rapporten og avgrensninger

En vesentlig del av denne oppgaven har vært å lære å bruke Kameleon FireEx som krever en betydelig innsats. Alle simuleringene som er utført for denne oppgaven er gjennomført av undertegnede. Denne oppgaven benytter metoder for å fremstille resultater i KFX som per dags dato ikke foreligger i et standard brukergrensesnitt i programmet.

¹Et sammensatt stasjonært brannscenario er flere stasjonære brannscenarier som settes sammen for å kunne gjenskape et tilnærmet transient forløp.

²Et transient brannforløp betyr at massestrømmen varierer med tiden. For denne oppgaven representerer det transiente forløpet en massestrøm som avtar med tiden.

1.4 Definisjoner og forkortelser

Det antas at leseren har en god innsikt og forståelse for de elementære prinsippene som denne oppgaven baserer seg på. Videre følger en kort oversikt over viktige forkortelser og definisjoner.

PBB – Passiv Brannbeskyttelse

CFD – Computational Fluid Dynamics

KFX – Kameleon FireEx

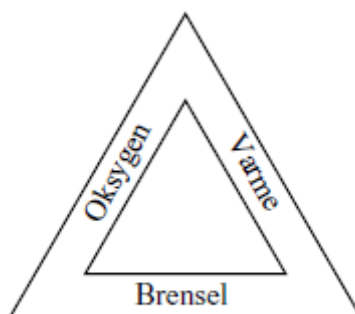
ALARP – As Low As Reasonably Practicable. «En ALARP-vurdering sier at risikoen skal reduseres så langt som praktisk mulig. Dette innebærer at nytten med å innføre tiltaket skal vurderes i forhold til ulempen eller kostnaden ved å innføre tiltaket. ALARP-prinsippet innebærer «omvendt bevisbyrde», det vil si at identifiserte tiltak skal implementeres, med mindre det kan dokumenteres at det er et urimeligmisforhold («gross disproportion») mellom kostnader/ulemper og nytte.» Hentet fra referanse [1] (Aven 2008, s. 46)

2 Teori

Dette kapitlet introduserer grunnleggende elementer og prinsipper for oppgaven.

2.1 Brann

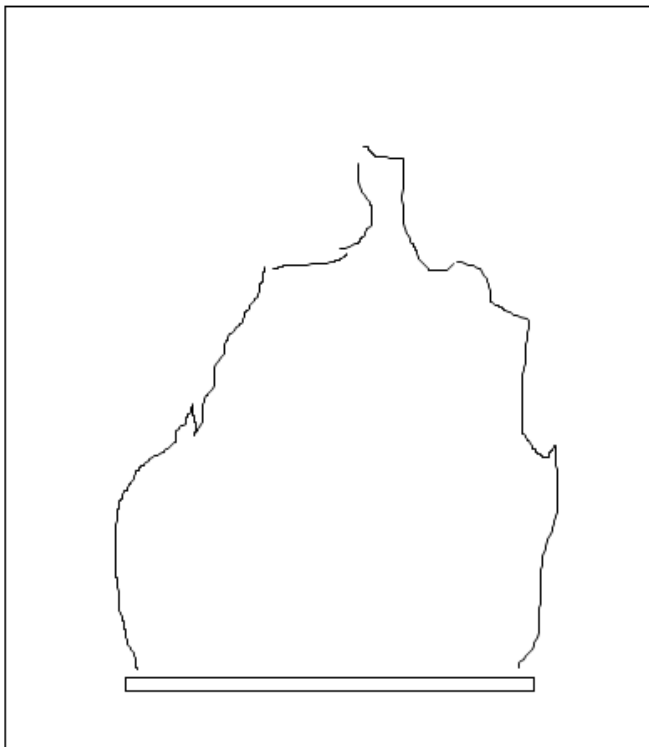
Deler av innholdet i dette kapitlet er hentet fra [2]. En brann kan defineres som en kjemisk reaksjon. Denne prosessen består av kjemiske reaksjoner der oksygen reagerer med et brannbart materiale. I forbrenningssonen må det være tilstede en riktig blanding av brensel, oksygen og energi. Forbrenningen foregår som en eksoterm reaksjon, som betyr at det avgis mer energi enn det som er nødvendig for å starte den kjemiske reaksjonen. For denne oppgaven, og for folk flest som arbeider med brannsikkerhet, vil brenselet være karbonbasert. Ett unntak fra dette er hydrogengass (H_2). Oksygenet vil være tilgjengelig fra lufta som normalt sett inneholder rundt 21 % oksygen. Når gass brenner vil luft brukes opp i den kjemiske reaksjonen. Tilfeller der det ikke er tilstrekkelig med brensel til å forbruke oksygenet vil kalles en brenselskontrollert brann. I det motsatte tilfellet der det er for mye brensel, slik at det oppstår et luftunderskudd kalles for ventilasjonskontrollert brann. Figur 1 viser branntrekanten som illustrerer hva som er nødvendig for å starte og opprettholde forbrenningen.



Figur 1 Figuren viser branntrekanten

2.1.1 Pølbrann

Branner fra hydrokarboner i væskeform kan forekomme som et resultat av et utilsiktet utslipp. Det er fordampet gass fra væsken som brenner i overflaten. Pølbranner kan forekomme på et solid underlag eller i vann. Omgivelser og omliggende struktur vil påvirke flammeform og flammehøyde. [3] Figur 2 viser en pølbrann.



Figur 2 Figuren viser en pølbrann

2.1.2 Jet-brann

En jetbrann kan oppstå ved en gasslekkasje fra et reservoar med høyt trykk og tilhørende antennelse. Et utilsiktet utslipp av gass kan forekomme dersom rør eller utstyr revner. Jetbranner er karakterisert ved blant annet å ha høy turbulent strømning. [3] Figur 3 viser en jetbrann.



Figur 3 Figuren viser en jetbrann med lift-off.

2.1.3 Transient utslipp

Et transient forløp betyr at massestrømmen varierer med tiden. Der det oppstår et brudd i trykksatt prosessutstyr vil trykket i prosessen falle som følge av 2 parametere. På grunn av det høye trykket inne i prosessutstyret vil fluidet strømme ut til omgivelsene, trykket i prosessen vil synke som følge av dette. Trykkavlastningssystemet er en barriere som reduserer trykket i prosessen ved et eventuelt brudd. Denne trykkavlastningen skjer enten ved automatisk eller manuell initiering, Ved initiering av trykkavlastningssystemet vil trykket i prosessen falle og massestrømmen med den.

2.1.4 HC-brann i en offshore modul

En brann i en offshore modul kan føre til at materialet i prosessutstyr svikter og man kan få en uønsket eskalering. For å kunne dimensjonere og beskytte prosessutstyr til å motstå den maksimale forventede brannbelastning er det nødvendig å kunne predikere varmelaster og fastslå hvilken belastning prosessutstyret får. Varmebelastningen fra en flamme domineres av to varmeoverføringsmekanismer: stråling og konveksjon. Dette er to mekanismer som er svært forskjellige fysisk sett, og vil variere med forskjellige parametere. For begge mekanismene er temperaturen i flammen en viktig parameter, men de reagerer ulikt på temperaturutviklingen. [4]

2.2 Varmelast

Den totale varmelasten er en kombinasjon av konveksjon fra varme forbrenningsprodukter som kommer i kontakt med objektets overflate, og stråling som sendes ut fra flammen til objekts overflate. Videre listes noen viktige punkter som har en betydning for varmelasten: Punktene er hentet fra [5]

- Den relative andelen av stråling og konveksjon vil variere avhengig av type brensel og hvor prosessutstyret er plassert i forhold til flammen.
- Den totale varmelasten vil variere avhengig av brensel, størrelse og form på utstyret og plassering av utstyret i forhold til brannen.
- Varmelasten vil variere over overflaten til utstyret
- Varmelasten på objektet vil variere med tid.

2.2.1 Stråling

Deler av innholdet i dette kapittelet er hentet fra [6]. Dette er varmeoverføring som foregår via elektromagnetisk stråling. Denne typen varmeoverføring foregår uavhengig av fluider og

kan overføres i vakuum. Det frigjøres store mengder energi fra en brann, og den termiske strålingen bidrar til å varme opp nærliggende struktur. Ved en stor brann vil strålingen som er fanget av vegger og tak gi stråling tilbake til flammen som igjen fører til å øke varmelasten.

2.2.2 Konveksjon

Deler av innholdet i dette kapitlet er hentet fra [6]. Konvektiv varmelast er varme som overføres fra fluider til et objekt. Ved tilfeller der et fluid strømmer over en kaldere overflate vil det overføres varme til den kalde overflaten. Det er to hovedtyper konveksjon, naturlig og tvungen konveksjon.

Naturlig konveksjon er når et fluid strømmer på grunn av tetthetsforskjeller. Tvungen konveksjon foregår der et fluid blir påført eksterne krefter. Dette kan være tilfelle ved en jetbrann.

2.2.3 Formler

Varmebalansen mellom et objekt og flamme fra en brann blir:

$$Q_{net} = Q_{tot} - Q_{objekt} + Q_{omg} \quad [7] \quad (2.1)$$

$$Q_{tot} = Q_{rad} + Q_{conv} = \alpha_s * \epsilon_f * \sigma T_f^4 + h(T_f - T_s) \quad [7] \quad (2.2)$$

Den konvektive varmelasten bestemmes fra den konvektive varmeoverføringskoeffisienten h , og temperaturdifferansen. Strålingslasten som avgis er proporsjonal med den absolutte temperaturen opphøyde i 4. potens. σ er Stefan-boltzmanns konstant, α_s er strålingsabsorpsjonskoeffisienten, og emissiviteten ϵ_f .

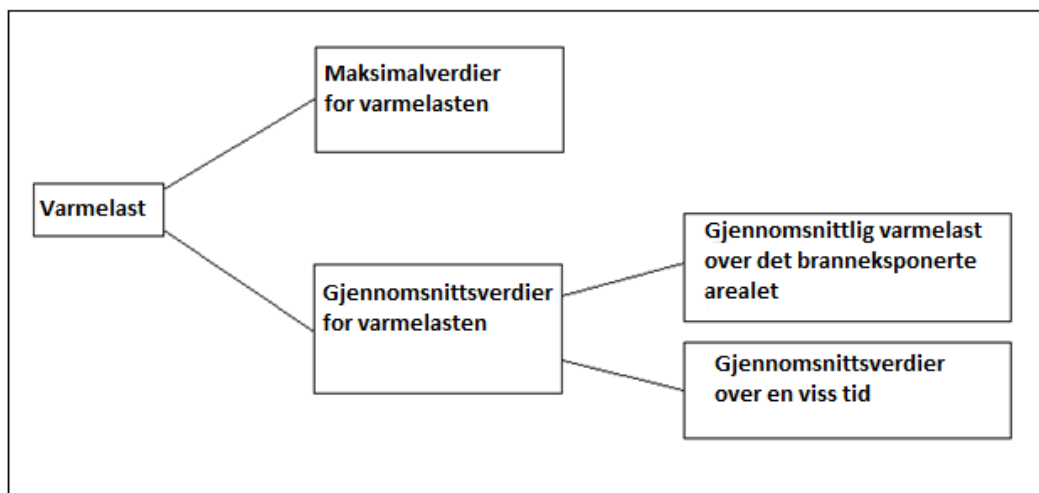
2.3 Brannlaster gitt i standarder

Det finnes flere standarder og prosedyrer som angir forskjellige verdier for varmelast som kan brukes ved dimensjonering av brannbeskyttelse på prosessutstyr. Per i dag er det i hovedsak to norske standarder som benyttes i Norge. Det er Norsok-S001 og en guideline utarbeidet av Scandpower (Guideline for Protection of Pressurized Systems Exposed to Fire).

Varmelastene i standardene kan ses på som et forslag til hva det normalt kan være fornuftig å dimensjonere mot. Forsøk og beregninger viser at det vil kunne oppstå langt høyere

varmelaster i virkeligheten. Begrunnelsen som ligger til grunn for å beholde de tabulerte varmelastene er at høyere varmelaster vil være for kortvarige og lokale til å være dimensjonerende, samt at frekvensen for dem er såpass lav at de kan ses bort ifra. Dette trenger ikke alltid være tilfelle, derfor kreves det avanserte brannberegninger med CFD og risikobasert metodikk for å studere dette [8].

I slike standarder kan det oppfattes som uklart hvilke verdier for varmelast det er snakk om. Figur 4 illustrerer hvilke oppfatninger man kan gjøre seg angående de angitte varmelastene i standardene.



Figur 4 Figuren viser usikkerhet i forbindelse med tolkningen av varmelaster

2.3.1.1 Scandpower Guideline

Scandpower har utviklet retningslinjer for beskyttelse av trykksatte systemer som er eksponert for brann.

Tabell 1 tar utgangspunkt i en brenselskontrollert brann og viser foreslåtte verdier for innfallende varmestrålingsintensitet til bruk ved dimensjonering av trykksatte tanker.

Tabell 1 Tabellen viser foreslåtte verdier for innfallende varmestrålingsintensitet ved en brenselskontrollert brann. Det er ikke gitt kreditt for deluge. [9]

Type varmelast	Jet-brann For lekkasjerater $m < 2 \text{ kg/s}$	Jet-brann For lekkasjerater $0,1 \text{ kg/s} < m < 2 \text{ kg/s}$	Væskedamsbrann/ oljebrann
Lokal maksimal varmelast	350 kW/m ²	250 kW/m ²	150 kW/m ²
Gjennomsnittlig/effektiv varmelast	100 kW/m ²	0 kW/m ²	100 kW/m ²

2.4 Passiv Brannbeskyttelse (PBB)

Deler av innholdet i dette kapittelet er hentet fra [9]. Passiv brannbeskyttelse blir brukt for å beskytte gulv, vegger, rør, utstyr etc. PBB av rør og prosessutstyr blir benyttet for å minimere at innestengte fluider skal varmes opp, og hindre at utstyr brister. PBB er likevel ikke noe man ukritisk bør montere overalt. Hovedfokuset bør ligge i å designe et trykkavlastningssystem med kapasitet til å redusere trykket i systemet. Trykkavlastningen skal skje raskt nok for å kunne unngå en kritisk eskalering av brannen. I kombinasjon med trykkavlastningssystemet bør man velge solide materialer, men stor tykkelse og/eller høy UTS. Ved bruk av PBB er knyttet bekymringer i forhold til disse punktene: Punktene er hentet fra [9].

- Økt korrosjon av materialet som er dekket med PBB
- Reduserte muligheter for å inspisere og vedlikeholde utstyr dekket med PBB
- Økt vekt
- Økt behov for plass
- Økt behov for vedlikehold av PBB
- Økte kostnader
- Økte drag krefter på rør ved en eksplosjon (grunnet økt diameter)
- Vanskeliggjør, og dermed øker antall personer i området ved inspeksjoner.

Bruken av PBB kan derfor bety at man øker risikoen for lekkasjer, og dermed øker risikoen for brann og eksplosjon, samt antall personer som kan bli eksponert. [8]

Det finnes og flere tiltak som kan iverksettes for å forhindre en eskalering av situasjonen, her er noen: Punktene er hentet fra [7].

- Økt materialtykkelse
- Økt utslippsrate
- Velg et sterkere materiale
- Påfør isolasjon
- Drener væske samtidig med gassutslipp
- Beskytt utsatte detaljer (f.eks. flenser)

2.5 Simuleringsverktøy

I et realistisk brannscenario vil forholdene forandre seg med tiden. Ved å benytte et avansert simuleringsverktøy kan man beregne en realistisk utvikling av gass-spredningen, temperaturer og andre parametere. Simuleringsverktøyet som er benyttet i denne oppgaven er Kameleon FireEx.

2.5.1 Kameleon FireEx

Innholdet i dette kapittelet er hentet fra [10]. Kameleon FireEx (KFX) er et ledende simuleringsverktøy innen gass-spredning og transient brannutvikling. KFX utvikler seg gradvis mot å bli en industristandard. KFX har vært under kontinuerlig utvikling siden 70-tallet, og er under stadig utvikling gjennom forskning- og utviklingsprosjekter som er sponset av industrien. Anvendelsesområder som kan utføres i KFX vil være:

- Simulering av pølbranner, jet-branner, spray branner. Dette inkluderer innestengte branner i: komplekse geometrier, friluft og med ytre betingelser som vind
- Detaljerte beregninger av temperatur, stråling, røyk og konsentrasjon
- Optimalisering av PBB
- Evaluering av rømningsveier
- Simulering og effekt av deluge
- Kalkulering av eksplosive gasskyer
- Med mer

3 Metode

I en brannanalyse av et prosess-system ønsker man å kartlegge blant annet varmelaster. Dette kan gjøres ved beregninger og/eller benytte varmelaster basert på erfaringer og eksperimenter. Der målet er å redusere risikoen til under toleransekriterier samt i tillegg så langt som praktisk mulig (ALARP), er det behov for en risikobasert metodikk [8].

Utgangspunktet for denne oppgaven er retningslinjene Scandpower har utviklet for beskyttelse av trykksatte systemer eksponert for brann. Dette kapittelet introduserer de elementene fra retningslinjene som denne oppgaven har som mål å vurdere. Vedlegg A oppsummerer flere viktige punkter i retningslinjene, samt en gjennomgang av den probabilistiske brannintegritetsanalysen. Metoden Scandpower benytter for å beregne eksponeringssannsynlighet for prosessutstyr inngår som et ledd i deres probabilistiske brannintegritetsanalyse.

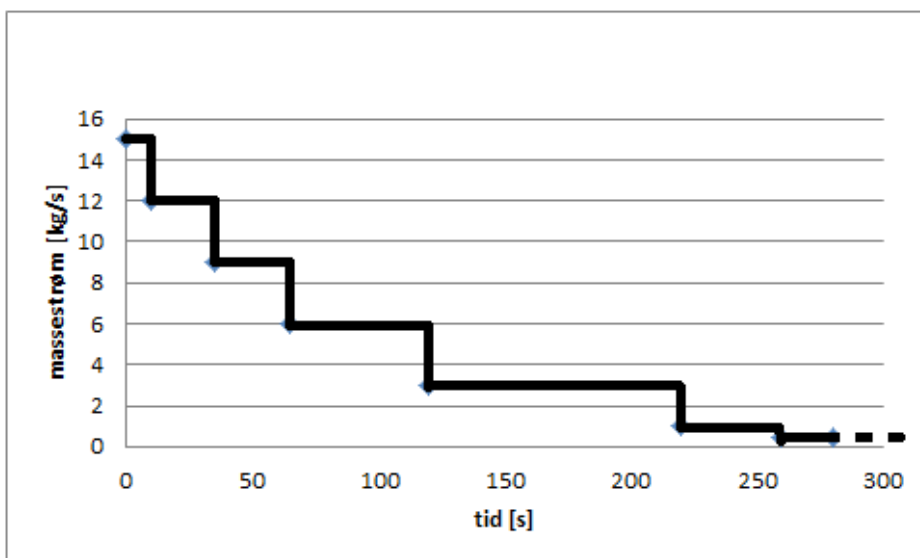
Kapittel 3.3 introduserer en alternativ delmetode som presenterer muligheten for å bruke overflatearealet til prosessutstyret som en parameter for å predikere eksponeringssannsynligheten for trykksatt prosessutstyr. Den alternative delmetoden kan være et supplement til Scandpowers metode for å beregne sannsynlighet for branneksponering.

3.1 Risikobasert metodikk

Teksten som følger i kapittel 3.1 med underkapitler er basert på Scandpowers retningslinjer [9] og en av deres risikoanalyser [11]. Det finnes ulike fremgangsmåter for å predikere varmelaster og brannstørrelser. En måte å predikere varmelaster er ved bruk av CFD-modellering. Ved å benytte KFX i den forbindelse vil man få realistiske resultater, gitt at scenariet er definert riktig. Det er en utfordring å velge ut mange nok scenarier med ulike variable som kan definere et representativt utvalg. Simuleringer blir utført på bakgrunn av lekkasjestatistikken fra risikoanalysen. Det utføres flere simuleringer der brannforløpet og konsekvenser beskrives. Målet er å utføre et representativt antall simuleringer som gir et tilfredsstillende brannkonsekvensbilde i det aktuelle området. Summen av frekvensen for alle individuelle brannscenarier skal stemme overens med den totale brannfrekvensen som er forventet i det aktuelle området. Utvalget av scenarier må reflektere lekkasjepunkter, jet-retninger, ventilasjonsforhold etc. på en realistisk måte.

3.1.1 Lekkasjerater

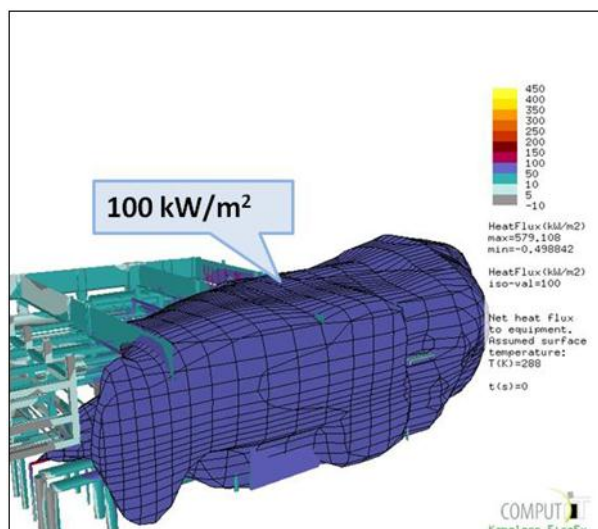
Retningslinjene presenterer en metodikk som går ut på at brannscenarioet blir simulert ved flere stasjonære branner. De stasjonære brannene satt sammen representerer et transient scenario. Bakgrunnen for å ikke simulere brannscenarioet som et transient forløp er fordi detaljgraden blir for høy, noe som krever lang tid, og prosessering av data vil være komplisert. Metoden tar høyde for realistisk transient lekkasjerate ved å sette sammen flere stasjonære branner av ulike størrelse der de vekter de ulike stasjonære lekkasjeratene. Figur 5 illustrerer metodikken for å sette sammen flere stasjonære branner. Ved $t=0$ er massestrømmen 15 kg/s, denne massestrømmen brukes i x antall sekunder og flyttes deretter ned til 12 kg/s, denne massestrømmen holdes så i y antall sekunder, osv.



Figur 5 Figuren viser flere stasjonære branner satt sammen

3.1.2 Flammevolum

Scandpower bruker KFX som et verktøy for å beregne strålingslaster. Resultatene fra brannsimuleringene viser beregnet volum av flammen med en gitt strålingsfluks og høyere. Figur 6 illustrerer et brannscenario der en gitt brann generer et volum av beregnet strålingslast som er over 100kW/m^2 .



Figur 6 Figuren viser et volum som har en strålingslast på 100kW/m^2 og høyere [8]

For hvert brannscenario vil det karakteristiske flammevolumet med en varmekraft over en gitt verdi bli beregnet. Tabell 2 viser eksempelvis ulike brannscenarier og tilhørende varmekraft. De ulike brannene kan være definert med forskjellige forutsetninger, som utslippsrate, lekkasjeretning, etc.

Tabell 2 Tabellen viser eksempel på flammevolum over spesifikke varmekraft for et utvalg branner. Varmekraften inkluderer ikke konvektiv varmekraft.

Varmekraft (kW/m^2)	Flammevolum over en spesifikk varmekraft		
	Brann #1	Brann #2	Brann #3
100	90 m^3	110 m^3	430 m^3
200	20 m^3	20 m^3	200 m^3
250	12 m^3	9 m^3	130 m^3
300	5 m^3	1 m^3	80 m^3
350	0 m^3	0 m^3	30 m^3

3.1.3 Konvektiv varmekraft

Resultatene fra brannsimuleringene gir flammevolum med forskjellig strålingskraft. Den konvektive varmekraften må så legges til varmestrålingen for å bestemme netto varmekraft til prosessutstyret/rørene. Benyttet metode er at en konstant verdi på 100 kW/m^2 legges til over hele volumet av strålingskraft.

3.1.4 Total varmelast for volumet

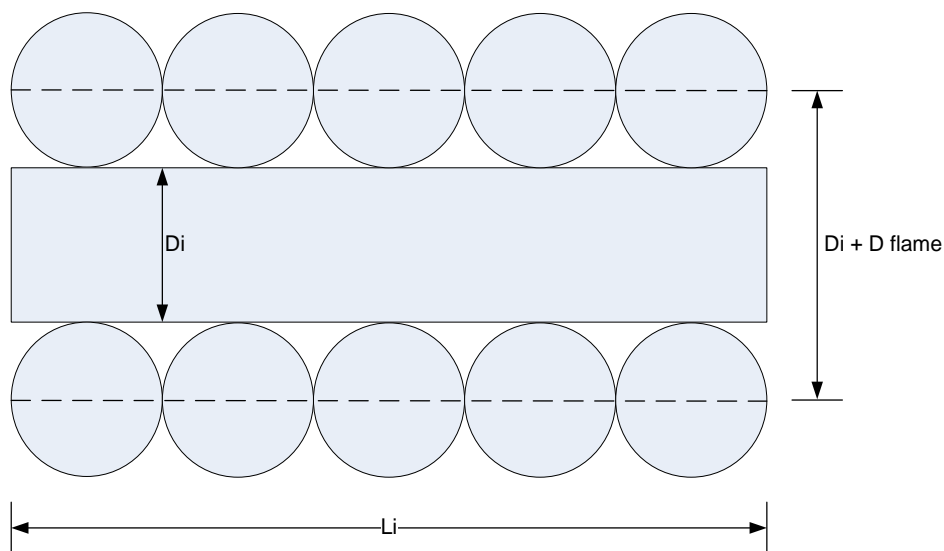
Volumet av strålingslast + 100 kW/m^2 konvektiv varmelast benyttes som en parameter for å beregne eksponeringssannsynlighet. Hvordan man beregner total varmelast kan illustreres med et eksempel: Tabell 2 viser at Brann #1 generer et volum på 20 m^3 med en strålingslast på 200 kW/m^2 . Ved å legge til den konvektive varmelasten på 100 kW/m^2 blir den totale varmelasten lik 300 kW/m^2 .

3.1.5 Metode for å beregne eksponeringssannsynlighet

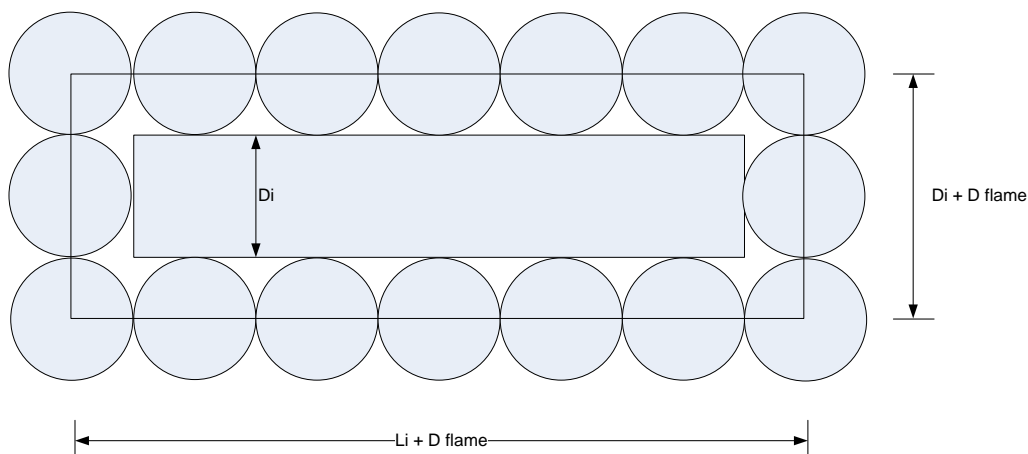
Metoden beregner eksponeringssannsynligheten ved å logge volumet av forskjellige varmelaster og anta at dette volumet kan opptre hvor som helst i området.

Metoden estimerer sannsynligheten for at prosessutstyret utsettes for en gitt brannstørrelse. Sannsynligheten for å bli eksponert for flammene vil være avhengig av diameter og lengde til prosessutstyret, samt til flammen. Metoden antar at flammevolumet er kuleformet.

Eksponering av et prosesselement er definert dersom senter av flammen sfære befinner seg i en flammesfære radius fra ytterveggen på prosesselementet. Dette vises i figur 7 og 8.



Figur 7 Figuren viser definisjon av flamme eksponering i tilfelle ved ingen ende effekter. [9]



Figur 8 viser definisjonen av flamme eksponering i tilfelle med ende effekter. [9]

Som det fremkommer i retningslinjene kan man beregne eksponeringssannsynligheten for rørstykket på følgende måte:

$$P_{exp,i,j} = \beta_{i,j} \frac{\pi}{4} (D_i + D_{flame,i,j}^*)^2 \frac{L_i}{V_{area,i}} \quad [9] \quad (3.1)$$

β - er en forsterkningsfaktor som tar høyde for at det generelt vil være en høyere sannsynlighet for at flammen vil være i et område i modulen der tettheten av prosessutstyr er høy. Dette er på bakgrunn av at sannsynligheten for lekkasje er høyere i dette område av modulen. Det er anbefalt i retningslinjene å bruke $\beta=2$ som standardverdi.

D_i og L_i er diameter og lengde til rørstykke i , V_{area} er det totale volumet av brannområdet der rør og flamme befinner seg. D_{flame} er diameteren på flammen som bestemmes av:

$$D_{flame,i,j}^* = \left(\frac{6V_{flame,i,j}}{\pi} \right)^{1/3} \quad [9] \quad (3.2)$$

$V_{flame,i,j}$ er flammevolumet fra en brann j over en kritisk varmekraft for et rørstykke i . Det konvekktive varmelastbidraget er også inkludert her.

3.2 Vurdering av Scandpower metodikken

Ved å legge til den konvekktive varmelasten over hele volumet antar man at alle eksponerte rør blir belastet med den samme konvekktive varmelasten. Denne antagelsen fører til at man neglisjerer tilfeller der mindre rør kan motta høyere konvektiv varmelast. Den totale konvekktive varmelasten avhenger dermed av strålingslasten simulert i KFX. Ved å bruke volum som en parameter tar man ikke høyde for at den konvekktive varmelasten kan variere avhengig av størrelsen til objektet. I tillegg utelukker man muligheten for at det kan oppstå en

brann der den konvektive varmelasten overstiger $100\text{kW}/\text{m}^2$. $100\text{kW}/\text{m}^2$ settes dermed som en absolutt- og maksimalverdi for den konvektive varmelasten. Den konvektive varmelasten vil også variere innenfor strålingsvolumet.

3.3 Forslag til ny delmetode

Dette kapitlet presenterer et forslag til en alternativ fremgangsmåte for å predikere eksponerings sannsynlighet for prosessutstyr. Denne delmetoden bruker også KFX som et verktøy for å beregne varmelast på prosessutstyr, men bruker prosessutstyrets overflateareal som en parameter. Ved å se på hvor stort overflateareal av prosessutstyret som er belastet vil man inkludere den konvektive varmelasten i simuleringene. Med denne delmetoden kan man anta at resultatene vil være realistiske, da den konvektive varmelasten alltid vil være forbundet med et objekt. Ved å anta at prosessutstyret er jevnt fordelt i modulen vil følgende likning være gjeldene:

$$\frac{A}{A_{tot}} = \frac{V}{V_{tot}} \quad (3.3)$$

A – beregnet overflateareal av prosessutstyret med en gitt varmelast eller høyere

A_{tot} – det totale overflatearealet til prosessutstyret i modulen

V – beregnede volum med en gitt varmelast eller høyere

V_{tot} – det totale volumet i modulen der prosessutstyr kan befinne seg

Videre følger en introduksjon til hvordan man kan ta i bruk arealet som en parameter i Kameleon FireEx.

3.3.1 Lagre data på egen geometri-fil.

Ved å ta utgangspunkt i den originale geometrifilen som brukes til beregningene kan man lage en egen loggings-fil. For å lage denne geometrifilen må man ha kjennskap til et tekstlig brukergrensesnitt i Unix, samt gode kunnskaper i KFX. Denne filen bør bestå av alt prosessutstyr som kan gi en eskalering av situasjonen. Som et eksempel kan man velge ut alle rør som befinner deg inne i den aktuelle modulen. Denne filen brukes til å logge data på under simuleringene. For å logge data i KFX brukes Bullet Monitor. I vedlegg B finnes det mer informasjon om prinsippene og bruk av Bullet Monitor.

3.3.2 Kategorisering av prosessutstyr

I en modul vil det være rør med ulike dimensjoner. Skal man bruke overflatearealet som en parameter kan det være hensiktsmessig å kategorisere prosessrørene etter diameter. Denne metoden foreslår å kategorisere prosessrørene etter diameter. Dette vil si at det bør lages flere ulike geometri-filer der man skiller prosessutstyret etter rørdiameter. Som et eksempel kan en geometri-fil bestå av rør med diameter fra 0,01m – 0,05m. Det er valgt å innføre kategoriseringen for å ta høyde for:

- at rør med større diameter vil bidra til et større overflateareal i beregningen av eksponeringssannsynlighetene
- at mindre rør vil generelt få høyere varmelast [12]

Kategoriseringen av prosessrørene er implementert for å unngå misledende resultater av eksponeringssannsynligheter. Tabell 3 viser eksempelvis hvordan en kategorisering av rørene kan være. Antall kategorier som innføres for det aktuelle studiet vil være en vurdering av hva som finnes hensiktsmessig i forhold til prosessen og tilhørende prosessutstyr. Det må lages like mange geometri-filer som det finnes kategorier, der hver geometri-fil representerer sin kategori.

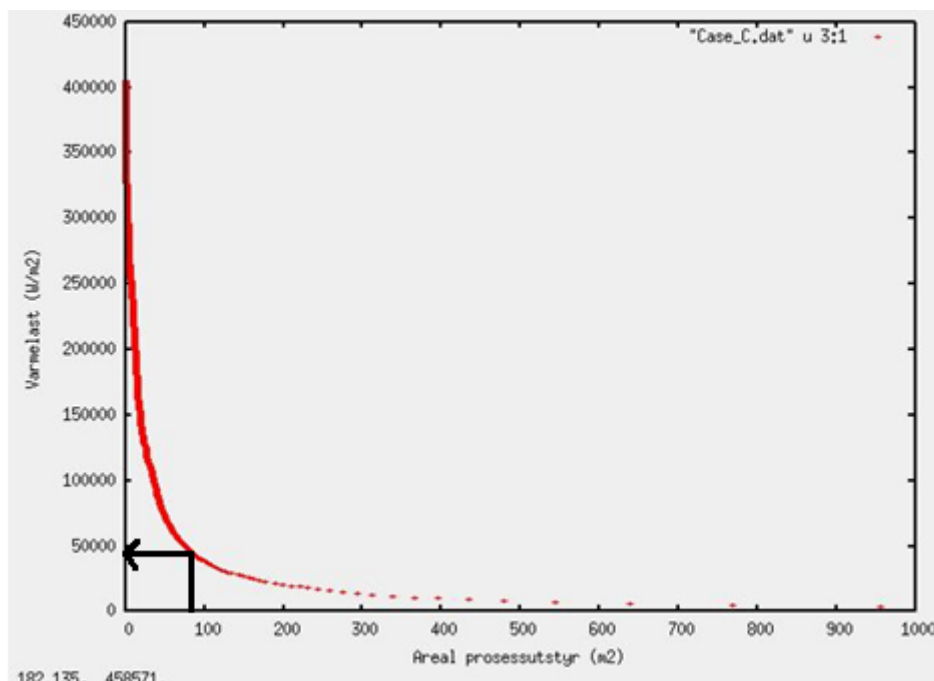
Tabell 3 Tabellen viser kategoriseringen av prosessrør

Kategori (#)	Rørdiameter (D)	Overflateareal prosessutstyr (A_i)
1	0 – 0,01 m	50 m ²
2	0,01 – 0,05 m	100 m ²
3	0,05 – 0,15 m	250 m ²
n	Osv.	
Totalt		400 m ²

3.3.3 Fremstilling av resultatene

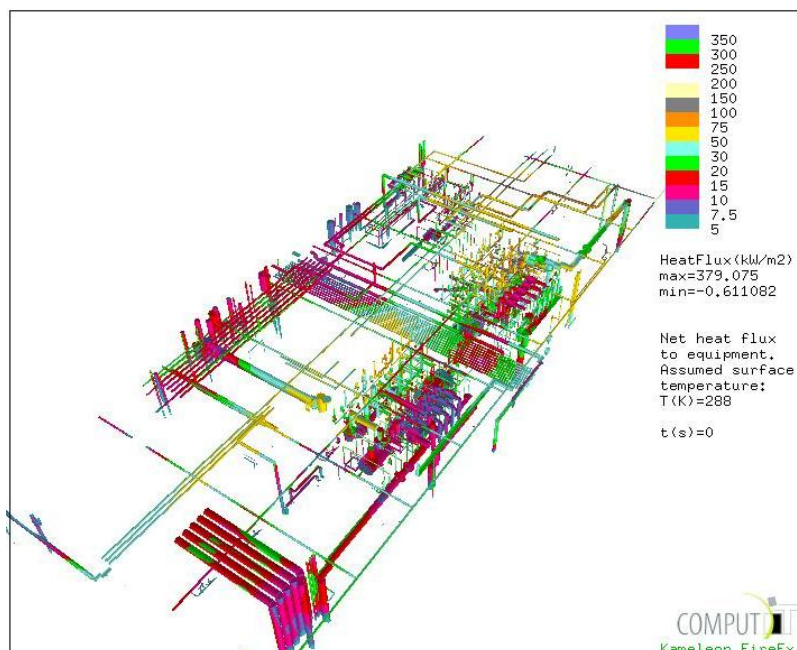
Resultatene fra en simulering vil vise hvor stort overflateareal av prosessutstyret som er belastet med en gitt varmelast. Resultatene plottes som den inverse av den kumulative fordelingskurven. Ved den inverse kumulative fordelingsfunksjonen kan man mappe fra uniformfordelte data til data fra fordelingen som fordelingsfunksjonen er fra. Figur 9 viser et eksempel på hvordan en slik graf vil se ut. Figuren viser hvordan man kan lese av resultater fra grafen, pilen viser hvor stort overflateareal prosessutstyr som har en varmelast på

50kW/m² eller høyere. Ved å endre på aksene kan man studere nærmere gitte verdier som er av interesse.



Figur 9 Resultatene viser hvor stort overflateareal som har en gitt varmelast eller høyere.

KFX gjør det også mulig å fremstille data på en mer kvalitativ måte. Figur 10 viser en geometri-fil som har blitt benyttet til å logge data. På denne figuren kan man se varmelasten over prosessutstyret.



Figur 10 Figuren viser alle rør i modulen og tilhørende varmelast.

3.3.4 Overflatearealet som en parameter

Fordelen med å vurdere varmelasten på overflatearealet er at man inkluderer den konvektive varmelasten til total varmelasten i simuleringene. For at overflatearealet skal kunne implementeres som en akseptert parameter for å beregne eksponeringssannsynlighet vil det kreves en egen studie av dette. Introduseringen av overflatearealet er tenkt som et supplement til metoden som benyttes av Scandpower der volum av gitte strålingslaster brukes for å beregne eksponeringssannsynligheten for prosessutstyret. Videre beskrives hvordan man kan ta i bruk overflatearealet som en parameter for å predikere eksponeringssannsynligheten for rør.

Ved å bruke resultatene fra KFX er det mulig å finne ut hvor stor del av overflatearealet til rør med en gitt diameter som belastes med en gitt varmelast:

$$\% \text{ overflateareal eksponert} = \frac{A_j}{A_i} \quad (3.4)$$

, der A_j er overflatearealet av prosessutstyr belastet med en gitt varmelast eller høyere ved eksponering av en brann j . A_i er det totale overflatearealet til rør med en gitt diameter i .

Tabell 4 viser et eksempel hvordan man kan fremstille resultatene fra en slik analyse.

Tabell 4 Tabellen viser et eksempel på fremstilling av resultater for eksponert overflateareal.

Varmefluks (kW/m ²)	% overflateareal eksponert over en spesifikk varmekraft for rør med diameter =25mm		
	Brann #1	Brann #2	Brann #3
100	31 %	49 %	89 %
200	17 %	27 %	72 %
250	8 %	15 %	49 %
300	5 %	3 %	28 %
350	0 %	1 %	10 %

3.3.4.1 Eksponerings sannsynlighet for et rørstykke k

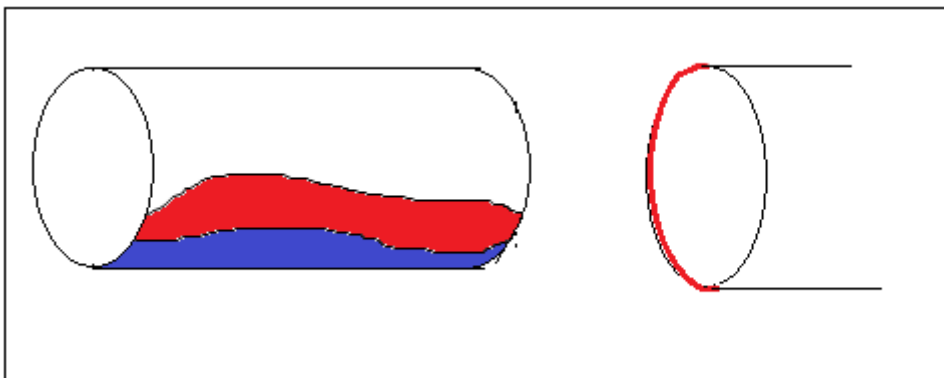
Videre følger en introduksjon til hvordan man kan implementere overflatearealet som en parameter for å beregne eksponerings sannsynligheten for et rør ved en gitt brann. Det antas et sammenhengende rør l med en gitt diameter D . Det antas og at det eksponerte overflatearealet er sammenhengende over rørets lengde, samt at brannen eksponerer hele rørets omkrets i det eksponerte området. Eksponerings sannsynlighet for et rørstykke k kan da beregnes slik:

$$P(\text{rørstykke } k \text{ eksponert}) = \frac{l_k + \frac{A_{\text{eksp}}}{\pi * D}}{l_{\text{tot}} - l_k} \quad (3.5)$$

, der l_k er lengden til ett rørstykke k , A_{eksp} er det overflatearealet av røret som er eksponert. l_{tot} er den totale lengden til røret, D er rørets diameter.

3.3.4.2 Store rør og tanker

For et scenario med en jetbrann kan varmelasten variere over overflaten til større prosessutstyr. Hvor stor del av overflatearealet til røret som blir belastet vil avhenge av flammestørrelse, rørdiameter og avstanden fra flammen til røret. Dette illustreres i figur 11 der man kan se et tilfelle der kun én side av røret blir belastet. Dette kan for eksempel skyldes stor avstand fra flammen til utstyret. I teorien kan hele lengden av et større rørstykke være belastet med en gitt varmelast selv om ikke hele overflatearealet er eksponert. I dette tilfelle vil alle rørstykker av røret være eksponert.



Figur 11 Figuren viser et eksponert areal av røret.

På bakgrunn av dette kan man ikke beregne eksponeringssannsynlighet for store rør og tanker ved å bruke prosentandelen overflateareal eksponert som vises i ligning 3.5. For å kunne beregne eksponeringssannsynligheten for større rør kan man bruke lengden av røret som en parameter. Dersom det finnes mulig å benytte KFX til å estimere hvor stor del av lengden til røret som er eksponert kan man estimere sannsynligheten for at et rørstykke k blir eksponert for en gitt varmelast. Videre følger et forslag for å beregne eksponeringssannsynligheten hvor det antas at et sammenhengende rør med en gitt diameter og at den eksponerte lengden av røret er sammenhengende. Sannsynligheten for eksponering for rørstykke k blir da:

$$P(\text{rørstykke } k \text{ eksponert}) = \frac{l_k + l_e}{l_{tot} - l_k} \quad (3.6)$$

, der l_k er lengden til rørstykket, l_e er den lengden av røret som er eksponert, l_{tot} er den totale lengden til røret.

Dette vises ved et eksempel:

I et prosess-system er det totalt 100 meter sammenhengende rør med diameter lik 0,1m. Simuleringer viser at 3 meter rør av totalt 100 meter er eksponert for en total varmelast på 200kW/m^2 eller høyere. Det er da mulig å beregne sannsynligheten for at et rørstykke k , som er 7 meter langt, eksponeres for varmelasten. Eksponeringssannsynligheten for rørstykke k blir da:

$$P = \frac{7\text{m} + 3\text{m}}{100\text{m} - 7\text{m}} = 0,108 \quad (3.6)$$

4 Studie

Denne studien bruker KFX som et verktøy, og det er utført avanserte simuleringer med KFX.

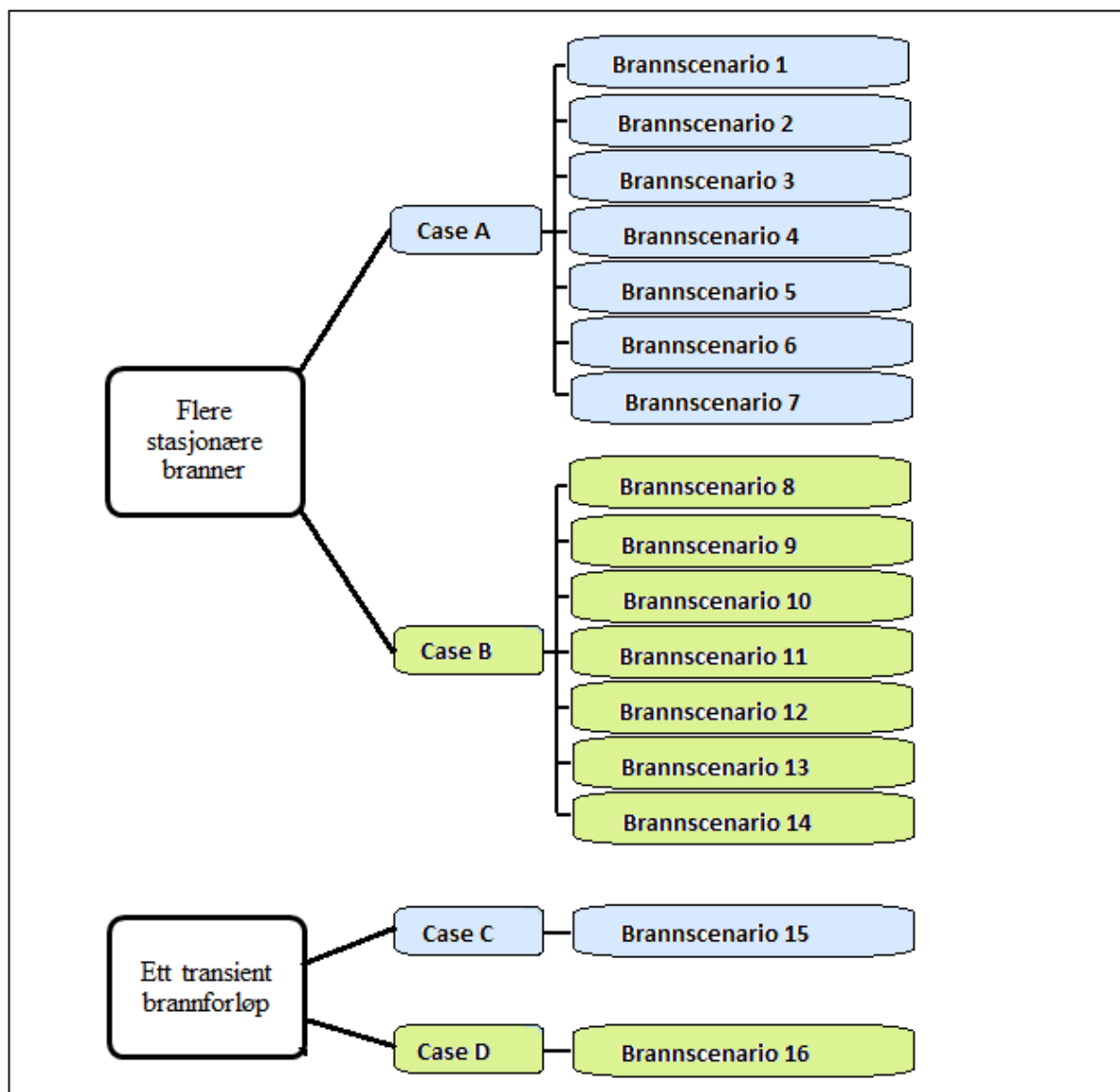
Denne studien er satt opp slik at det skal være mulig å svare på begge målsetningene som beskrives i introduksjonen. Målene med denne studien er:

1. Å bruke studiet for å sammenligne resultater fra ett transient brannforløp opp mot flere stasjonære branner. Et viktig moment i dette studiet vil være å studere ståltemperatur og total varmelast ved sammenligningen.
2. Å vise hvordan man kan bruke KFX som et verktøy til å se hvor stor del av overflatearealet til prosessutstyret som utsettes for varmelast, samt studere den konvektive varmelasten over rør med ulike dimensjoner.

Det er valgt å studere den konvektive varmelasten (beskrevet i punkt 2) for å diskutere Scandpower-metodikken som antar den konvektive varmelasten som en konstant på 100 kW/m².

Casene

Det er totalt gjennomført 16 simuleringer som representerer 4 ulike caser. Case A og B består begge av 7 uavhengige ulike simuleringer som settes sammen. Case C og D består begge av én simulering hver. Dette studiet setter casene opp mot hverandre, der case A og C er sammenlignbare, det samme med case B og D. Figur 12 viser en oversikt over casene.



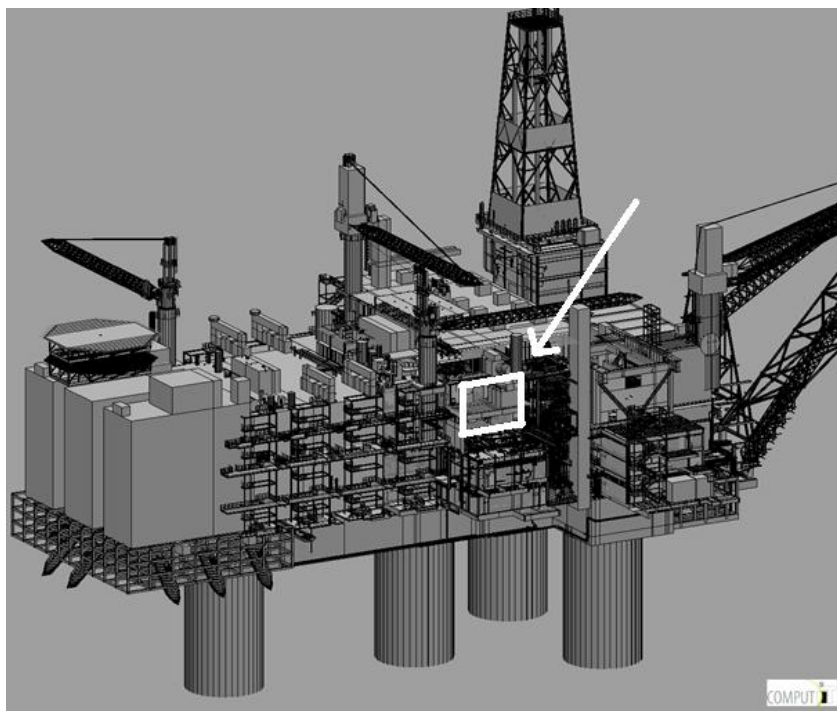
Figur 12 Figuren viser en oversikt over casene.

4.1 Forutsetninger og antagelser felles for simuleringene

Det er gjennomført simuleringer der noen variable er like for alle simuleringene. Casene er definert etter realistiske parametere som er valgt etter en subjektiv analyse som kan representere en realistisk hendelse. Alle simuleringene som gjennomføres er ved en jet-brann fra et gassreservoar. Videre i dette kapittelet beskrives parametere som er felles for alle simuleringene som er gjennomført. I vedlegg C finnes en tabell med inndata for alle simuleringene.

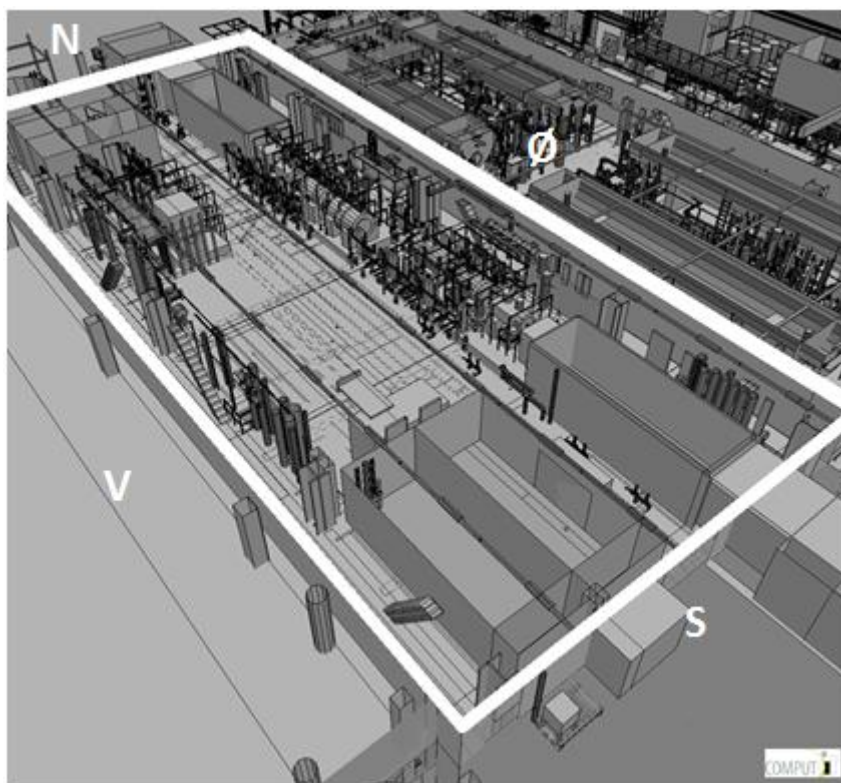
4.1.1 Modul

Modulen som studiet baserer seg på er en reell modul som er valgt på bakgrunn av samtaler med veileder, heretter kalt modul A. Alle simuleringene er gjennomført i modul A. Figur 13 viser installasjonen med den aktuelle modulen sirklet inn.



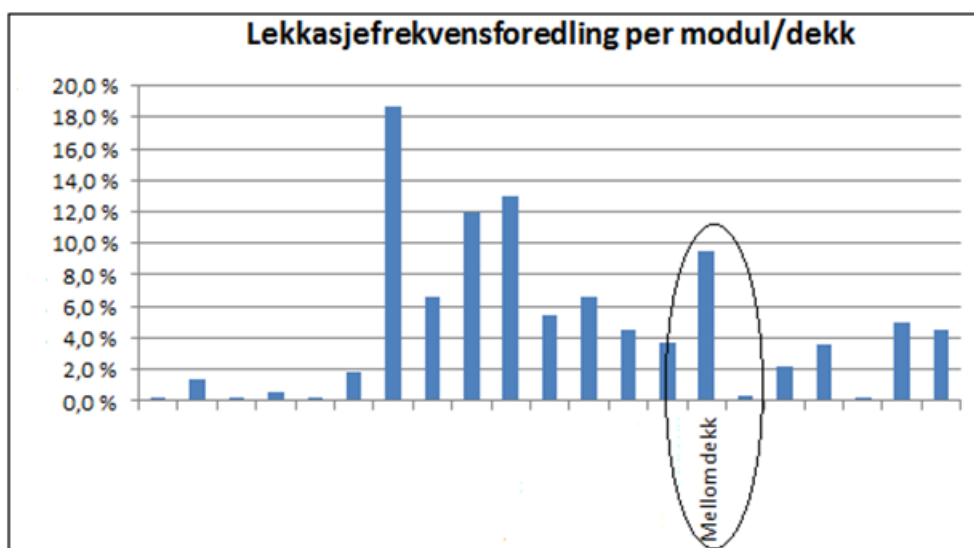
Figur 13 Figuren viser modul A

Modul A er en gasskompresjonsmodul. Modulen består av et hoveddekk og et mellomdekk. Hoveddekket består av gassseksport-kjølere og smøreolje systemer. Mellomdekket består av første, andre og tredje-trinns kompressorer for å eksportere gass, gass reinjeksjonskompressor med turbiner og to LERs. Modulen er 42 meter lang, 18 meter bred og 6 meter høy. Figur 14 viser et bilde av mellomdekket i modulen.

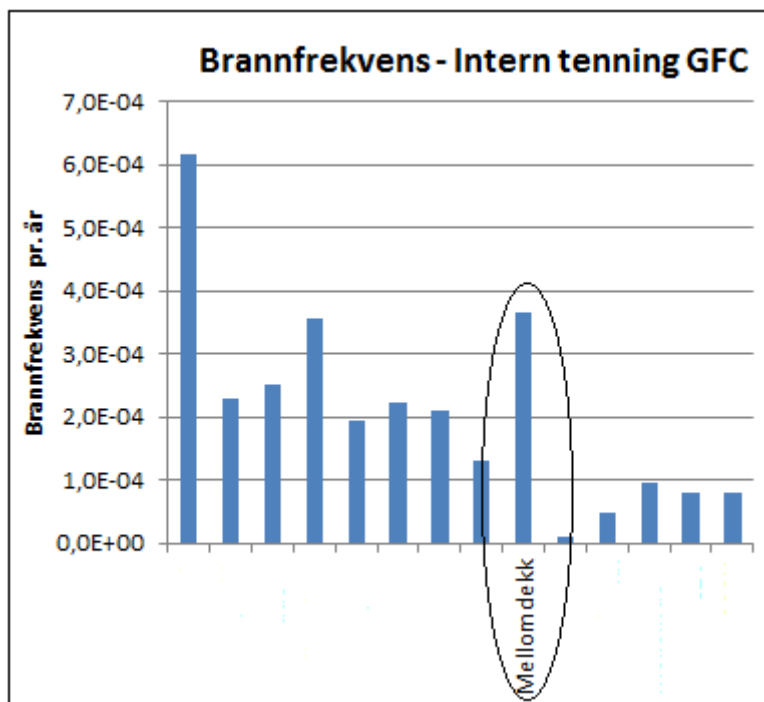


Figur 14 Figuren viser mellomdekket i modulen

På bakgrunn av lekkasje- og brannfrekvensene er det valgt å kjøre simuleringer på mellomdekket. Lekkasje- og brannfrekvensen er hentet inn fra Scandpower. Figur 15 og 16 viser henholdsvis lekkasjefrekvens og brannfrekvens.



Figur 15 Figuren viser lekkasjefrekvensfordelingen per modul/dekk.



Figur 16 Figuren viser brannfrekvens for hver modul.

4.1.2 Brensel

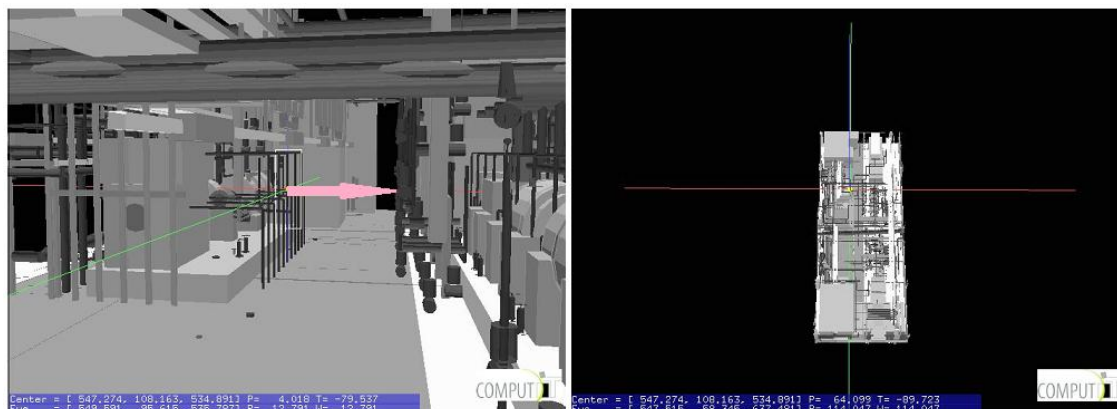
Hydrokarbontypen som er benyttet for simuleringene består av 80 % metan, 5 % etan, 10 % propan og 5 % butan. I beregningene er dette representert som C_{1.4}H_{4.8}. Tabell 5 viser støkiometrisk konsentrasjon, molvekt, samt øvre- og nedre flammegrense for C_{1.4}H_{4.8}.

Tabell 5 Tabellen viser egenskaper for C_{1.4}H_{4.8}

C _{1.4} H _{4.8}	
LFL	3,99 %
UFL	13,56 %
Støk.	7,48 %
Molvekt	22,2 kg/kmol

4.1.3 Lekkaspunkt og jet-retning

Det er valgt et realistisk lekkaspunkt og hull diameter etter å ha studert modulen. Figur 17 viser lekkaspunktet og retningen på jeten. Diameter på utslippshullet måler 0,05m.



Figur 17 Figuren viser utslippspunktet.

4.1.4 Vindforhold

Nord- og sørenden på modulen vender begge ut mot friluft. Forsøkene er simulert med konstant vind fra én bestemt retning. Case A og C er simulert med vind på 10 m/s fra nord. Case B og D er simulert med vind på 10 m/s fra øst. Det er valgt å simulere scenariene med vind fra forskjellig retning for å se hvilken effekt det har på forbrenningen. Tabell 6 viser en oversikt over casene.

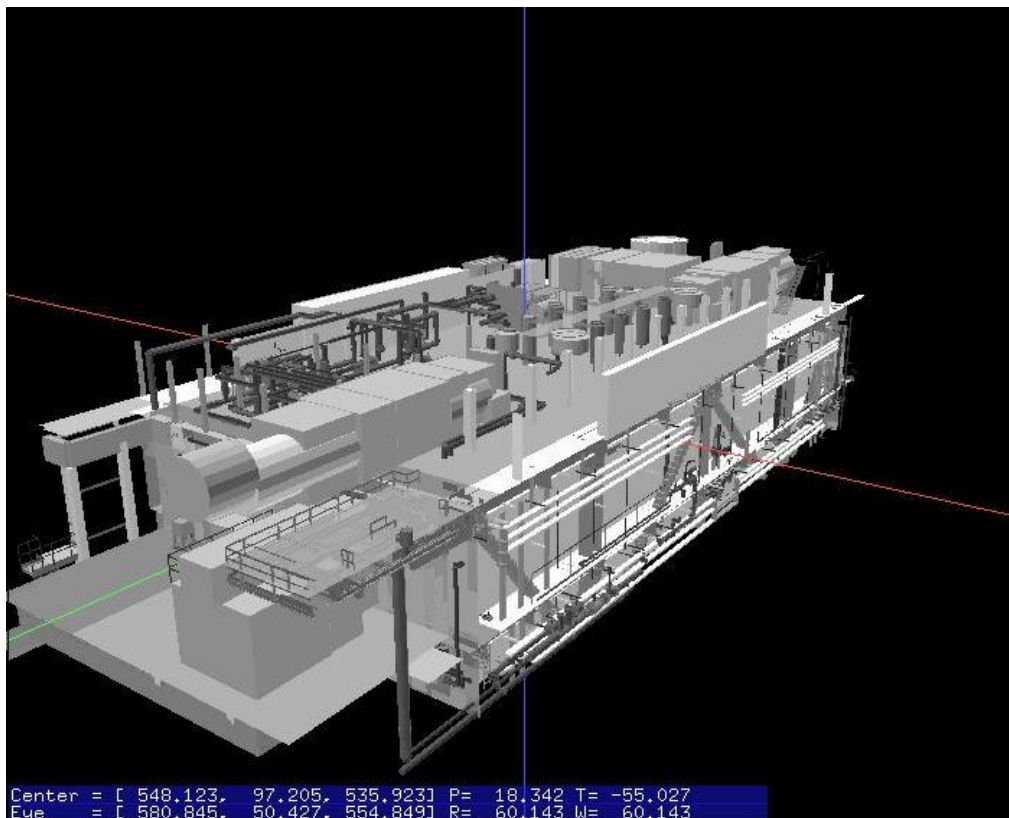
Tabell 6 Tabellen viser en oversikt over casene med vindforhold

	Vind fra NORD	Vind fra ØST
Sammensatt av 7 stasjonære brannscenarier	Case A	Case B
Ett transient forløp som gjengir hele brannscenario	Case C	Case D

4.1.5 Geometri og grid

Den opprinnelige geometrifilen bestod av hele plattformen. Denne filen ble klippet for å oppnå et finere grid av den aktuelle modulen. Ved å klippe vekk deler av geometrien oppnår man et mer konsentrert grid i området der man ønsker å hente data. Geometrifilen som ble benyttet består av den aktuelle modulen i tillegg til noe omliggende geometri. Det er valgt å beholde noe av geometrien rundt for å sikre et realistisk brannforløp, da omliggende struktur kan påvirke brannen. I figur 18 kan man se geometri-filen som ble benyttet under simuleringene. Gridet er modifisert etter et utgangspunkt på 500.000 gridceller. Gridet er

redigert slik at kontrollvolumene er mindre desto nærmere man kommer utslippshullet, dette gjøres for å oppnå gode resultater.



Figur 18 Figuren viser geometri-filen som ble benyttet under simuleringer

4.2 Dette skiller casene

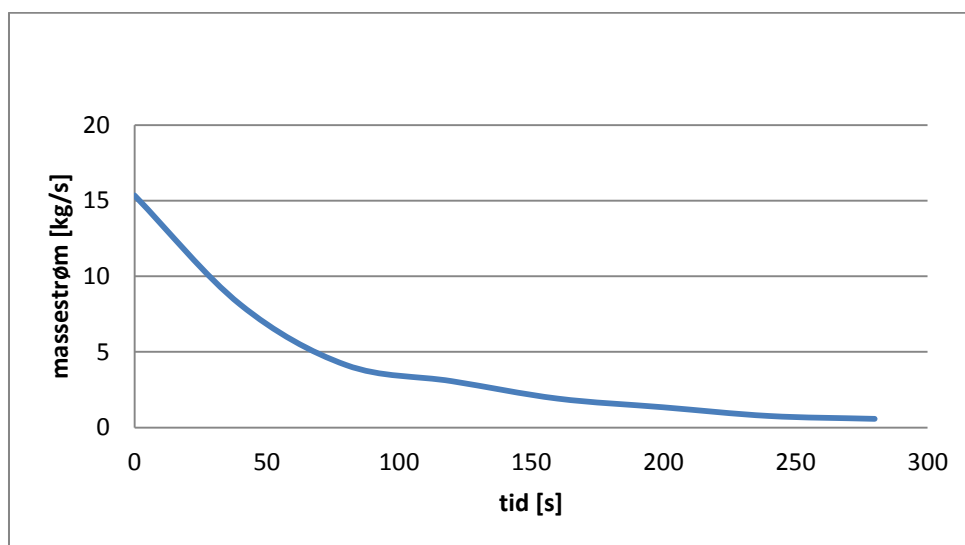
Sammenligningsgrunnlaget for studiet baserer seg på den transient utviklingen til brannen, og derfor vil disse betingelsene skille casene. I case A og B er det etter beste evne forsøkt å gjenskape metoden Scandpower benytter ved å simulere flere stasjonære branner. For å gjenskape et transient forløp er det i case C og D simulert et case der hele forløpet foregår i sin helhet i én simulering.

4.2.1 Transient utslipp

Lekkasjeraten som simuleres følger en transient utvikling der massestrømmen avtar med tiden. Ved å studere grafer over transiente lekkasjerater er det for dette caset konstruert en transient kurve som følger et realistisk forløp. Det transiente forløpet følger en relativt rask trykkavlastning. For casene A og B vil den transiente utviklingen simuleres ved å sette sammen flere stasjonære jet-branner, mens for casene C og D vil den transiente utviklingen foregå som en helhet gjennom hele simuleringen.

De transiente casene (C og D)

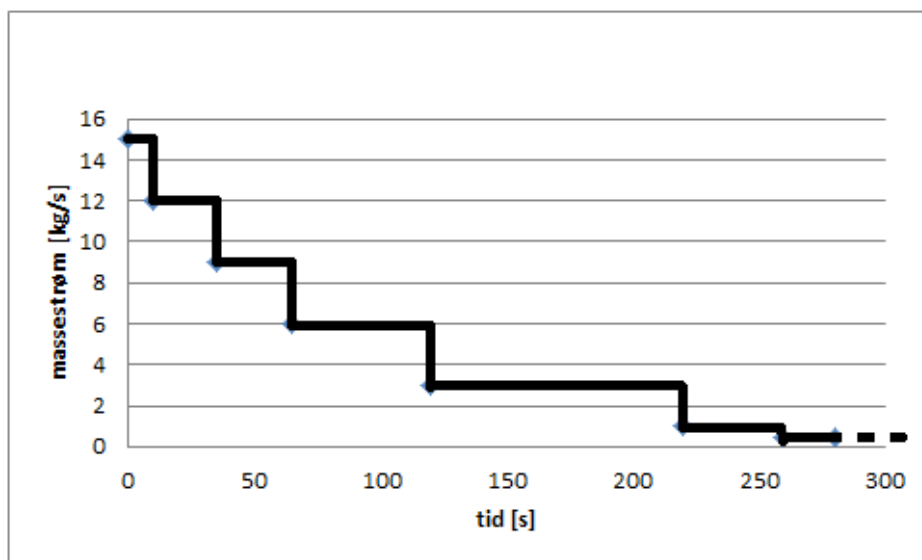
Case C og D er gjennomført med de samme forutsetningene for lekkasjerater. For å kunne simulere et brannscenario med transiente lekkasjerater i KFX må man lage dat-filer som legges inn i grensebetingelsene for scenariet. Verdier for den transiente massestrømmen og en forklaring på hvordan forløpet er inkludert i KFX kan leses i vedlegg B. Figur 19 viser hvordan det transiente forløpet utvikler seg.



Figur 19 Figuren viser hvordan det transiente forløpet utvikler seg over tid.

De stasjonære casene (A og B)

Case A og B er gjennomført med de samme forutsetninger for lekkasjerater. Det er simulert 7 stasjonære branner for hver av casene. De stasjonære lekkasjeratene settes sammen for å danne det transiente forløpet. Figur 20 viser lekkasjeforløpet sammensatt av flere stasjonære lekkasjerater. Tabell 7 viser hvor lenge hvert enkelt brannscenario foregår. Disse tidsintervallene er basert på den transiente kurven som definerer caset, se figur 19.



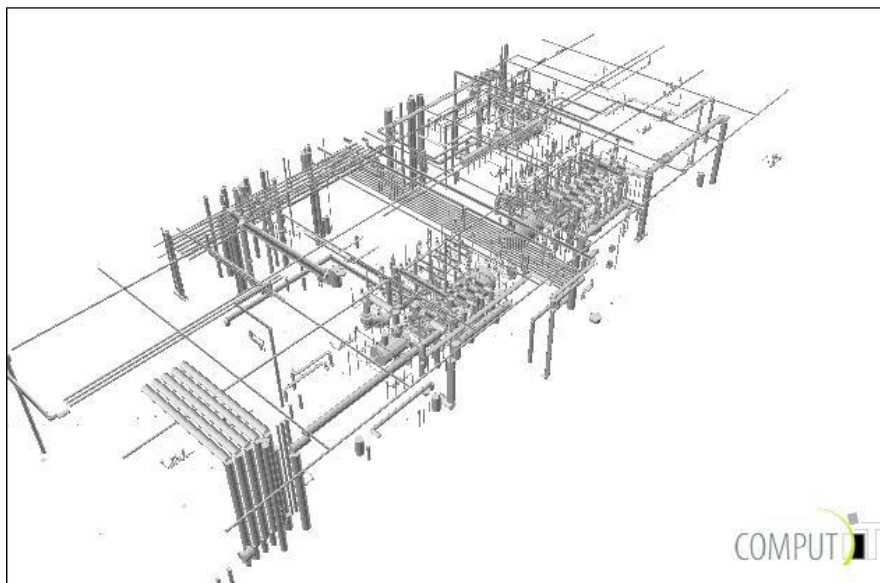
Figur 20 Figuren viser hvordan det transiente forløpet er satt sammen av flere stasjonære branner.

Tabell 7 Tabellen viser eksakt hvor lenge hvert enkelt brannscenario foregår i studiet.

Brannscenario #	Massestrøm [kg/s]	Tid [s]
1 og 8	15	18
2 og 9	12	17
3 og 10	9	26
4 og 11	6	59
5 og 12	3	104
6 og 13	1	36
7 og 14	0,5	20

4.2.2 Logging av data

Det er laget en egen geometri-fil som brukes til å logge data på. Denne filen består av alle rør i mellomdekket på modulen. Rørene er isolert fra resten av geometrien da det er rørene som er av interesse i dette caset. Figur 21 viser et bilde av hvordan denne filen ser ut. Loggføringen av data har skjedd ved bruk av Bullet Monitor. Mer informasjon om Bullet Monitor finnes i vedlegg D. Det er antatt for prosessutstyret at samtlige rør har en rørveggtykkelse på 1 cm. Dette er ikke en realistisk antagelse, men er benyttet for å kunne sammenligne temperaturutviklingen i studien. Tynne rør vil raskt oppnå en likevektstemperatur, dvs. netto varmefluks = 0. [12]



Figur 21 Figuren viser geometrien som brukes for å logge data.

De transiente casene (C og D)

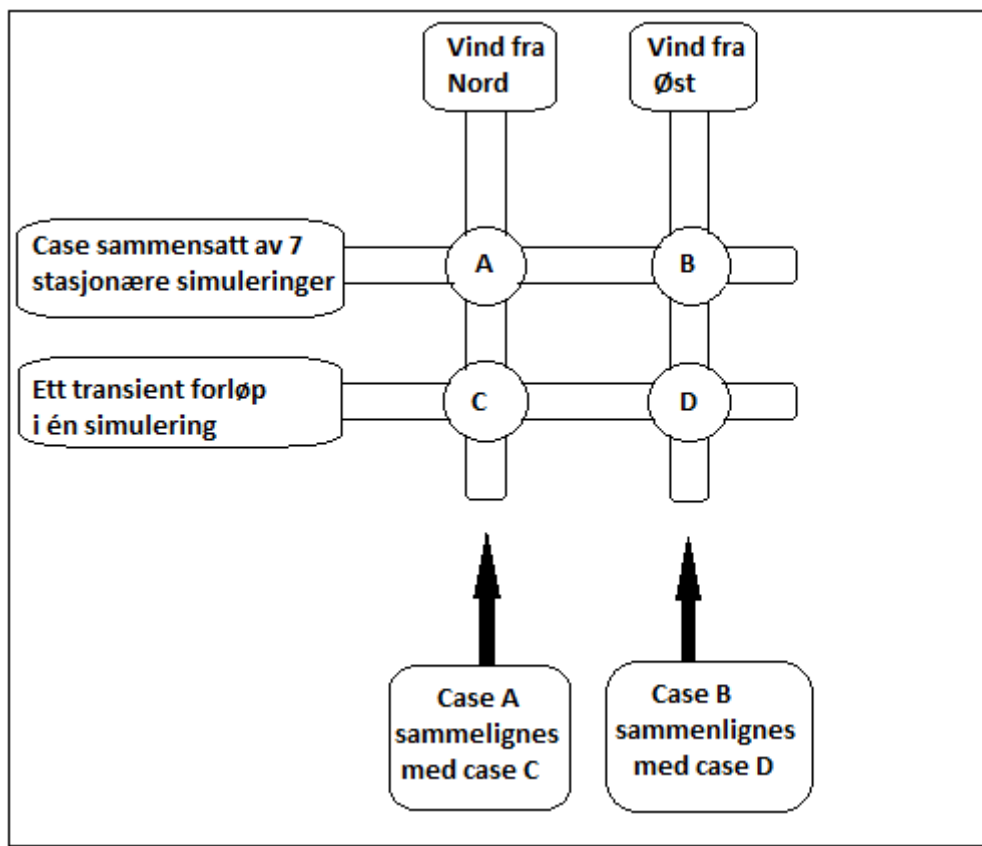
Metoden simulerer hele brannforløpet i én sekvens. Det er derfor nødvendig å lagre data underveis i simuleringen. Det lagres data fra Bullet Monitor hvert tiende sekund.

De stasjonære casene (A og B)

Hver enkelt av de stasjonære brannscenariene simuleres inntil brannen stabiliserer seg. Dette kan lese av ved å studere statuskurvene. Statuskurvene viser hvordan den totale massestrømmen, strålingsvarmen og temperaturen utvikler seg over tid. Data fra Bullet Monitor lagres en gang per brannscenario når statuskurvene viser status quo.

4.3 KFX resultater

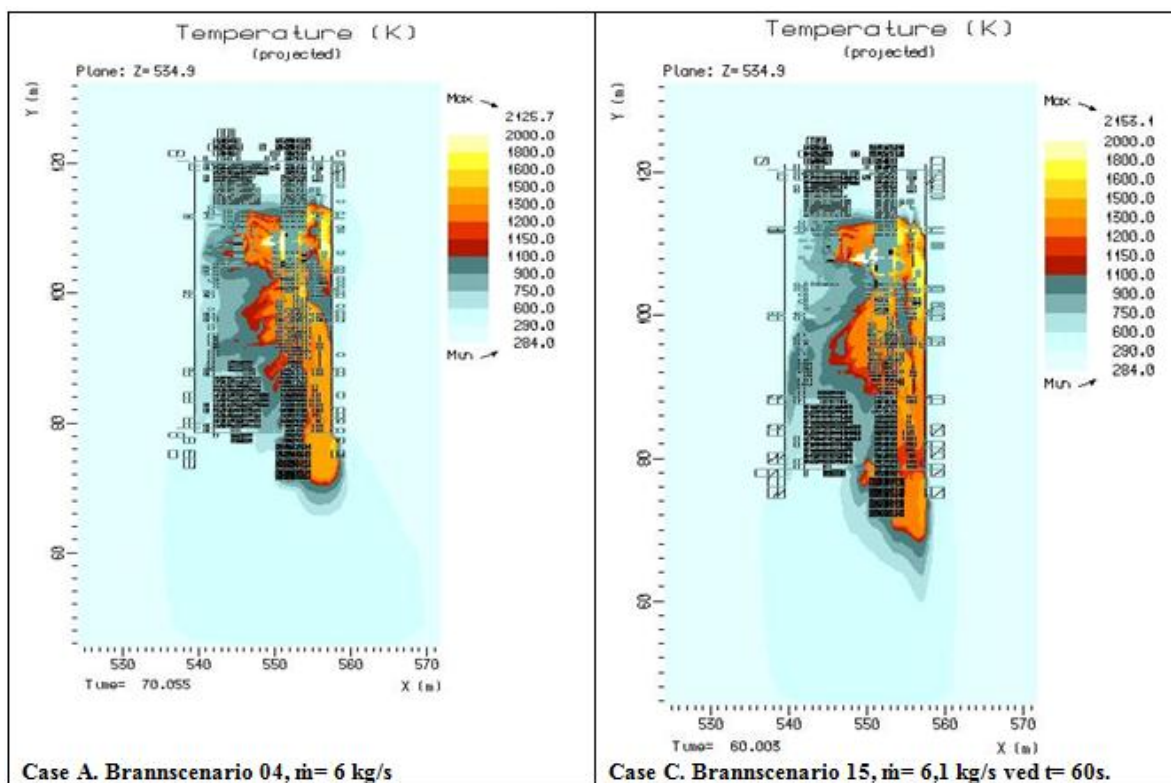
I dette kapittelet presenteres resultatene fra simuleringene i Kameleon. Ved å studere temperatur-, stråling- og massestrømsraten i de stasjonære scenariene (A og B) kunne man se at brannene stabiliserte seg etter ca ett minutt. Det er derfor valgt å hente data fra de stasjonære scenariene etter 70 sekunder. For de transiente casene (C og D) er data lagret hvert tiende sekund gjennom hele simuleringen. Resultatene er presentert ved å sammenligne de transiente casene mot de stasjonære casene. Figur 22 viser på en oversiktlig måte hvordan studiet er satt opp.



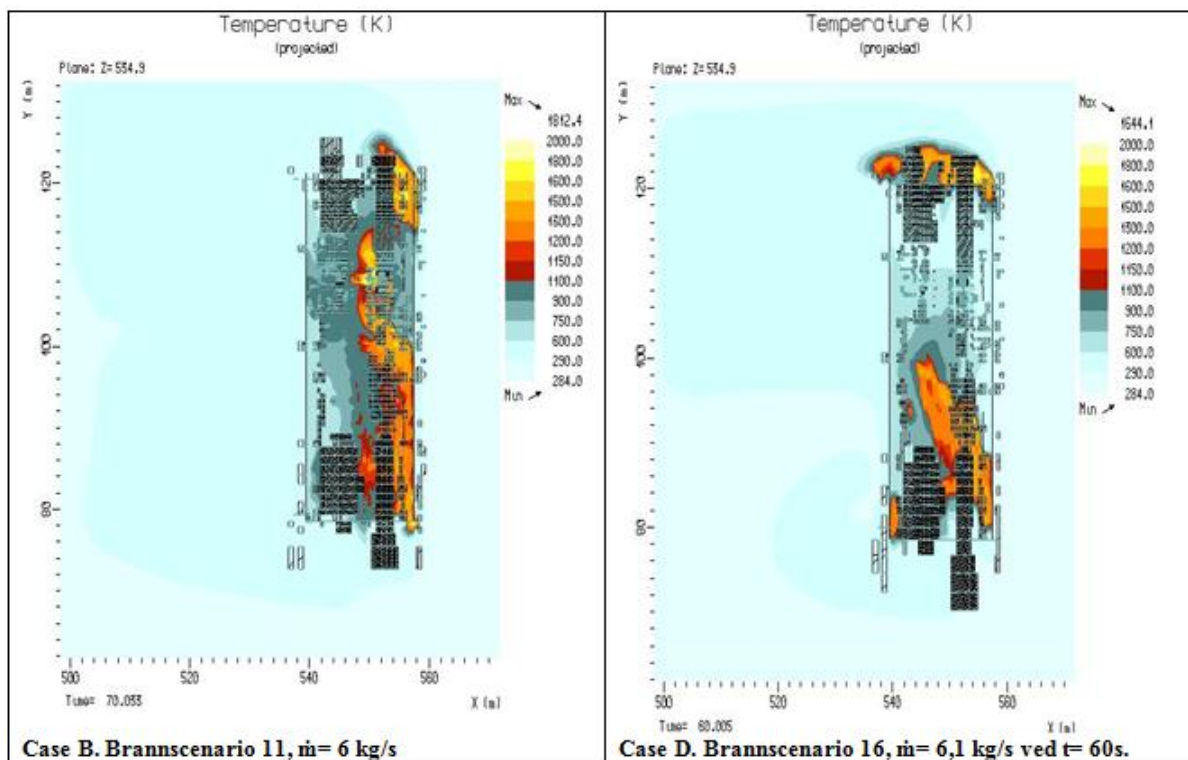
Figur 22 Figuren viser en oversikt over casene og sammenligningsgrunnlaget for studiet.

4.3.1 Temperaturbilder

Temperaturbildene viser jetflammen i modulen der de høyeste flammemetemperaturene er projisert. Dette betyr at bildene viser et snitt av flammebildet ved de høyeste målte temperaturer. Fra figur 23 kan man se jetbrannen med tilhørende temperaturer for case A og C ved en massestrøm på 6 kg/s. Figur 24 viser det samme bilde for case B og D. Scenariene fra figur 23, som er simulert med vind fra nord, viser tydelig hvordan vinden bidrar til mer luft i modulen. Scenariene fra figur 24 er simulert med vind fra øst, der modulen er lukket. Som bildene viser oppnår man høyere temperaturer og et større eksponeringsområde for flammene med vind fra nord. I vedlegg D ligger temperaturbilder for alle de stasjonære scenariene, samt underveis i de transiente forløpene. Ved å gå inn i vedlegget kan man sammenligne flammeutviklingen i casene ved samme tidspunkt. Temperaturbildene er illustrative og viser flammeutviklingen på en kvalitativ måte.



Figur 23 Figuren viser flammeutviklingen i case A og C ved en massestrøm på 6 kg/s.



Figur 24 Figuren viser flammeutviklingen i case B og D ved en massestrøm på 6 kg/s.

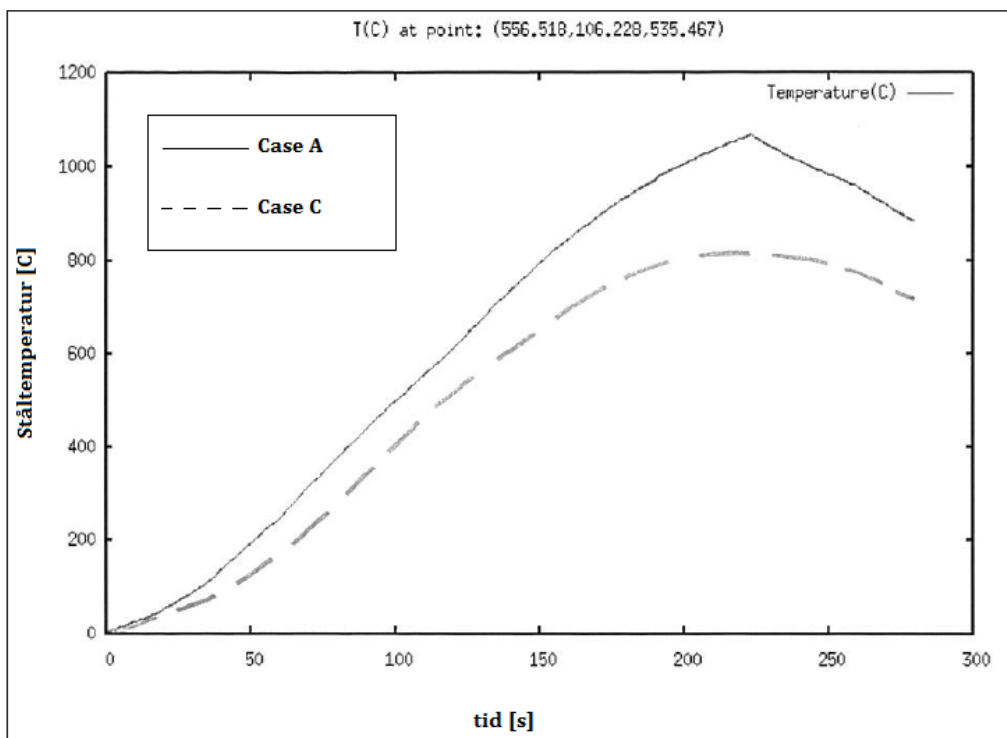
4.3.2 Temperatur over tid

For alle 4 casene ble det registrert tidspunkt og koordinat for den høyeste målte ståltemperatur. Beregningene som viser ståltemperatur er utført i Kameleon ved antagelsen om at alle rørene har en rørveggtykkelse på 10 mm. Tabell 8 viser en oversikt over de varmeste registrerte punktene på geometrien gjennom hele simuleringen.

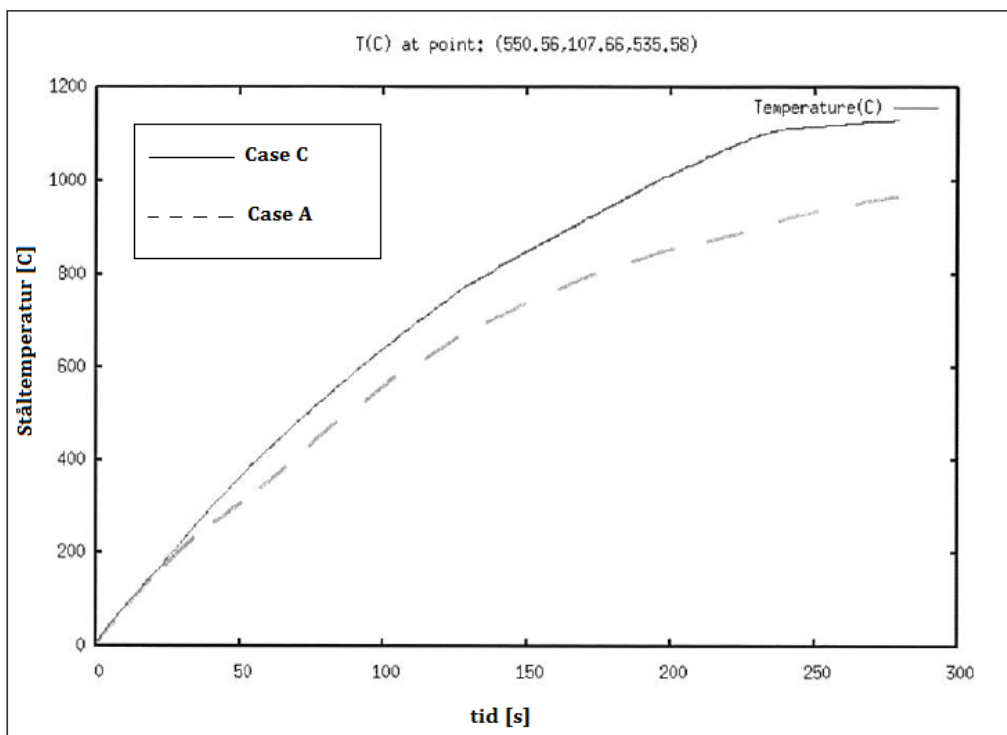
Tabell 8 Tabellen viser koordinater for punkter der maksimaltemperaturen er målt.

Case	Koordinater			Maksimal ståltemperatur
	x	y	z	[C]
A	556,518	106,228	535,467	1070,6
B	553,844	108,525	535,718	943,8
C	550,56	107,66	535,58	1129,3
D	553,053	107,778	535,58	792,2

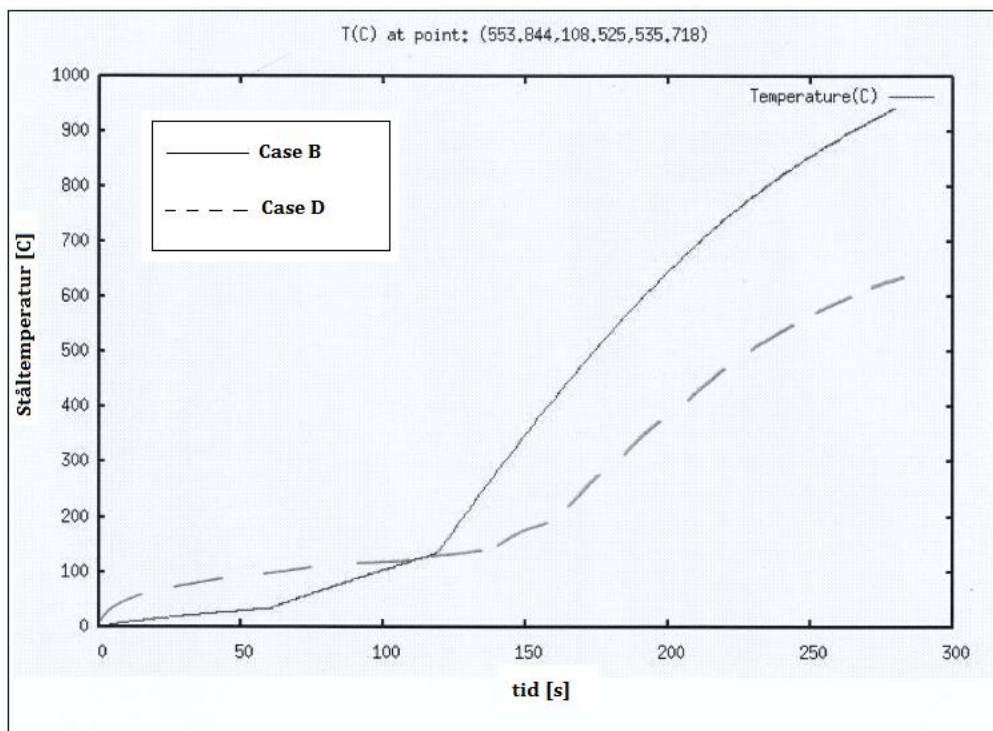
Figur 25, 26, 27 og 28 viser hvordan temperaturen varierer med tiden over punktet der maksimaltemperaturen er registrert i de ulike casene. Resultatene viser ståltemperaturen som funksjon av tid. Resultatene viser en høyere ståltemperatur i prosessutstyret i casene som er simulert med vind fra nord. Dette kan skyldes vinden fra nord tilfører brannen mer oksygen. Resultatene viser og at resultatene fra ett sammensatt stasjonært scenario sammenlignet med ett transient scenario gir ulike resultater. Ved å studere ståltemperaturen over tid i de forskjellige casene er det generelt ikke mulig å fastslå hvilken beregningsmåte som gir høyest ståltemperatur.



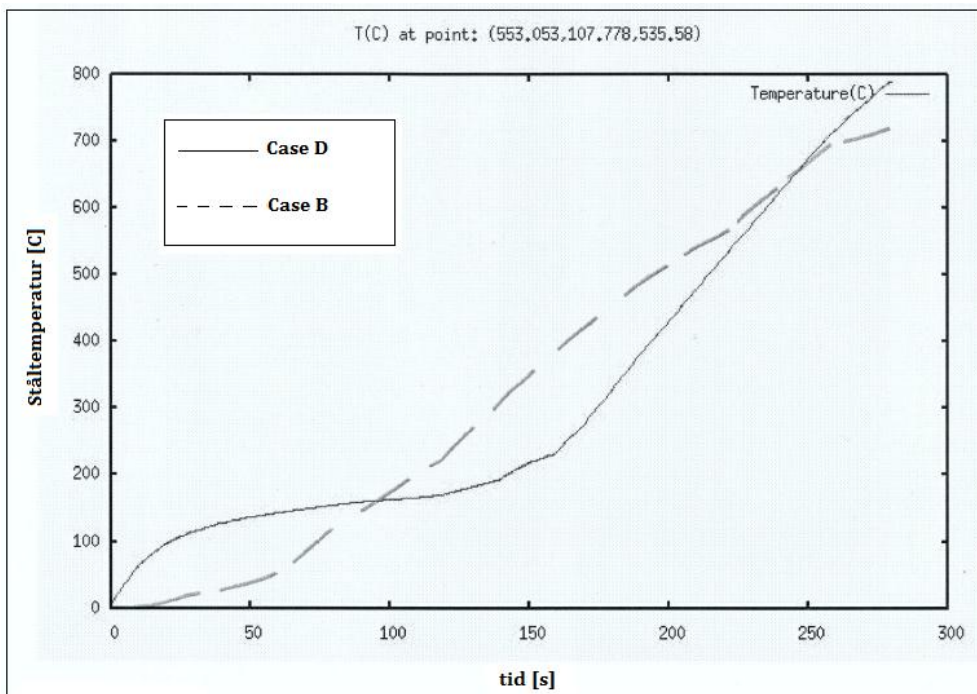
Figur 25 Figuren viser temperaturutviklingen i punktet der maksimal ståltemperatur er nådd i Case A. Plottet viser og temperaturutviklingen for case C i det samme punktet.



Figur 26 Figuren viser temperaturutviklingen i punktet der maksimal ståltemperatur er nådd i Case C. Plottet viser og temperaturutviklingen for case A i det samme punktet.



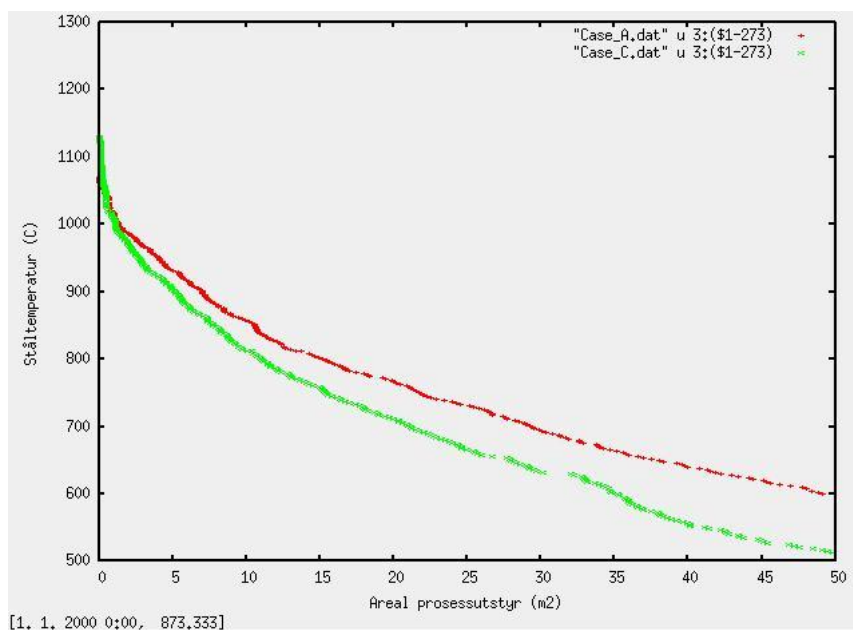
Figur 27 Figuren viser temperaturutviklingen i punktet der maksimal ståltemperatur er nådd i Case B. Plottet viser og temperaturutviklingen for case D i det samme punktet.



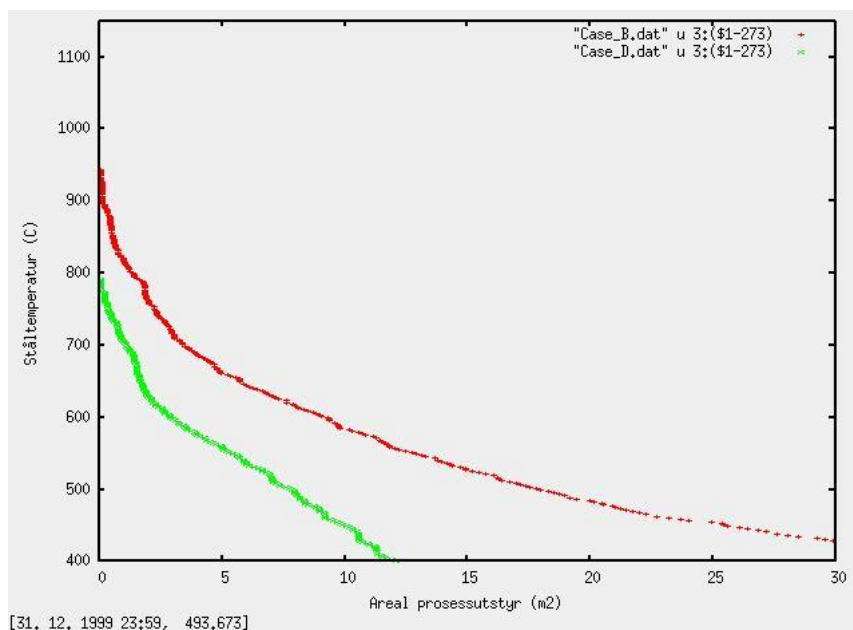
Figur 28 Figuren viser temperaturutviklingen i punktet der maksimal ståltemperatur er nådd i Case D. Plottet viser og temperaturutviklingen for case B i det samme punktet.

4.3.3 Stålteperatur over areal prosessutstyr

Resultatene viser stålteperaturen over areal prosessutstyr når maksimaltemperaturen i casene er registrert. Alle rør er antatt å ha en rørveggtykkelse på 10mm. Fra figur 29 og 30 kan man lese av hvor stort areal prosessutstyr som har en gitt stålteperatur eller høyere. Resultatene indikerer et større eksponeringsområde for prosessutstyret for de stasjonære casene.



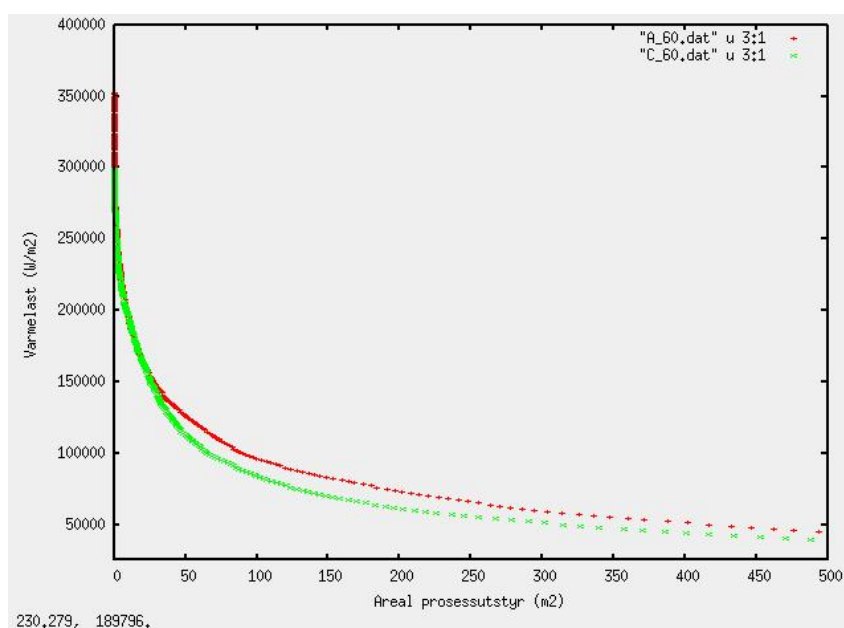
Figur 29 Figuren viser areal prosessutstyr som har en gitt stålteperatur eller høyere. Figuren viser Case A og C.



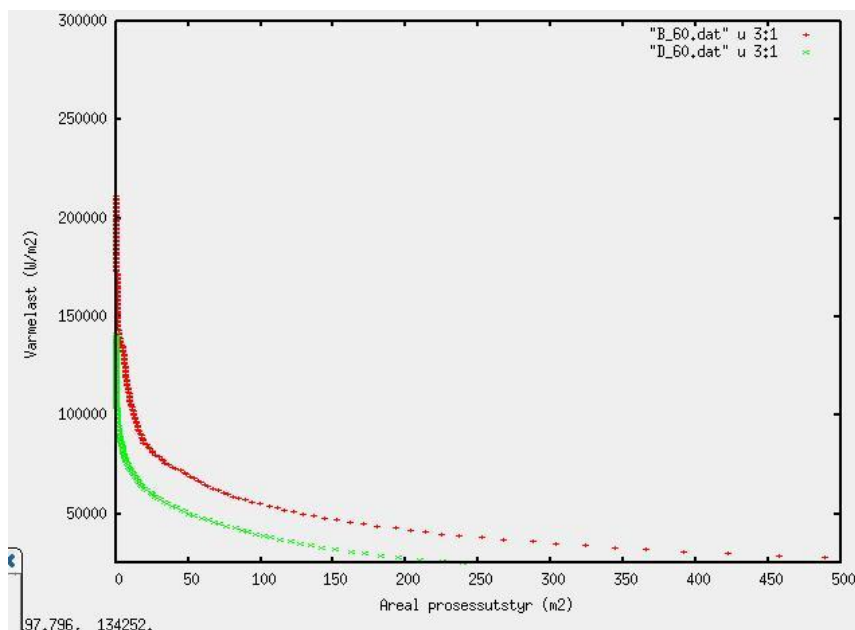
Figur 30 Figuren viser areal prosessutstyr som har en gitt stålteperatur eller høyere. Figuren viser Case B og D.

4.3.4 Varmelast over areal prosessutstyr

For å illustrere varmelast over areal prosessutstyr er det valgt å vise resultatene fra $t = 60$ s. Ved $t = 60$ s er massestrømmen = 6 kg/s . Det er valgt å hente resultater ved $\dot{m} = 6 \text{ kg/s}$, på bakgrunn av flammebildene som indikerer høye temperaturer ved $\dot{m} = 6 \text{ kg/s}$. I vedlegg E kan man se resultater fra 3 andre valgte tidspunkt (20 s, 120 s og 220 s). Fra figur 31 og 32 kan man lese av hvor stort areal av prosessutstyret som er belastet med en gitt varmelast eller høyere ved $t = 60$ s. Resultatene indikerer et større eksponeringsområde for prosessutstyret og generelt høyere varmelaster for de stasjonære casene.



Figur 31 Figuren viser areal prosessutstyr som er belastet med en gitt varmelast eller høyere. Figuren viser Case A og C.



Figur 32 Figuren viser areal prosessutstyr som er belastet med en gitt varmelast eller høyere. Figuren viser Case B og D.

4.3.5 Konvektiv varmelast

Dette kapittelet presenterer forskjellen i konvektiv varmelast for rør med ulik diameter. Varmelastene er hentet fra det punktet der den høyeste varmelasten ble registrert ved 3 forskjellige stasjonære lekkasjerater. Verdiene i tabell 9 viser total varmelast, strålingslast og konvektiv varmelast. Med rørdiameter på 25 mm viser resultatene en konvektiv varmelast fra 112,1 - 125 kW/m². Dette er opp mot 25 kW/m² mer enn metodikken Scandpower bruker for inkluderingen av konvektiv varmelast. Det er også interessant å studere den konvektive varmelasten for de større rørdiameter. Resultatene for rørdiameter mellom 75 mm og 100 mm viser en konvektiv varmelast på 44 – 86,9 kW/m². For rør med større diameter er den konvektive varmelasten vesentlig lavere enn ved en mindre diameter som 25 mm.

Tabell 9 Tabellen viser totalvarmelast, strålingslast og konvektiv varmelast for rør med forskjellig diameter.

		Total varmelast (kW/m ²)	Strålingslast (kW/m ²)	Konvektiv varmelast (kW/m ²)
D= 25mm	$\dot{m}= 1 \text{ kg/s}$	302,5	178,5	124
	$\dot{m}= 3 \text{ kg/s}$	332	207	125
	$\dot{m}= 6 \text{ kg/s}$	272	159,9	112,1
D= 75mm	$\dot{m}= 1 \text{ kg/s}$	187,1	134,1	53
	$\dot{m}= 3 \text{ kg/s}$	259,2	172,3	86,9
	$\dot{m}= 6 \text{ kg/s}$	218,1	141,7	76,4
D= 100mm	$\dot{m}= 1 \text{ kg/s}$	136,3	92,3	44
	$\dot{m}= 3 \text{ kg/s}$	275,4	201,8	73,6
	$\dot{m}= 6 \text{ kg/s}$	188,1	126,3	61,8

5 Diskusjon

I diskusjonen vurderes caseresultatene og metodene som er presentert i oppgaven.

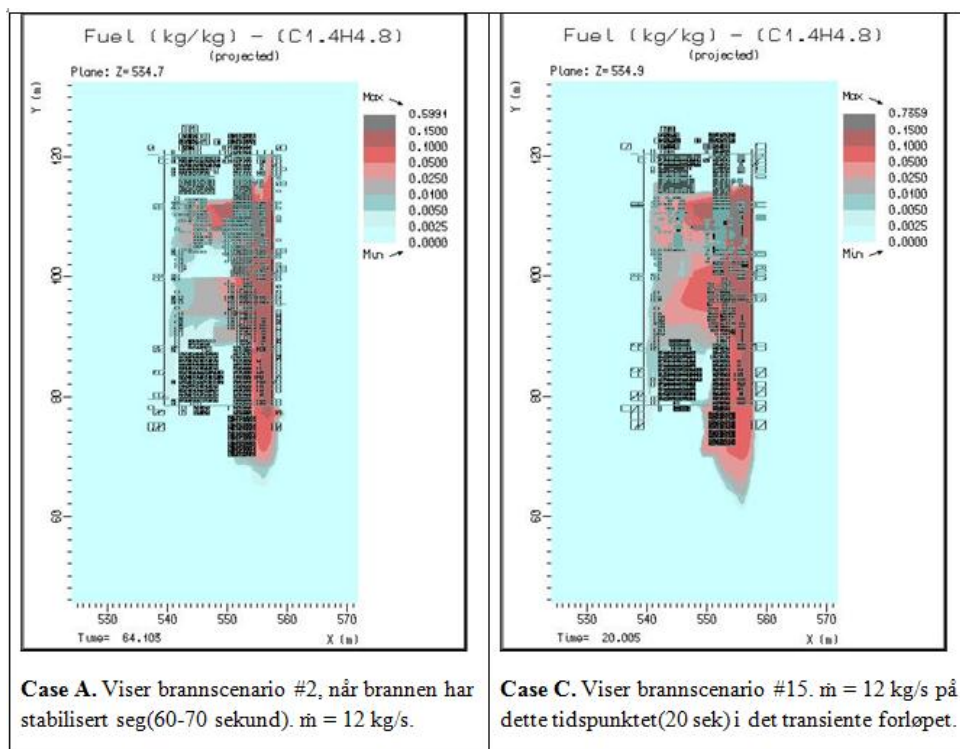
5.1 Transient forløp

Dette kapittelet kommenterer resultatene og mulige årsaker for utfallet av resultatene.

Resultatene viser en trend hvor de stasjonære brannene genererer generelt høyere gjennomsnittslaster enn i de mer realistiske transiente tilfellene. De stasjonære brannene eksponerer og en større del av overflatearealet til rørene. Det kan derfor antydes at Scandpower-metoden gir konservative resultater for den totale varmelasten.

I de stasjonære simuleringene holdes den stasjonære massestrømmen på 15 kg/s i 18 sekunder. Dette er benyttet som en metode for å gjenskape første delen av et transient forløp der massestrømmen ved $t=0$ er 15 kg/s før den faller umiddelbart. Forenklingene i de stasjonære casene her representert ved å bruke 15 kg/s i 18 sekunder, kan være årsaken til de høye varmelastene registrert i de stasjonære casene.

De stasjonære simuleringene er sammensatt av flere brannscenarier, og vil dermed ikke fange opp historien i brannforløpet. Dette kan være årsaken til at disse simuleringene viser en generelt høyere varmelast og ståltemperatur, samt et større eksponeringsområde for prosessutstyret. Konsentrasjonen av brensel i luft er som kjent avgjørende for forbrenningen. Dersom konsentrasjon av C1.4H4.8 overstiger UEL (13,56 %) vil ikke blandingen brenne. Fra figur a kan man studere konsentrasjonen av brensel i modulen ved $t=20$ s. På dette tidspunktet er massestrømmen fra reservoaret 12 kg/s i begge casene. Som det fremkommer av figur 33 kan man se at den høyeste konsentrasjonen av C1.4H4.8 er 59.9 % i det stasjonære caset (Case A), og 73.6 % i det transiente caset (Case C). Ved å studere bildene kan man også antyde et større volum over UEL i det transiente caset (Case C). Dette tyder på at konsentrasjonen er høyere på et tidlig tidspunkt i de transiente simuleringene. Det viser og at brannen er ventilasjonsstyrt og det samler seg opp brensel i modulen. Dette kan være en av årsakene til at resultatene indikerer høyere varmelast og høyere ståltemperaturer for casene A og B.



Figur 33 Figuren viser konsentrasjonen av brensel i modulen.

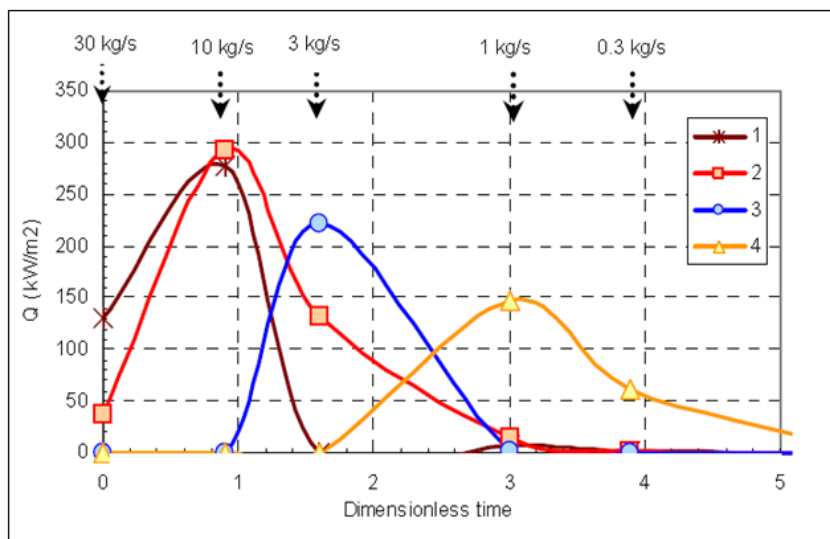
Ettersom massestrømmen i det transiente forløpet avtar vil forbrenningen øke. Dette skyldes at deler av brenselet som har hopet seg opp fra starten bidrar i forbrenningen.

Det vil være noe usikkerhet knyttet til resultatene ettersom det kan være feil ved oppsett og input for simuleringene.

5.2 Eksponeringssannsynlighet

Kapittelet diskuterer utfordringer i forhold til å beregne eksponeringssannsynlighet ved bruk av overflateareal og volum av gitte varmelaster.

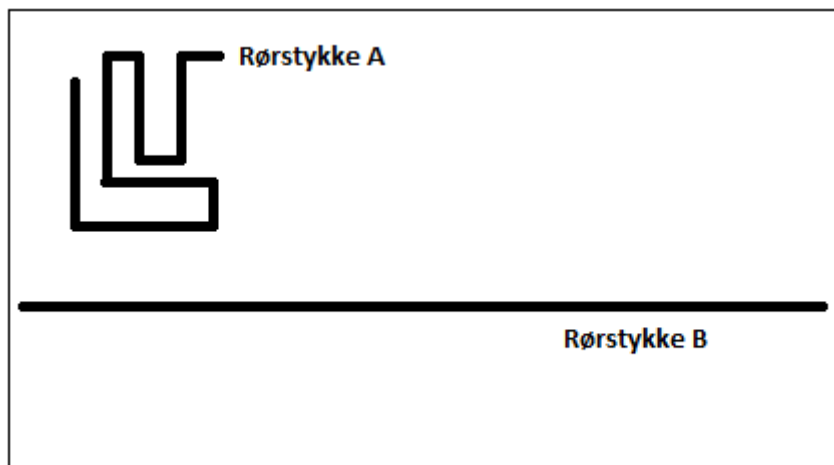
I et transient brannscenario vil massestrømmen avta med tiden og de varme punktene vil flytte seg underveis i simuleringene. Flammevolumet er i endring, nye punkter kommer til og andre faller fra. Scandpower-metodikken bruker KFX for å beregne størrelsen på flammevolumene, og disse volumene logges fra brannen ved stabile forhold. For et transient forløp vil disse flammevolumene endres kontinuerlig. Figur 34 viser varmelasten over 4 punkter plassert forskjellige steder ved en gitt brann. Fra figuren kan man se hvordan varmelasten endres over tid på punktene.



Figur 34 Figuren viser varmelast over 4 punkter ved en gitt brann. [8]

Et annet moment som bringer usikkerhet til eksponerings sannsynligheten er rørens plassering og utstrekning i et område. Det vil være usikkerhet knyttet til eksponerings sannsynligheten i forhold til dette. Videre følger et eksempel som kan illustrere denne usikkerheten:

Eksempelet tar utgangspunkt i et prosessområde. Dette prosessområde inneholder rør av ulike dimensjoner og annet prosessutstyr. En eventuell lekkasje kan forekomme på flere ulike steder i området. Figur 35 viser prosessområdet sett ovenfra. Figuren viser kun rør med diameter på 0,05 m. Annet prosessutstyr vises ikke på figuren. Total lengden for rør med diameter på 0,05 m er 50 meter. Lengden på rørstykke A er lik lengden på rørstykke B som er 25 meter. Scandpower-metoden beregner eksponerings sannsynligheten ved å logge volumet av forskjellige varmelaster og anta at dette volumet kan opptre hvor som helst i området. Fra figur 35 kan man se at rørstykke B strekker seg på langs gjennom prosessområdet. Dersom man gjennomfører tilstrekkelig mange jetbrann-simuleringer fra vilkårlige punkter i prosessområdet vil man se at rørstykke B er mer utsatt for å bli eksponert for dette volumet.



Figur 35 Figuren illustrerer et eksempel for utstrekningen av rør i et område

5.3 Videre arbeid

På offshore installasjoner i dag finner man både manuell og automatisk initiering av trykkavlastningssystemet. Det bør være en prioritet for de ansvarlige driftsenhetene for ulike installasjoner å vurdere automatisk initiering av trykkavlastningssystemet som et bidrag for å redusere risiko og eskaleringssannsynlighet ved en brann. Et videre studie for en oppgave kan være å vurdere endringen i risikonivå ved å gjennomføre brannsimuleringer som sammenligner transiente forløp basert på manuell og automatisk initiering av trykkavlastningssystemet.

6 Konklusjon

Bruk av PBB introduserer som kjent problemer knyttet til korrosjon og til slutt mulige hydrokarbonlekkasjer, reduserer mulighetene for inspeksjon, plass og kostnader. I tilfeller der PBB blir implementert som et resultat av risikoanalyser basert på konservative antagelser, kan dette tiltaket virke mot sin hensikt.

Introduksjonen av numeriske simuleringer har gitt en økt forståelse av hva som skjer i et brannforløp. Ved anvendelse av CFD i risikoanalyser er det essensielt at forutsetningene som ligger til grunn for simuleringene kan representere det ønskede scenario. Det bør derfor etterstrebes å gjengi representative grensebetingelser i brannscenariene.

Konklusjon i forhold til målene som ble presentert i introduksjonen

1. Å vurdere metodikken Scandpower benytter, som setter sammen flere stasjonære branner for å simulere et transient brannforløp.

Resultatene fra caset indikerer konservative resultater for de stasjonære scenariene. Trykkavlastning av et prosesselement er en transient prosess, der tilstanden i systemet endres raskt med tid. Derfor bør beregningen av slike systemer baseres på transiente metoder fremfor stasjonære betraktninger. [13]

2. Å vurdere metoden Scandpower benytter for å beregne eksponerings sannsynlighet for prosessutstyr, samt komme med et forslag til en ny metode som inkluderer den konvektive varmelasten på en annen og mer realistisk måte.

For å kunne vurdere eksponerings sannsynligheter for prosessutstyr bruker man risikobasert metodikk og Kameleon FireEx for å predikere varmelaster. Ideelt sett ville man utført et stort antall beregninger som kunne representere alle mulige scenarier. Ved å gjøre dette kunne man basert risikoberegningene direkte ut ifra den varmelasten hvert enkelt objekt ble utsatt for. [8] Dette lar seg ikke gjøre på et tilnærmet uendelig antall mulige scenarier, ettersom CFD brannberegninger er tidkrevende. Det er derfor nødvendig å finne metoder som kan nyttiggjøre informasjonen fra et begrenset antall scenarier.

Resultatkapittelet viser hvordan man kan ta i bruk arealet som en parameter for å vise hvor stor del av prosessutstyret som blir belastet. Overflatearealet kan vurderes som en gyldig parameter for beregning av eksponerings sannsynlighet dersom videre studier gjør metoden anvendbar.

Denne studien kan være en bidragsyter til å forbedre og videreutvikle dagens metoder, samt vurdere andre parametere som kan benyttes for å utvikle nye metoder som kan tas i bruk for å beregne eksponerings- og eskaleringssannsynlighet for prosessutstyr utsatt for en hydrokarbonbrann.

7 Referanser

- [1] Risikoanalyse. Prinsipper og metoder med anvendelser. Aven, Terje. 2008
- [2] Grunnleggende brannteknikk. Hagen, Bjarne Christian. 2004
- [3] Handbook for Fire calculations and fire risk assessment in the process industry. SINTEF
- [4] http://nbl.sintef.no/publication/lists/docs/NBL_A04108.pdf 23.4.12
- [5] Artikkel. “Design and protection of pressure systems to withstand severe fires” T.A. Roberts
- [6] An introduction to Fire Dynamics. Drysdale, Dougal (Second edition). 2004
- [7] <http://vessfire.trmed.no/htdocs/articles/tekna2005.pdf> 17.4.12
- [8] [http://faggruppeba.no/ikbViewer/Content/846048/\(07\)%20Jens%20Kristian%20Holen.pdf](http://faggruppeba.no/ikbViewer/Content/846048/(07)%20Jens%20Kristian%20Holen.pdf)
05.6.12
- [9] Guidelines for the protection of pressurized systems exposed to fire – SCANDPOWER.
Version 2011
- [10] http://www.computit.no/en/Products_plus_services/KFX/ 15.04.12
- [11] Vurdering av behov for PBB på fakkelerør – Risikoanalyse for Statoil.
- [12] Referer til samtale med: Holen, Jens Kristian (Statoil) Spesialist inne brann og eksplosjon.
- [13] Ny kunnskap om brann offshore, SINTEF (2. utgave) 2005

8 Vedlegg

8.1 Vedlegg A. Viktige punkter fra Scandpower Guideline

8.2 Vedlegg B. Inndata til simuleringene

8.3 Vedlegg C. Viktige elementer fra KFX

8.4 Vedlegg D. Resultater som viser flammebildet

8.5 Vedlegg E. Resultater som viser varmelast over areal prosessutstyr

Vedlegg A

Probabilistiske brannintegritetsanalyse og viktige punkter fra Scandpower Guideline

A Scandpowers retningslinjer

Dette kapitlet beskriver Scandpower sine retningslinjer for beskyttelse av trykksatte systemer eksponert for brann. Kapitlet beskriver en ny versjon av Scandpower retningslinjene som enda ikke er utgitt. Teksten som følger i hele vedlegget er basert på Scandpowers retningslinjer [9] og en av deres risikoanalyser [11].

Disse retningslinjene definerer deres prinsipper og metoder som benyttes for brannbeskyttelse av trykksatt prosessutstyr. Dette gjelder for både design, konstruksjon og den operative delen av prosess-systemene. Den risikobaserte vurderingsmetoden som presenteres er ny versjon som Scandpower enda ikke har gitt ut.

Retningslinjene er delt inn i 3 hoveddeler.

- Del 1 (kapittel 3) presenterer hovedprinsippene når det gjelder brannbeskyttelse av prosess systemer.
- Del 2 (kapittel 4) presenterer og diskuterer hovedparametere man vurderer i en strategi for beskyttelse av prosess fasilitetene.
- Del 3 (kapittel 5) presenterer en mer spesifikk prosedyre for hvordan man kan oppnå en optimal beskyttelse av prosess systemet med tanke på branneksposering.

Retningslinjene har 5 vedlegg:

- Appendiks A: Hydrokarbonbrann karakteristik
- Appendiks B: Material data
- Appendiks C: Bruddkriterier
- Appendiks D: Risikobasert vurderingsmetode
- Appendiks E: Boltede forbindelser

A.1.1 Sentrale punkter i retningslinjene

Dette kapitlet introduserer sentrale punkter som beskrives i retningslinjene.

Prosessoversikt

For å kunne utføre en detaljert brannintegritetsanalyse av et prosess-system, er det nødvendig å ha kontroll og oversikt over alle rør og prosesselementer som er inkludert i systemet, dette kan gjøres ved å studere ISO-tegninger og P&ID.

Brannscenarier

Hydrokarbonbranner i prosessindustrien er et resultat av et ukontrollert utslipp av hydrokarboner. Årsaken til utslippet kan være mange, og det kan finnes vanskelig å inkludere alle mulige scenarier i en risikoanalyse. Farer og karakteristikk ved en hydrokarbonbrann er derfor basert på et begrenset antall typiske scenarier. Utvalget av disse typiske scenarioene er basert på en evaluering av følgende faktorer:

- Geometri av prosessanlegg
- Prosessen (utstyr, trykk etc.)
- Type hydrokarbon (gass, kondensat, væske eller en kombinasjon)
- Lekkasje punkt, og størrelse
- Ventilasjon
- Etc.

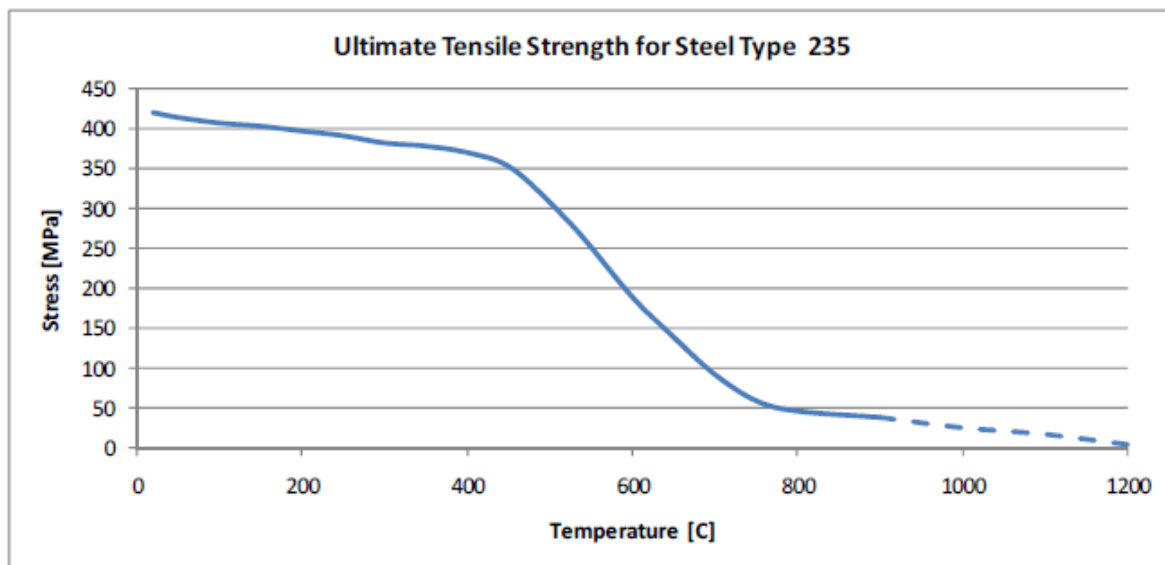
Denne evalueringen er ofte utført som en del av en QRA for å kunne identifisere typiske hydrokarbonbranner som er relevante for det aktuelle prosess-systemet.

Trykkavlastning

Initieringen av trykkavlastningen kan enten utføres manuelt eller automatisk. For en slik analyse vil det gjøres en antagelse der man antar hvor lang forsinkelse en manuell initiering vil medføre.

Rørmaterialer

Rørmaterialet er en faktor som påvirker tiden det tar før et prosesselement vil gå i brudd ved en eventuell brann. Som et eksempel vil karbonstål av typen 235LT vil ha en typisk bruddspenning på 420 MPa i kald tilstand (20 C). Figuren som viser bruddspenning eller Ultimate Tensile Strength (UTS) forteller hvor høy belastning stålet tåler ved en gitt temperatur. Dette er interessant dersom man skal vurdere sikkerheten til prosessutstyr gitt en brannlast, da man kan se hvor vekket prosessutstyret er. Figuren under viser bruddspenningen for denne typen stål som funksjon av temperatur.



Figuren viser UTS for karbon stål av typen 235 [9].

Lekkasjefrekvenser

Lekkasjefrekvensene fra det aktuelle området vil hentes fra risikoanalysen. Lekkasjene deles ofte inn i lekkasjekategorier som vist i tabellen under.

Tabellen viser en liste over lekkasjekategorier [9]

ID	Lekkasjekategorier	Lekkasjerate
NE	Negligible	< 0,05 kg/s
SM	Small	0,05 – 1 kg/s
ME	Medium	1 – 10 kg/s
MA	Major	10 – 30 kg/s
LA	Large	>30 kg/s

Uakseptabel eskalering

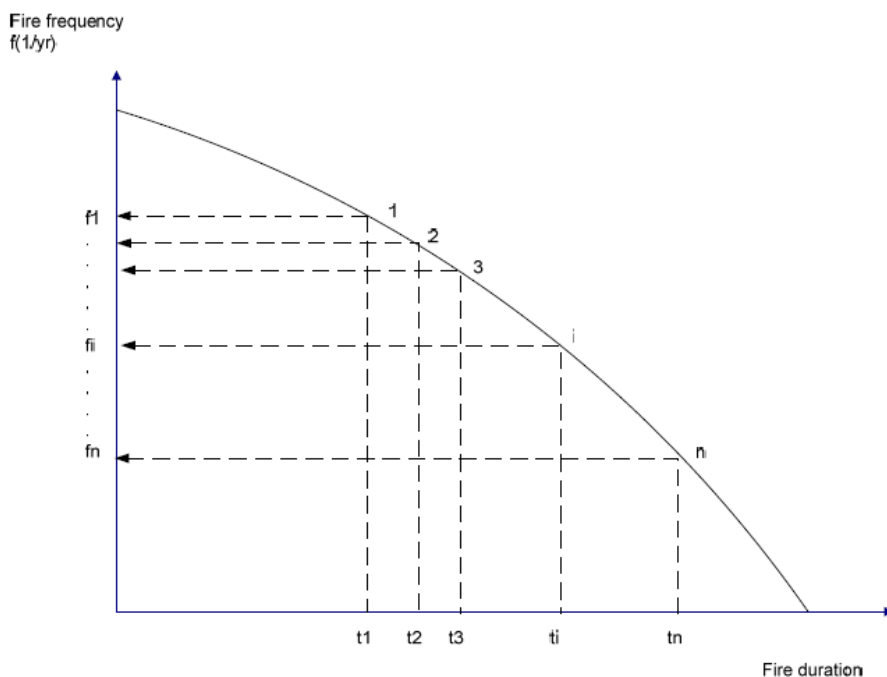
En uakseptabel feil i denne sammenheng er et utilsiktet utslipp som fører til en uakseptabel eskalering av en eksisterende brann. Et risikoreducerende tiltak kan for eksempel være å implementere passiv brannbeskyttelse.

Det er benyttet kriterier som dekker den totale frekvensen for at en brann skal utsette prosessutstyret/modulen for en uakseptabel eskalering i tilfeller der prosessutstyr under trykk blir utsatt for brann.

Den totale frekvensen av uakseptable eskaleringer fra feil på trykksatt prosessutstyr på grunn av branner innenfor et brannområde skal være mindre enn 10^{-4} per år.

A.1.2 Probabilistisk brannintegritetsanalyse

Metoden beregner branneksponeerings sannsynligheten og årlig frekvens for kritiske brudd for de forskjellige prosesselementene gitt det brannkonsekvensbildet som er simulert. Det er antatt at prosessområdet/modulen kan deles inn deler som rør, tanker osv. Alle rør er karakterisert ved lengde, diameter, materialtype og den kritiske varmekraften som fører til brudd i rør etter en gitt eksponeringsperiode. Figuren under viser n antall forskjellige prosesselementer som svikter ved ulike tidspunkt ($t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_n$) når det er utsatt for en gitt varmelast. Brannfrekvensen som vises i figur 1 er kumulativ.



Figuren viser tiden der n forskjellige prosesselementer svikter når de blir eksponert for en stasjonær jet brann > 2 kg/s.[9]

Frekvensen for feil på individuelle prosesselementer er produktet av brannfrekvensen (f_i) og sannsynligheten for direkte eksponering fra en gitt brann ($p_{exp,i}$):

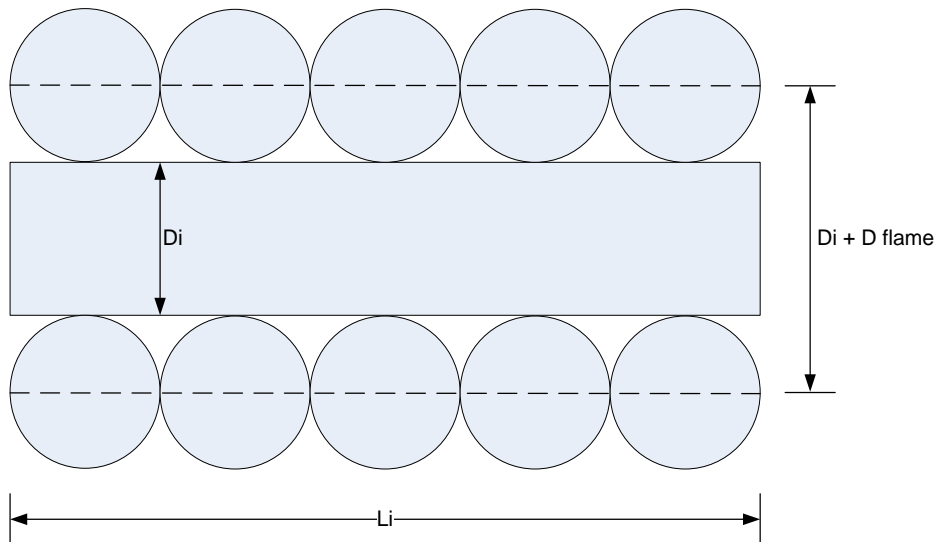
$$f_{failure,tot} = f_i * p_{exp,i} \quad (A.1)$$

Ligning A.1 er kun gyldig dersom flammestørrelsen er lik hele tidsforløpet.

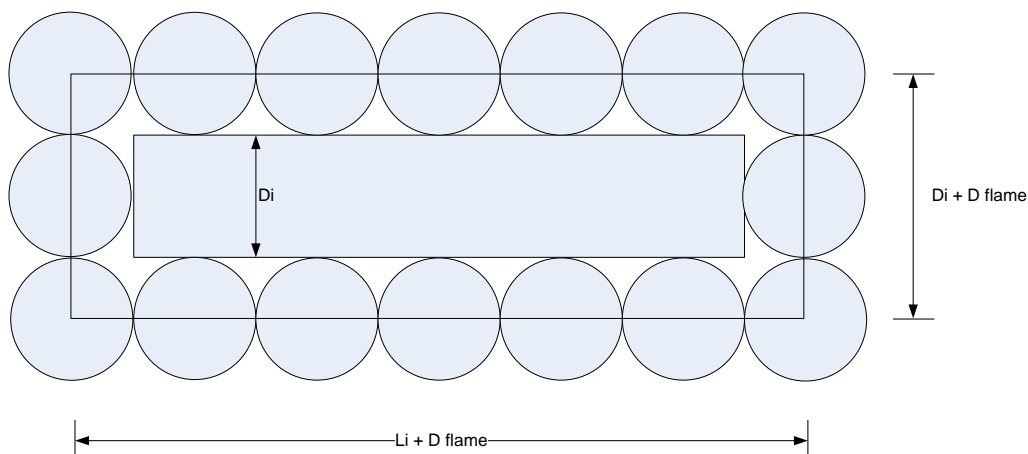
Sannsynlighet for at prosessutstyret utsettes for en gitt brannstørrelse

Metoden estimerer sannsynligheten for at prosessutstyret utsettes for en gitt brannstørrelse. Sannsynligheten for å bli eksponert for flammene vil være avhengig av diameter og lengde til prosessutstyret, samt til flammen.

Eksponering av et prosesselement er definert dersom senter av flammen sfære befinner seg i et flamme sfære radius fra ytterveggen på prosesselementet. Dette vises i de 2 figurene under



Figuren viser definisjon av flamme eksponering i tilfelle ved ingen ende effekter [9]



Figuren viser definisjonen av flamme eksponering i tilfelle med ende effekter [9]

Sannsynlighet for uakseptabel eskalering

Som det fremkommer av Appendiks i retningslinjene kan man beregne eksponerings sannsynligheten på følgende måte:

Sannsynligheten for at det oppstår brudd i et rørstykke i ved branneeksponering av en brann j er gitt ved:

$$P_{exp,i,j} = \beta_{i,j} \frac{\pi}{4} (D_i + D_{flame,i,j}^*)^2 \frac{L_i}{V_{area,i}} \quad (A.2)$$

β - er en forsterkningsfaktor som tar høyde for at det generelt vil være en høyere sannsynlighet for at flammen vil være i et område i modulen der tettheten av prosessutstyr er høy. Dette er på bakgrunn av at sannsynligheten for lekkasje er høyere i dette område av modulen. Det er anbefalt i retningslinjene å bruke $\beta=2$ som standardverdi.

D_i og L_i er diameter og lengde til rørstykke i , V_{area} er det totale volumet av brannområdet der rør og flamme befinner seg. D_{flame} er diameteren på flammen som bestemmes av:

$$D_{flame,i,j}^* = \left(\frac{6V_{flame,i,j}}{\pi} \right)^{1/3} \quad (A.3)$$

$V_{flame,i,j}$ er flammevolumet fra en brann j over en kritisk varmekraft for et rørstykke i . Det konvektive varmelastbidraget er også inkludert her.

Sannsynligheten for brudd i et eller flere rørstykker i området forårsaket av brann j kan beregnes slik:

$$P_{exp,j} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_{exp,i}) \quad (A.4)$$

, der n er det totale antall rørstykker. Den totale frekvensen for brudd av rørstykker i systemet er beregnet ved å summere alle de simulerte brannscenarioene inkludert brannfrekvensene:

$$f_{rupture} = \sum_{j=1}^m f_j P_{exp,j} A_j \quad (A.5)$$

, der A_j er en vektet faktor for brann j , som vist i tabell x, f_j er den probabilistiske frekvensen for brannscenario j , og m er det totale antall simulerte brannscenarioer.

Frekvensen for brudd i systemet inkluderer alle rørstykker som befinner seg i det aktuelle området. Basert på kriteriene fra hva som er en uakseptabel eskalering vil ikke alle rørbrudd være definert som et uakseptabelt brudd. Derfor vil den totale eskaleringsfrekvensen for rørstykker i det aktuelle området være basert på aksept kriteriene:

$$f_{esc} = \sum_{j=1}^m f_j P_{esc,j} A_j \quad (A.6)$$

, der $P_{esc,j}$ er sannsynligheten for eskalering grunnet brudd i et rørstykke forårsaket av brann j . Sannsynligheten for eskalering er gitt ved:

$$P_{esc,j} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - C_{i,j} P_{exp,i,j}) \quad (A.7)$$

, der $C_{i,j}$ er lik 1 dersom brudd i et rørstykke som følge av en brann j fører til en uakseptabel eskalering, hvis ikke er $C_{i,j}$ lik 0.

Fjerning av PBB

Som nevnt tidligere i oppgaven er det et mål om å bruke så lite PBB som mulig på prosessutstyr. Anvendelse av PBB skal være et tiltak for å møte risikoaksept kriteriene der andre tiltak ikke er tilstrekkelig. Den totale mengden av PBB som benyttes vil være avhengig av overflatearealet til prosesselementet som skal beskyttes. Overflatearealet A_i , av et rørstykke i er beregnet ved:

$$A_i = \pi D_i L_i \quad (\text{A.8})$$

, der D_i og L_i er diameter og lengde på rørstykket i . For et rørstykke i , er det viktig å beregne den totale eskaleringsfrekvensen f_i fra alle branner. Dette kan gjøres ved å summere over alle m branner:

$$f_i = \sum_{j=1}^m f_j P_{esc,i,j} \quad (\text{A.9})$$

Ved å beregne forholdet $\frac{f_i}{A}$ for alle rørstykker kan man identifisere hvilke rørstykker der kostnaden er høyest for å fjerne eller legge til PBB.

Vedlegg B

Viktige elementer fra KFX

B KFX.

Bullet Monitor.

Bullet Monitor introduserer blant annet muligheten for å lagre varmelast på prosessutstyr ved simulering av brann. For denne oppgaven ble det benyttet en kfx-fil for å logge resultater underveis. KFX lagrer totalvarmelast og innfallende strålingslast på geometrien i denne filen. KFX kan lagre denne informasjonen én eller flere ganger i løpet av en simulering.

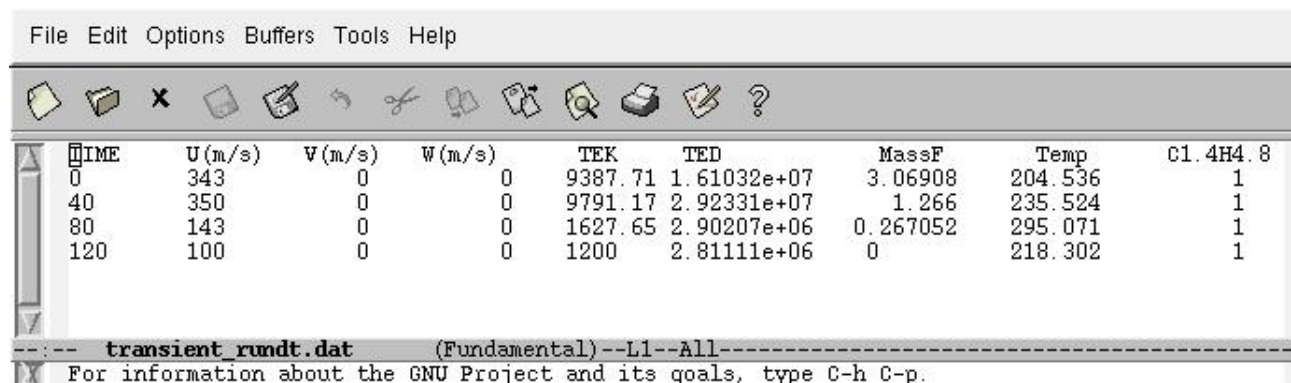
Transient forløp

For å konstruere det transiente forløpet som beskrives i oppgaven var det nødvendig å kompilere dat-filer som kunne legges inn i grensebetingelsene for simuleringene. Figur x viser verdier for det transiente forløpet generert i KFX ved bruk av dat-filene.

tid [s]	total m
0	15,3454
40	8,13308
80	4,137288
120	3,06908
160	1,91818
200	1,34272
240	0,767271
280	0,577108

Tabellen over viser verdier for massestrømmen

Figuren under viser et eksempelvis hvordan en dat-fil ser ut.



```

File Edit Options Buffers Tools Help
[Icons]
TIME      U (m/s)  V (m/s)  W (m/s)  TEK      TED      MassF    Temp    Cl. 4H4. 8
0         343      0         0         9387.71  1.61032e+07  3.06908  204.536  1
40        350      0         0         9791.17  2.92331e+07  1.266    235.524  1
80        143      0         0         1627.65  2.90207e+06  0.267052 295.071  1
120       100      0         0         1200     2.81111e+06  0         218.302  1
----- transient_rundt.dat (Fundamental)--L1--All-----
[X] For information about the GNU Project and its goals, type C-h C-p.

```

Vedlegg C

Inndata til simuleringene

C. Inndata

Dette vedlegget presenterer forutsetningene for brannscenarioene. ComputIT-kalkulator er benyttet i beregningene av de transiente brannscenarioene.

Felles for alle brannscenarioene	
Lekkasjepunkt	X = 547,26
	Y = 108,16
	Z = 534,89
Jet-retning	X = 1
	Y = 0
	Z = 0
Hydrokarbon	C1,4H4,8
Molvekt	22, kg/kmol
Hulldiameter	0,05 m

Stasjonære branner: Brannscenario #1-14.

Brannscenario #	Reservoartrykk [barg]	Temperatur [C]	Eq. D [m]	Vind [m/s]	Vindretning fra	Massestrøm [kg/s]
1	38	30	0,3	10	Nord	15,2
2	30	30	0,27	10	Nord	12,1
3	22	30	0,23	10	Nord	8,9
4	15	30	0,19	10	Nord	6,2
5	7	30	0,13	10	Nord	3,1
6	2	30	0,07	10	Nord	1,2
7	0,4	30	0,05	10	Nord	0,55
8	38	30	0,3	10	Øst	15,2
9	30	30	0,27	10	Øst	12,1
10	22	30	0,23	10	Øst	8,9
11	15	30	0,19	10	Øst	6,2
12	7	30	0,13	10	Øst	3,1
13	2	30	0,07	10	Øst	1,2
14	0,4	30	0,05	10	Øst	0,55

Transient forløp: Brannscenario #15.

Tid [s]	Reservoartrykk [barg]	Temperatur [C]	Eq. D [m]	Vind [m/s]	Vindretning fra	Massestrøm [kg/s]
0	38,44	30	0,30	10	Nord	15,34
40	19,90	30	0,22	10	Nord	8,13
80	9,64	30	0,15	10	Nord	4,14
120	6,89	30	0,13	10	Nord	3,07
160	3,94	30	0,10	10	Nord	1,92
200	2,45	30	0,08	10	Nord	1,34
240	0,98	30	0,05	10	Nord	0,77
260	0,42	30	0,05	10	Nord	0,57
270	0,42	30	0,05	10	Nord	0,57

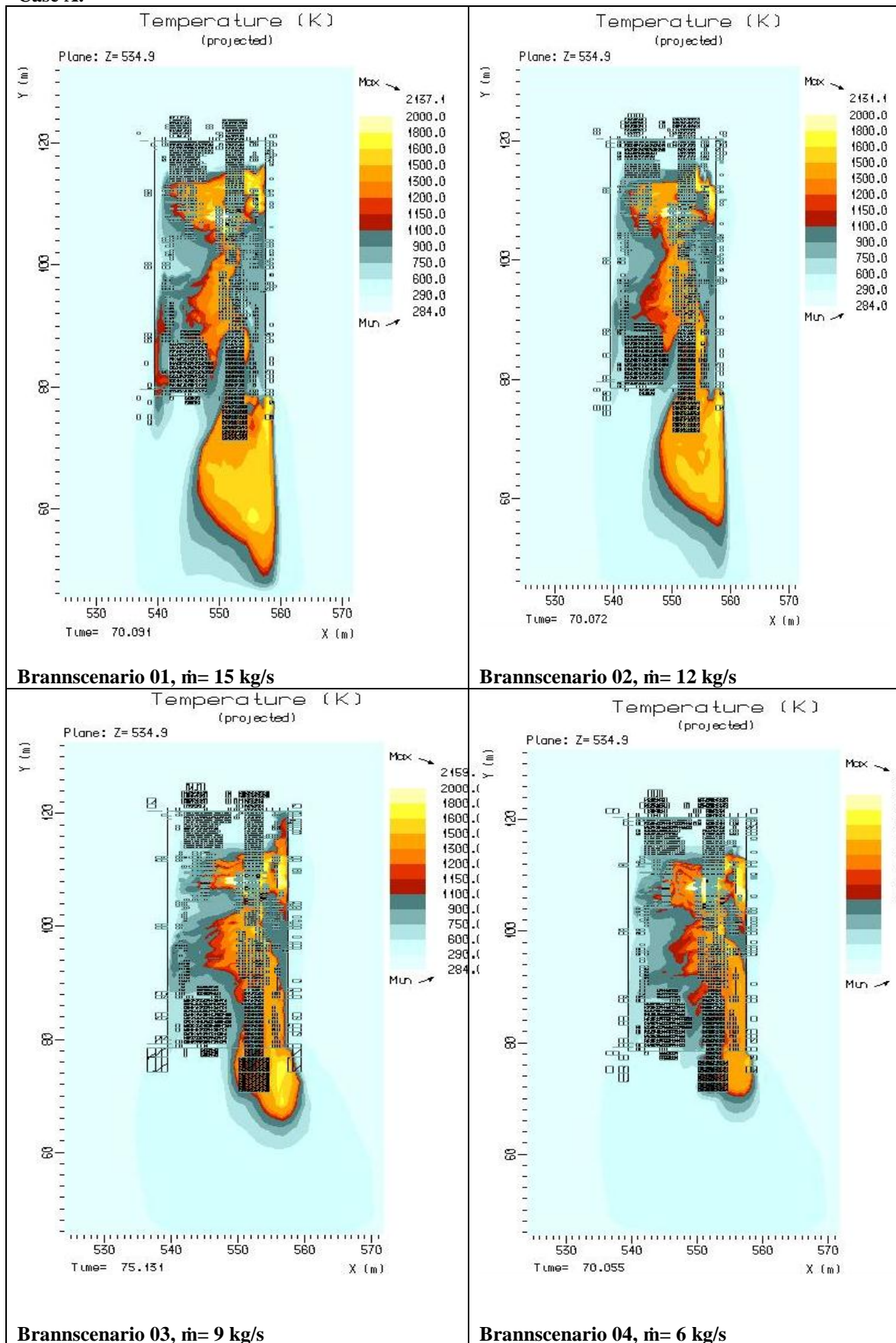
Transient forløp: Brannscenario #16.

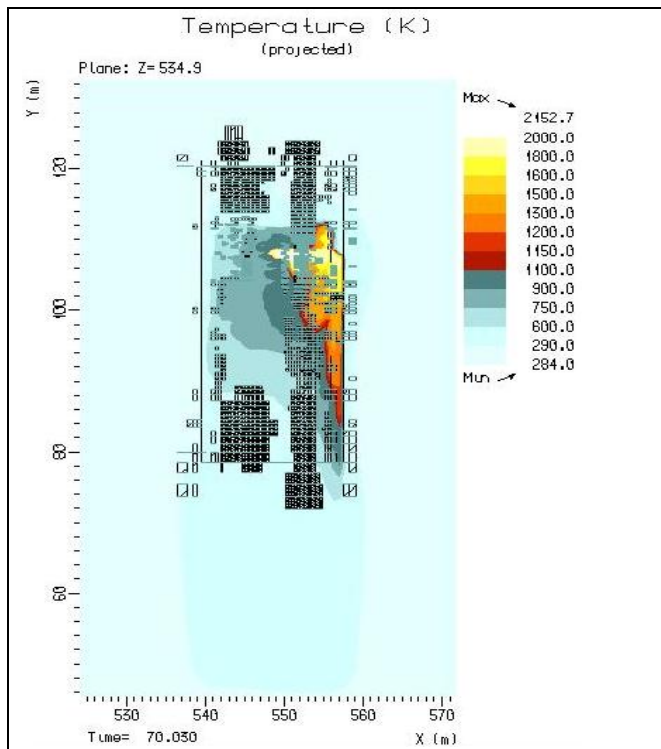
Tid [s]	Reservoartrykk [barg]	Temperatur [C]	Eq. D [m]	Vind [m/s]	Vindretning fra	Massestrøm [kg/s]
0	38,44	30	0,30	10	Øst	15,34
40	19,90	30	0,22	10	Øst	8,13
80	9,64	30	0,15	10	Øst	4,14
120	6,89	30	0,13	10	Øst	3,07
160	3,94	30	0,10	10	Øst	1,92
200	2,45	30	0,08	10	Øst	1,34
240	0,98	30	0,05	10	Øst	0,77
260	0,42	30	0,05	10	Øst	0,57
270	0,42	30	0,05	10	Øst	0,57

Vedlegg D

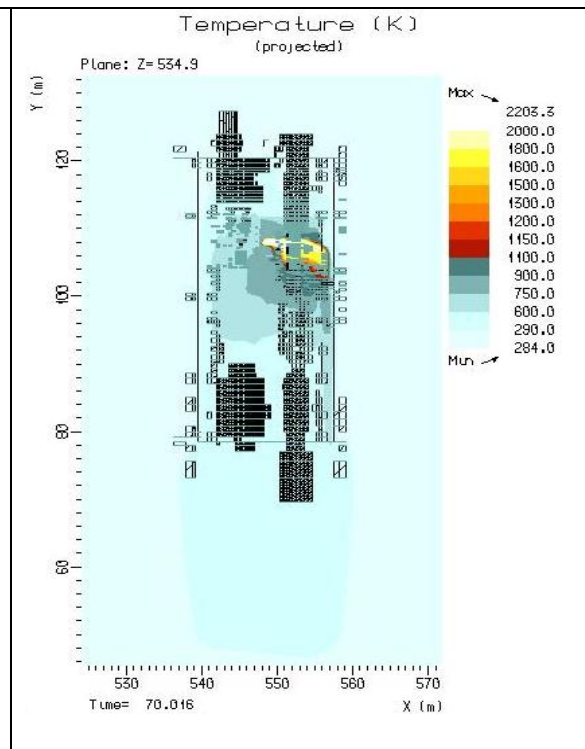
Resultater som viser flammebildet

Case A.

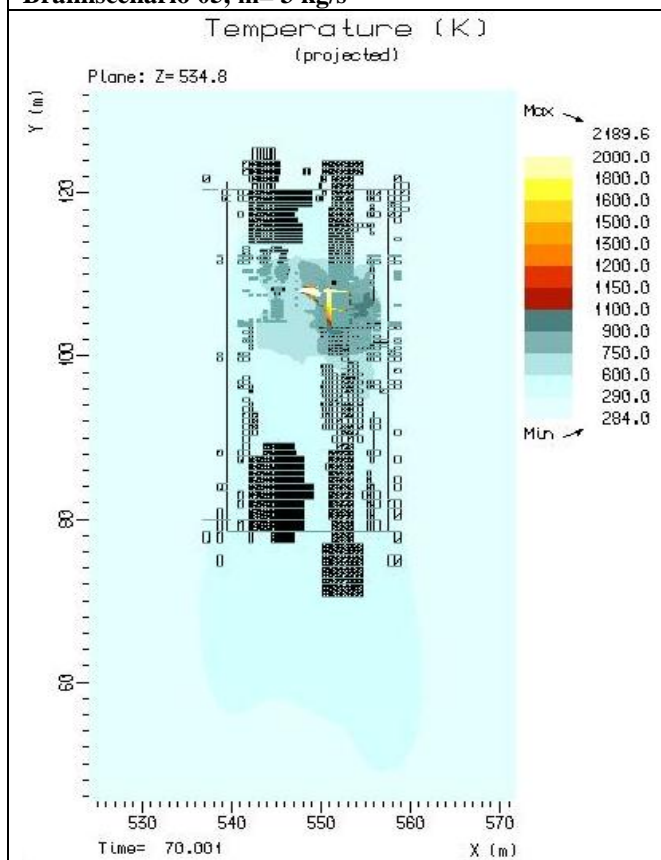




Brannscenario 05, \dot{m} = 3 kg/s

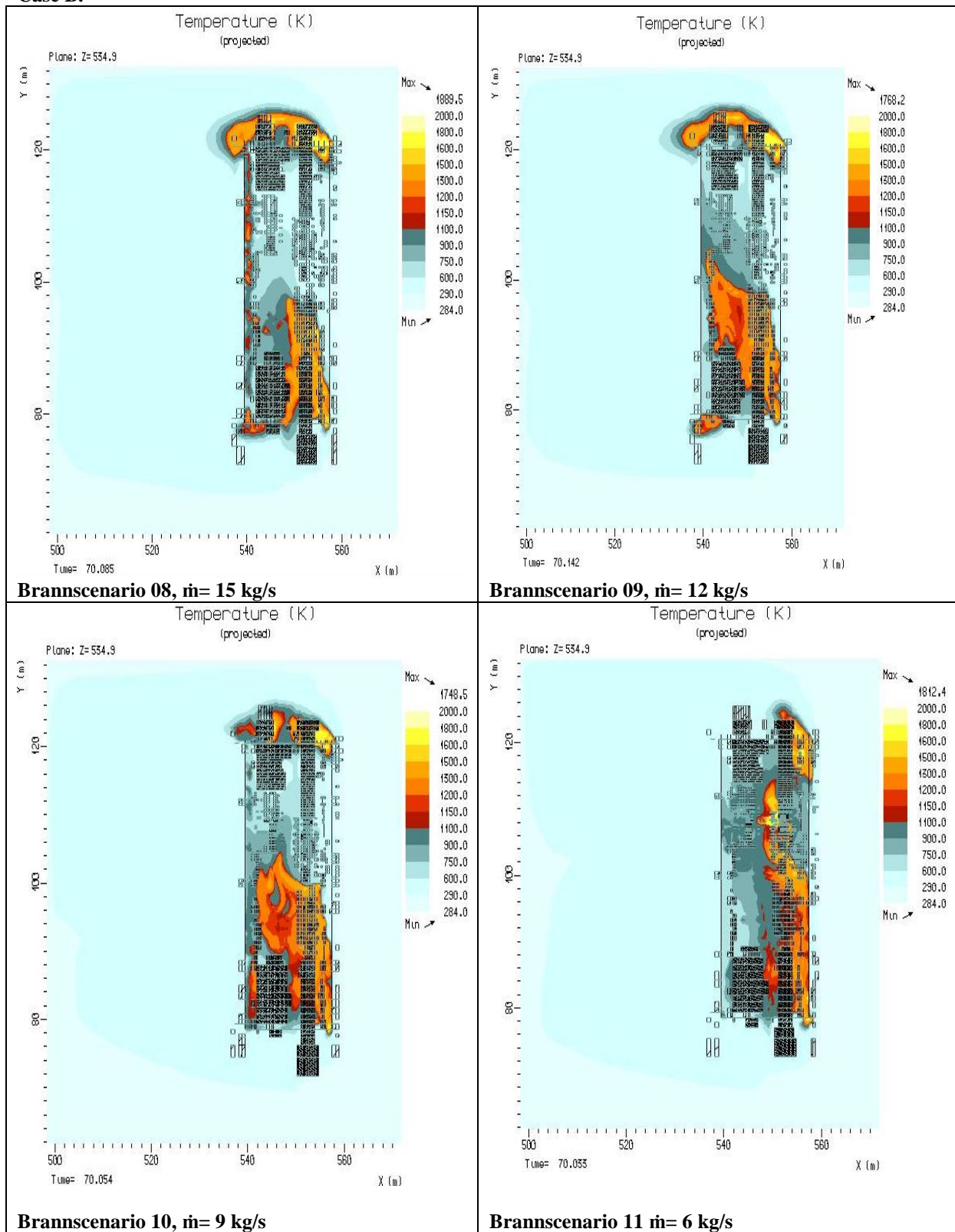


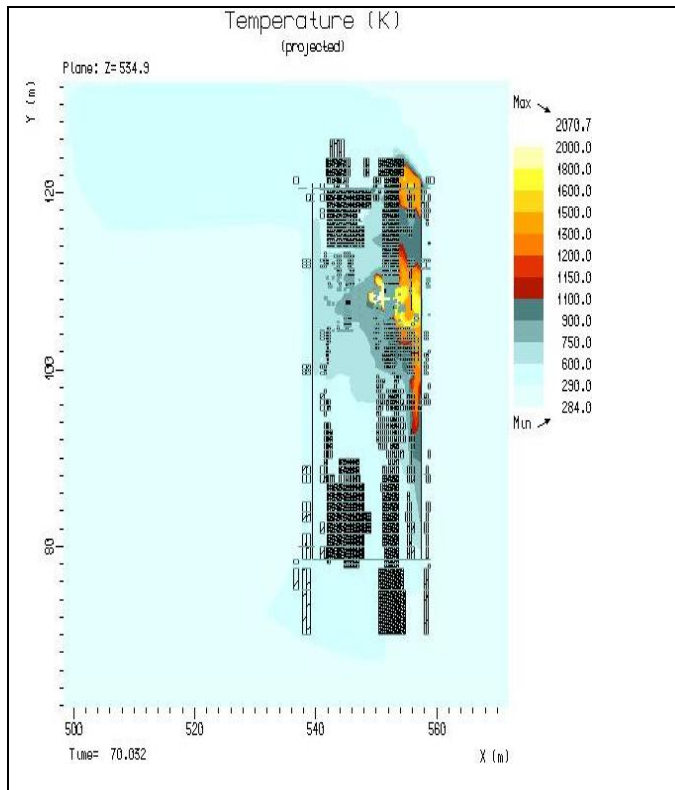
Brannscenario 06, \dot{m} = 1 kg/s



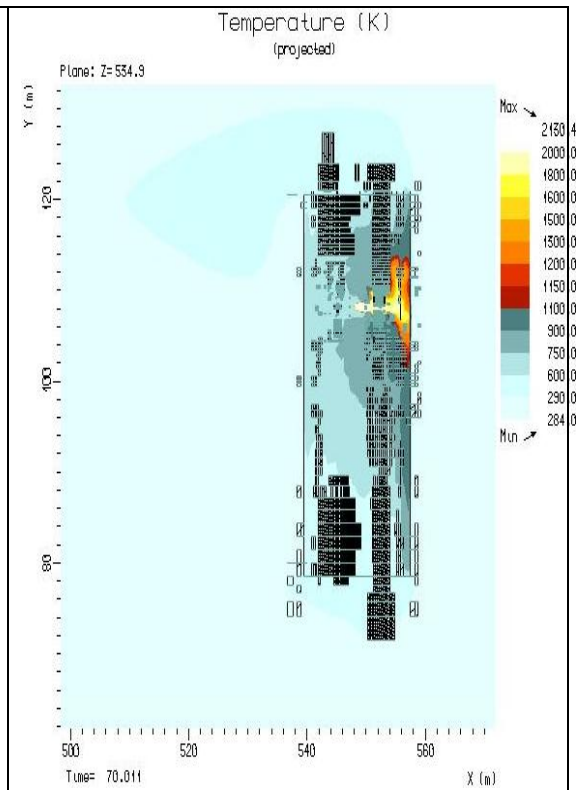
Brannscenario 07, \dot{m} = 0,5 kg/s

Case B.

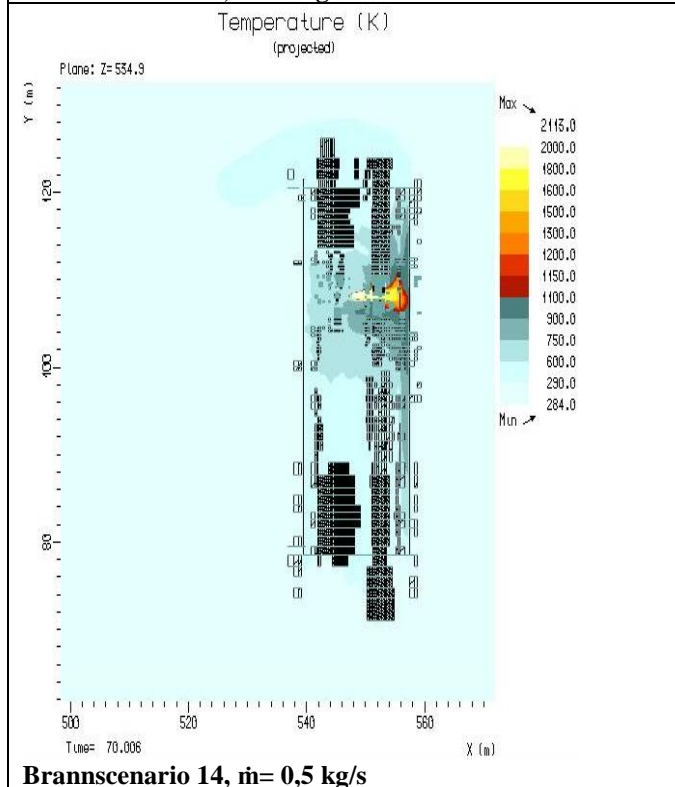




Brannscenario 12, $\dot{m}= 3$ kg/s

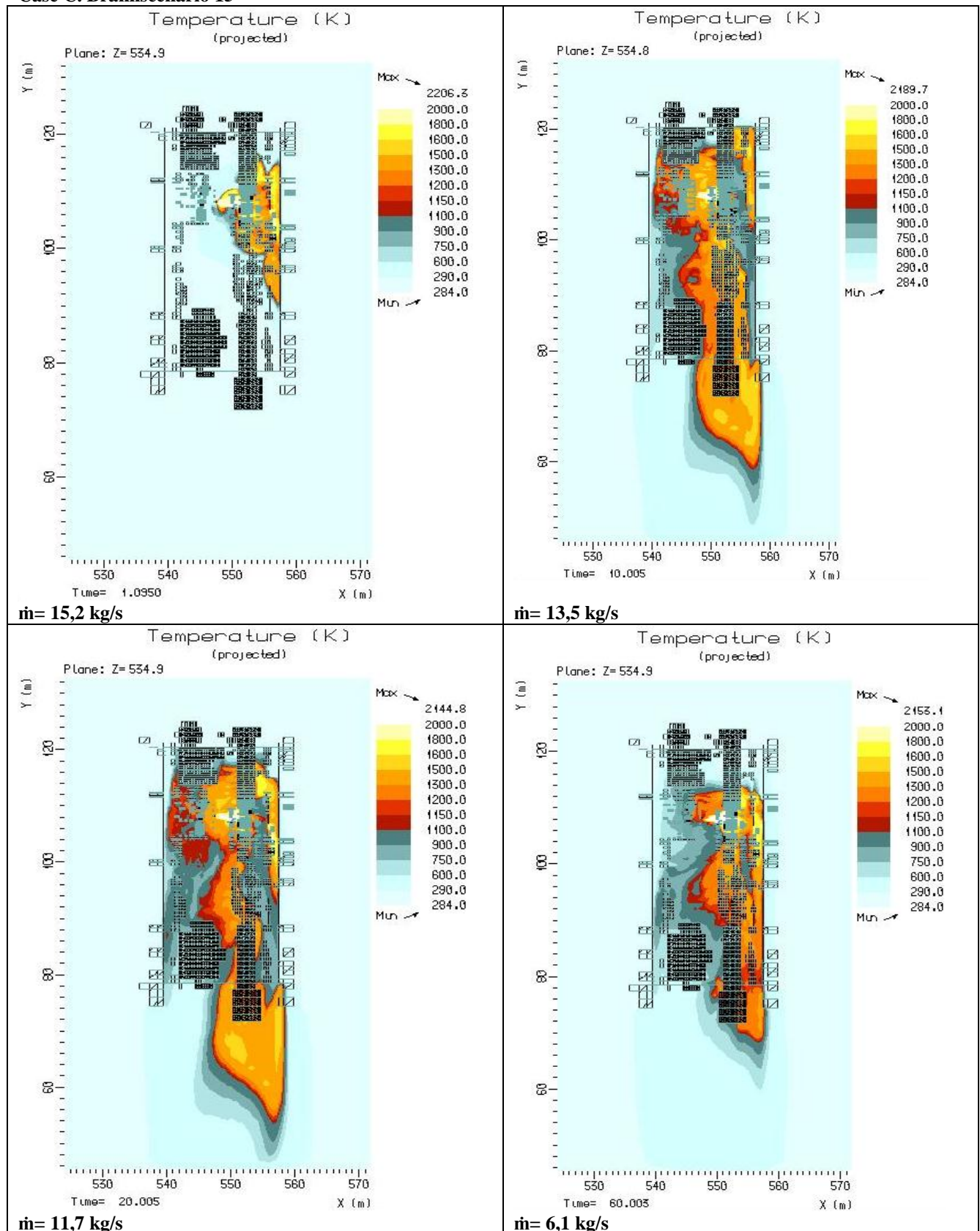


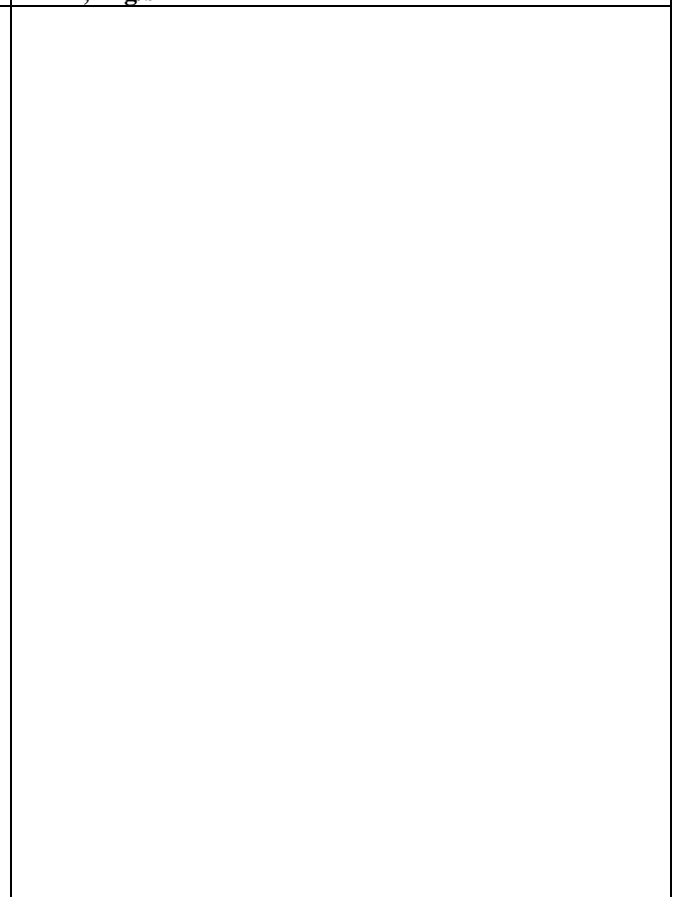
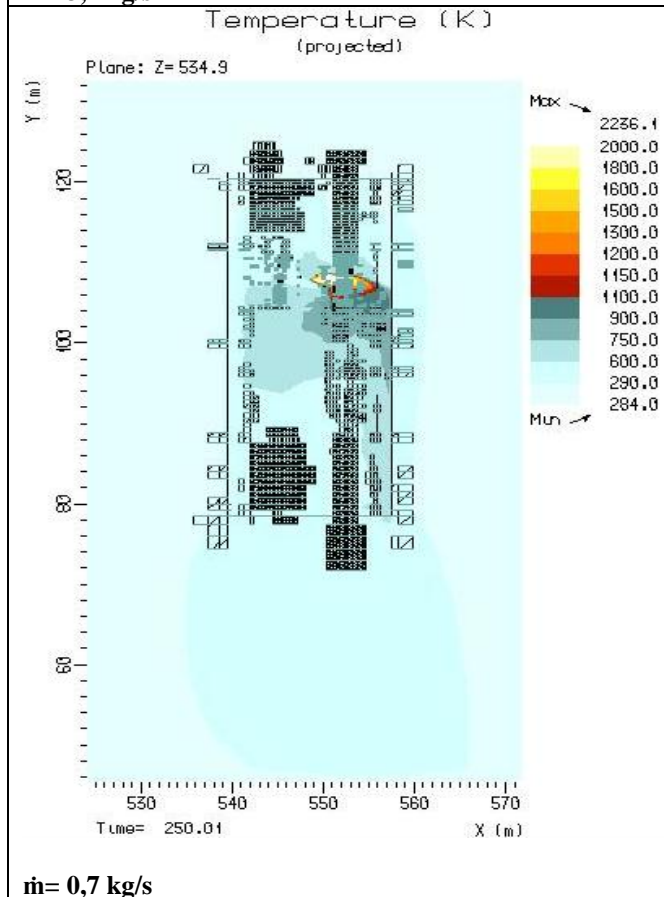
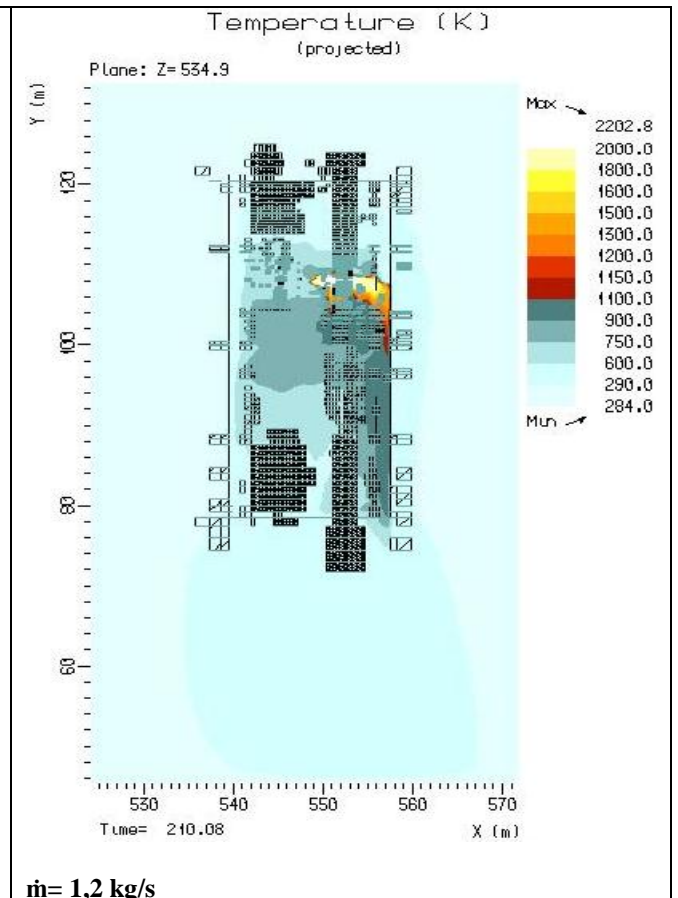
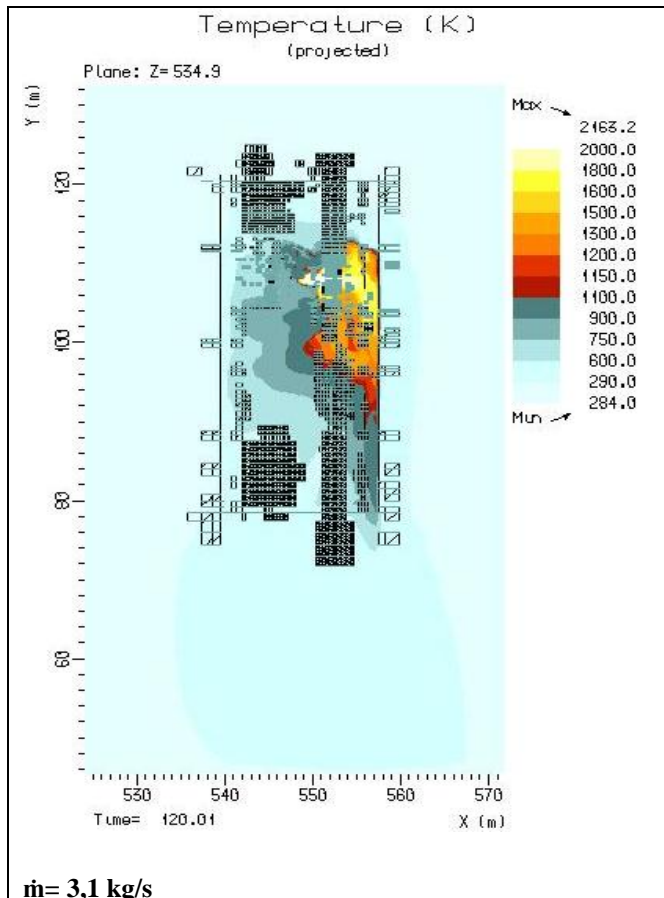
Brannscenario 13, $\dot{m}= 1$ kg/s



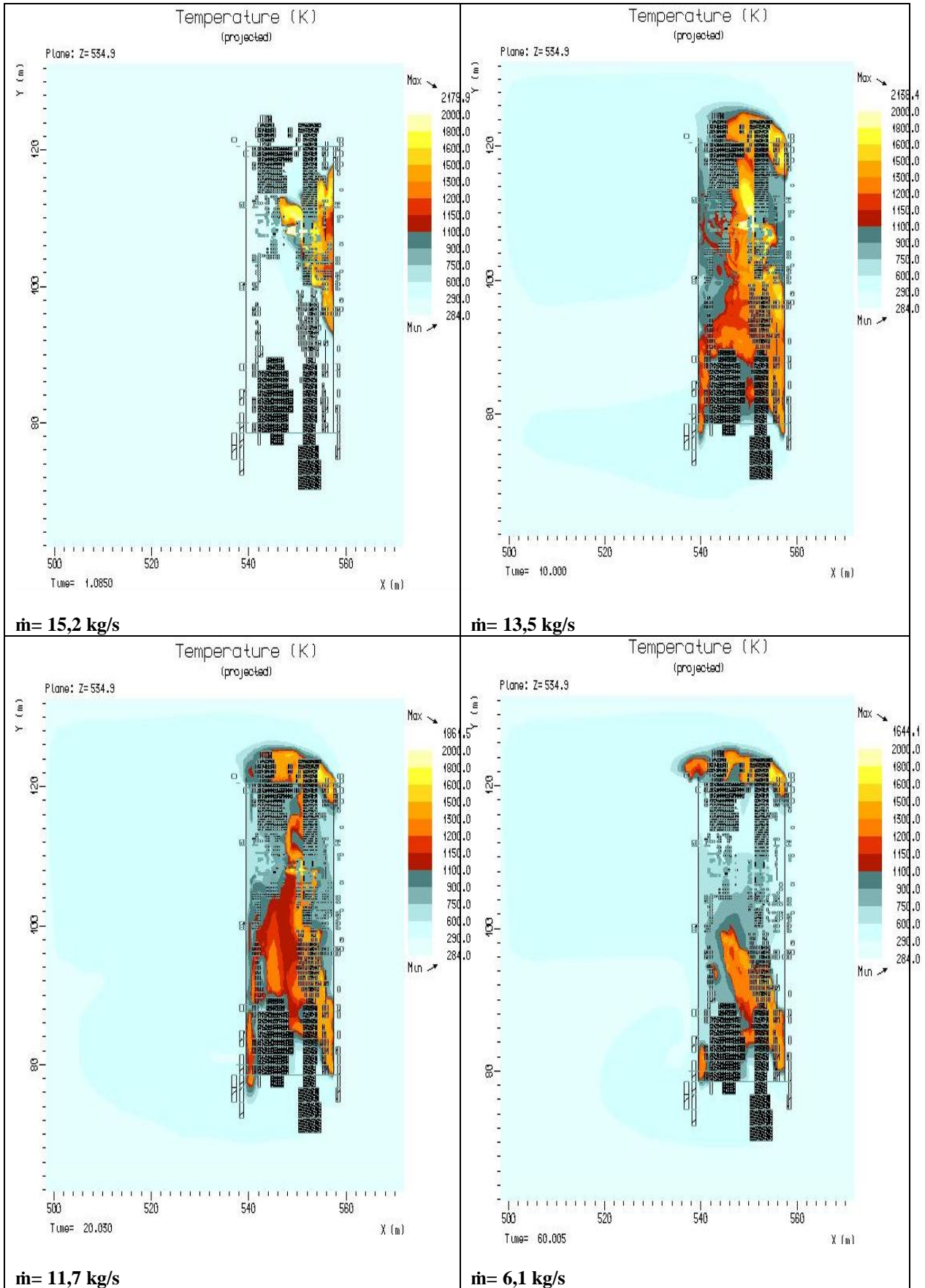
Brannscenario 14, $\dot{m}= 0,5$ kg/s

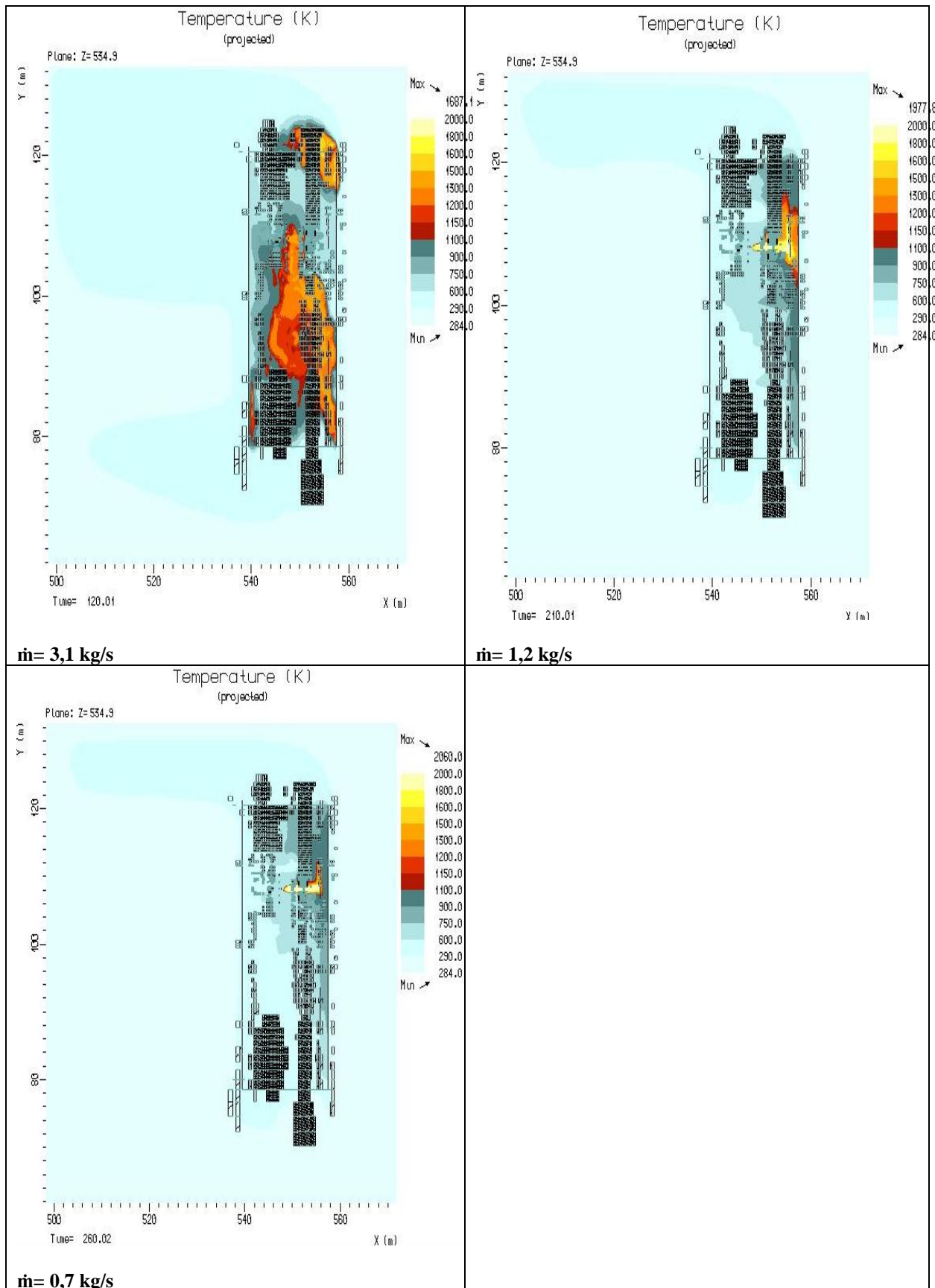
Case C. Brannscenario 15





Case D. Brannscenario 16

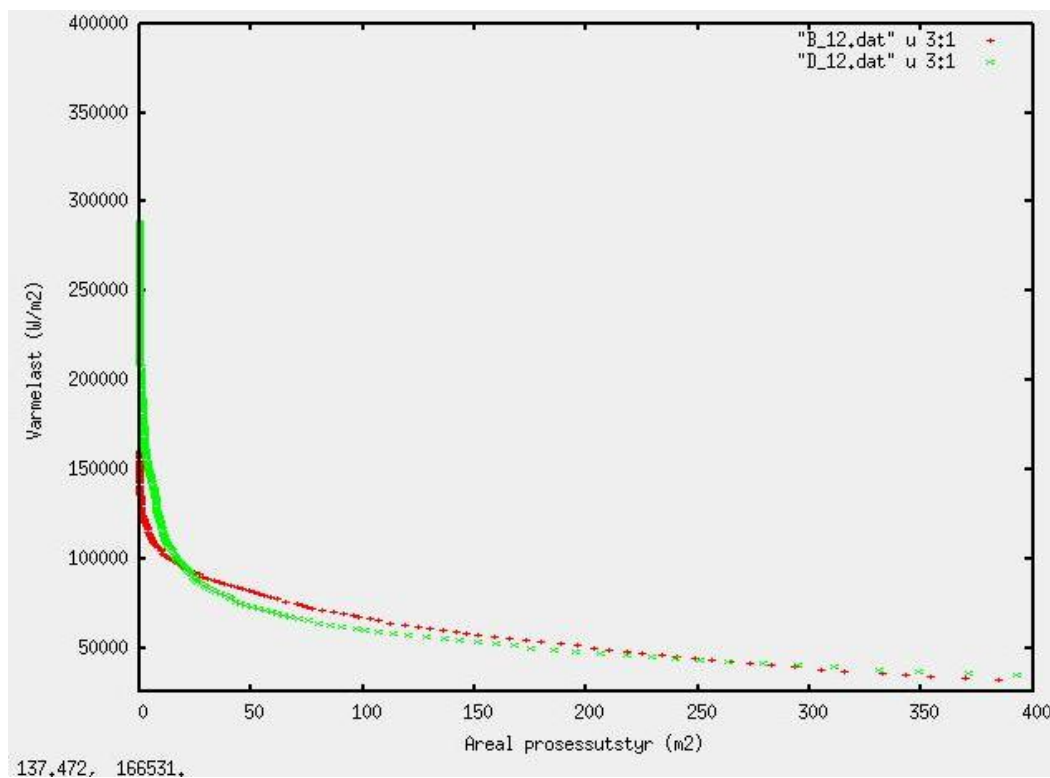
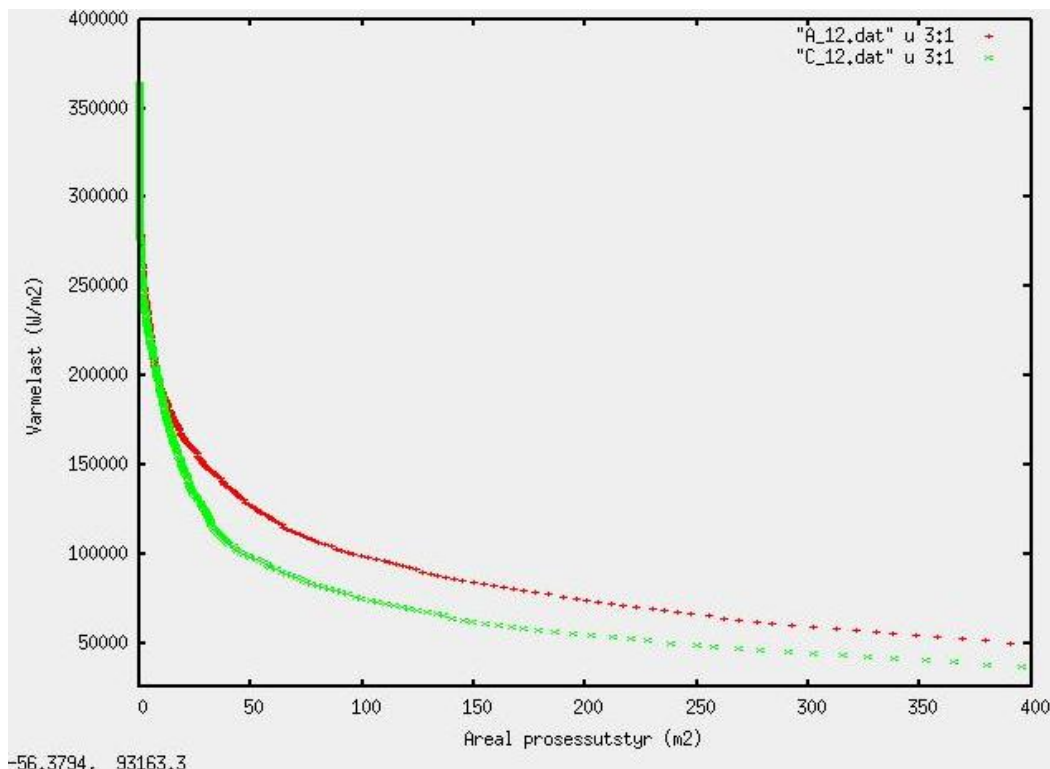




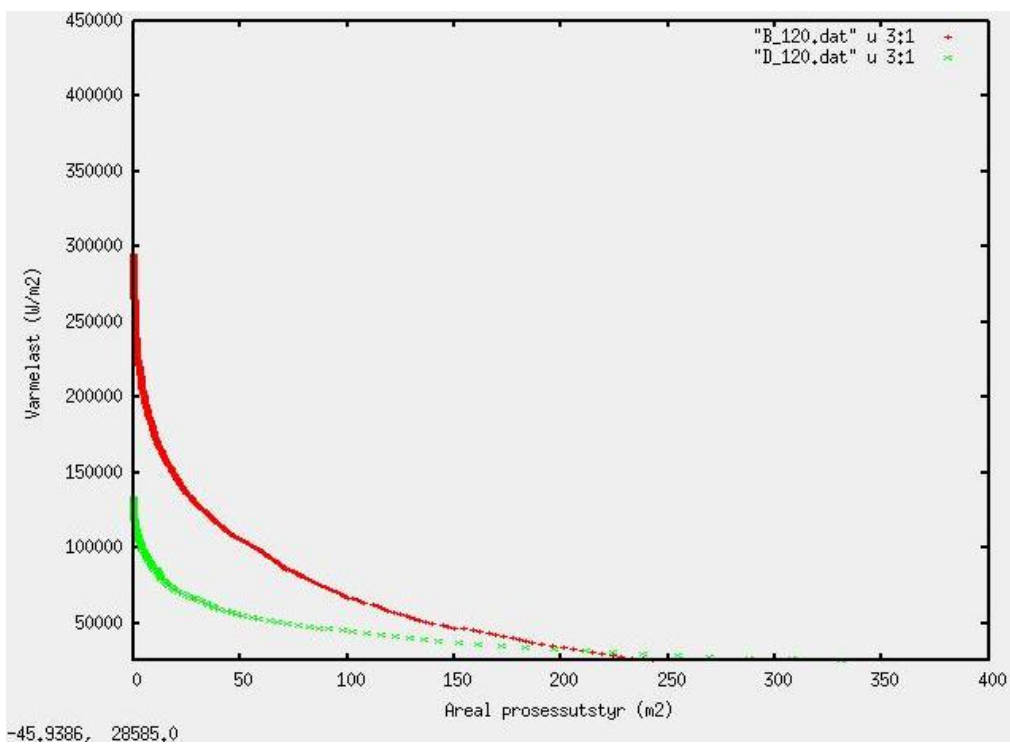
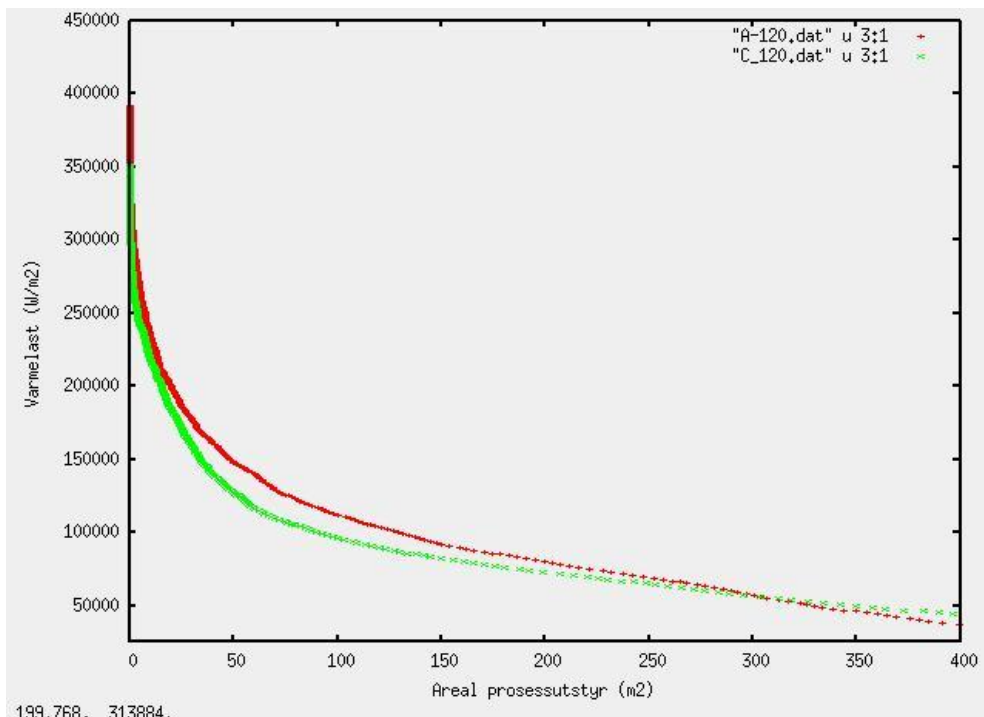
Vedlegg E

Resultater som viser varmelast over areal prosessutstyr

20 s. $\dot{m}=12$ kg/s



120 s, $\dot{m}=3$ kg/s



220 s, $\dot{m}=1$ kg/s

