



# Høgskulen på Vestlandet

## Bacheloroppgave Brannteknikk

ING3037

### Predefinert informasjon

<b>Startdato:</b>	30-04-2019 15:50	<b>Termin:</b>	2019 VÅR
<b>Sluttdato:</b>	08-05-2019 14:00	<b>Vurderingsform:</b>	Norsk 6-trinns skala (A-F)
<b>Eksamensform:</b>	Bacheloroppgave med muntlig presentasjon/eksaminasjon		
<b>SIS-kode:</b>	203 ING3037 1 PRO-1 2019 VÅR Haugesund		
<b>Intern sensor:</b>	(Anonymisert)		

### Deltaker

**Kandidatnr.:** 119

### Informasjon fra deltaker

**Tittel \*:** Aufalldunker i brann

**Engelsk tittel \*:** Fire risk with waste bins

**Egenerklæring \*:** Ja **Inneholder besvarelsen Nei**  
**konfidensiell materiale?:**

**Jeg bekrefter at jeg har Ja**  
**registrert oppgavetittelen**  
**på norsk og engelsk i**  
**StudentWeb og vet at**  
**denne vil stå på**  
**vitnemålet mitt \*:**

### Gruppe

**Gruppenavn:** (Anonymisert)

**Gruppenummer:** 10

**Andre medlemmer i gruppen:** 120

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min \*

Ja

## Avfallsdunker i brann



Bacheloroppgave utført ved  
Høgskulen på Vestlandet – institutt for brannsikkerhet og HMS

---

Magne Vabø

Kandidat nr. 119

Endre Smaadal

Kandidat nr. 120

---

Haugesund våren 2019

# BACHELORPROSJEKT

**Studentenes navn:** Endre Smaadal  
Magne Laumark- Møller Vabø

---

**Linje & studieretning** Bachelor i Ingeniørfag, Brannsikkerhet

**Oppgavens tittel:** *Avfallsdunker i brann*

## Oppgavetekst:

Brann i avfallsdunker er stadig et problem og kan medføre store skader. Over 60 % av brannene i avfallsdunker er påsatt. Det stilles per dags dato ikke noe krav til plassering av avfallsdunker i lover og forskrifter. Basert på enkle forsøk og beregninger er det utarbeidet en temaveiledning med anbefalinger rundt plassering av avfallsdunker. Noen forsikringsselskap angir vilkår for plassering av avfallsdunker i sine forsikringer.

Denne oppgaven skal undersøke brannfaren med avfallsdunker i tett bebyggelse hvor det ofte er flere avfallsdunker plassert sammen. Oppgaven skal blant annet løses ved hjelp fullskala forsøk og gjennomføres med reelle forhold og avfall. Oppgaven skal også undersøke et tiltak for brann i avfallsdunk og effekten av dette.

**Endelig oppgave gitt:** *Fredag 1.Mars 2019*

**Innleveringsfrist:** Onsdag 8.mai 2019 kl. 12.00

**Intern veileder:** Sanjay Kumar Khattri

**Ekstern veileder:** Veslemøy Eriksen, HIM  
**emailadresse ekstern veileder:** [veslemoy.eriksen@him.as](mailto:veslemoy.eriksen@him.as)

**Godkjent av studieansvarlig:** *Fredrik Henningsen*

**Dato:** *30/4-19*

## Avfallsdunker i brann

Oppgavens tittel Avfallsdunker i brann		Rapportnummer
Utført av Vabø, Magne Smaadal, Endre		
Linje Sikkerhet, Brannteknikk		Studieretning Ingeniør
Gradering Åpen	Innlevert dato	Veiledere <b>Sanjay Kumar Khattri</b> (intern) <b>Veslemøy Eriksen</b> (ekstern)

**Ekstrakt**

Per dags dato finnes det ikke noe lovverk som omhandler plassering av avfallsdunker. Norsk Brannvernforening har laget en temaveileder, basert på enkle forsøk for plassering av avfallsdunker, men denne er lite kjent blant befolkningen. Mangelen på tydelig lovverk og kunnskap blant allmennheten danner bakgrunnen for oppgaven. Det skal undersøkes om det er et behov for et overordnet lovverk for plassering av avfallsdunker.

For å vurdere spredningsfaren ved brann i avfallsdunker, er det gjort fullskala forsøk med reelle forhold. Ved utførelse av forsøkene brukes temaveilederen som utgangspunkt for måling av temperatur og stråling. I forkant av forsøkene ble det også gått en runde i Haugesund sentrum for å få et overblikk over hvor det er vanlig å plassere avfallsdunker. Det viser seg at svært mange plasserer avfallsdunkene sine helt inntil husveggen samt under takoverbygg.

Oppgavens funn tilsier at plasseringen av avfallsdunker i sentrum av Haugesund er særdeles uheldig med tanke på spredning av brann. Ved å innføre lovverk for plassering av avfallsdunker, som bruker temaveilederen fra Norsk Brannvernforening som utgangspunkt, vil det være mulig å redusere faren for brannspredning fra avfallsdunker.

## Forord

Bacheloroppgaven er en avsluttende oppgave på den treårige ingeniørutdannelsen innen brannteknikk ved Høgskulen på Vestlandet, avdeling Haugesund. Oppgaven består av teknisk rapport, produkt og presentasjon med film, og utgjør 20 studiepoeng. Det er ønskelig å gi følgende personer en stor takk i forbindelse med veiledning og hjelp til vår Bacheloroppgave;

**Intern veileder** Sanjay Kumar Khattri, takk for god veiledning, hjelp og innspill.

**Ekstern veileder** Veslemøy Eriksen v/Haugesund Interkommunale Miljøverk, takk for behjelpelighet ved anskaffelse av avfallsdunker, samt gode innspill og veiledning.

Arjen Kraaijeveld, takk for god hjelp ved utførelse av forsøk.

Fred Nilsen v/Sparebank 1 skadeforsikring, gode innspill.

Arne Bratthole, takk for inspirasjon.

Thor Adolfsen v/Norsk brannvern forening, takk for gode innspill.

Tor Larsen v/Stavanger kommune, takk for donering av brannsikre avfallsdunker.

Bjarne Christian Hagen, takk for hjelp og innspill.

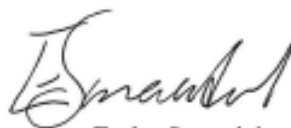
Stefan Andersson, takk for motivasjonsord, tips og råd.

ResQ Haugesund, takk for utlån av røykdykker- og slokkeutstyr.

Haugesund 8.5.2019



Magne Vabø



Endre Smaadal

## Innhold

Forord .....	iii
Figurliste.....	viii
Tabelliste .....	ix
Ord og begrepsliste.....	x
Sammendrag .....	xii
Summary .....	xiii
1 Innledning.....	1
1.1 Problemstilling.....	1
1.2 Tidligere arbeid.....	1
1.3 Tilfeller av avfallsdunker i brann .....	2
1.4 Tiltak mot brann i avfallsdunker .....	3
1.4.1 Temaveileder .....	3
1.4.2 Flytt en dunk.....	3
1.4.3 Krav fra forsikringsselskap .....	3
1.4.4 Brannsikre avfallsdunker.....	3
1.5 Oppgavens begrensninger.....	4
2 Teori .....	5
2.1 Antennelse .....	5
2.2 Brannspredningsmekanismer.....	5
2.2.1 Konveksjon.....	5
2.2.2 Stråling .....	6
2.2.3 Konduksjon .....	6
2.2.4 Flyvebrann.....	6
2.3 Utvendig brannspredning .....	7
2.3.1 Bak kledning .....	7

## Avfallsdunker i brann

2.3.2	Ved gesims og takutstikk .....	8
2.3.3	Via friskluftventil .....	8
2.3.4	Vinduer.....	9
2.4	Fare ved plassering .....	9
2.4.1	Eksempler fra Haugesund .....	9
2.5	Energiproduksjon.....	11
2.5.1	Branneffekt.....	11
2.5.2	Cone Calorimeter .....	12
2.6	FDS.....	13
2.7	Avfallsdunkene .....	14
2.7.1	Standard type.....	14
2.7.2	Brannsikker type .....	14
2.8	Avfall .....	15
2.9	Måleutstyr.....	15
2.9.1	Termoelement.....	15
2.9.2	Platetermometer (PTHFM) .....	15
3	Metode.....	16
3.1	Forsøk .....	16
3.2	Avfall .....	17
3.3	Oppsett.....	17
3.4	Utstyr .....	18
3.4.1	Platetermometer .....	18
3.4.2	Termoelement.....	19
3.4.3	Vekt .....	21
3.4.4	Vindmåler.....	21
3.4.5	Datalogger .....	21
3.4.6	Kamera .....	21



## Avfallsdunker i brann

3.4.7	Sikkerhetsutstyr.....	21
3.5	Cone Calorimeter.....	21
3.5.1	Prøvestykker.....	22
3.5.2	Gjennomføring .....	22
3.5.3	Problemer .....	23
3.6	FDS.....	23
3.6.1	Oppsett .....	23
3.6.2	Forenklinger .....	24
3.6.3	Gridstørrelse .....	25
4	Resultater.....	27
4.1	Forsøk 1 – overfylt avfallsdunk.....	27
4.1.1	Brannforløp og observasjoner .....	28
4.1.2	Temperaturer, stråling og branneffekt.....	31
4.1.3	Generell kommentar til forsøket.....	32
4.2	Forsøk 2 – åpen avfallsdunk.....	33
4.2.1	Brannforløp og observasjoner .....	34
4.2.2	Temperaturer og branneffekt.....	36
4.2.3	Generell kommentar til forsøket.....	38
4.3	Forsøk 3 – åpen avfallsdunk i det fri .....	39
4.3.1	Brannforløp og observasjoner .....	40
4.3.2	Temperaturer og branneffekt.....	42
4.3.3	Generell kommentar til forsøket.....	44
4.4	Brannsikker avfallsdunk .....	45
4.4.1	Overfylt avfallsdunk.....	45
4.4.2	Lokket helt åpent.....	46
4.5	Cone Calorimeter.....	48
4.5.1	Graf- og tabellutskrift.....	48

## Avfallsdunker i brann

4.5.2	Beregning og estimat.....	49
4.6	FDS.....	50
4.7	Oppsummering resultater .....	52
5	Diskusjon.....	53
5.1	Brannforløp.....	53
5.1.1	Standard avfallsdunk .....	53
5.2	Energiproduksjon og stråling.....	55
5.2.1	Sammenligning av resultater .....	55
5.3	Vindpåvirking.....	55
5.4	Takoverbygg.....	55
5.5	Fds .....	55
5.6	Oppsett/feilkilder .....	56
5.6.1	Standard avfallsdunk .....	56
5.6.2	Brannsikker avfallsdunk.....	57
5.6.3	Videre arbeid .....	57
6	Konklusjon .....	58
7	Referanser.....	60
8	Vedlegg .....	63
8.1	Vedlegg 1 Testforsøk.....	63
8.2	Vedlegg 2 FDS-fil .....	66

## Figurliste

Figur 1 Brann bak kledning.....	7
Figur 2 Kritisk punkt.....	7
Figur 3 Gesimskasse.....	8
Figur 4 Friskluftventil.....	8
Figur 5 Inndeling av kontrollvolum CFD [16].....	13
Figur 6 Brannsikker avfallsdunk.....	14
Figur 7 Brannsikker avfallsdunk.....	14
Figur 8 Avfall og antennelse.....	17
Figur 9 Oppsett.....	18
Figur 10 Plassering platetermometer.....	19
Figur 11 Plassering termoelementer.....	20
Figur 12 Innpakket prøvestykke.....	22
Figur 13 Programoppsett.....	23
Figur 14 Oppsett FDS-fil.....	24
Figur 15 Grid-inndeling sett skrått ovenfra.....	26
Figur 16 Forsøk 1 - Overfylt avfallsdunk.....	27
Figur 17 Forsøk 2 - Lokk åpent vindstille.....	33
Figur 18 Forsøk 3 - Lokk åpent i det fri.....	39
Figur 19 Branneffekt Cone Calorimeter.....	48
Figur 20 Øvrige resultater Cone Calorimeter [Fire Testing Technology ConeCalc software].....	49
Figur 21 Animasjon fra simulering.....	51

## Tabelliste

Tabell 1 Materialeegenskaper for tre .....	5
Tabell 2 Nødvendig stråling for treverk .....	6
Tabell 4 Eksempler fra Haugesund .....	9
Tabell 3 Materialeegenskaper for standard avfallsdunk .....	14
Tabell 5 Posisjon platetermometer .....	19
Tabell 6 Posisjon termoelement .....	20
Tabell 7 Variabler for beregning av gridstørrelse .....	25
Tabell 8 Maksimalverdier FDS og Forsøk 3 .....	51
Tabell 9 Oppsummerte resultater .....	52

### Ord og begrepsliste

Ord/begrep	Forklaring
Pyrolyse	Kjemisk spalting av et stoff under påvirkning av varme <sup>1</sup>
Branneffekt	Mengden varme som frigis av et stoff under forbrenning
HRR	Heat release rate, branneffekt på Norsk.
TEK	Byggteknisk forskrift, gir retningslinjer for hvordan byggverk skal føres opp
Foring	Påføring av et ekstra materiale for å oppnå bedre beskyttelse og større tykkelse
HDPE	High Density Polyethylene, den vanligste typen av hardplast <sup>2</sup>
Pilotantennelse	Antennelse ved bruk av ekstern varmetilførsel <sup>1</sup>
Spontanantennelse	Antennelse uten bruk av ekstern varmetilførsel <sup>1</sup>
Flyvebrann	Brennende partikler eller gjenstander fra en brann som transporteres i luften eller faller ned og kan antenne brennbare materialer <sup>1</sup>
Kledning	Det ytterste laget av materiale på et byggverk for beskyttelse mot vær og vind <sup>2</sup>
Gesimskasse	Fremspringende horisontalt ledd mellom yttervegg og tak <sup>2</sup>
Fluid	Fellesbetegnelse for væsker og gasser.
Massetapsrate	Mengden masse som forbrennes per tidsenhet [kg/s]
Heat flux	Engelsk for varmefluks. En betegnelse for hvor mye stråling som mottas/avgis per areal i et tidsintervall
Adiabatisk	Ingen varmeutveksling mellom system og omgivelser <sup>2</sup>
Reisverk	Skjelettet til et byggverk, ofte bestående av tre <sup>2</sup>
Strålerør	Komponent for å regulere vannmengde og vannets utgangsvinkel ved brannslukking <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kollegiet for brannfaglig terminologi [www.kbt.no](http://www.kbt.no)

<sup>2</sup> Store Norske Leksikon [www.snl.no](http://www.snl.no)

## Avfallsdunker i brann

Brenselstyrt	En brann som har stor tilgang på oksygen, men liten tilgang på brensel. Dette gjør at brannen holder seg begrenset <sup>1</sup>
Ventilasjonsstyrt	En brann har stor tilgang på brensel, men liten tilgang på oksygen. Dermed styres brannen av mengden oksygen som er tilgjengelig. Dette gjør at en brann «pulserer» <sup>1</sup>
Deformasjon	Et materiale mister sin opprinnelige fasong <sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Kollegiet for brannfaglig terminologi [www.kbt.no](http://www.kbt.no)

<sup>2</sup> Store Norske Leksikon [www.snl.no](http://www.snl.no)

## Avfallsdunker i brann

### Sammendrag

Per dags dato finnes det ikke noe lovverk som omhandler plassering av avfallsdunker. Stadig vekk kan det leses i media om branner som oppstår i avfallsdunker med varierende utfall.

Norsk Brannvernforening har laget en temaveileder, basert på enkle forsøk for plassering av avfallsdunker, men denne er lite kjent blant befolkningen. Noen kommuner har selv innført tiltak for å bekjempe problemet med brann i avfallsdunker.

Mangelen på tydelig lovverk og kunnskap blant allmennheten danner bakgrunnen for oppgaven. Det skal undersøkes om det er et behov for et overordnet lovverk for plassering av avfallsdunker. For å vurdere spredningsfaren ved brann i avfallsdunker, er det gjort fullskala forsøk med reelle forhold. Ved utførelse av forsøkene brukes temaveilederen som utgangspunkt for måling av temperatur og stråling. I forkant av forsøkene ble det også gått en runde i Haugesund sentrum for å få et overblikk over hvor det er vanlig å plassere avfallsdunker. Det viser seg at svært mange plasserer avfallsdunkene sine helt inntil husveggen samt under takoverbygg.

Oppgavens funn tilsier at plasseringen av avfallsdunker i sentrum av Haugesund er særdeles uheldig med tanke på spredning av brann. Stråling når kritiske verdier for smitte til treverk ved avstander opp til 1 meter. Temperatur og flammehøyde i området over avfallsdunkene gir også høy sannsynlighet for brannsmitte til vegg. Ved å innføre lovverk for plassering av avfallsdunker, som bruker temaveilederen fra Norsk Brannvernforening som utgangspunkt, vil det være mulig å redusere faren for brannspredning fra avfallsdunker. Et alternativ for områder hvor det er plassbegrensninger, er å innføre avfallsdunker av brannsikker type.

## Avfallsdunker i brann

### Summary

As of today, there is no regulations in Norway that deals with the location of waste containers. Still, it can be read in the media about fires that occur in waste containers with varying outcomes. Norsk Brannvernforening, The Norwegian Fire Protection Association, has created guidelines, based on simple research, for the location of waste containers, but this is little known to the population. Some cities have introduced measures to combat the problem of fire in waste containers.

The lack of clear regulations and knowledge among the general public forms the basis for this rapport. It will be researched whether there is a need for an overall regulation for the placement of waste containers. In order to assess the risk of fire spread, there will be executed full-scale experiments with real conditions. When performing the experiments, the guidelines for Norsk Brannvernforening is used as a starting point for measuring temperature and radiation. Prior to the experiments, a round was also completed in the city center of Haugesund. This was done to get an overview of where it is common to place waste containers from private homes. It turns out that the majority of people place their waste bins up against their house or under roof overhangs.

The findings of the assignment indicate that the location of waste containers found in the center of Haugesund is particularly unfortunate with regard to fire spread. Radiation reaches critical values for transmission to wood at distances of up to 1 meter. Temperature and flame height in the area above the waste bins also give a high probability of fire spread to the wall. By introducing regulations for the placement of waste containers, which uses the theme guide from Norsk Brannvernforening as a starting point, it will be possible to reduce the risk of fire spread from waste containers. An option for areas where there are space restrictions is to introduce fire-resistant waste containers.



## 1 Innledning

Det leses stadig i avisene om branntilløp i avfallsdunker i Norge. Ifølge statistikk fra Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap (DSB) var det i 2018 715 branner som startet i avfallsbeholdere og containere [1]. På grunn av manglende lovverk for plassering av avfallsdunker har Norsk Brannvernforening laget en temaveileder for dette [2].

Temaveilederen er relativt ukjent for allmenheten i tillegg til at veiledningen kan være vanskelig å gjennomføre i bysentrum og tettbebyggelse.

### 1.1 Problemstilling

Denne oppgaven skal undersøke brannfaren med avfallsdunker i tett bebyggelse hvor det ofte er flere dunker plassert sammen. Oppgaven skal blant annet løses ved hjelp av fullskala forsøk og gjennomføres med reelle forhold og avfall. Oppgaven skal også undersøke et tiltak for brann i avfallsdunk og effekten av dette.

### 1.2 Tidligere arbeid

Våren 2018 utarbeidet Høgskolen på Vestlandet en rapport på vegne av Arkos AS hvor det ble utført tester av et stativ for avfallsdunker [3]. Stativet er utviklet for å holde avfallsdunker på plass, samt å holde lokket igjen. Rapporten fokuserer på hvorvidt stativet har en innvirkning på utviklingen av en brann i avfallsdunker.

Det ble funnet ut at stativet ikke hadde noe spesiell brannteknisk innvirkning. Det ble også anbefalt videre forsøk med flere avfallsdunker plassert sammen.

## 1.3 Tilfeller av avfallsdunker i brann

Under vises det tilfeller hvor det har oppstått brann i avfallsdunker.

1.  
Haugesund  
2009 [4]

### Søppelcontainer fullstendig utbrent



Søppeldunken som sto plassert inntil en husvegg ble totalt utbrent, opplyser operasjonsleder Trond Friberg i Haugaland og Sunnhordland politidistrikt.

FOTO: TOR ANDRE JOHANNESSEN



Bjørn Grimen

Publisert 21. mai 2009 kl. 09:19



Artikkelen er flere år gammel.

2.  
Haugesund  
2019 [5]

POLITI- OG BRANNLOGG (ROGALAND)

**21. februar 2019 kl. 21:35 Brann i søppeldunk** • Brannvesenet rykker ut på melding om brann i søppeldunk i Myrullvegen, Haugesund.

3.  
Haugesund  
2018 [6]

POLITI- OG BRANNLOGG (ROGALAND)

**29. juli 2018 kl. 08:38 Brann i søppeldunk** • Ved 2-tiden begynte det å brenne i en søppeldunk tilhørende et leilighetskompleks. Brannen ble slukket av beboere. To ungdommer skal ha blitt observert på stedet like før det begynte å brenne. Politiet har søkt etter mistenkelige personer, men uten resultat.

4. Tønsberg  
2012 [7]

TØNSBERG NYHETER

### Hvor bør søppeldunken din stå?



Brannvesenet advarer folk mot å sette søppeldunker langs husveggen. Foto: Foto: Kirvill Håberg Allum

## Avfallsdunker i brann

### 1.4 Tiltak mot brann i avfallsdunker

#### 1.4.1 Temaveileder

Norsk Brannvernforening sin temaveileder gir følgende definisjoner og anbefalinger rundt plassering av avfallsdunker [2]:

Minimum 2,5 meter avstand for avfallsdunker på 180 liter eller mindre. Disse bør også låses fast slik at de ikke kan flyttes.

Minimum 4 meter avstand for avfallsdunker på 600 liter eller minimum 6 meter for en samling av tre avfallsdunker på 600 liter.

Minimum 8 meter avstand for containere av metall på mer enn 1200 liter.

#### 1.4.2 Flytt en dunk

Tidligere fagsjef for skadeforebygging i Sparebank 1 Skadeforsikring, Fred Nilsen, startet en kampanje i 2008 rettet mot brann i avfallsdunker. Kampanjen «Flytt en dunk» gikk ut på å informere om de farer som kan oppstå ved brann i avfallsdunker og hvordan en enkelt kan forhindre dette, nemlig ved å flytte dunken vekk fra huset. Nilsen informerte også om at videre tiltak måtte gjøres. Det ene forslaget gikk ut på å gjøre endringer i TEK slik at det settes krav til en plan om avfallshåndtering i prosjekteringsfasen. Videre var det forslag som innebar mer oppmerksomhet fra brannvesenet, renovatører og utbygging til brannsikre dunker [8].

#### 1.4.3 Krav fra forsikringsselskap

Forsikringsselskap kan ha vilkår for plassering av avfallsdunker for å tilfredsstille brannsikkerhet. Slike vilkår gjelder for næringsdrivende, men ikke privatpersoner. Ofte bruker forsikringsselskapene å henvise til sine generelle aktsomhetskrav i private husforsikringer. Disse kan være overordnet krav og er derfor vanskelig å vurdere for eier i forhold til sikker plassering [9].

#### 1.4.4 Brannsikre avfallsdunker.

Siden 2001 har Stavanger kommune benyttet seg av brannsikre avfallsdunker i noen deler av kommunen [10]. Det som kjennetegner disse områdene er tett trehusbebyggelse med stor fare for branttilløp og brannspredning. Avfallsdunkene som brukes i disse områdene har en foring av aluminium på innsiden av dunken og lokket, og finnes i størrelsene 140 liter, 240 liter og 660 liter.

## Avfallsdunker i brann

### 1.5 Oppgavens begrensninger

Oppgaven er begrenset til å undersøke faren ved brann i avfallsdunk i tett trehusbebyggelse. For å undersøke blir det gjennomført fullskala forsøk med reelt avfall og avfallsdunker på 140 liter laget av HDPE plast. Ved gjennomføring av forsøk vil det bli gjort målinger på branneffekt, temperaturer over avfallsdunkene og varmestråling fra brannen. Dette er for å få en pekepinn på hvor stor faren for spredning til husvegger eller andre avfallsdunker er.

## 2 Teori

### 2.1 Antennelse

Faste materialer må i de fleste tilfeller utsettes for ekstern varmetilførsel for å kunne antenne. Noen faste stoffer, typisk porøse materialer, kan også selvantenne. Selvantennelse vil si at et stoff produserer nok varme slik at det antenner uten ekstern varmetilføring. Når et fast stoff mottar en viss mengde varme, avhengig av materialegenskapene, begynner det å pyrolysere. Pyrolyse vil si en kjemisk nedbrytning av stoffet, som gjør at det avgir brennbare gasser. Disse gassene kan antennes av gnister og flammer, også kalt pilotantennelse. Dersom gassene ikke blir utsatt for en pilotantennelse, kan de likevel antenne dersom temperaturen blir høy nok. Dette kalles spontanantennelse [11].

Materialer har ulike egenskaper i forhold til brann. Noen kriterier for at treverk skal kunne antenne er gitt i Tabell 1 [*Grunnleggende brannteknikk side 198*] som er av interesse for denne oppgaven [12].

Tabell 1 Materialeegenskaper for tre

Material	Kritisk varmestrålingsfluks [kW/m <sup>2</sup> ]		Kritisk overflatetemperatur [°C]	
	Pilot	Spontan	Pilot	Spontan
Treverk	12	28	350	600

### 2.2 Brannspredningsmekanismer

For at en brann skal kunne spre seg fra et sted til et annet, må brennbare materialer forvarmes. Hvor mye materialet må varmes opp er avhengig av hvilken type materiale det er. Dersom materialet ikke forvarmes nok, vil brannspredningen ta lang tid eller stoppe helt opp. Ved brann er det konveksjon, stråling og konduksjon som sørger for forvarming av nærliggende materialer. Gnister fra branner, omtalt som flyvebrann, kan også forårsake brannspredning dersom de rette forutsetningene er tilstede [13].

#### 2.2.1 Konveksjon

Konveksjon er kort fortalt varmeoverføring fra gasser til fast stoff. Ved brann er konveksjon en stor bidragsyter til forvarming av brennbare materialer. Varm røyk og flammer varmer opp

## Avfallsdunker i brann

nærliggende brennbare materialer. For branner utendørs, vil forvarming på grunn av konveksjon være redusert på grunn av vind. Dette gjør at kald luft blander seg inn i røyken og dermed senker temperaturen. De kritiske områdene for bygninger med tanke på konveksjon utendørs vil være i luftespalte bak kledning samt ved overbygg og gesimskasse. Disse områdene er ofte svært tørre og skaper en ideell oppsamling av varme røykgasser [13].

### 2.2.2 Stråling

Med stråling menes varmeoverføring ved elektromagnetiske bølger. Dette betyr at det ikke er et legeme eller fluid med i varmeoverføringen. Ved en fullt utviklet brann er det varmestråling som er den dominerende formen for varmetransport fordi stråling er direkte avhengig av temperatur opphøyd i fjerde potens. Stråling kommer fra flammene i brannen, men også et eventuelt røyklag som dannes. Avhengig av intensiteten på strålingen vil den bidra til forvarming av brennbare materialer. Jo lengre avstand det er fra utstrålingsobjektet, jo mindre blir intensiteten av strålingen. Tabell 2 viser noen verdier for varmestråling som er av interesse i denne oppgaven [13].

Tabell 2 Nødvendig stråling for treverk

Materiale	Nødvendig varmestråling [ $kW/m^2$ ]	
	Pilotantennelse	Spontanantennelse
Treverk	12	28

### 2.2.3 Konduksjon

Med konduksjon menes direkte varmeoverføring gjennom et fast materiale. Konduksjon skjer helst gjennom materialer som leder varme godt og er mest dominerende tidlig i et brannforløp. For denne oppgaven anses konduksjon som lite aktuelt [13].

### 2.2.4 Flyvebrann

Med flyvebrann menes gnister fra en brann som blir transportert av oppdriftskrefter og turbulens. Ved ideelle forhold kan gnistene ligge og ulme i brennbart materiale helt til det får en antennelse. Flyvebrann er mest aktuelt ved større utvendige branner og kan medføre en stor risiko i tett trehusbebyggelse [13].

## Avfallsdunker i brann

### 2.3 Utvendig brannspredning

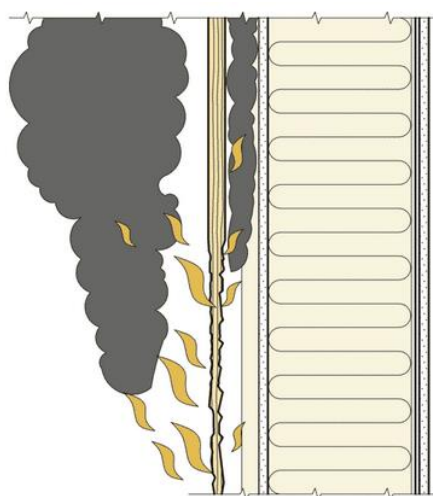
For at en brann skal kunne spre seg utvendig, må bygningsdeler utsettes for en eller flere av varmetransportmetodene beskrevet i kapittel 2.2. Den utvendige konstruksjonen for bygninger har flere sårbarheter når det gjelder brannspredning. Dette er områder som har god ventilasjon og dermed vil være svært tørt i forhold til resten av den utvendige konstruksjonen. Typiske områder som er sårbare er hulrom bak kledning, gesimskasser og ventiler i fasader. I tillegg er vinduer ofte et svakt punkt i en fasade.

#### 2.3.1 Bak kledning

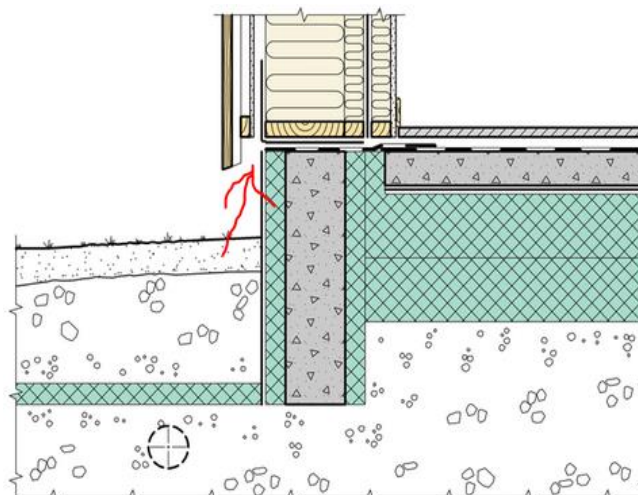
I hulrommet bak kledningen i fasaden er det ofte ideelle forhold for en brann Figur 1 [SINTEF Byggforsk 520.310 kap. 3.2]. Lektene er tørre og vindspærren kan være svært brennbar.

Dersom en brann oppstår bak kledningen vil det være store utfordringer å slukke den, selv ved en liten brann. Det er også stor fare for spredning til takkonstruksjonen eller inn vinduer.

Situasjoner hvor det kan oppstå brann bak kledningen er dersom varm røyk og flammer kommer inn ved grunnmuren som vist i Figur 2 [SINTEF Byggforsk 521.111 kap 0].



Figur 1 Brann bak kledning

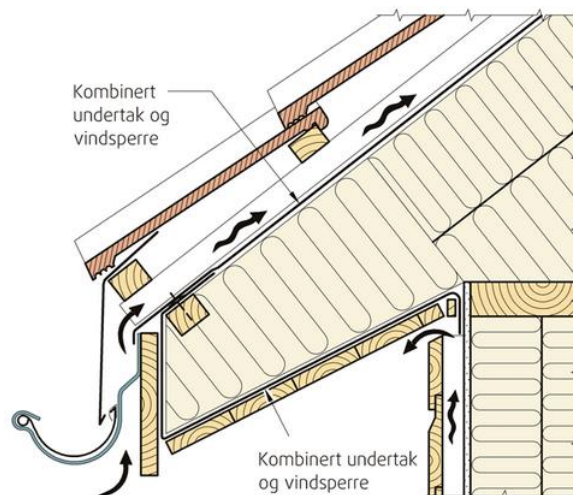


Figur 2 Kritisk punkt

## Avfallsdunker i brann

### 2.3.2 Ved gesims og takutstikk

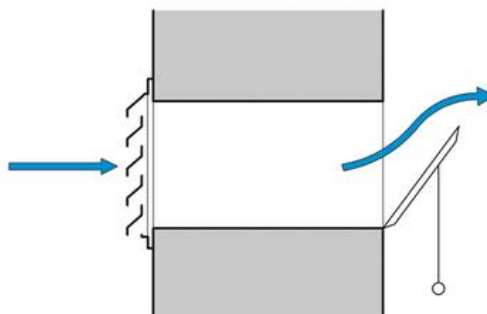
Dersom det oppstår brann under takutstikk eller inntil vegg, vil røyk og varm luft stige opp og samle seg. Dette er spesielt brannfarlig fordi materialene ved takutstikk, gesims og øverst på vegger er veldig tørre. De kritiske punktene er markert med svarte piler i Figur 3 [SINTEF Byggforsk 520.308 kap 4], dette er plasser hvor det er god ventilasjon og konstruert på en slik måte at varm røyk og gass lett samles opp.



Figur 3 Gesimskasse

### 2.3.3 Via friskluftventil

En friskluftventil er en så å si åpen forbindelse mellom utsiden og innsiden av et byggverk. Figur 4 [SINTEF Byggforsk 536.215 kap 2.2] illustrerer en typisk friskluftventil med skjermet rist på utsiden, og klafflukeventil på innsiden. Dersom en brann oppstår på utsiden i nærheten av ventilen, vil det være fare for at røyk kommer inn i byggverket og i verste fall at brannen sprer seg innover.



Figur 4 Friskluftventil



## Avfallsdunker i brann

### 2.3.4 Vinduer

Ved innsetting av vinduer i vegger oppstår det et svakt punkt med tanke på brann, fordi vinduer ikke alltid har like god brannmotstand som resten av veggen. I tillegg vil det være svakhet i overgangen mellom vindu og vegg dersom tetting rundt ikke er tilfredsstillende. Vinduer brukes også ofte som rømningsveier fra etasjer på bakkenivå.

## 2.4 Fare ved plassering

Ved å gå gjennom Haugesund sentrum er det gjort en rekke observasjoner på uheldige plasseringer av avfallsdunker. Noen av dem er låsbare, som vil gjøre en eventuell antenning vanskeligere. Det ble også observert overfylte avfallsdunker både med og uten lås. Typisk står det 3 eller flere ved siden av hverandre og tett inntil ytterveggen. Brann i avfallsdunker er i hovedsak en fare for materielle verdier, men kan også være en trussel for liv og helse. Dersom brannen er stor nok kan den spre seg til hulrom bak kledning eller ved gesimskassen. Dette kan føre til dårligere rømningsforhold eller røykinnmenging til innvendige rom.

### 2.4.1 Eksempler fra Haugesund

Tabell 3 viser eksempler funnet i Sentrum av Haugesund.

*Tabell 3 Eksempler fra Haugesund*

Fem avfallsdunker står plassert ved yttervegg. I dette tilfellet er det høy grunnmur slik at eventuelle røykgasser lett kan trekke opp bak kledningen og utgjøre en trussel. I tillegg er avfallsdunkene plassert rett under et vindu, som også er et svakt punkt med tanke på brannsikkerhet.



## Avfallsdunker i brann

I dette tilfellet er det plassert fire avfallsdunker rett ved hovedrømningsveien for bygningen. Avfallsdunkene er plassert rett under en friskluftventil og inntil høy grunnmur som gjør spredning bak kledning mer sannsynlig.



Fire avfallsdunker plassert nær rømningsvei og inntil grunnmur. Lokket på den ene avfallsdunken er også delvis åpent på grunn av overfylling.



Seks avfallsdunker plassert inntil grunnmur. Flere av avfallsdunkene er overfylte i tillegg til en sekk med plastavfall som ligger løst ved siden av. I dette tilfellet er avfallsdunkene plassert både fremfor og under vinduer som er rømningsveier. Her er det svært høy potensiell brannenergi.



## Avfallsdunker i brann

To store og en mindre avfallsdunk plassert inntil vinduer og under et takoverbygg.



## 2.5 Energiproduksjon

### 2.5.1 Branneffekt

Branneffekt er et begrep som brukes om hvor mye energi som frigjøres i form av varme ved en forbrenning. Branneffekten sier noe om størrelsen på brannen og blir målt i  $kW$ .

Branneffekten kan beregnes ved bruk av formel 1.

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot X \cdot \Delta H_c \quad (1)$$

Hvor;

$\dot{Q}$  er branneffekt [ $kW$ ]

$\dot{m}$  er massetapsrate [ $kg/s$ ]

$X$  er forbrenningseffektivitet [-]

$\Delta H_c$  er forbrenningsvarme [ $kJ/kg$ ]

Massetapsraten kan måles og logges under forsøket ved bruk av vekt, slik at branneffekten kan beregnes [14].

## Avfallsdunker i brann

### 2.5.2 Cone Calorimeter

Cone Calorimeter er et apparat som kan måle branneffekten basert på oksygenforbruk ved forbrenning av et kjent stoff. Apparatet virker ved å sette prøvestykker på 0,1 meter  $\times$  0,1 meter av valgt materiale inn i et kammer. I kammeret blir prøvestykket utsatt for ekstern stråling av valgt størrelse, typisk 20 – 50  $kW/m^2$ . En antenneskilde føres over prøvestykkene. Hensikten er å antenne gassene som kommer fra prøvestykkene ved pyrolysing. Avgassene fra forbrenningen samles opp slik at innholdet og massestrømmen kan måles. Dette gir et mål på oksygenforbruket i forbrenningen. For gasser, væsker og faste materialer er det funnet ut at energiproduksjonen er ca. 13,1  $kJ$  for hvert kilogram oksygen som blir forbrukt. Formelen for beregning av branneffekt ved cone calorimeter er gitt i formel 2 [14].

$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{oksygen}} \cdot 13,1 \text{ kJ/kg oksygen forbrukt} \quad (2)$$

Hvor;

$\dot{Q}$  er branneffekten [ $kW$ ]

$\dot{m}_{\text{oksygen}}$  er massestrømmen [ $kg/s$ ]

Denne utregningen blir gjort av programmet og føres så inn i et diagram og i en tabell. Verdiene for branneffekt blir gitt i  $kW/m^2$ . For å kunne bruke dataene fra Cone Calorimeter til sammenligning med fullskala forsøk, er det derfor hensiktsmessig å gjøre om enheten til  $kW/kg$ . Dette ble gjort på følgende måte;

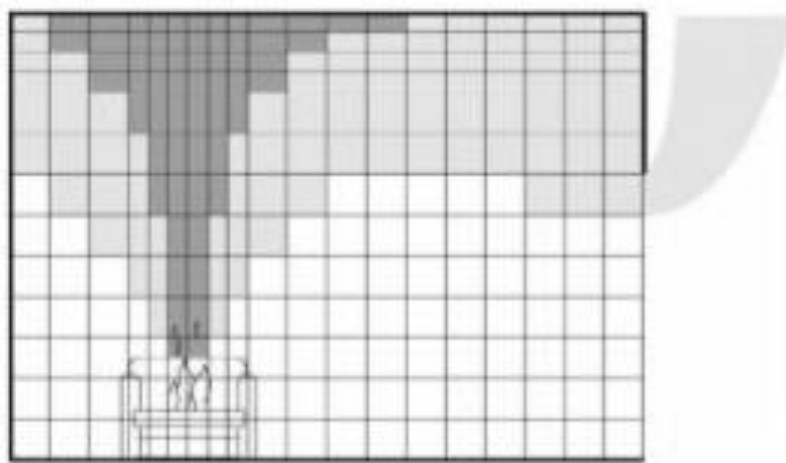
$$\frac{\text{Areal av prøvestykket [m}^2\text{]}}{\text{Vekt av prøvestykket [kg]}} \times \text{målt branneffekt} \frac{kW}{m^2} = \frac{kW}{kg}$$

Verdien som gjenstår multipliseres med vekten av avfallsdunkene slik at en sitter igjen med en estimert branneffekt.

## Avfallsdunker i brann

### 2.6 FDS

For å gjennomføre en datasimulering av forsøkene i dette studie tas det i bruk dataprogrammet Fire Dynamics Simulator (FDS). FDS er utviklet av National Institute of Standards and Technology og ble publisert for første gang i 2000. FDS benytter seg av Computational Fluid Dynamics (CFD) som er en numerisk metode for å løse strømningsproblemer i væske og varmestrømmer. Metoden deler kontrollvolumet inn i et gitt antall gridceller, hvor beregninger av bevaringslovene for masse, moment og energi gjennomføres for hver av disse, se Figur 5. For å kunne anvende simulering av brann må det løses fysiske og kjemiske prosesser i FDS. Prosessene som moduleres er turbulens, stråling, sot og forbrenning. Disse løses ved å gjennomføre numeriske beregninger ved hjelp av Navier-Stokes ligningene. Turbulens beregnes ved hjelp av Large Eddy Simulation. Dette er en tilnærming som løser strømmingene for de største virvlene og modellerer de minste [15] [16].



Figur 5 Inndeling av kontrollvolum CFD [16]

## 2.7 Avfallsdunkene

### 2.7.1 Standard type

I tre av forsøkene er det valgt å bruke standard avfallsdunk for husholdningsavfall. Disse dunkene er av størrelsen 140 liter og er laget av Polyethylene som er en av de vanligste plasttypene. Avfallsdunkene veier 11 kg. Materialelegenskapene for plasten er gitt i Tabell 4 [17].

*Tabell 4 Materialelegenskaper for standard avfallsdunk*

Material	Tetthet [kg/m <sup>3</sup> ]	Forbrenningsvarme [kJ/kg]	Smeltepunkt [°C]	Forbrennings- effektivitet [-]
Polyethylene	970	46500	130-135	0,4 – 0,7

### 2.7.2 Brannsikker type

Det vil også bli gjort forsøk med avfallsdunker hvor det er satt inn en foring av aluminium, se Figur 6 og Figur 7. Disse avfallsdunkene er et tiltak gjort av Stavanger kommune for å motvirke brannfare i tett trehusbebyggelse med tanke på avfallsdunker. Disse avfallsdunkene er helt like standard avfallsdunker, bortsett fra aluminiumsforingen på innsiden av hele dunken inkludert lokket [10].



*Figur 6 Brannsikker avfallsdunk*



*Figur 7 Brannsikker avfallsdunk*

## 2.8 Avfall

Ved valg av avfall som skulle brukes i forsøkene var det tre kriterier som ble spesielt vurdert:

1. Avfallet var reelt
2. Lett antennelig
3. Etterprøvbarhet

Det ble brukt brun bølgepapp da dette oppfylte ønskede kriterier sammenlignet med restavfall, bioavfall, glass og metall. Det er enkelt å få tak i og gir gode muligheter for etterprøvbarhet. Bølgepapp kommer i ulik tykkelse og består vanligvis av to lag dekkpapir som er limt på hver sin side av et bølgepapir [18]. Ifølge Statistisk sentralbyrå ble det i 2016 i Norge kastet totalt 750 000 tonn avfall i kategorien papir, papp og kartong, hvorav 260 000 tonn av dette var fra private husholdninger [19].

## 2.9 Måleutstyr

### 2.9.1 Termoelement

Et termoelement er en seriekobling som består av to forskjellige ledningstråder for å forme en strømkrets. I overgangene mellom de to ledningstrådene oppstår det elektromotorisk spenning som følge av temperaturendring. Denne spenningen registreres i et millivoltmeter og kan da brukes til å måle temperaturen. Hvilken type termoelement som skal brukes velges ut ifra hvilke forhold som skal måles [20].

### 2.9.2 Platetermometer (PTHFM)

PT heat flux meter er et måleinstrument for å måle varmestråling inntil  $80 \text{ kW/m}^2$ .

Instrumentet består av et termoelement festet til en plate. Platen er isolert på baksiden for å unngå varmetap, noe som gjør at en får en tilnærmet adiabatisk overflatetemperatur.

Sammenlignet med tradisjonelt Heat Flux Meter (HFM) er platetermometer godt egnet da det er billigere, robust, enkelt å sette opp og det er ingen behov vannkjøling [21].

Platetermometeret måler temperaturen brannen avgir. For å regne om til varmestråling må det derfor gjøres en rekke med forenklinger for å trekke fra det konvektive bidraget. Dette blir gjort i et forhåndsinnstilt regneark<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Regneark tilsendt av Ulf Wickström via Arjen Kraaijeveld

### 3 Metode

Formålet med denne oppgaven er å få mer kunnskap rundt brann i avfallsdunker og faren ved det. Dette blir gjort ved å blant annet undersøke brannscenario i avfallsdunker i fullskala forsøk og gjennomføring av datasimulering for sammenligning og videre bruk. Fokuset for forsøkene var i finne ut hva en kan forvente av temperatur, stråling, branneffekt og brannvekst. Scenarioene i forsøkene bygger på tidligere forsøk, observasjoner i Haugesund og innspill fra relevante personer i miljøet. Forsøkene ble gjennomført i og ved en øvelsesshall lokalisert på ResQ sitt sikkerhetssenter nord for Haugesund. ResQ er en totalleverandør av sikkerhet og beredskapsopplæring i offshoresammenheng [22].

#### 3.1 Forsøk

I forsøkene var det av interesse å undersøke brannforløpet og spredning til andre dunker. Videre var det ønskelig å se på ulike startfaser og vindforhold for å dekke ett større område av spørsmål. I tillegg til dette ble det undersøkt forskjellen av brannsikre avfallsdunker opp mot vanlige dunker.

Det ble på bakgrunn av dette testet med tre vanlige avfallsdunker satt ved siden av hverandre, hvor brannen starter i den midterste avfallsdunken. Det ble gjennomført tre forskjellige varianter av denne type forsøk:

1. Overfylt avfallsdunk (delvis åpen)
2. Åpen avfallsdunk
3. Åpen avfallsdunk i det fri

I forsøkene med de brannsikre avfallsdunkene er hensikten å se på hvor godt disse fungerer i forhold til de vanlige avfallsdunkene. Forsøkene ble derfor gjennomført med samme type avfall og mengde. Unntaket var at det ble testet en dunk om gangen med disse scenarioene:

1. Overfylt dunk
2. Åpen avfallsdunk



## Avfallsdunker i brann

### 3.2 Avfall

Det var kun den midterste dunken som inneholdt avfall. En tennbrikett ble brukt for å antenne avfallet, denne var plassert øverst midt i dunken.

I forkant av forsøkene ble det gjennomført test av avfall for å undersøke hvilken mengde som var hensiktsmessig å bruke i de endelige forsøkene (se Vedlegg 1 for nærmere beskrivelse og resultater). Det ble vurdert ut ifra disse testene at det var hensiktsmessig å utføre forsøkene med cirka 3 kg avfall. Dette for å undersøke scenario hvor dunken er overfylt som fører til at et ikke er mulig å lukke lokket. For å gjøre det sammenlignbart fra forsøk med delvis åpen og helt åpen ble cirka den samme mengde avfall og antennelse brukt i alle forsøkene. Pappen ble brettet og lagt lagvis oppover med en tilfeldig avslutning på toppen.



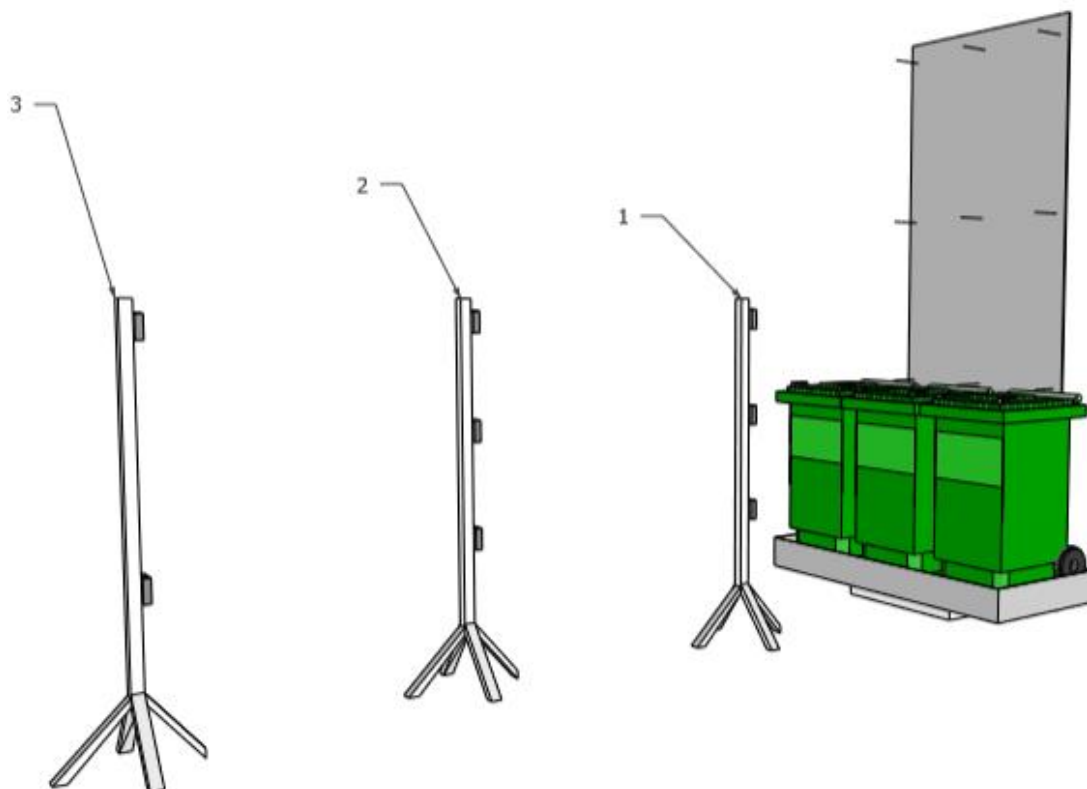
*Figur 8 Avfall og antennelse*

### 3.3 Oppsett

Oppsettet for forsøkene ble satt opp som vist i Figur 9. Veggen i bakkant av avfallsdunkene bestod av et reisverk med ett lag gips (12,5mm). Dimensjonen på veggen var 1,2 meter  $\times$  3,4 meter. Formålet med veggen var å enkelt kunne plassere og holde på plass termoelementene samt dokumentere flammehøyden gjennom forsøket. Avfallsdunkene stod på en vekt som logget gjennom hele forsøket for å kunne måle massetapsraten [kg/s]. For å kunne måle alle tre avfallsdunkene samtidig og for å forhindre søl, ble dunkene plassert i en kasse. Kassen

## Avfallsdunker i brann

bestod av en enkel ramme satt sammen av konstruksjonsvirke (73 mm × 36 mm). Den var kledd inn med ett lag gips på toppen og på sidene for å forhindre at plasten skulle renne ut. Indre mål for kassen var 0,77 meter × 1,77 meter med en dybde på 0,06 meter. Mellom kassen og vekten ble det satt inn en brannmursplate for å skjerme vekten fra varmen. Som følge av denne konstruksjonen var bunnen av avfallsdunkene hevet cirka 0,2 meter over bakken.



Figur 9 Oppsett

### 3.4 Utstyr

I dette delkapittelet beskrives det hva slags utstyr som ble brukt til innhenting av data og plasseringen til disse instrumentene.

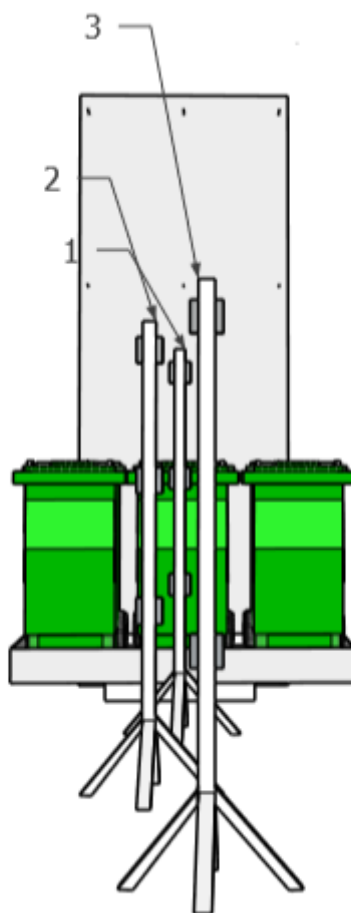
#### 3.4.1 Platetermometer

Det ble totalt brukt åtte platetermometer i forsøkene, fordelt på tre stativ i ulike høyde og avstand fra avfallsdunkene. Stativene ble ikke plassert på rekke, men i forskjøvet stilling fra hverandre slik at stativet framfor ikke skulle skygge for stativet bak, se Figur 10. Spesifikk plassering av platetermometerne vises i Tabell 5. Den horisontale avstanden i tabellen er fra platetermometeret til fremsiden av avfallsdunkene. Høyden er målt fra underkant avfallsdunk og opp.

## Avfallsdunker i brann

Tabell 5 Posisjon platetermometer

Platetermometer	Horisontal avstand [m]	Høyde [m]
<b>Stativ 1</b>		
PT 1	1	1,5
PT 2	1	1
PT 3	1	0,5
<b>Stativ 2</b>		
PT 4	2,5	1,5
PT 5	2,5	1
PT 6	2,5	0,5
<b>Stativ 3</b>		
PT 7	4	1,5
PT 8	4	0,5

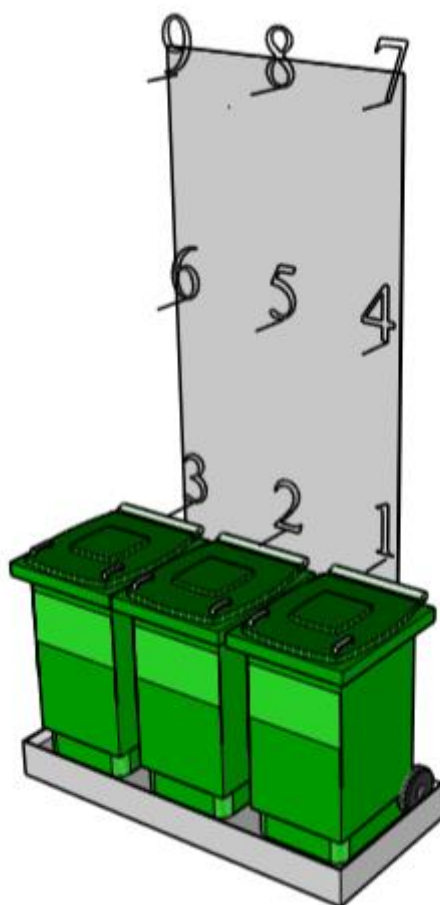


Figur 10 Plassering platetermometer

### 3.4.2 Termoelement

Termoelementene som ble satt opp er av typen K, som er godt egnet til å måle temperaturer opp mot 1100°C. Termoelementene ble fordelt utover veggen som vist på Figur 11.

## Avfallsdunker i brann



Figur 11 Plassering termoelementer

Den midterste avfallsdunken er plassert i senter av veggen. Nøyaktig plassering av termoelementene er fremstilt i Tabell 6 og illustrert i Figur 11.

Tabell 6 Posisjon termoelement

Nr.	Avstand fra senter vegg [m]	Høyde fra bunn avfallsdunk [m]
1	0,55	1,1
2	0	1,1
3	0,55	1,1
4	0,55	2
5	0	2
6	0,55	2
7	0,55	3
8	0	3
9	0,55	3

## Avfallsdunker i brann

### 3.4.3 Vekt

Vekten i forsøkene var av typen Kern plattformvekt og måler vekten med en nøyaktighet på 5 g. Denne var koblet til datamaskinen og målte vektetapet gjennom brannforløpet for å seinere kunne beregne branneffekten [23].

### 3.4.4 Vindmåler

For å måle vindhastigheten i forsøkene ble det tatt i bruk apparatet VelociCalc Pluss 8388. Apparatet måler hastighet, temperatur, differansetrykk og beregner volumetriske strømningshastigheter [24].

### 3.4.5 Datalogger

I forsøket ble det benyttet en datalogger for å registrere måledata fra de valgte måleinstrumentene. Dataloggeren var av typen Keysight 34970A Data Acquisition som måler og konverterer temperatur fra blant annet termoelementer og platetermometer. Hver kanal er uavhengig konfigurert og en kan enkelt variere frekvensen på målinger etter ønske. Dataloggeren er koblet til en datamaskin hvor måledataen blir registrert i programvaren BrannDatalog6 v6.3 som videre konverterer data til en Excel-fil [25].

### 3.4.6 Kamera

For å dokumentere brannforløpet ble det benyttet to kameraer rettet mot avfallsdunkene på hver sin side av oppsettet.

### 3.4.7 Sikkerhetsutstyr

For å ivareta sikkerheten gjennom forsøkene ble det lagt frem en brannslange med strålerør. I tillegg var en av gruppens medlemmer ikledd komplett røykdykkerutstyr for å kunne gjennomføre slukking på en sikker måte og for å observere brannen på nært hold.

## 3.5 Cone Calorimeter

Ved gjennomføring av forsøk med Cone Calorimeter var det av interesse å utføre tester med forskjellig styrke på ekstern stråling. Dette var for å få et bedre bilde av tid til antennelse, brannvekst og branneffekt.

## Avfallsdunker i brann

### 3.5.1 Prøvestykker

Fra avfallsdunkene ble det skjært ut prøvestykker på 0,1 meter  $\times$  0,1 meter. Tykkelsen på prøvestykkene var 4 mm, det ble derfor besluttet å bruke to prøvestykker for hvert forsøk.

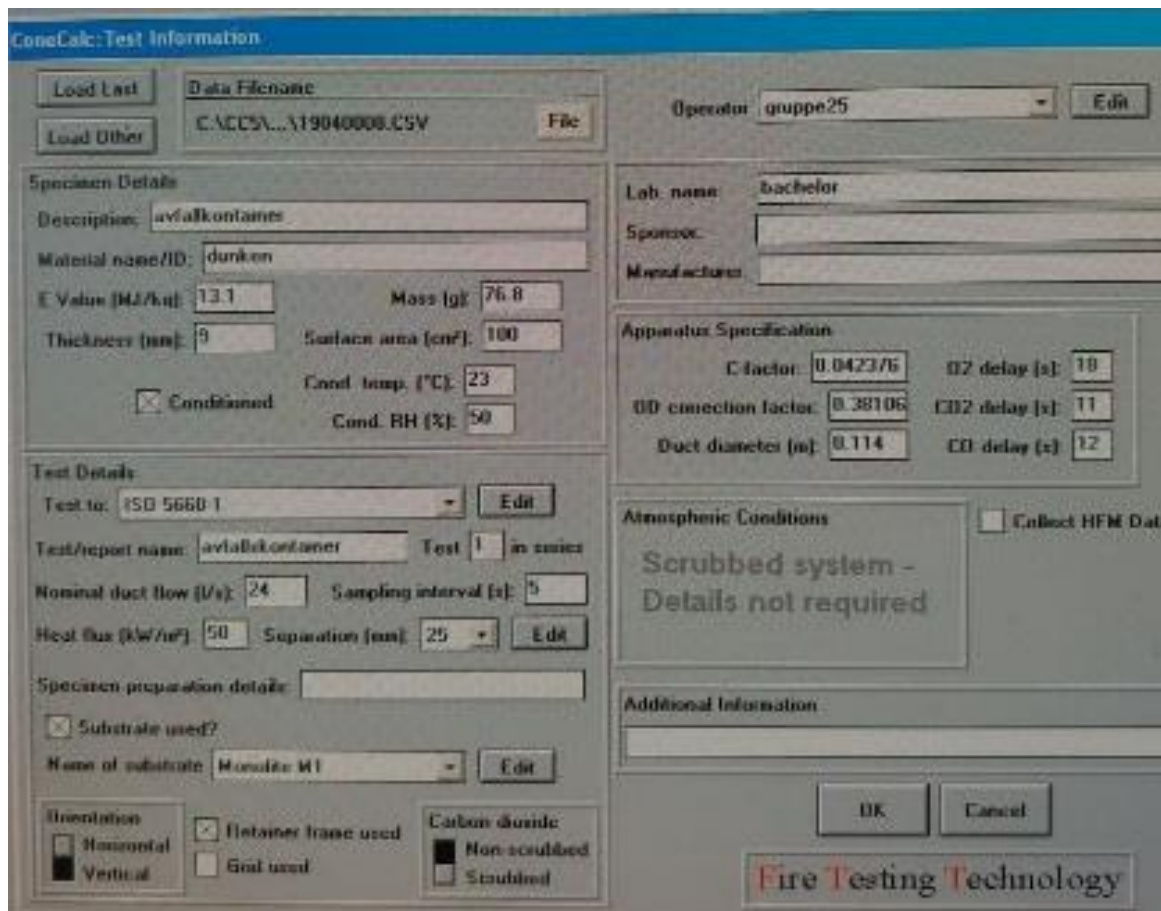


*Figur 12 Innpakket prøvestykke*

### 3.5.2 Gjennomføring

Før forsøkene kan starte, er det viktig å vite vekt, areal og total tykkelse på prøvestykkene. Deretter pakkes de inn i aluminiumsfolie slik at bare toppen blir eksponert for ekstern stråling vist i Figur 12. Verdier for ekstern stråling, vekt, areal og tykkelse føres inn i programmet for å klargjøre apparatet vist i Figur 13. Prøvestykket settes inn i kammeret og forsøket starter. Tid til antennelse må logges manuelt i programmet. Ved gjennomført forsøk blir målte verdier lagret.

## Avfallsdunker i brann



Figur 13 Programoppsett

### 3.5.3 Problemer

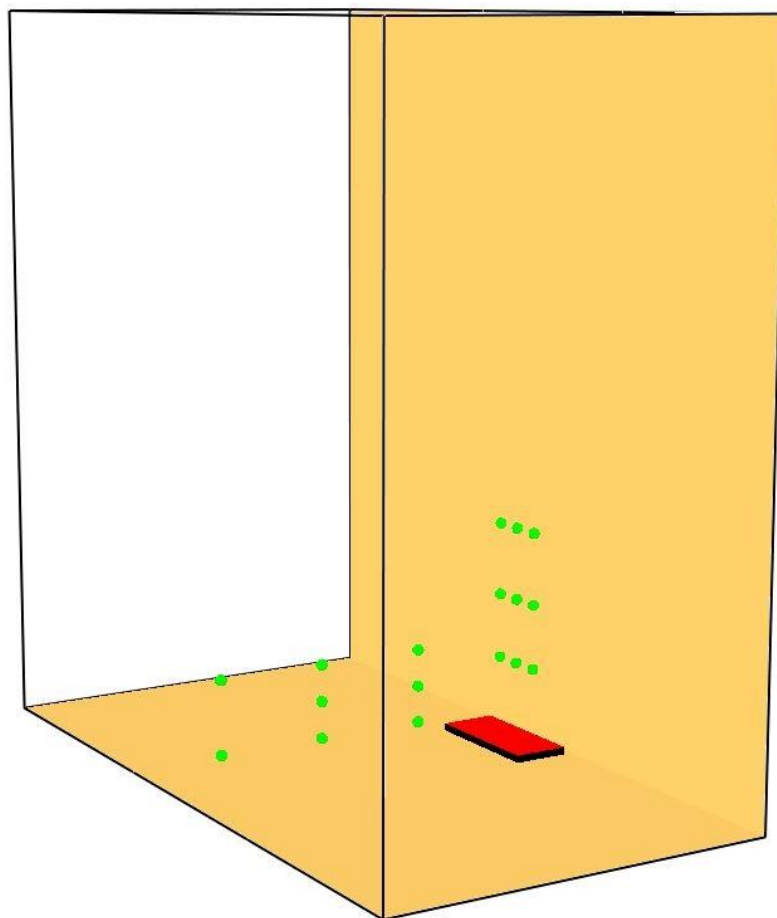
På grunn av tekniske problemer med apparatet, ble det kun gjennomført et forsøk med Cone Calorimeter.

## 3.6 FDS

### 3.6.1 Oppsett

Vedlegg 2 er FDS-filen som ble brukt til simulering av brannen. Filen inneholder koder som bestemmer dimensjonen av brann, mesh, gridstørrelse og plassering av måleinstrumenter. Arealet av brannen og avstander for måleinstrumentene er lik oppsettet for fullskala forsøk, for nærmere informasjon henvises det til kap. 3.4.1, 3.4.2 og vedlegg 2.

## Avfallsdunker i brann



Figur 14 Oppsett FDS-fil

### 3.6.2 Forenklinger

Formålet med datasimuleringen er å undersøke om det er mulig å gjenskape de fullskala forsøkene, for å undersøke om teori stemmer over ens med praksis. Oppsettet av simulering er derfor en gjenspeiling av forsøket etter beste evne. Ut ifra resultatene fra forsøkene ble det valgt å sammenligne med forsøk 3. På grunn av kompleksitet og beregnet tidsbruk for denne delen av rapporten er det gjort noen antagelser og forenklinger.

- I et brannforløp forekommer de høyeste målingene når brannen er fullt utviklet. I simuleringen er det derfor valgt å begynne simuleringen når den allerede har nådd dette punktet. Det antas dermed en konstant HRR og simuleres i 10 min. HRR velges ut ifra målte verdier fra fullskala forsøk og cone calorimeter.
- Forsøk 3 er påvirket av vindforhold mens simuleringen befinner seg i vindstille omgivelser.
- Fra kilde er det oppgitt at sotproduksjonen er 0,06, men det antas for avfallsdunker i dette prosjektet en sotproduksjon på 0,03 [26].



## Avfallsdunker i brann

### 3.6.3 Gridstørrelse

Når en lager en FDS-fil er det vanlig å starte med grove grids for så å gradvis forbedre til en ser akseptabel forskjell i resultatene. Denne metoden kalles gridsensitivitetsanalyse. En annen måte å bestemme gridstørrelsen på er å bruke den dimensjonsløse formelen  $\frac{D^*}{\delta x}$  hvor  $D^*$  er den karakteristiske diameteren til brannen og  $\delta x$  er den nominelle størrelsen til valgt grid.

Resultatet forteller hvor mange gridceller som inngår i den karakteristiske diameteren til brannen. Ved bruk av flere gridceller vil flere beregninger gjennomføres og en vil få et grundigere innblikk av brannen. Dette medfører også at simuleringen tar mye lengere tid. En må derfor finne en balansegang mellom antall gridceller og tidsbruken.  $D^*$  løses ved hjelp av formelen  $D^* = \left( \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} \cdot c_p \cdot T_{\infty} \cdot \sqrt{g}} \right)^{2/5}$  [15]. De ulike variablene blir presentert i Tabell 7 nedenfor.

Tabell 7 Variabler for beregning av gridstørrelse

Variabler	Verdi
Energiproduksjon [Q]	1600 kW
Tetthet luft [ $\rho_{\infty}$ ]	1,2 kg/m <sup>3</sup>
Varmekapasitet luft [ $c_p$ ]	1,005 kJ/kg°C
Omgivelsestemperatur [ $T_{\infty}$ ]	293 K
Tyngdekraft [g]	9,81 m/s <sup>2</sup>

For å få mer nøyaktige beregninger og spare tid på simuleringen, er det valgt å dele simuleringen inn i to forskjellige grid-områder. Der hvor brannen befinner seg er det laget finere gridstørrelse enn de partiene som ligger utenfor brannens område, se Figur 15.

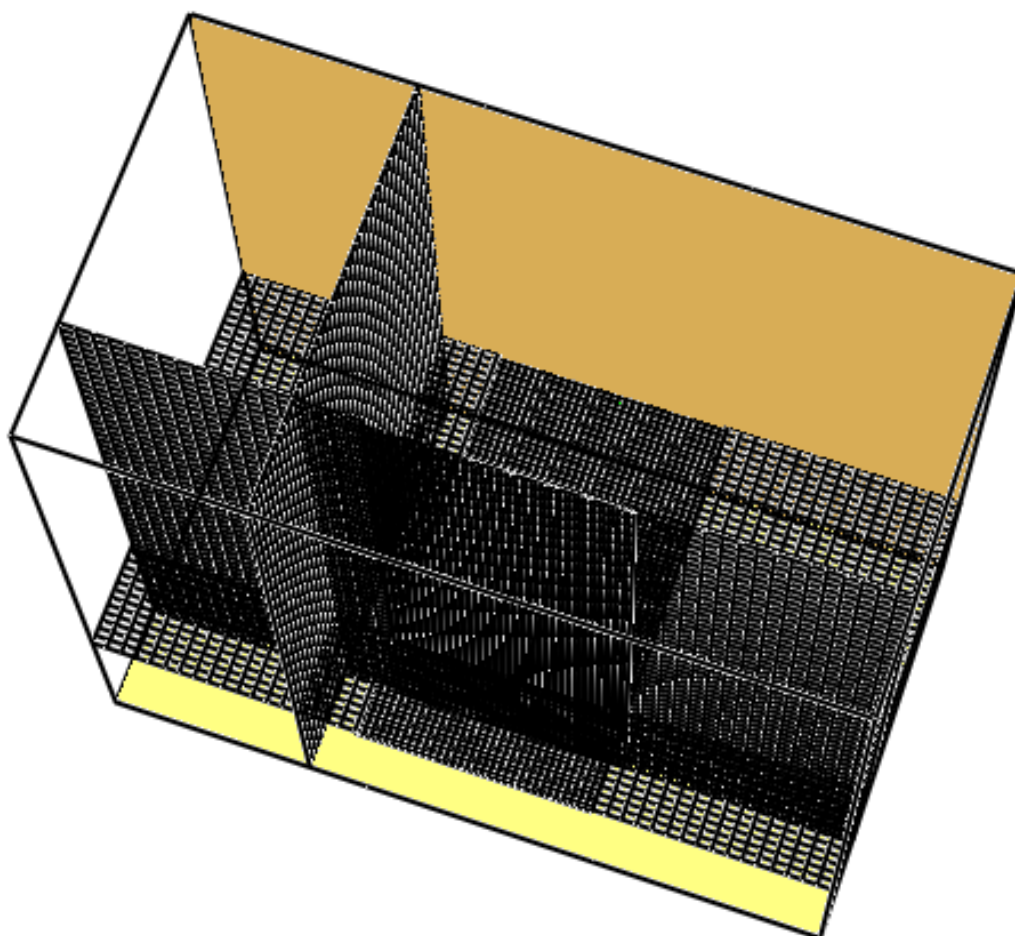
Gridstørrelsen for brannens område er 0,1 m × 0,1 m × 0,1 m. Verdiene brukt til utregning er tatt fra Tabell 7 [27].

$$D^* = \left( \frac{1600 \text{ kW}}{1,2 \cdot 1,005 \cdot 293 \cdot \sqrt{9,81}} \right)^{2/5} = 1,16 \quad (3)$$

$$\frac{D^*}{\delta x} = \frac{1,16}{0,1} = 11,6$$

Resultatet fra beregningen av gridstørrelse viser at dette er en akseptabel dimensjon [15].

## Avfallsdunker i brann



*Figur 15 Grid-inndeling sett skrått ovenfra*

### 4 Resultater

Dette kapitlet presenterer resultatene som er relevante for bacheloroppgaven. Resultatene blir vist med bilder og grafer med beskrivelse.

#### 4.1 Forsøk 1 – overfylt avfallsdunk

Forsøk 1 ble gjennomført med 2,85 kg papp. Avfallsdunken var overfylt og lokket holdt seg oppe på grunn av pappen som vist i Figur 16. Åpningen i framkant var 0,13 meter. Forsøket fant sted i en stålkonstruksjon som skjermer for vind og tillater røyk å samle seg.





Starttemperaturen i rommet lå på ca. 8 °C.







*Figur 16 Forsøk 1 - Overfylt avfallsdunk*

## Avfallsdunker i brann

### 4.1.1 Brannforløp og observasjoner

<p>Pappen i den midterste avfallsdunken antennes. Umiddelbart er det synlig hvit røyk.</p>		
<p>Etter 35 sekunder begynner lokket sakte å sige ned. Røykproduksjonen økes.</p>		
<p>Etter 2 min og 50 sekund har lokket på avfallsdunken lukket seg. Kontinuerlig røykproduksjon.</p>		
<p>12 min og 50 sekund. Antydning til deformasjon på fremsiden av avfallsdunken.</p>		

## Avfallsdunker i brann

<p>14 min. Tydelig deformasjon av avfallsdunken.</p>	
<p>15 min. Gjennombrenning og synlige glimt av flammer</p>	
<p>15 min og 16 sekund. Gjennombrenning flere steder. Synlige flammer</p>	
<p>15 min og 31 sekund. Brannen eskalerer. Brennende plast begynner å dryppe.</p>	

## Avfallsdunker i brann

16 min og 29 sekund. Avfallsdunken siger sammen og lener seg mot dunken ved siden av. Brennende plast fortsetter å dryppe



19 min og 44 sekund.  
Avfallsdunkene ved siden av antenner

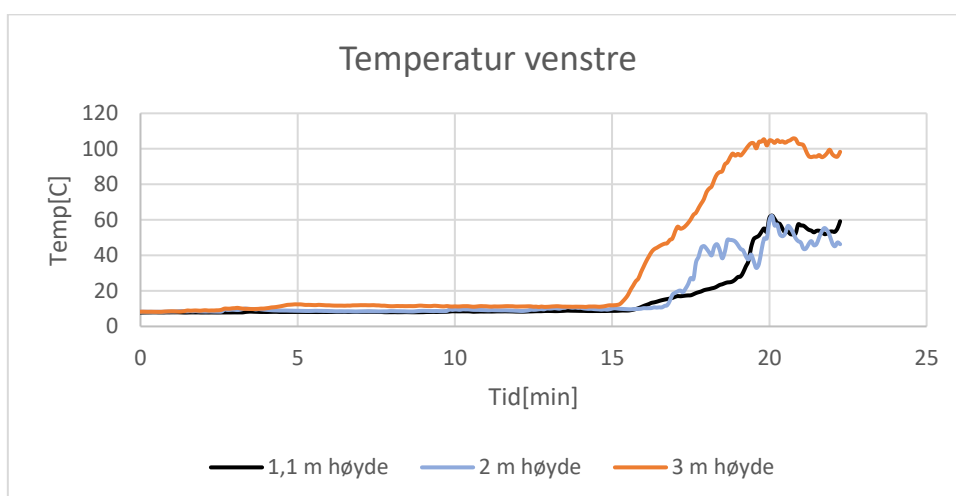
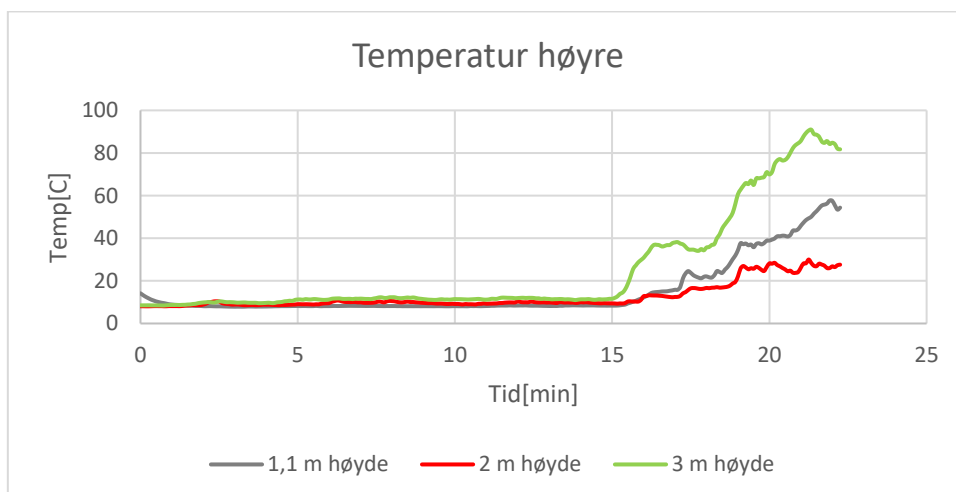
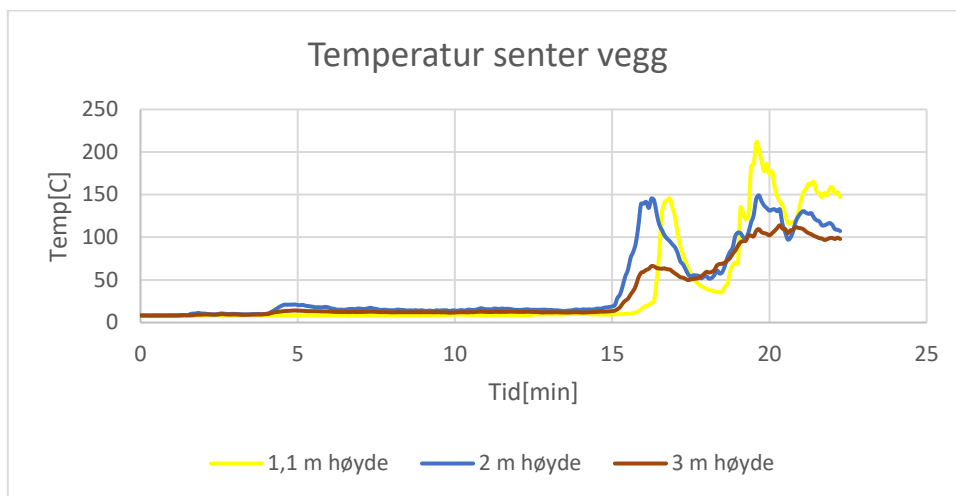


22 min og 12 sekund  
Forsøket avsluttes

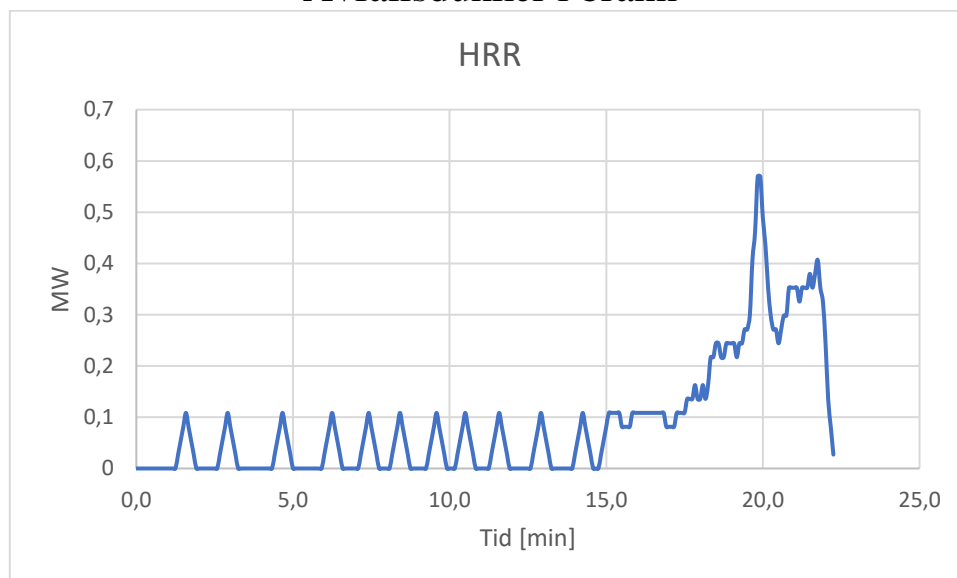


## Avfallsdunker i brann

### 4.1.2 Temperaturer, stråling og branneffekt



## Avfallsdunker i brann



### 4.1.3 Generell kommentar til forsøket

I dette forsøket ble det primært sett på hvordan brannen utvikler seg fra en avfallsdunk til en annen. Temperaturene som er målt samsvarer med observasjonene underveis. Etter 15 minutter, ved gjennombrenning av avfallsdunken, stiger temperaturen markant. Den stiger mer eller mindre jevnt, helt til forsøket avsluttes. Videre tar det cirka 4,5 min fra gjennombrenning, til avfallsdunkene ved siden av antenner. Dette er som følge av direkte flammekontakt samt brennende dråper av plast. Høyeste målte verdier gjennom forsøket er;

Temperatur – 210 °C

Stråling – er ikke tatt med fordi forsøket ble avsluttet før merkverdig stråling ble målt.

Branneffekt – 0,6 MW

Flammehøyde – 1 meter



## Avfallsdunker i brann

### 4.2 Forsøk 2 – åpen avfallsdunk

Forsøk 2 ble gjennomført med 2,65 kg papp og lokket helt åpent som vist i Figur 17. Forsøket fant sted i en stålkonstruksjon som skjermet for vind og tillot røyk å samle seg.




Starttemperaturen i rommet lå på cirka 8 °C.



*Figur 17 Forsøk 2 - Løkk åpent vindstille*

## Avfallsdunker i brann

### 4.2.1 Brannforløp og observasjoner

<p>Pappen i den midterste avfallsdunken antennes.</p>	
<p>8 min og 55 sekund. Synlig deformasjon på fremsiden av avfallsdunken.</p>	
<p>10 min. Gjennombrenning. Store deler av toppen på avfallsdunken har deformasjoner.</p>	
<p>12 min og 42 sekund. Avfallsdunkene ved siden av begynner å antenne.</p>	

## Avfallsdunker i brann

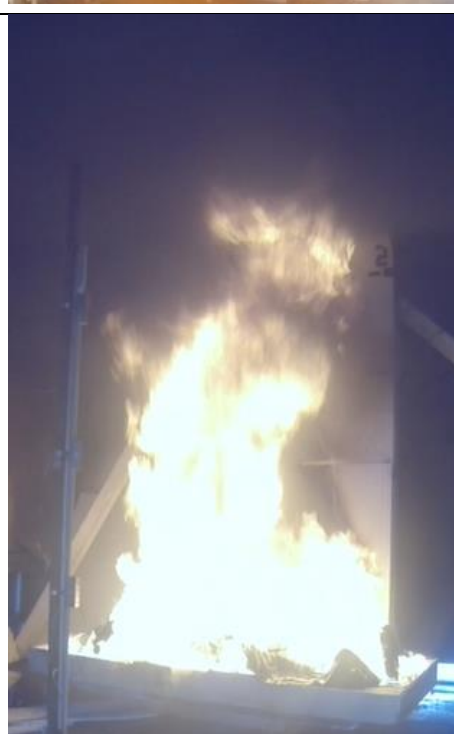
16 min 50 sekund. Avfallsdunkene velter sammen og detter utenfor karet som de står plassert på. De blir så løftet tilbake i karet. Mye sort røyk.



22 min og 36 sekund. Stort sett all plast fra avfallsdunkene har smeltet sammen til en pøl og brenner.

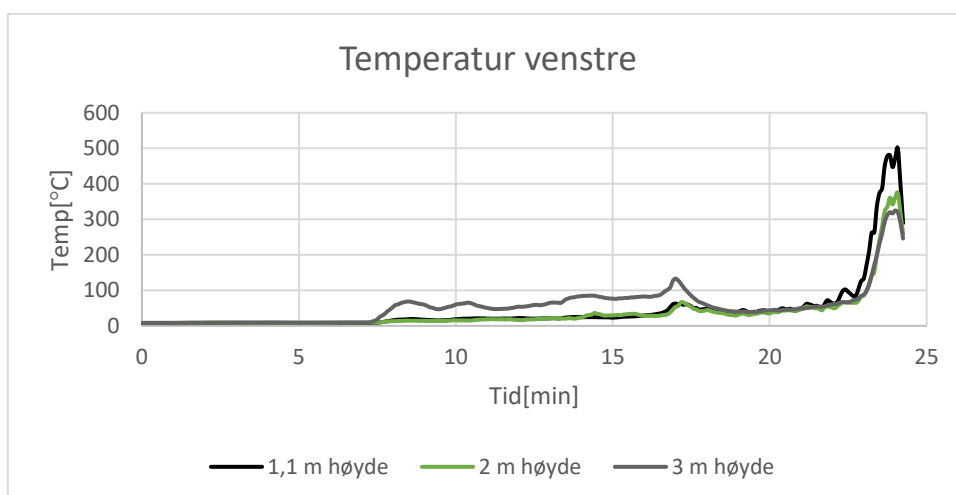
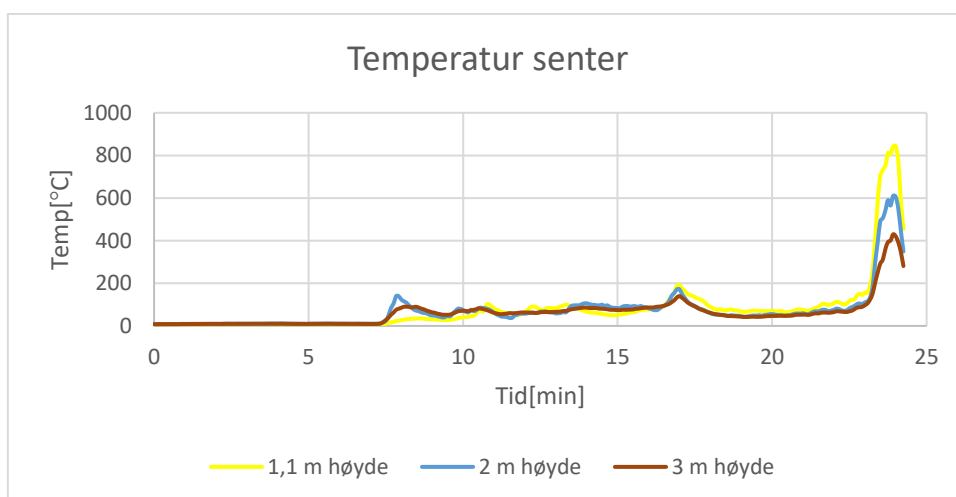
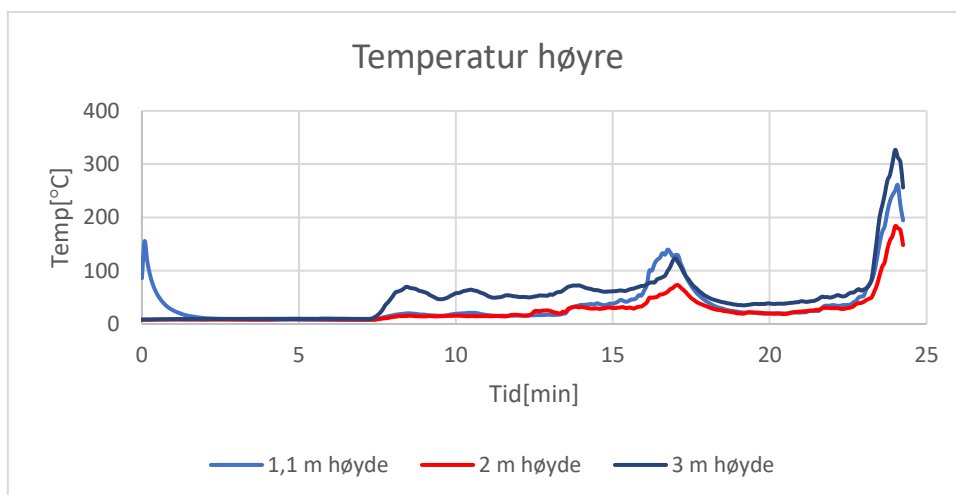


23 min og 35 sek. Konstant flammehøyde på 2,5 meter og tidvis mer. Tykk sort røyk har samlet seg i taket. Det besluttes å avslutte forsøket her for å unngå at veggen brenner ned.

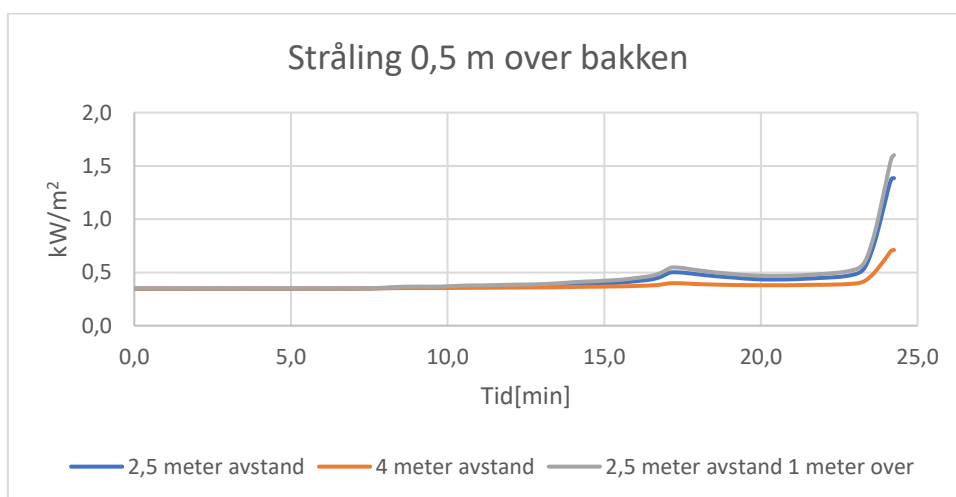
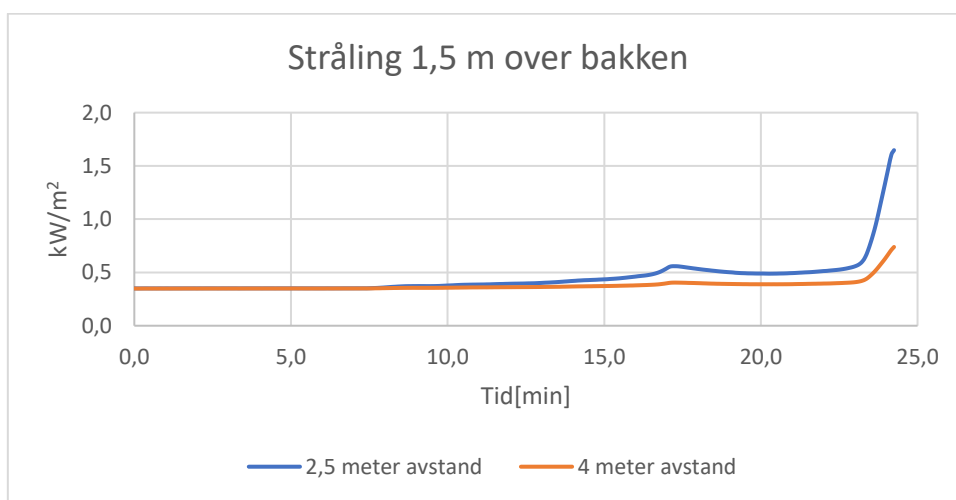
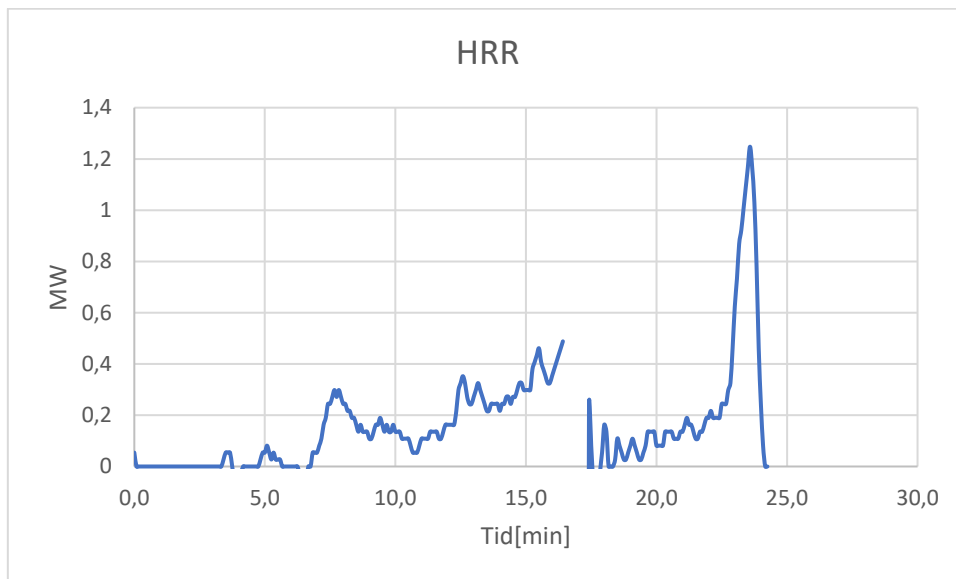


## Avfallsdunker i brann

### 4.2.2 Temperaturer og branneffekt



## Avfallsdunker i brann



## Avfallsdunker i brann

### 4.2.3 Generell kommentar til forsøket

Temperaturer, stråling og branneffekt stemmer overens med observasjoner gjort underveis i forsøket. Etter 8 minutter stiger temperatur og stråling og holder seg relativt jevn. Målingene for branneffekt er kuttet ved det tidspunktet avfallsdunkene veltet utenfor karet for å få en penere kurve i diagrammet. Når all plasten har smeltet etter cirka 22,5 minutter, stiger målingene kraftig. Temperatur, stråling og branneffekt fortsetter å stige helt frem til det besluttes å avslutte forsøket. Flammehøyden var da mellom 2 og 3 meter høy. I tillegg dannet det seg et tykt lag av sort røyk i forsøksrommet. Forsøket ble avsluttet for å bevare sikkerheten og unngå skade på måleinstrumenter og materiell. Høyeste målte verdier for dette forsøket er;

Temperatur – 850 °C

Stråling ved 2,5 meter avstand – 1,6 kW/m<sup>2</sup>

Branneffekt – 1,2 MW

Flammehøyde – 3 meter

## Avfallsdunker i brann

### 4.3 Forsøk 3 – åpen avfallsdunk i det fri






Forsøk 3 ble gjennomført med 3 kg papp og lokket helt åpent. Forsøket fant sted i det fri, vist i Figur 18, hvor vinden på målt til 0,3 m/s med vindkast på 2-3 m/s. Starttemperaturen ute var på ca. 6 °C.



*Figur 18 Forsøk 3 - Lakk åpent i det fri*

## Avfallsdunker i brann

### 4.3.1 Brannforløp og observasjoner

<p>Pappen antennes.</p>	
<p>5 min. Store deformasjoner i toppen av avfallsdunken.</p>	
<p>10 min og 35 sekund. Avfallsdunkene ved siden av har begynt å deformere og antenne.</p>	
<p>13 min og 48 sekund. Avfallsdunkene på sidene velter inn mot midten med litt assistanse.</p>	
<p>16 min og 17 sekund. Avfallsdunkene har mer eller mindre smeltet og ligger i en pøl i karet.</p>	



## Avfallsdunker i brann

16 min og 45 sekund. Brannen vokser og produserer store mengder sort røyk.

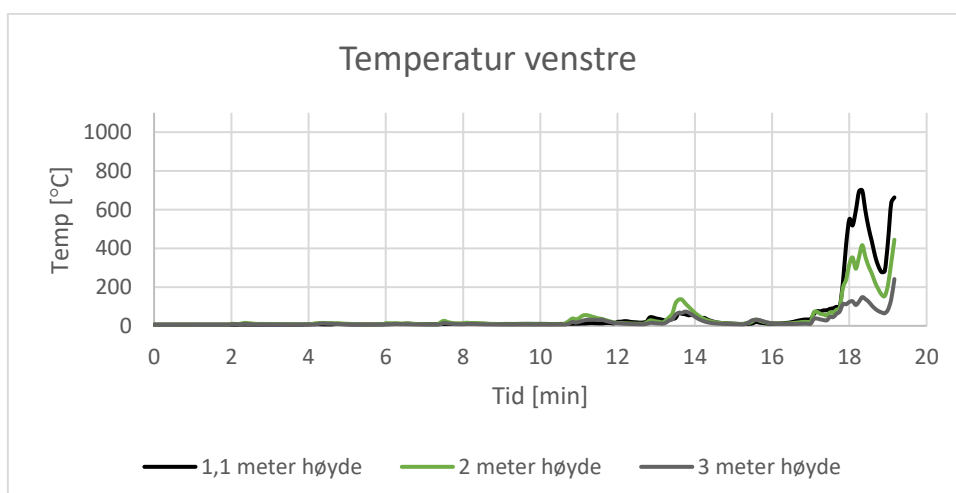
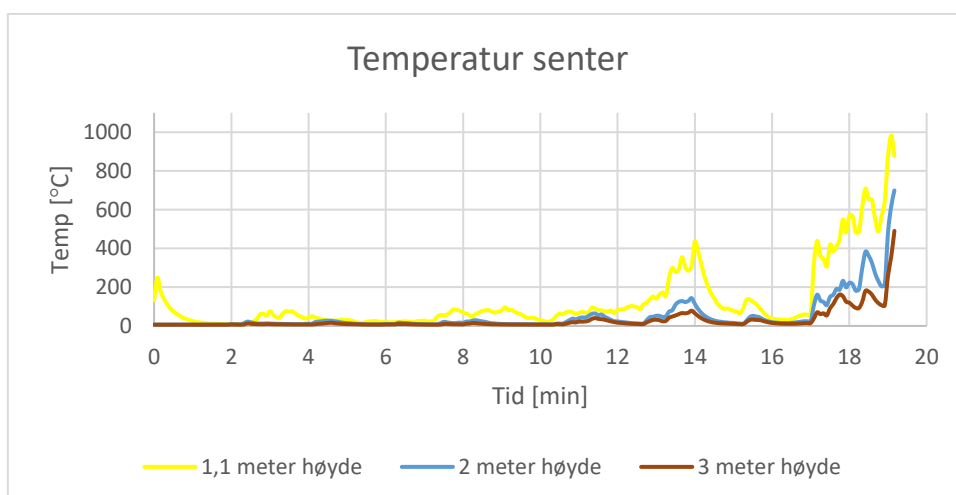
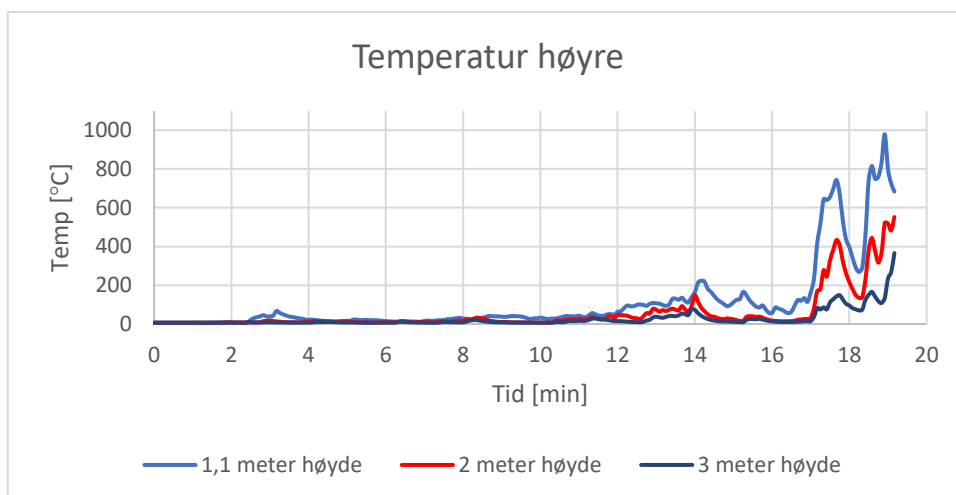


18 min og 10 sekund. Avfallsdunkene består nå av en pøl av smeltet plast. Brannen har antent veggene med måleinstrumenter på. Flammehøyden er på over 3 meter og brannen produserer store mengder sort røyk. Kort tid etter dette bildet., besluttet det å avbryte forsøket for å ivareta sikkerheten.

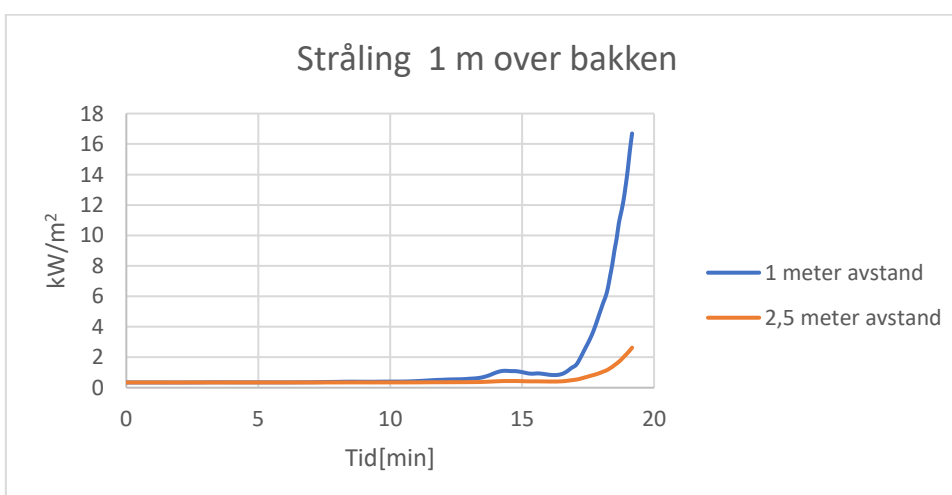
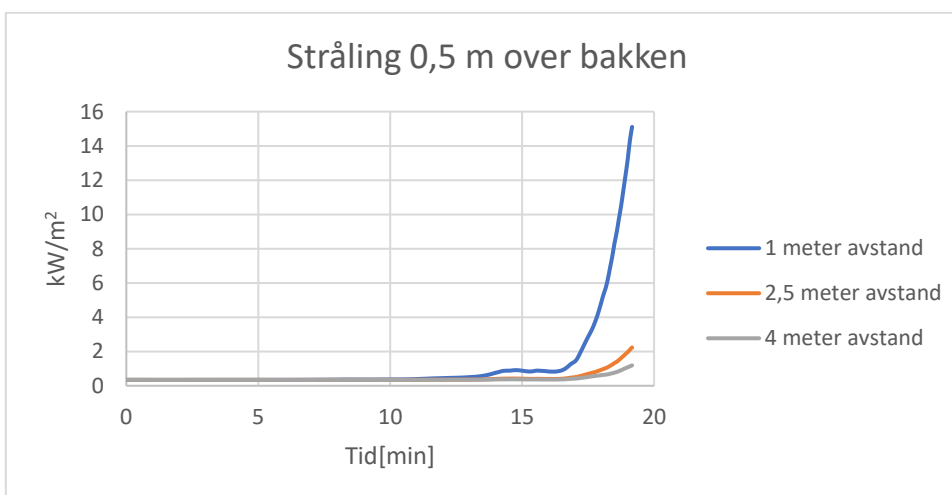
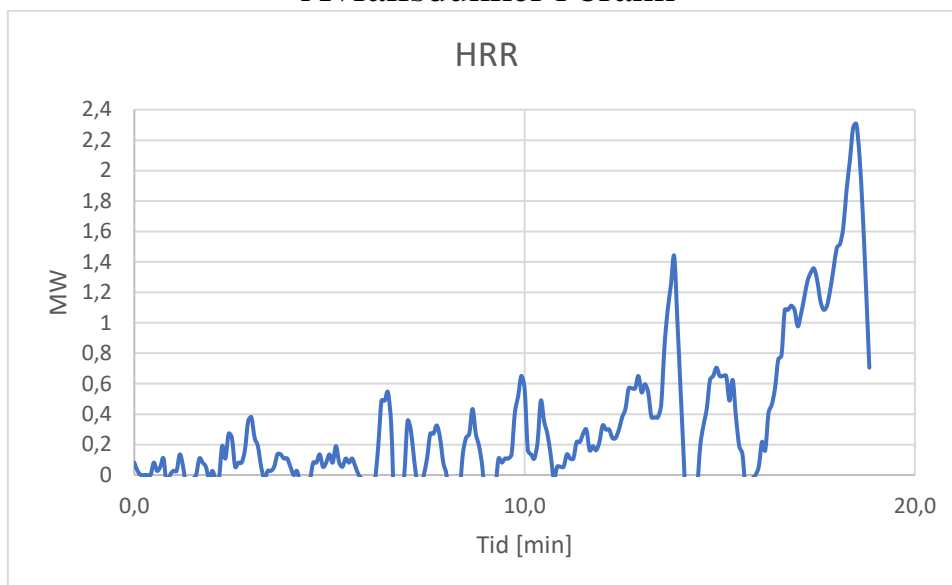


## Avfallsdunker i brann

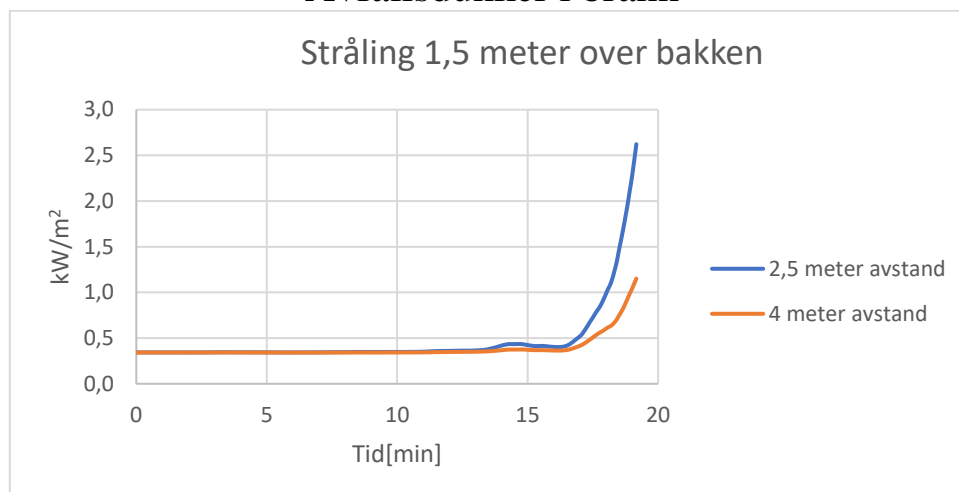
### 4.3.2 Temperaturer og branneffekt



## Avfallsdunker i brann



## Avfallsdunker i brann



### 4.3.3 Generell kommentar til forsøket

Temperatur, stråling og branneffekt stemmer overens med observasjoner gjort under forsøket. Målingene er mer eller mindre jevne frem til all plast har smeltet til en pøl. Herfra vokser brannen enormt, som fører til at temperaturer og stråling stiger. Det besluttes å avslutte forsøket etter cirka 19 minutter for å bevare sikkerheten. På dette tidspunktet var høyeste målte verdier;

Temperatur - 1000 °C

Stråling ved 2,5 meter avstand – 2,6 kW/m<sup>2</sup>

Stråling ved 1 meter avstand - 17 kW/m<sup>2</sup>

Branneffekt – 2,3 MW

Flammehøyde – over 3 meter



## Avfallsdunker i brann

### 4.4 Brannsikker avfallsdunk

Dette kapittelet tar for seg forsøk med avfallsdunk av brannsikker type. Det ble gjort to forsøk med disse avfallsdunkene, hvor det ble testet med overfylt avfallsdunk og med lokket helt åpent. Det er ikke gjort målinger av temperatur, stråling eller branneffekt fordi hensikten med forsøkene er å observere og få et innblikk i hvor effektive slike avfallsdunker er.

#### 4.4.1 Overfylt avfallsdunk

Omgivelsestemperaturen under forsøket var 15 °C med varierende vindstyrke. Det anslås at vindkast hadde en maksimal styrke på cirka 10 m/s.



Forsøket starter.	
2 minutter. Lokket siger jevnt igjen etter hvert som pappen brenner.	
3 minutter. Lokket har lukket seg helt. Deler av lokket har tydelig deformasjon. Røykutvikling reduseres.	

## Avfallsdunker i brann

<p>1 time. Minimalt med røyk og lav temperatur på overflaten av avfallsdunken. Det besluttes å avslutte forsøket.</p>	
---	--

### 4.4.2 Lokket helt åpent

Temperaturen under forsøket var 15 °C med varierende vindstyrke. Det anslås at vindkast hadde en maksimal styrke på cirka 10 m/s.

<p>Forsøket starter. 7 minutter og 30 sekund. Plasten helt øverst har smeltet og tatt fyr. Det drypper brennende plast nedover.</p>	
<p>13 minutter. Store deler av fremsiden har smeltet og brenner rolig. Deformasjoner på sidene.</p>	

## Avfallsdunker i brann

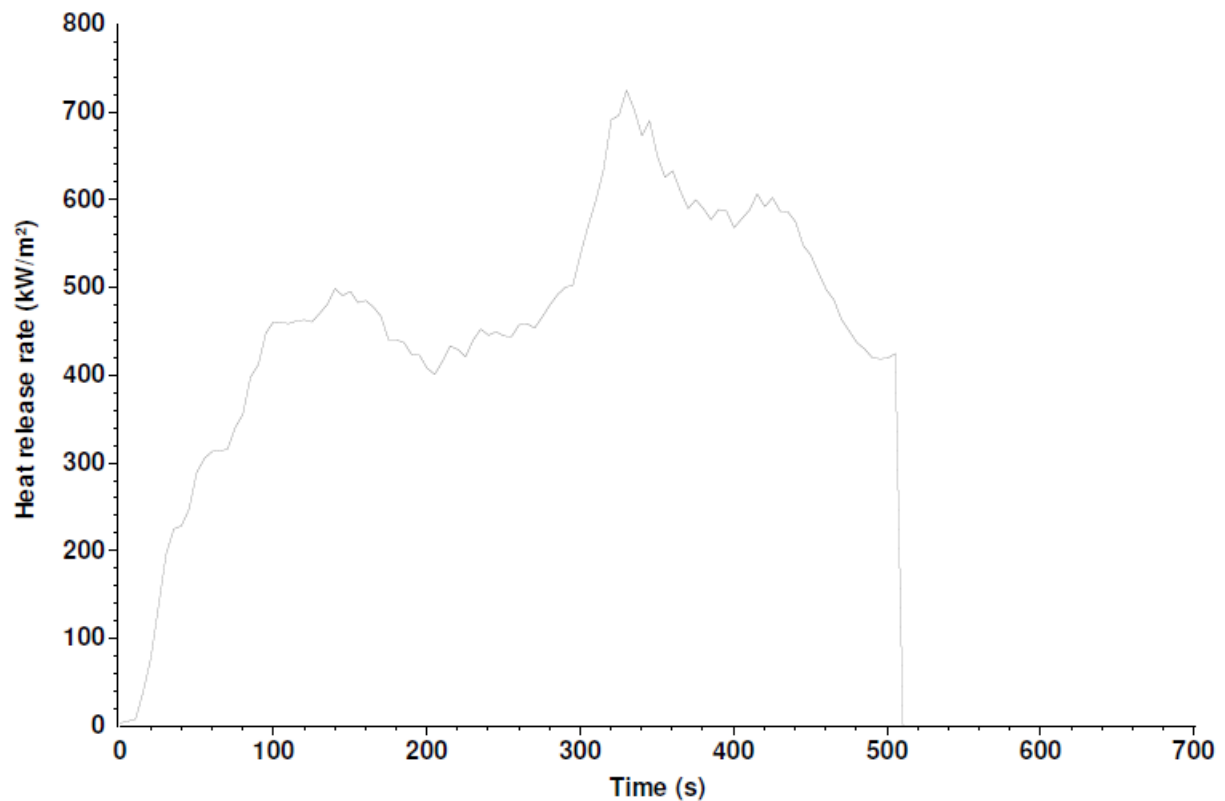
21 min og 30 sekund. Brannen dør ut av seg selv. Så å si alt av papp er brent opp. Avfallsdunker velter til slutt på grunn av vind, dermed avsluttes forsøket.



## 4.5 Cone Calorimeter

Dette forsøket ble gjennomført med en ekstern stråling på  $50 \text{ kW/m}^2$ . Figur 19 og Figur 20 viser resultatene.

### 4.5.1 Graf- og tabellutskrift



Figur 19 Branneffekt Cone Calorimeter



## Avfallsdunker i brann

### Specimen information

E	13.1 MJ/kg	Specimen number	1	Conditioned?	Yes
Thickness	9 mm	Nominal duct flow rate	24 l/s	Temperature	23°C
Initial mass	76.8 g	Edge frame used?	Yes	RH	50%
Surface area	100 cm <sup>2</sup>	Grid used?	No		
Heat flux	50 kW/m <sup>2</sup>	Fixed to substrate?	Yes		
Separation	25 mm	Substrate	Monolite M1		
Orientation	Horizontal	Manufacturer			
		Sponsor			

Test		Pre-test conditions		Test times	
Standard used	ISO 5660-1	Ambient temperature	N/A	Time to ignition	24 s
Date of test	10/04/2019	Ambient pressure	N/A	Time to flameout	622 s
Time of test	11:37	Relative humidity	N/A	End of test criterion	ISO 5660-1:2002
Date of report	10/04/2019			End of test time	535 s
				(for calculations)	
Apparatus specifications		Initial conditions		Heat Release Results	
C-factor	0.04238	Baseline oxygen	20.950%	THR (0-300)	115.97 MJ/m <sup>2</sup>
Duct diameter	0.114 m	Baseline carbon dioxide	0.0174%	THR (0-600)	234.17 MJ/m <sup>2</sup>
O <sub>2</sub> delay time	18 s	Mass at sustained flaming	76.8 g	THR (0-1200)	-
CO <sub>2</sub> delay time	11 s			Fuel load	30.43 MJ/kg
CO delay time	12 s				
OD corr. factor	0.3811				

### Test results (between 24 and 535 s)

		Mean	Peak	at time (s)	
Total heat release	233.7 MJ/m <sup>2</sup>	Heat release rate (kW/m <sup>2</sup> )	457.22	725.09	330
Total oxygen consumed	145.5 g	Effective heat of comb. (MJ/kg)	29.35	59.70	35
Mass lost	79.5 g	Mass loss rate (g/s)	0.156	3.297	505
Average specific MLR	16.74 g/(s·m <sup>2</sup> )	Specific extinction area (m <sup>2</sup> /kg)	19.13	1475.00	100
Total smoke release	227.2 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	Carbon monoxide yield (kg/kg)	0.0143	0.0334	485
Total smoke production	2.3 m <sup>2</sup>	Carbon dioxide yield (kg/kg)	1.83	3.28	350
MAHRE	463.9 kW/m <sup>2</sup>				

Figur 20 Øvrige resultater Cone Calorimeter [Fire Testing Technology ConeCalc software]

### 4.5.2 Beregning og estimat

Ved å bruke formelen for omgjøring fra kapittel 2.5.2, kan følgende estimat gjøres på bakgrunn av resultater fra Cone Calorimeter;

#### Maks branneffekt

$$\frac{0,01}{0,0768} \text{ m}^2/\text{kg} \times 725 \text{ kW}/\text{m}^2 = 94 \text{ kW}/\text{kg} \rightarrow 94 \text{ kW}/\text{kg} \times 33 \text{ kg} \approx 3100 \text{ kW} \approx 3 \text{ MW}$$

Ved å studere grafen, er det tydelig at branneffekten ligger relativt jevnt på 450 – 500 kW/m<sup>2</sup> over lang tid. Det er derfor hensiktsmessig å beregne en middelvei for branneffekten.

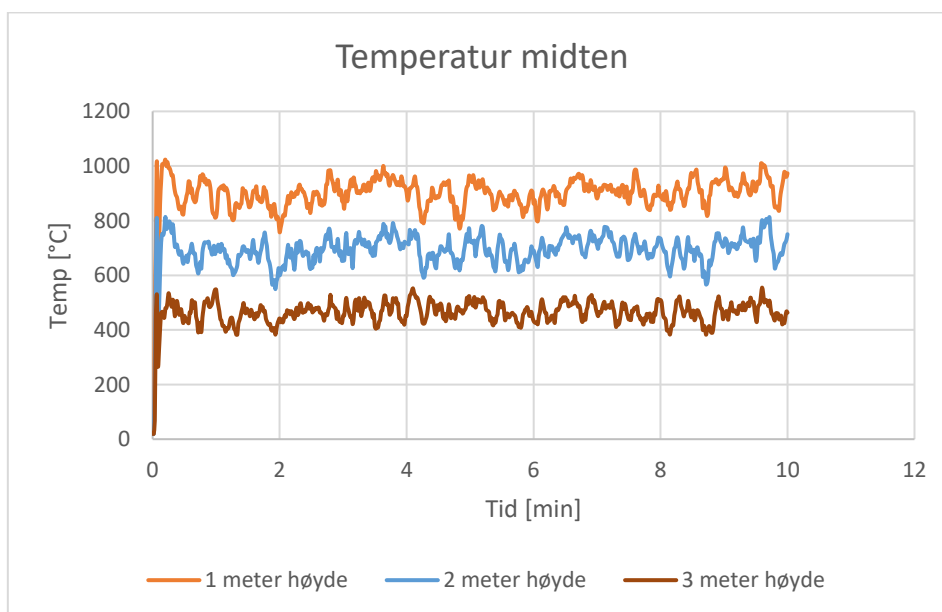
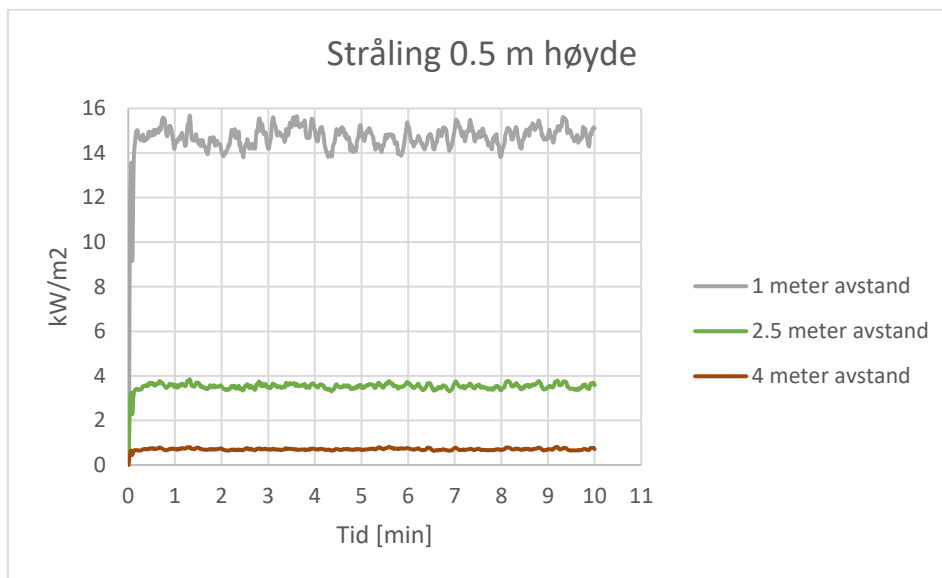
#### Middelvei branneffekt

$$\frac{0,01}{0,0768} \text{ m}^2/\text{kg} \times 457 \text{ kW}/\text{m}^2 = 60 \text{ kW}/\text{kg} \rightarrow 60 \text{ kW}/\text{kg} \times 33 \text{ kg} \approx 1980 \text{ kW} \approx 2 \text{ MW}$$

## Avfallsdunker i brann

### 4.6 FDS

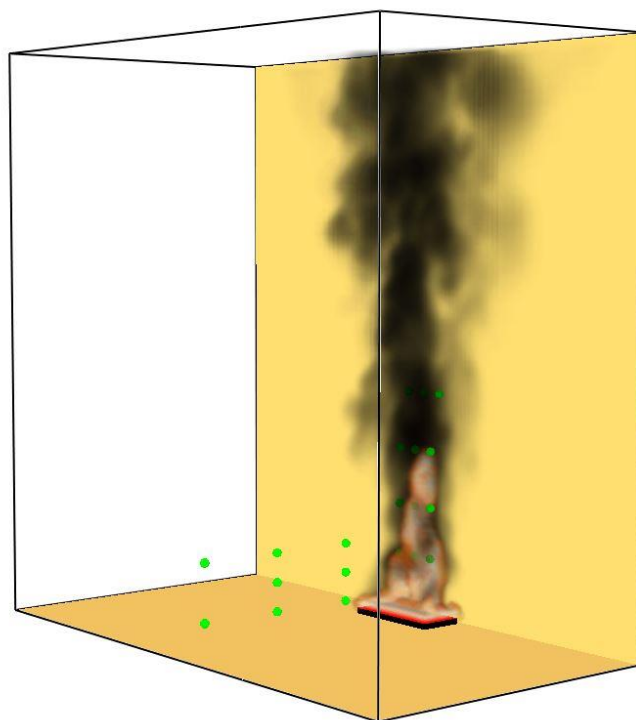
I dette kapittelet fremstilles resultatene fra simuleringen. I Tabell 8 presenteres resultater fra forsøk 3 og simulering slik at det enkelt kan sammenlignes.



## Avfallsdunker i brann

Tabell 8 Maksimalverdier FDS og Forsøk 3

Måleinstrumenter	Sammenligning av maksverdier	
	Forsøk 3	Simulering
	Temperatur [°C]	
T1	979	1107
T2	983	1170
T3	698	1067
T4	521	773
T5	617	1098
T6	416	709
T7	269	456
T8	357	932
T9	148	501
	Stråling [kW/m <sup>2</sup> ]	
PT 1	-]	15,2
PT 2	16,7	16,4
PT 3	15,1	17,1
PT 4	2,6	4,2
PT 5	2,6	5,3
PT 6	2,2	4,3
PT 7	1,2	1,6
PT 8	1,2	1,0



Figur 21 Animasjon fra simulering

#### 4.7 Oppsummering resultater

Tabell 9 viser maksimalverdier innhentet fra forsøkene og FDS.

Tabell 9 Oppsummerte resultater

Forsøk	Branneffekt [MW]	Stråling avstand 2,5 meter [kW/m <sup>2</sup> ]	Stråling avstand 1 meter [kW/m <sup>2</sup> ]	Temperatur [°C]	Flammehøyde [m]
Forsøk 1	0,6	[-]		210	
Forsøk 2	1,2	1,6		850	3
Forsøk 3	2,3	2,6	16,7	1000	Over 3
FDS	1,6	5,3	17,1	1170	3

## 5 Diskusjon

I dette kapittelet diskuteres de ulike scenarioene i forhold til hvordan en brann i avfallsdunk utvikler seg. Det vil også diskuteres rundt oppsettet av forsøkene i forhold til realistiske scenario.

### 5.1 Brannforløp

#### 5.1.1 Standard avfallsdunk

Resultatene fra forsøkene hvor lokket er delvis lukket og helt åpen viser at den største forskjellen befinner seg i brannveksten og tid til smitte. I forsøk 2 vil brannen være brenselstyrt gjennom hele forsøket ettersom brannen starter med at lokket er fullstendig åpnet. I startfasen av forsøk 1 vil brannen veksle mellom å være ventilasjonsstyrt og brenselstyrt. Etter hvert som brannen smelter gjennom plasten vil den få fri tilgang på luft. Dette kan derfor være årsaken til at forsøk 1 bruker lengre tid før det er på samme stadiet som forsøk 2. Som følge av at lokket er fullstendig åpent, vil forsøk 2 i disse tilfellene ha en hurtigere brannvekst og raskere tid til smitte enn forsøk 1.

Fra de tre forsøkene kan det virke som tid til smitte avhenger av flere ting. I forsøk 1 og 2 vil den store forskjellen være om lokket er åpent eller delvis åpent. Dette skyldes at forsøk 1 må bruke tid på å smelte gjennom dunken før det virkelig tar fyr. Hvor stor denne tidsforskjellen er avhenger av hvor på dunken det brenner gjennom. I forsøk 1 hvor brannen brant gjennom på framsiden vil det nok ta lengre tid før det smittes over på andre dunker, enn hva det ville gjort dersom det brant gjennom på siden av dunken. Hvor det brenner gjennom avhenger av flere faktorer og vil derfor være vanskelig å si noe om. Det er dermed sagt ikke umulig å bestemme hvor det skal brenne gjennom først. I forsøkene som ble gjennomført ble avfallet antent i midten av dunken og gjennombrenningsstedet blir derfor litt tilfeldig. Hadde avfallet blitt antent på sidene eller i kantene av dunken ville det mest sannsynlig smeltet gjennom hvor antennelsen fant sted.

Sammenligning mellom forsøk 2 og 3 viser at forsøk 3 har en lengre tid til smitte til andre dunker enn hva tilfelle var i forsøk 2. Årsaken til dette forklares med at forsøk 2 befant seg i vindstille omgivelser som fører til mer stabil varme og flamme. I forsøk 3 hvor det ble målt vindkast på 2-3 m/s var flammen tydelig mer turbulent, noe som gjør at direkte flammekontakt med andre dunker ikke er like vedvarende som i forsøk 2. Sett bort i fra at smitte til andre dunker tar lengre tid i forsøk 3, er brannforløpet betydelig hurtigere. Dette kan også

## Avfallsdunker i brann

begrunnes med turbulens i flammen forårsaket av vind. Økning i turbulens gjør at flammen brytes opp og brennbare gasser slippes raskere ut. Gassene blandes med luft som fører til en hurtigere forbrenning og et raskere brannforløp.

En av farene ved brann i avfallsdunker er at plasten smelter og dunken faller sammen ettersom brannen utvikler seg. Hvilken vei de faller avhenger av vindforhold og hvor de først brenner igjennom. Observasjoner gjort gjennom testforsøk (se vedlegg 1) og forsøkene viser at avfallsdunkene ofte knekker sammen på den siden hvor det først brenner gjennom. De vil i noen tilfeller vri seg under fallet og endre litt retning. Som følge av at dunkene velter underveis i brannforløpet vil areal av brannen variere fra scenario til scenario. Dette vil ha innvirkning på flammehøyden og brannens energiproduksjon. Faremomenter ved at avfallsdunkene velter er som nevnt at brannens areal blir større. Det vil også være en fare dersom dunkene velter mot andre objekter som for eksempel husvegg eller rekkverk. Dette kan medføre at brannen smitter over på husvegg selv om de plasseres ut ifra veggen.

### 5.1.2 Brannsikker avfallsdunk

Brannforløpet for den brannsikre avfallsdunken var svært rolig. Dersom lokket holdes åpent på grunn av overfylt avfallsdunk, vil lokket lukkes etterhvert som avfallet brenner. Ettersom avfallsdunken er ikledd aluminium på innsiden, er det liten sjanse for at plasten antennes før lokket lukkes og kveler brannen. Dersom plasten skulle antennes er det ikke utenkelig at brannforløpet vil være likt som ved brann i brannsikker avfallsdunk med lokket helt åpent.

Ved lokket helt åpent vil avfallet brenne fritt og varme opp hele avfallsdunken. Plasten på utsiden vil få tydelige deformasjoner og smelte. Dersom flammene fra avfallet er høye nok til å slikke ut av avfallsdunken, vil plasten i toppen av dunken antenne. Dette skjer i overgangen mellom plasten og aluminiumen. Videre beveger brannen seg litt tilfeldig i forhold til vind og hvor brennende plast drypper. Det antas at brannen ikke utvikler seg noe mer på grunn av at mindre deler av plast smelter enn ved standard avfallsdunk.

## 5.2 Energiproduksjon og stråling

Det er ikke mulig å sammenligne stråling fra alle forsøkene fra 1 meter ettersom platetermometerne ikke fungerte i forsøk 1 og 2.

### 5.2.1 Sammenligning av resultater

Ved å sammenligne resultatene fra fullskala forsøk med resultat fra Cone Calorimeter, kan det se ut som at brannen i fullskala forsøk ikke er fullstendig utviklet. Fordi forsøkene oppnådde en maks branneffekt på 2,3 MW når det var estimert 3 MW, er det også naturlig å anta at temperatur og stråling vil nå noe høyere verdier.

## 5.3 Vindpåvirking

Påvirkning fra vind kan være både positivt og negativt. Tidlig i brannforløpet kan det se ut som at vinden i beste fall kan slukke brannen, men dette er ved sterke vindkast. Så snart brannen har fått et fotfeste, ser det ut som at vinden er med på å eskalere brannen. Vinden bidrar til å tilføre oksygen og transportere vekk røyk. Retningen på flammen styres også i stor grad av hvilken veg vinden blåser. Ved den rette retningen er vinden med på å øke brannveksten og gjør faren for smitte større.

## 5.4 Takoverbygg

Avfallsdunker som brenner produserer store mengder røyk. Dersom avfallsdunker plasseres under takoverbygg, er det stor sjanse for at røyken samler seg og bidrar til forvarming av materialer. Ved å undersøke resultatene fra forsøk 2 og 3, observeres det at temperaturene over flammehøyde er høyere og jevn i forsøk 2, mens i forsøk 3 er den mer varierende. Dette kan gi en indikasjon på at ved dannelse av røyklag, vil temperaturen her være jevn og høy. Ved fri høyde vil temperaturen over flammehøyde variere i forhold til hvor flammen befinner seg. Typisk høyde for takoverbygg ligger på 2,5 eller 5 meter. Med tanke på flammehøyden, som ble observert på mellom 2 og 3 meter, kan det ha stor betydning om det er takoverbygg eller ikke.

## 5.5 Fds

Simuleringen gjort i dette prosjekt viser en klar sammenheng fra de forsøkene som er gjort. Oppsettet og parametrene er satt slik at det skal ha det samme utgangspunktet som forsøk 3. Dette betyr at de resultater generert fra simuleringen kan sammenlignes med det reelle

## Avfallsdunker i brann

forsøket og programmet kan brukes i videre forskning. Fullskala forsøk kreve mye tid, planlegging, materiell og er kostbart å gjennomføre. Med dette programmet er det mulig å gjennomføre et mangfold av ønsket scenarioer raskere og med lavere kostnad. I videre forskning kan programmet forbedres til å blant annet undersøke forhold som:

- Ulik vindstyrke og retning
- Flere avfallsdunker i lag, ved å øke branneffekten
- Målinger fra forskjellige avstander og vinkler
- Avfallsdunker under takutstikk

Disse scenarioene er ikke gjennomført i dette studiet grunnet tidsbegrensing. Tiden det tar å gjennomføre en simulering avhenger av hvor mange gridcelle programmet består av. Se kapittel 3.6.3 for nærmere beskrivelse av gridceller.

## 5.6 Oppsett/feilkilder

### 5.6.1 Standard avfallsdunk

Oppsettet for forsøkene har tatt utgangspunkt i temaveilederen [2] til Norsk Brannvernforening med tanke på avstander til måleinstrumenter for stråling.

For å kunne montere termometer på en hensiktsmessig måte ble veggen bygget i en størrelse som var stor nok i forhold til plassering av termometrene. Ettersom veggen tok fyr før forsøk 2 og 3 var fullstendig gjennomført, burde derfor denne veggen vært bygget mer brannsikker. På bakgrunn av dette er det sannsynlig at maksverdier for temperatur, stråling og branneffekt ikke er nådd ved forsøk 2 og 3.

Når det gjelder forsøkens plassering, var det noen begrensninger. For å kunne etterligne avfallsdunker plassert under takoverbygg, var forsøk 1 og 2 nødt til å plasseres inne i en stålkonstruksjon. Dette gjorde at store mengder røyk samlet seg og dannet et røyklag inne i konstruksjonen. Det er derfor sannsynlig at røyklaget kan ha bidratt i brannutviklingen for disse forsøkene.

Resultatet fra energiproduksjonen i forsøk 3 viser store svingninger og til tider negative resultater. En mulig forklaring til dette kan være oppbygningen av oppsettet. I forsøk 2 hvor det er vindstille er kurven for energiproduksjon jevn og stadig økende. Forklaringen til feilmålinger i forsøk 3 kan dermed begrunnes med vindforholdene som var til stede.



## Avfallsdunker i brann

Massetapsraten som brukes til å regne ut energiproduksjonen måles av vekten. Vekten er plassert under kassen og har et mye mindre areal enn denne. Undersiden av kassen har derfor et stort areal som «henger» i det fri. Når oppsettet ble utsatt for vindkast kan kassen blitt «løftet» slik at vekten synker for å så øke når kassen «lander» igjen. Dette vil medføre negativ massetapsrate og dermed en negativ energiproduksjon.

### 5.6.2 Brannsikker avfallsdunk

Ettersom forsøkene med brannsikker avfallsdunk ble gjennomført uten å utføre målinger av temperatur, stråling og branneffekt, er det få feilkilder å ta i betraktning. Forsøkene ble gjennomført med samme utgangspunkt som ved standard avfallsdunk med tanke på mengde avfall og posisjon på lokket. Utetemperaturen og vindforholdene var noe forskjellig, men det vil det være i virkeligheten også. I forsøket hvor avfallsdunken var helt åpen, er det ikke utenkelig at det var vinden som gjorde at brannen slukket.

### 5.6.3 Videre arbeid

Oppgaven har gitt et bedre innblikk i hvordan brannscenarioet i avfallsdunker er, og farene ved dette. Forsøkene som er gjennomført har forhåndsbestemte variabler som i virkeligheten kan være forskjellig. Det er derfor mulig å gjennomføre flere forsøk med andre forhåndsbestemte variabler som type avfall, antall avfallsdunker og forskjellige nærliggende konstruksjoner. Det er også nyttig å analysere statistikk over branner som har oppstått i avfallsdunker i de landsdelene for tiltak er satt inn. På grunn av at det er tidkrevende og kostbart å gjennomføre fullskala forsøk, er det også hensiktsmessig å videreutvikle FDS programmet slik at flere scenario kan utprøves.

## 6 Konklusjon

Hensikten med oppgaven var å undersøke brannfaren ved plassering av avfallsdunker. Basert på forsøkene som er utført, får man et innblikk i hvordan slike branner kan utvikle seg. Ved å måle temperaturer og stråling under forsøkene, kan teoridelen brukes til å vurdere faren ved slike branner.

Forsøkene viser at dersom det oppstår brann i avfallsdunker, er det likheter i brannforløpet uavhengig av om lokket er delvis lukket eller helt åpent, samt om det er vind eller ikke. Kjennetegnene er at brannen er relativt rolig helt frem til all plast har smeltet, for å så eskalere til kritisk størrelse. Likevel har vindretning og lokkets posisjon noe å si for hvor raskt brannen utvikler seg. Vindretningen kan også bøye flammene mot enten bygninger eller avfallsdunker slik at det blir direkte flammekontakt. Avfallet som er i dunken spiller også en rolle. Papp, som ble brukt i forsøkene, avgir mye røyk under forbrenning. Dette kan øke sjansen for oppdagelse av brann tidlig. Det er også lett å eliminere spredningsfaren ved bruk av vann som slukkemiddel tidlig i brannforløpet.

Dersom brannforløpet kommer så langt at all plast har smeltet, er sannsynligheten for spredning til bygninger uten tvil tilstedeværende. Temperatur og stråling overgår kritiske verdier for antennelse av treverk i tillegg til flammehøyde som strekker seg opp mot 3 meter. Det viser seg at anbefalte avstander fra temaveilederen til Norsk Brannvernforening er et godt utgangspunkt for sikker plassering av avfallsdunker. Ved avstander over 2,5 meter er maks strålingsverdi målt til  $2,6 \text{ kW/m}^2$ , dette er godt under den kritiske strålingsverdien for treverk på  $12 \text{ kW/m}^2$ . Temperaturer over avfallsdunkene når derimot svært høye verdier opp mot  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ . Avfallsdunker bør derfor aldri plasseres under takoverbygg.

Resultatene fra simuleringen viser en klar sammenheng mellom forsøk gjort med tre avfallsdunker i det fri. Stråling og temperaturmålinger følger det samme mønsteret som i forsøket, ved at de synker betraktelig med avstand. Verdiene samsvarer også godt og viser at simuleringen kan brukes til videre forskning på brann i avfallsdunker.

I sentrumsområder kan avstandene i temaveilederen være vanskelig å gjennomføre. Da er brannsikre avfallsdunker av typen som er testet et godt alternativ. Selv om disse kan ta fyr når lokket står åpent, er brannforløpet betydelig roligere enn ved standard avfallsdunk. Ved riktig bruk av disse avfallsdunkene, altså med lokket igjen og låst, er brannfaren nærmest ikke eksisterende.

## Avfallsdunker i brann

Til slutt anbefales det et lovverk i Byggteknisk Forskrift for brannsikker plassering av avfallsdunker. I tillegg vil det være fornuftig å opplyse allmennheten om faren ved plassering av avfallsdunker.

## 7 Referanser

- [1] DSB, «Brannstatistikk 2018,» DSB, 2018.
- [2] Norsk brannverforening, *Plassering av containere og avfallsbeholdere*, Oslo: Norsk brannvernforening, 2010.
- [3] A. Brathole, «Brann i avfallsdunker,» Høgskulen på Vestlandet, Haugesund, 2018.
- [4] B. Grimen, «Søppelcontainer fullstendig utbrent,» NRK, 21 Mai 2009. [Internett]. Available: <https://www.nrk.no/rogaland/soppelcontainer-fullstendig-utbrent-1.6619580>. [Funnet 06 Mai 2019].
- [5] NRK, «Brann i søppeldunk,» NRK, 21 Februar 2019. [Internett]. Available: <https://www.nrk.no/rogaland/brann-i-soppeldunk-1.14441398>. [Funnet 06 Mai 2019].
- [6] NRK, «Brann i søppledunk,» NRK, 29 Juli 2018. [Internett]. Available: <https://www.nrk.no/rogaland/brann-i-soppeldunk-1.14144654>. [Funnet 06 Mai 2019].
- [7] T. E. Rønningen og R.-M. Hansen, «Hvor bør søppeldunken din stå?,» Tønsbergs Blad, 09 Oktober 2012. [Internett]. Available: <https://www.tb.no/tonsberg/nyheter/hvor-bor-soppeldunken-din-sta/s/2-2.516-1.7576448?service=print>. [Funnet 06 Mai 2019].
- [8] F. Nilsen, «Brannsikker avfallshåndtering,» Sparebank 1, <https://www.skafor.org/contentassets/ad24e0ce05ba40d4808cfa8e7ab1f668/flytt-en-dunk---fred-nilsen-sparebank-1-skadeforsikring.pdf>, 2008.
- [9] Norsk Brannvernforening; DSB; FNO, *Sikker plassering av avfallsbeholdere*, FG Skadeteknikk, 2015.
- [10] Stavanger kommune, «Renovasjon og miljø,» 2 April 2019. [Internett]. Available: <https://www.stavanger.kommune.no/renovasjon-og-miljo/avfallsbeholdere/#brannsikre-spenn>. [Funnet 8 April 2019].

## Avfallsdunker i brann

- [11] V. Babrauskas, «Chapter 7. Ignition of common solids,» i *Ignition Handbook*, Issaquah, USA, Fire Science Publishers, 2003, pp. 237-238.
- [12] B. C. Hagen, «Kapittel 13 Antennelse,» i *Grunnleggende brannteknikk*, Haugesund, 2018, p. 198.
- [13] B. C. Hagen, «Kapittel 4 Brann- og varmetransport,» i *Grunnleggende brannteknikk*, Haugesund, 2018.
- [14] J. G. Q. Bjørn Karlsson, «Energy Release Rates,» i *Enclosure Fire Dynamics*, 2000, pp. 28-32.
- [15] K. McGrattan, S. Hostikka, R. McDermott, J. Floyd og M. Vanella, 04 Februar 2019. [Internett]. Available: <https://pages.nist.gov/fds-smv/manuals.html>. [Funnet 29 April 2019].
- [16] B. Karlsson og J. G. Quintiere, «Chapter 1 s. 3,» i *Enclosure Fire Dynamics*, CRC, 2000.
- [17] D. Drysdale, «Fire science and combustion - third edition,» i *An intriduction to fire dynamics*, Chichester, Wiley, 2011, p. 4.
- [18] «Om Bølgepapp,» 29 Mars 2019. [Internett]. Available: <https://www.resy.no/index.php/om-bolgepapp>.
- [19] «Avfallsregnskapet,» 24 Mai 2018. [Internett]. Available: <https://www.ssb.no/avfregno>.
- [20] J. Sandstad, «Termoelement,» 13 April 2009. [Internett]. Available: <https://snl.no/termoelement>.
- [21] U. Wickström, «PTHFM - PT Heat Flux Meter for measuring radiant heat flux,» 2016.
- [22] «Resq.no,» [Internett]. Available: <https://www.resq.no/om-resq>. [Funnet 06 Mai 2019].
- [23] «Impex.no,» [Internett]. Available: <https://www.impex.no/produkt/vekt/kern-ifb-plattformvekt/>. [Funnet 27 04 2019].

## Avfallsdunker i brann

- [24] «tsi.com,» September 1998. [Internett]. Available:  
<https://www.tsi.com/getmedia/dc70bacb-7d2c-40f3-9e78-691f76b62640/1980253C-Model-8360-8382-8383-8388-Mnl?ext=.pdf>. [Funnet 30 April 2019].
- [25] RS online, «RS Componets,» [Internett]. Available: [https://no.rs-online.com/web/p/products/8105027/?grossPrice=Y&cm\\_mmc=NO-PPC-DS3A--google--3\\_NO\\_NO\\_Data+Acquisition\\_Keysight+Technologies\\_BMM--Keysight+Technologies+-+Data+Acquisition+-+8105027--%2B34970a&matchtype=b&kwd-307764431225&gclid=CjwKCAjwhbHl](https://no.rs-online.com/web/p/products/8105027/?grossPrice=Y&cm_mmc=NO-PPC-DS3A--google--3_NO_NO_Data+Acquisition_Keysight+Technologies_BMM--Keysight+Technologies+-+Data+Acquisition+-+8105027--%2B34970a&matchtype=b&kwd-307764431225&gclid=CjwKCAjwhbHl). [Funnet 04 April 2019].
- [26] A. Robbins og C. Wade, «Soot Yield Values for Moddeing Purposes- Residential Occupancies, BRANZ study report 185,» BRANZ, Porirua, New Zealand, 2008.
- [27] B. C. Hagen, «Kap 3.4 s.41 og Kap 10.3 s.162,» i *Grunnleggende Brannteknikk*, Haugesund, 2018.

## 8 Vedlegg

### 8.1 Vedlegg 1 Testforsøk

Førsøkene ble gjennomført 07.03.19 like utenfor Hall of Flames, ResQ.

#### Test 1

Testoppsett:

- 1 kg papp lagt luftig i avfallsdunken
- 2 stk tennbriketter som antennelse
- Lokket lukket 10 sek etter at brikettene var antent

Med 1 kg lufting lagt var avfallsdunken nesten full. Etter en time var det ingen tegn til liv i dunken og lokket ble dermed åpnet og dunken undersøkt. Brikettene hadde brent opp og litt av pappen hadde tatt fyr, men sluknet ettersom tilgangen på luft ikke var tilstede. Det ble satt fyr på pappen igjen, nå med lokket åpent. Fra antennelse på pappen til dunken falt sammen tok det ca 4 og ½ min.

#### Test 2

Testoppsett:

- 2 kg papp, kompakt lagt
- 8 stk tennbriketter
- Lokket lukket 2 min etter antennelse av briketter

I dette forsøke var avstanden fra pappen og opp til lokket større enn fra test 1. Det betyr mer tilgjengelig luft til brannen. Selv om dette var tilfelle skjedde det svært lite og forøket ble stoppet etter 45 min. Under lokket var pappen lite berørt av brannen i tennbrikettene. Nærmere undersøkelse av avfallet viste at brannen hadde gått over til ulming og til slutt sluknet helt.

#### Test 3

Testoppsett:

- 1 kg, kompakt lagt
- 8 briketter
- Lokket lukket etter 30 sek etter antennelse av briketter

## Avfallsdunker i brann

Etter 15 min var det ingen tegn til varme i dunken og lokket ble åpnet for å se tilstanden til avfallet. Avfallet hadde ikke antent og briketten hadde sluknet.



Det ble så besluttet å antenne på nytt og la avfall ta ordentlig fyr før lokket ble lukket.



18 min etter at lokket ble lukket var det antydning til deformasjon på framsiden. Denne deformasjonen fortsatte nedover ettersom pappen brente ned. Den ble aldri varmt nok til at det smeltet gjennom. Etter 40 min var ny deformasjon å observere på siden av dunken, men med samme utfallet som den tidligere deformasjonen.



## Avfallsdunker i brann



Lokket ble så åpnet på gløtt etter 60 min for å tilføre luft. Når lokket da ble lukket igjen gikk det kort tid til det smeltet igjennom i bunn. Brannen var nå brenselstyrkt og brannen hadde nå en hurtigere vekst. 2 min etter gjennombrenning falt dunken sammen. Ettersom det brant igjennom på baksiden falt dunken bakover.



## 8.2 Vedlegg 2 FDS-fil

Avfallsdunker.fds

28.apr.2019 16:14:48

```
&HEAD CHID='Lastversion', TITLE='Bachelor 2019'/
```

```
&TIME T_END=600/
```

```
&DUMP RENDER_FILE='Lastversion.ge1', DT_BNDF=20.0, DT_DEVC=1.0,  
DT_ISOF=10.0, DT_PL3D=20.0, DT_RESTART=10.0, DT_SLCF=1.0,  
WRITE_XYZ=.TRUE., PLOT3D_QUANTITY='TEMPERATURE','U-VELOCITY','V-  
VELOCITY','W-VELOCITY','VISIBILITY'/
```

```
&MESH ID='Mesh01-a-a', IJK=18,50,50, XB=-5.0,-1.4,-5.0,0.5,0.0,10.0/
```

```
&MESH ID='Mesh01-a-b', IJK=32,100,100, XB=-1.4,1.8,-5.0,0.5,0.0,10.0/
```

```
&MESH ID='Mesh01-b', IJK=16,50,50, XB=1.8,5.0,-5.0,0.5,0.0,10.0/
```

```
&REAC ID='POLYETHYLENE',
```

```
    FUEL='REAC_FUEL',
```

```
    FORMULA='C6H12',
```

```
    SOOT_YIELD=0.03,
```

```
    HEAT_OF_COMBUSTION=4.65E4,
```

```
    IDEAL=.TRUE./
```

## Avfallsdunker i brann

&DEVC ID='PT 1', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=0.0,-1.4,1.5,  
ORIENTATION=0.0,2.0,0.0/

&DEVC ID='PT 2', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=0.0,-1.4,1.0,  
ORIENTATION=0.0,2.0,0.0/

&DEVC ID='PT 3', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=0.0,-1.4,0.5,  
ORIENTATION=0.0,2.0,0.0/

&DEVC ID='PT 4', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=0.0,-2.9,1.5,  
ORIENTATION=0.0,2.0,0.0/

&DEVC ID='PT 5', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=0.0,-2.9,1.0,  
ORIENTATION=0.0,2.0,0.0/

&DEVC ID='PT 6', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=0.0,-2.9,0.5,  
ORIENTATION=0.0,2.0,0.0/

&DEVC ID='PT 7', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=0.0,-4.4,1.5,  
ORIENTATION=0.0,2.0,0.0/

&DEVC ID='PT 8', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=0.0,-4.4,0.5,  
ORIENTATION=0.0,2.0,0.0/

&DEVC ID='T1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,0.2,1.1/

&DEVC ID='T2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.0,0.2,1.1/

&DEVC ID='T3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-0.4,0.2,1.1/

&DEVC ID='T4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,0.2,2.0/

&DEVC ID='T5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.0,0.2,2.0/

&DEVC ID='T6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-0.4,0.2,2.0/

&DEVC ID='T7', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,0.2,3.0/

&DEVC ID='T8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.0,0.2,3.0/

&DEVC ID='T9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-0.4,0.2,3.0/

&DEVC ID='T10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,0.4,4.0/

## Avfallsdunker i brann

&DEVC ID='T11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.0,0.4,4.0/

&DEVC ID='T12', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-0.4,0.4,4.0/

&MATL ID='STEEL',

SPECIFIC\_HEAT=0.46,

CONDUCTIVITY=45.8,

DENSITY=7850.0,

EMISSIVITY=0.5/

&SURF ID='BURNER',

COLOR='BLACK',

MATL\_ID(1,1)='STEEL',

MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)=1.0,

THICKNESS(1)=5.0E-3/

&SURF ID='FIRE1',

COLOR='RED',

HRRPUA=1111.0/

&OBST ID='Fireplint', XB=-0.9,0.9,-0.4,0.4,0.0,0.1, SURF\_ID='BURNER'/

&VENT ID='Opening of exhaust duct back', SURF\_ID='OPEN', XB=-5.0,5.0,-5.0,-  
5.0,0.0,10.0/

&VENT ID='Opening of exhaust duct right', SURF\_ID='OPEN', XB=-5.0,-5.0,-  
5.0,0.5,0.0,10.0/

&VENT ID='Opening of exhaust duct left', SURF\_ID='OPEN', XB=5.0,5.0,-5.0,0.5,0.0,10.0/

## Avfallsdunker i brann

&VENT ID='Opening of exhaust duct top', SURF\_ID='OPEN', XB=-5.0,5.0,-  
5.0,0.5,10.0,10.0/

&VENT ID='Konstant 1600 kW brand', SURF\_ID='FIRE1', XB=-0.9,0.9,-0.4,0.4,0.1,0.1/

&BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX'/

&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE=80.0,400.0/

&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBY=0.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=0.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=0.0/

&TAIL /