



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

# Brannseksjonering av AutoStore

---



Hovedprosjekt utført ved  
Høgskolen Stord/Haugesund - Ingeniørfag

---

Studieretning: *Brannsikkerhet*

Av: Anders Høyum

Kandidatnummer: 12

Anine Kalmo Larsen

Kandidatnummer: 3

---

# HOVEDPROSJEKT

**Studenten(e)s navn:** Anders Høyum, Anine Kalmo Larsen

---

**Linje & studieretning** Brann, Sikkerhetsingeniør

**Oppgavens tittel:** *Brannseksjonering av AutoStore*

## Oppgavetekst:

Ulike seksjoneringsmuligheter i AutoStore, et kompakt lagersystem, skal testes for å avgjøre hvilken løsning som på best måte hindrer eller begrenser brannspredning. Testene skal gjennomføres ved småskala brannforsøk med gassbrenner. To tester med beste seksjoneringsløsning vil bli testet i småskala reelt brannforløp.

En vurdering av seksjonering i AutoStore opp mot gjeldende krav om avstand i NS-EN 12845 skal gjennomføres. Det skal gjøres en vurdering basert på testresultater, beregninger og litteraturstudier, som beskriver hvordan en seksjoneringsløsning i fullskala AutoStore vil fungere ved et brannforløp. Som et resultat skal en anbefaling til Hatteland Computer AS bli gitt.

**Endelig oppgave gitt:** Fredag 2.mars 2012 kl. 12.00

**Innleveringsfrist:** Fredag 4.mai 2012 kl. 12.00

**Intern veileder:** Arjen Kraaijeveld

**Ekstern veileder:** Ivar Fjeldheim Hatteland Computer AS

**Godkjent av  
studieansvarlig:  
Dato:**

B. Fullbr  
23/4 - 12



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Høgskolen Stord/Haugesund  
Studie for ingeniørfag  
Bjørnsonsgt. 45  
5528 HAUGESUND  
Tlf. nr. 52 70 26 00  
Faks nr. 52 70 26 01

Oppgavens tittel Brannseksjonering av AutoStore		Rapportnummer
Utført av Anders Høyum og Anine Kalmo Larsen		
Linje Sikkerhet, Brannteknikk		Studieretning Brannsikkerhet
Gradering Åpen	Innlevert dato	Veiledere Arjen Kraaijeveld Ivar Fjeldheim

#### Ekstrakt

Denne oppgaven tar for seg brannseksjonering av AutoStore, et kompakt lagersystem. Det er sett på muligheten til å benytte seksjoneringsvegg som kompensasjon for manglende oppfyllelse av krav og anbefalinger angående oppdeling og avstander mellom lagringsareal gitt i NS-EN 12845.

Ulike seksjoneringsløsninger er blitt testet for å finne den best egnede til å hindre eller begrense brannspredning. Testresultatene indikerte at brannseksjonering av AutoStore, dersom anbefalinger gitt i denne oppgaven blir fulgt, vil være en minst like god løsning som den beskrevet i NS-EN 12845.

## Forord

Denne oppgaven er en avsluttende del av utdannelsen som branningeniør ved Høgskolen Stord/Haugesund. Prosjektet er utført i samarbeid med Hatteland Computer AS, hvor vi selv har bidratt til utforming av oppgave, problemstilling og utførelse.

Arbeidet har til tider vært utfordrende, men spennende og lærerikt. Oppgaven krevde praktisk og selvstendig arbeid, og teorien fra skolebenken var en nyttig ballast.

En stor takk skal rettes til flere aktører som har hjulpet oss med arbeidet:

Arjen Kraaijeveld, intern veileder og laboratorieansvarlig ved HSH, for et nært og tett samarbeid, stort engasjement og synspunkter.

Ivar Fjeldheim, ekstern veileder fra Hatteland Computer AS, for tett og god oppfølging, synspunkter og raske tilbakemeldinger.

Børge Bekken fra Hatteland Computer AS. Behjelpelig med alt av tegninger, forklaringer og montering.

Henry Persson og Magnus Arvidson fra SP, Sveriges tekniske Forskningsinstitut, avd. brannteknikk, brannbeskyttelse. De tok seg tid til å svare på spørsmål, komme med tilbakemeldinger og var behjelpelige med vareprøver til tester.

Morten Iversen Berland fra Protecta AS. Tok seg tid til å svare på spørsmål og gi god informasjon. Var behjelpelig med vareprøver til tester.

Uten disse aktørene, samt bedriften og menneskene fra Hatteland Computer AS, og andre personer som har bidratt, ville ikke dette hovedprosjektet vært gjennomførbart.

Dato \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Anders Høyum

\_\_\_\_\_  
Anine Kalmo Larsen

## Notasjon

NS	-	Norsk standard
EN	-	Europeisk standard
ISO	-	Internasjonal standardiseringsorganisasjon
NOK	-	Norske kroner
SP	-	Sveriges Tekniske Forskningsinstitutt avd. brannteknikk, brannbeskyttelse
NFPA	-	National Fire Protection Association
VdS	-	Vertrauen durch Sicherheit
HDPE	-	High-density polyethylene
PP	-	Polypropylene
SFPE	-	Society of Fire Protection Engineers
m	-	Meter
mm	-	Millimeter
s	-	Sekunder
min	-	Minutter
L	-	Lengde
B	-	Bredde
H	-	Høyde
T	-	Tykkelse
#	-	Nummer
°C	-	Grader Celsius
$\Delta H_c$ [MJ/kg]	-	Forbrenningsvarme
$m^2$	-	Kvadratmeter
$m^2/m^2$	-	Røykproduksjon
$\dot{Q}$ [kW]	-	Effekt
l/s	-	Liter per sekund
$\dot{m}$ [kg/s]	-	Massestrøm
t [s]	-	Tid
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	-	Egenvekt
k [W/mK]	-	Varmeledningsevne
V [m <sup>3</sup> ]	-	Volum
$\dot{V}$ [m <sup>3</sup> /s]	-	Volumstrøm
J, Joule	-	Varme
h [kW/m <sup>2</sup> K]	-	Varmeoverføringskoeffisient
$\Delta$	-	Differanse
$\phi$ [-]	-	Konfigurasjonsfaktor
$\varepsilon$ [-]	-	Utstrålingsevne
$\sigma$ [5,67 10 <sup>-8</sup> W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ]	-	Stefan Boltzmann konstant
$\tau$ [-]	-	Tidskonstant

# Innhold

<b>SAMMENDRAG</b>	<b>VIII</b>
<b>1 INNLEDNING</b>	<b>1</b>
<b>2 AUTOSTORE</b>	<b>2</b>
2.1 KONSEPT.....	2
2.2 OPPBYGNING AV AUTOSTORE .....	3
2.2.1 GRID .....	3
2.2.2 PORT .....	3
2.2.3 ROBOT.....	3
2.2.4 KASSE .....	3
<b>3 BRANN I AUTOSTORE</b>	<b>4</b>
3.1 STATISTIKK OVER BRANN I LAGERBYGNINGER .....	4
3.1.1 BRANNTEKNISKE EGENSKAPER TIL LAGERKASSER .....	6
3.1.2 BRANNSPREDNING I AUTOSTORE.....	7
3.2 BRANNBESKYTTELSE AV AUTOSTORE .....	8
3.2.1 DAGENS LØSNINGER.....	8
3.2.2 ALTERNATIVE LØSNINGER .....	9
3.2.3 FREMTIDIGE MÅL.....	9
<b>4 GODKJENNELSE AV AUTOSTORE</b>	<b>10</b>
4.1 REGELVERK .....	10
4.2 STANDARDER .....	10
4.3 NS-EN 12845 .....	11
4.4 TESTER .....	12
4.4.1 AUTOSTORE.....	12
4.4.2 TEST AV PLASTKASSER I LAGER.....	13
4.4.3 NYTTEVERDI AV TESTENE .....	13
<b>5 SAMMENDRAG AV GJENNOMFØRTE TESTER</b>	<b>14</b>
<b>6 FORLØP TIL TESTING</b>	<b>15</b>
6.1 HENSIKT.....	15
6.2 SEKSJONERINGSLØSNINGER.....	16
6.3 TESTBEGRENSNINGER .....	17
<b>7 TEST AV SEKSJONERINGSLØSNINGER</b>	<b>18</b>
7.1 METODE .....	18

7.1.1	TESTGRID .....	19
7.1.2	GASSBRENNER.....	20
<b>7.2</b>	<b>MÅLEUTSTYR .....</b>	<b>21</b>
7.2.1	PLASSERING AV TERMOELEMENTER .....	21
7.2.2	SEKSJONERINGSLØSNINGER .....	23
<b>8</b>	<b><u>TEST #1</u></b> .....	<b>26</b>
<b>8.1</b>	<b>RESULTATER.....</b>	<b>26</b>
8.1.1	VISUELLE OBSERVASJONER.....	26
8.1.2	BILDER FRA TEST .....	27
8.1.3	TEMPERATURMÅLINGER.....	30
<b>8.2</b>	<b>DISKUSJON .....</b>	<b>31</b>
8.2.1	TEMPERATURMÅLINGER.....	31
8.2.2	SKADEOMFANG .....	32
8.2.3	KOMMENTAR.....	32
<b>9</b>	<b><u>TEST #2</u></b> .....	<b>33</b>
<b>9.1</b>	<b>RESULTATER.....</b>	<b>33</b>
9.1.1	VISUELLE OBSERVASJONER.....	33
9.1.2	BILDER FRA TEST .....	35
9.1.3	TEMPERATURMÅLINGER.....	38
<b>9.2</b>	<b>DISKUSJON .....</b>	<b>39</b>
9.2.1	TEMPERATURMÅLINGER.....	39
9.2.2	SKADEOMFANG .....	39
9.2.3	KOMMENTAR.....	39
<b>10</b>	<b><u>TEST #3</u></b> .....	<b>40</b>
<b>10.1</b>	<b>RESULTATER.....</b>	<b>40</b>
10.1.1	VISUELLE OBSERVASJONER.....	40
10.1.2	BILDER FRA TEST .....	41
10.1.3	TEMPERATURMÅLINGER.....	43
<b>10.2</b>	<b>DISKUSJON .....</b>	<b>44</b>
10.2.1	TEMPERATURMÅLINGER.....	44
10.2.2	SKADEOMFANG .....	44
10.2.3	KOMMENTAR.....	44
<b>11</b>	<b><u>VURDERING AV SEKSJONERINGSLØSNINGENE</u></b> .....	<b>45</b>
<b>12</b>	<b><u>TEST #4: TEST I SMÅSKALA AUTOSTORE</u></b> .....	<b>46</b>
<b>12.1</b>	<b>TESTOPPSETT.....</b>	<b>46</b>
12.1.1	VARIGHET.....	47
12.1.2	ANTENNELSEKILDE .....	47
12.1.3	KASSEINNHOLD .....	49
12.1.4	TESTGRID .....	50
12.1.5	MÅLEUTSTYR .....	51

12.1.6	SEKSJONERING .....	53
<b>12.2</b>	<b>RESULTATER</b> .....	<b>54</b>
12.2.1	VISUELLE OBSERVASJONER.....	54
12.2.2	BILDER FRA TEST .....	55
12.2.3	TEMPERATURMÅLINGER.....	60
<b>12.3</b>	<b>DISKUSJON</b> .....	<b>61</b>
12.3.1	TEMPERATURMÅLINGER.....	61
12.3.2	SKADEOMFANG .....	62

## **13 ANBEFALING** **63**

13.1	BRANNSEKSJONERING AV STORSKALA AUTOSTORE .....	63
13.2	VIDERE ARBEID .....	64
13.3	KONKLUSJON.....	65
13.4	FEILKILDER .....	65

## **REFERANSER** **I**

## **VEDLEGG** **III**

<b>A.</b>	<b>TEORI</b> .....	<b>III</b>
<b>A1.</b>	<b>VARMETRANSPORT</b> .....	<b>III</b>
<b>A2.</b>	<b>TEMPERATURMÅLING</b> .....	<b>V</b>
<b>A3.</b>	<b>BRUK AV GASSBRENNER</b> .....	<b>VI</b>
<b>B.</b>	<b>BEREGNINGER</b> .....	<b>VIII</b>
<b>C.</b>	<b>PRODUKTANALYSE</b> .....	<b>XII</b>
<b>D.</b>	<b>PREPARASJON</b> .....	<b>XIV</b>
<b>E.</b>	<b>TESTPROSEDYRE</b> .....	<b>XV</b>
<b>F.</b>	<b>PRE-TEST</b> .....	<b>XVI</b>
<b>G.</b>	<b>KOMMENTAR TIL ENDRING AV TESTOPPSETT</b> .....	<b>XIX</b>
<b>H.</b>	<b>LITTERATUR</b> .....	<b>XXI</b>
<b>I.</b>	<b>DATABLAD: PROTECTA MINERALFIBERPLATE STD</b> .....	<b>XXII</b>
<b>J.</b>	<b>KONSTRUKSJONSTEGNING AV SMÅSKALA GRID</b> .....	<b>XXIII</b>
<b>K.</b>	<b>KONSTRUKSJONSTEGNING AV STÅLPLATE</b> .....	<b>XXIV</b>



## Figurliste

Figur 2-1 AutoStore .....	2
Figur 3-1 Statistikk over brannårsaker i lager[1] .....	5
Figur 4-1 Sprinklertest av AutoStore 1. mai 2012 .....	12
Figur 7-1 Testgrid # 1-3 Gassbrennerens plassering markert .....	19
Figur 7-2 Montering av grid.....	19
Figur 7-3 Gassbrenner .....	20
Figur 7-4 Oppsett av gasstanker.....	20
Figur 7-5 Plassering av termoelementer, sett forfra.....	21
Figur 7-6 Feste av termoelementer på varm side .....	22
Figur 7-7 Feste av termoelementer på kald side .....	22
Figur 7-8 Oppsett test #1 .....	23
Figur 7-9 Utførelse test #1 .....	23
Figur 7-10: Oppsett test #2 .....	24
Figur 7-11: Utførelse test #2 .....	24
Figur 7-12 Oppsett test #3 .....	25
Figur 7-13 Utførelse test #3 .....	25
Figur 8-1 Starten av testforløp. Gassen antent.....	27
Figur 8-2 Første tegn til røykproduksjon fra kald side etter tilnærmet 05:27 [min:sek] .....	27
Figur 8-3 Kontinuerlig flamme på kald side etter tilnærmet 10:50 [min:sek] .....	28
Figur 8-4 Dokumentasjon av skader på kasser.....	28
Figur 8-5 Kasse nr. to fra toppen.....	29
Figur 8-6 Seksjoneringsvegg kald side.....	29
Figur 8-7 Temperaturmålinger varm side, test #1 .....	30
Figur 8-8 Temperaturmålinger kald side, test #1.....	30
Figur 9-1 Begynnelsen av testforløp .....	35
Figur 9-2 Deformasjon av toppkasse under test.....	35
Figur 9-3 Hvit røyk observert fra kald side etter tilnærmet 23:34 [min:sek] .....	36
Figur 9-4 Kontinuerlig flamme på kald side etter 01:11:16 [time:min:sek] .....	36
Figur 9-5 Skadeomfang.....	37
Figur 9-6 Skadeomfang på seksjoneringsvegg .....	37
Figur 9-7 Temperaturmålinger varm side, test #2 .....	38
Figur 9-8 Temperaturmålinger kald side, test #2.....	38
Figur 10-1: Begynnelsen av testforløp .....	41
Figur 10-2: Kontinuerlig flamme etter tilnærmet 28:00 [min:sek] .....	41
Figur 10-3: Skadeomfang kasser .....	42
Figur 10-4: Skadeomfang på seksjoneringsvegg .....	42
Figur 10-5 Temperaturmålinger varm side, test #3 .....	43
Figur 10-6 Temperaturmålinger kald side, test #3.....	43
Figur 12-1: Antenneskilde.....	47
Figur 12-2 Plassering av antenneskilde.....	48
Figur 12-3 Plassering av antenneskilde. Kasser er holdt oppe for antennelse.....	48
Figur 12-4 Innhold i kassene på varm side .....	49
Figur 12-5 Testgrid .....	50
Figur 12-6 Montering av grid.....	50
Figur 12-7 Plassering av termoelementer .....	51
Figur 12-8 Feste av termoelementer på varm side .....	52
Figur 12-9 Feste av termoelementer på kald side .....	52
Figur 12-10 Seksjonering test #4.....	53
Figur 12-11 Røykproduksjon under forsøk.....	55

Figur 12-12 Brannforløp .....	55
Figur 12-13 Antennelse av røykgasser etter 07:18 [min:sek] .....	56
Figur 12-14 Kraftig brannforløp .....	56
Figur 12-15 Synlig observert brannspredning til kald side etter tilnærmet 17:32 [min:sek].....	57
Figur 12-16 Pølbrann på kald side etter at slokking på varm side var utført .....	57
Figur 12-17 Skadeomfang på kasser (varm side) .....	58
Figur 12-18 Seksjoneringsvegg (kald side) .....	58
Figur 12-19 Seksjoneringsvegg etter brannforløp.....	59
Figur 12-20 Svakheter i seksjoningene.....	59
Figur 12-21 Temperaturmålinger .....	60
Figur 12-22 Temperaturmålinger .....	60

## Tabelliste

Tabell 3-1 Utvalgte verdier av brannenergi [2] .....	6
Tabell 3-2: Utvalgte testresultater [3].....	6
Tabell 4-1: Begrensninger for lagring[8]* .....	11
Tabell 4-2 Testoppsett for Hatteland, mai 2012 .....	12
Tabell 4-3: Største tillatte lagringshøyde[8]* .....	12
Tabell 5-1 Oversikt over gjennomførte tester.....	14
Tabell 7-1: Testoppsett test # 1-3 .....	18
Tabell 7-3 Posisjon termoelementer .....	21
Tabell 8-1 Visuelle observasjoner, test #1 .....	26
Tabell 9-1 Visuelle observasjoner fra test #3 .....	33
Tabell 10-1 Visuelle observasjoner, test #3 .....	40
Tabell 11-1 Utvalgte resultater fra test #1-3.....	45
Tabell 12-1: Testoppsett test#4 .....	46
Tabell 12-3 Visuelle observasjoner, test #4 .....	54

## Sammendrag

AutoStore er et nytt lagerkonsept der det er ønskelig med sprinklerbeskyttelse. Utforming gjør at enkelte krav og anbefalinger i NS-EN 12845 "Faste brannslukkesystemer, Automatiske sprinklersystemer, Dimensjonering, installering og vedlikehold" ikke oppfylles, derav overskridende areal uten oppdeling og lagringshøyde.

Det er sett på muligheten for å benytte seksjoneringsvegger i AutoStore som kompensasjon for de avstander det er krav om i standarden. Tre ulike seksjoneringsløsninger er testet; singel stålplate, dobbel stålplate med luftspalte mellom, mineralfiberplate. På bakgrunn av resultater ble dobbel stålplate vurdert til beste løsning. Videre verifisering av dobbel stålplate ble gjennomført i en småskalatest av AutoStore.

Basert på resultater ble det avdekket svakheter ved seksjoneringsløsningen. Særlig fremtredende var festeåpninger for seksjonering, som resulterte i brannspredning via pølbrann. En annen kritisk fare for brannspredning viste seg å kunne forekomme over seksjoneringsveggen. Dette ble observert da varer i lagerkasser spontanantente. Med resultatene fra testene som grunnlag, ble en anbefaling angående videre arbeid og forbedringer gitt til Hatteland Computer AS.

Det ble konkludert med at dersom anbefalte forbedringer ble gjennomført, vil dobbel stålplate som seksjonering hindre brannspredning mellom seksjoner i den tid det er nødvendig før et sprinkleranlegg kontrollerer eller slokker brannen.

# 1 Innledning

Brann i lagersystemer utvikler seg ofte til å bli storbranner der konsekvensen kan resultere i totaltap av bygningsmasse og store økonomiske tap for bedriften. AutoStore, et kompakt lagersystem, øker lagringskapasiteten og reduserer utgiftene til arbeidskraft. Selve konseptet går ut på at varene fraktes til operatøren via roboter som opererer på toppen av lagersystemet.

NS-EN 12845 "Faste brannslukkesystemer, Automatiske sprinklersystemer, Dimensjonering, installering og vedlikehold", beskriver krav og anbefalinger i henhold til utførelse av sprinklersystem i alle bygg der det skal benyttes som beskyttelse av verdier og/eller menneskeliv. Problemstillingen for AutoStore er at systemet avviker fra standarden i forhold til størrelse, oppdeling og høyde. Det er et ønske fra Hatteland Computer AS at AutoStore skal bli et godkjent lagersystem med sprinklerbeskyttelse.

Utfordringen med store lagringsarealer er at risikoen for totaltap øker da en brann lettere kan spre seg til hele arealet. Manglende oppfyllelse av allment akseptert beskyttelse gir problemer med forsikringsselskaper. For å redusere risikoen for totaltap av lagermasse, kan en mulig løsning være å benytte seksjoneringsvegger som kompensasjon for fraværende oppdeling og avstand mellom seksjonene. Hensikten med denne oppgaven er å se på hvilken seksjoneringsmulighet, ut i fra testede løsninger, som er best egnet til å hindre eller begrense brannspredning mellom seksjoner.

Opgaven tar for seg hvordan utfordringene kan løses på best mulig måte, slik at en godkjennelse på tross av krav og anbefalinger i NS-EN 12845 kan bli gitt. Det skal foretas tre branntester av ulike seksjoneringsmuligheter, som innebærer bruk av gassbrenner, seksjoneringsvegg og lagerkasser. I testene vil det benyttes termoelementer på begge sider av seksjoneringen for temperaturmåling, og en eventuell brannspredning vil bli dokumentert. Beste løsning, vurdert fra de tre foregående testene, skal benyttes i en avsluttende test i småskala AutoStore.

Målet med oppgaven er å finne ut hvilken seksjoneringsmulighet av AutoStore som best kan kompensere for fravik av standarden ved oppdeling og avstand mellom seksjoner. Vurdering og konklusjon basert på resultater vil bli gitt som en anbefaling til forbedringer og videre arbeid til Hatteland Computer AS.

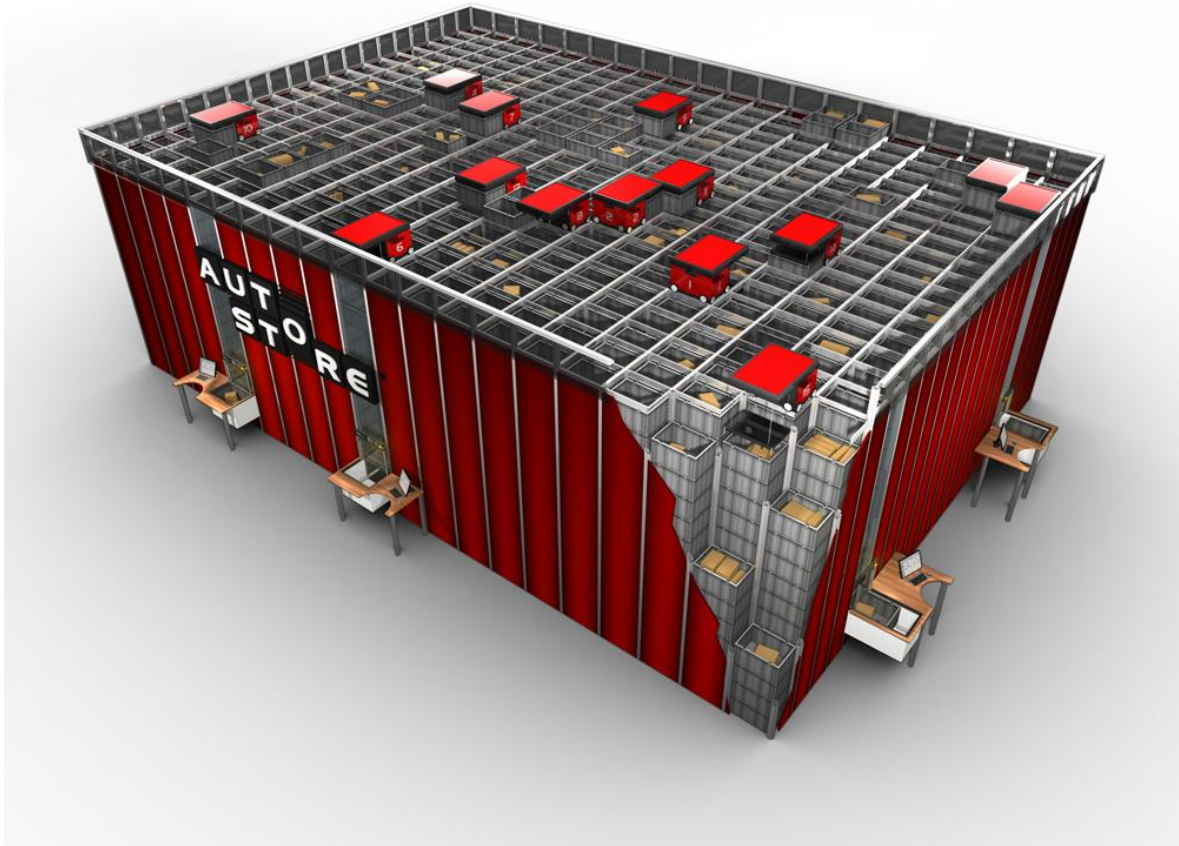
AutoStore kan beskyttes med ulike former for faste brannslukkesystemer. Denne oppgaven tar kun for seg sprinklerbeskyttelse gitt i henhold til NS-EN 12845 vurdert opp mot en alternativ løsning som går utenfor europeisk standard. Testene baseres kun på fravik om avstand og oppdeling, ikke overskridende lagringshøyde.

## 2 AutoStore

### 2.1 Konsept

AutoStore, vist i figur 2-1, er et kompakt lagersystem designet for å bringe varene til operatøren fremfor at operatøren går til varene. Kasser i en høyde opptil 5,28 m er plassert inne i et gridsystem. Roboter kjører på skinner på toppen av griden og bringer ønsket kasse til en port der operatøren befinner seg. Lagersystemet i seg selv har ingen arealbegrensning, og det største AutoStore-systemet som er installert den dag i dag inneholder 100 000 kasser, 70 roboter og 20 porter.

Det kompakte designet kan gi en plassbesparelse opptil 60 %, og prinsippet med roboter og porter kan redusere utgifter i arbeidskraft med opptil 50 %. AutoStore er laget for å operere 24 timer i døgnet, 7 dager i uken, og vil alltid ha minimum 98 % operasjonsstatus. Oppbygningen av AutoStore vil variere for hvert lager, spesielt designet ved hjelp av simuleringsverktøy for å gi den mest effektive løsningen.



Figur 2-1 AutoStore

## 2.2 Oppbygning av AutoStore

### 2.2.1 Grid

Griden er rammeverket for AutoStore. Den er bygd opp av 15 ulike deler av lettvekt aluminiumsprofiler. Del-konseptet gjør systemet fleksibelt og lagerarealet er ikke avhengig av å være et enkelt rektangel.

Rundt aluminiumrammeverket vil det være plater av MDF (Medium-density fiberboards) med overflate B-s1,d0 [In 1], eller Lexan (polycarbonate resin thermoplastic). Det er også en beskyttelsesplate til 1 meter over toppen av griden dimensjonert for å tåle sammenstøt med en fullastet robot i maksimal hastighet.

### 2.2.2 Port

Det er ved porten roboter leverer ønsket kasse. Operatøren plukker ut ønsket antall av varen, mens en kasse med ny bestilling står klar til å leveres som neste. Hver port har en vektkontroll som hindrer at kassene ikke overstiger maks lagringsvekt. Når en port ikke er i bruk vil det ikke befinne seg en kasse der, og dette vil gi en åpning på 0,24 m<sup>2</sup> per port.

### 2.2.3 Robot

Robotene beveger seg på toppen av griden. Bestående av åtte hjul som kan heises opp og ned (minst fire stk. alltid nede) gjør at de kan bevege seg både x- og y-retning i planet. Vekten av en tom robot vil være 145 kg inkludert batterier (60 kg) og har en maksimal hastighet på 3,1 m/s. For hver robot finnes det en ladestasjon. Disse er plassert på toppen av griden, og når en robot ikke har oppdrag vil den stille seg i en lader.

### 2.2.4 Kasse

Dimensjonen av en kasse vil ha ytre mål 600 x 400mm. Avhengig av behov kan man få lave kasser med en høyde lik 220 mm, noe som gir et volum på 48 liter, og 24 kasser kan bli lagret i høyden, eller høye kasser med en høyde lik 330mm, og volum på 75 liter, som gir 16 kasser i høyden.

Vekt lave kasser: 2,7 – 2,9 kg avhengig av materiale

Vekt høye kasser: 4,1 – 4,4 kg avhengig av materiale

De to ulike materialene som blir benyttet for kassene er high density polyetylen (HDPE), eller antistatisk polypropylen (PP), fra flere produsenter. Prosentandeler av råstoff fra de ulike produsentene kan variere.

Det eksisterer i dag begrensninger i forhold til lagring i kassene:

- Maksimal vekt for varer og kasse er 30 kg (Begrenset grunnet roboten løftekapasitet)
- Det skal ikke lagres selvantennende eller oksiderende materialer i AutoStore

### 3 Brann i AutoStore

Brann i AutoStore, som alle andre steder, kan forekomme. Det er viktig å være risikoen bevisst slik at tiltak for å redusere sannsynlighet og konsekvens blir gjennomført.

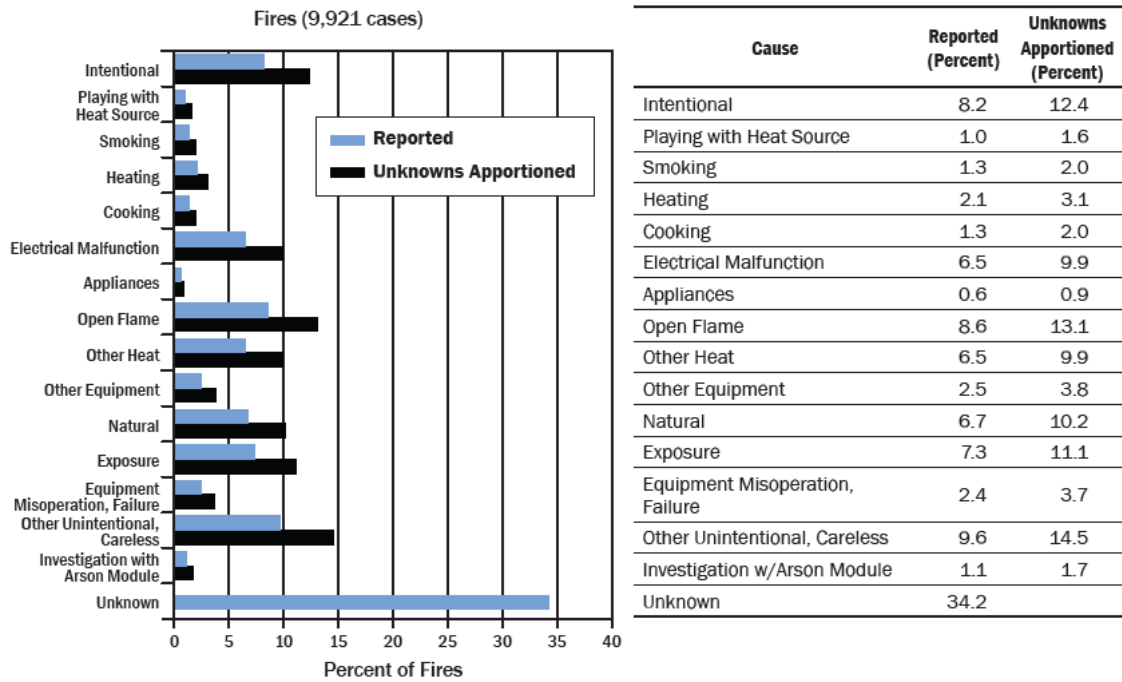
#### 3.1 *Statistikk over brann i lagerbygninger*

Brann i lagersystemer kan omfatte store økonomiske tap i form av materielle tap og senvirkninger som følge av salgstop som kan føre til konkurs. Det er en mye bredere og mer tilstrekkelig dokumentasjon av brann i lagerbygninger for USA enn for Europa. Andel av de ulike brannårsaker kan være ulikt for Europa og USA, men denne variasjonen kan også forekomme mellom ulike år i samme land. Statistikken blir bare benyttet for å vurdere ulike brannårsaker, og statistikk fra USA blir benyttet.

En rapport fra FEMA (U.S. Fire Administration) "*Nonresidential Building Fires*" [1], tar for seg brann i ubebodde bygninger, og viser at 15 % av alle branner i 2006 var i lagerbygninger og utgjorde et økonomisk tap på 1,8 milliarder NOK (valutakurs april 2012). Totalt var det 111 500 branner i ubebodde bygninger, og et totalt direkte økonomisk tap på 15 milliarder NOK (valutakurs april 2012).

Utilsiktet eller uforsiktig handling utgjorde den største brannårsaken for lagerbygninger, 14,5 %. AutoStore er et kompakt lagersystem uten personopphold og denne brannrisikoen blir tilnærmet eliminert. Åpen flamme; 13,1 %, annet utstyr; 3,8 % og elektrisk feil; 9,9 %, er de brannfarer som vil være aktuelt når det gjelder AutoStore. Annet utstyr, slik som trucker og elektrisk verktøy kan forårsake brann i personområdene og utgjøre en brannrisiko. Elektrisk feil kan forekomme i selve AutoStore i form av ladestasjonene til robotene. Lysstoffrør er en særlig brannrisiko og statistikken viser at belysning tilsvarte 11,1 % av brannene. Det er viktig å bemerke at LED-lys vil redusere denne risikoen betydelig, og burde bli benyttet fremfor lysstoffrør. Varer i toppkassene gjør at en brann vil kunne starte og utvikle seg på toppen av griden. Figur 2-2 viser oversikt over brannårsaker i 2006.

Figure 83. Fire Cause for Storage Building Fires and Fires with Dollar Loss (2006)



Figur 3-1 Statistikk over brannårsaker i lager[1]

I de branner der røykdetektor var tilstedet (4 % av tilfellene), opererte den i 52 % av tilfellene. Statistikken viser at sprinklersystem var installert i 3,6 % av tilfellene. I de tilfeller der sprinklersystem **ikke** var tilstedet, utgjorde brann 93 % av det totale økonomiske tapet.



### 3.1.1 Branntekniske egenskaper til lagerkasser

Plastkasser benyttet i AutoStore produseres i to ulike plastmaterialer:

- High density Polyethylene (HDPE)
- Antistatisk Polyproylene (PP)

**Tabell 3-1 Utvalgte verdier av brannenergi [2]**

<b>Materiale</b>	<b>~Brannenergi [MJ/kg]</b>
HDPE	43,3
PP	43,3
Tre	19,5
Bensin	44,1
Metan	50,0
Propan	46,5

I tabell 3-1 fremgår det at de to ulike plastmaterialene brukt i AutoStore har en relativt høy brannenergi, på lik linje med bensin. Innhold av mange kasser i AutoStore, både i høyde og i areal, gir en høy total brannenergi.

SP har gjennomført tre materialtester av hvert produkt i henhold til ISO 5660-1[21] og ISO 5660-22[21] for å se på de branntekniske egenskapene til de to ulike plastmaterialene[3]. Prøvestykkene hadde en størrelse på 100mm (L) x 100mm (B) x 3mm (t) og ble utsatt for en konstant strålefluks på 25 kW/m<sup>2</sup> i konekalorimeter.

**Tabell 3-2: Utvalgte testresultater [3]**

<b>Resultater*</b>	<b>HDPE**</b>	<b>PP</b>
<b>Tid til antennelse</b>	137 sek.	67 sek.
<b>Total varmeavgivelse</b>	34,7 MJ/m <sup>2</sup>	89,9 MJ/m <sup>2</sup>
	14,46 MJ/kg	32,45 MJ/kg
<b>Total røykproduksjon</b>	149 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	695 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>

\*Resultatene er gjennomsnitt av de tre testene utført for hvert materiale

\*\* HDPE smeltet mye under testene og det antas at dette har påvirket resultatene. Den smeltede plasten slukket og deltok ikke i brannen

Tabell 3-2 viser utvalgte testresultater for de ulike plastmaterialene. HDPE har en betydelig lengre antennestid, dette gir at en eventuell brann i HDPE-kasser vil spre seg saktere enn i PP-kasser. Den totale varmeavgivelsen vil også påvirke spredningen av brann. Total varmeavgivelse målt i testene er betydelig lavere enn verdiene gitt i tabell 3-1. Dette kan være som følge av mye smeltet plast. Selv om smeltingen av HDPE ikke deltok under testene gjennomført av SP, vil det være sannsynlig å anta at i en reell brann ville smeltet plast deltatt som en pølbrann. Den høye røykproduksjonen for PP gir at ved en brann inni griden vil PP sannsynligvis bli oppdaget raskere, enten visuelt eller via røykdetektorer.

Plastkasser benyttet i AutoStore kommer fra flere produsenter. Prosentandeler av råstoff i plasten fra de ulike produsentene kan variere. Alle testene i denne rapporten er utført med kasser av materialet HDPE produsert av Scholler Arca Systems AB. PP-plast blir kun benyttet ved spesielle behov grunnet ulike avfallsstoffer i røyken som kan være helseskadelige ved innånding.

### 3.1.2 Brannspredning i AutoStore

Her presenteres kritiske aspekter, med utgangspunkt i teorien om varmetransport<sup>1</sup>, ved brannspredning i AutoStore. Det er tatt utgangspunkt i at AutoStore er brannseksjonert, da dette er den ønskede løsningen, og problemstilling i henhold til dette vil være aktuelt.

#### Varmestråling

En oppvarmet seksjoneringsvegg kan avgi mye varmestråling som potensielt kan antenne kasser på den andre siden. Et annet scenario er flammer som stiger over seksjoneringsvegg, og avgir en høy varmestråling, som kan medføre risiko for brannspredning mellom seksjoner. I følge *SFPE Handbook 3rd edition*, er critical heat flux (det laveste nivået for varmestråling som kan gi antennelse) for plastkassene i AutoStore (HDPE og PP) tilnærmet  $15 \text{ kW/m}^2$  [2]. Andre naturlige materialer, slik som tre og avispapir, har en critical heat flux på  $10 \text{ kW/m}^2$ , noe som betyr at kassene normalt er tungt antennelig [4]. Dermed vil forholdsvis lettantennelige varer i toppkassene være mer kritisk i forhold til brannspredning enn antennelse av kassene. Når innhold i kassene først har antent vil dette kunne føre til antennelse av selve kassene.

#### Varmeledning

Når seksjoneringsveggen blir eksponert for brann kan det forårsake deformasjon av veggen og resultere i endringer eller bevegelser i strukturen. Dette kan føre til direkte kontakt mellom seksjoneringsvegg og kasser, og det vil foregå direkte varmeledning gjennom materialene. Dersom varmegjennomgangen er stor nok, kan kassene i en annen seksjon antenne. De branntekniske egenskapene til materialer i seksjoneringsveggen er viktig å ta hensyn til, slik som varmeledningsevne og tykkelse på veggen.

#### Konveksjon

Varmetransport ved konveksjon vil ikke være like dominerende, og vil først og fremst forekomme ved naturlig konveksjon når varm røyk stiger. Varm brannrøyk kan i likhet med flammer bidra til å antenne lettantennelige varer i toppkassene. Dette kan også bidra til å spre brannen mellom seksjoner. Naturlig konveksjon vil være en avgjørende faktor, selv om brannspredningen i hovedsak forekommer som resultat av varmestråling.

---

<sup>1</sup> Vedlegg: A1. Varmetransport

## 3.2 Brannbeskyttelse av AutoStore

### 3.2.1 Dagens løsninger

AutoStore befinner seg i drift hos flere bedrifter i Europa. Det største arealet som eksisterer den dag i dag utgjør 1685m<sup>2</sup>. Andre land i Europa setter høyere krav til brannbeskyttelse i forhold til Norge. Installasjoner i Norge som eksisterer den dag i dag ga ingen ytterligere krav til beskyttelse, installasjon har foregått i bygninger med eksisterende sprinklersystem. Sprinklersystemet er ikke oppgradert for den eventuelt økte brannenergien. I andre land er det strengere krav, og ulike løsninger har blitt benyttet med dispensasjon fra standarden gjeldende for den respektive beskyttelsen.

#### Skum

I et lagersystem i Europa er skumbeskyttelse benyttet for AutoStore med dispensasjon fra gjeldende standard. I denne løsningen er kravet om avstander løst med seksjonering innad i systemet. Fordeler med skumbeskyttelse:

- Skum vil legge seg som et lokk på toppen av griden, og vil i de fleste tilfeller være nok til å kvele/slokke brannen
- Det er ikke dyrere enn sprinklere å installere
- Dersom skumtallet er korrekt dimensjonert vil systemet kunne bli skrudd av etter få minutter da brannen vil ha blitt sløkket

Ulemper med skumbeskyttelse:

- Det er dyrt å vedlikeholde
- I de aller fleste tilfeller må bedriften installere skumbeskyttelse, mens sprinklersystem finnes fra før i de fleste lagersystemer
- Det er mulig å utløse skumbeskyttelse manuelt/ved feilaktivering
- Omfattende sekundærskader, skum blir spylt ut i store mengder ved aktivering

#### Inert atmosfære (hypoxic air)

Det er tilfeller der oksygenreduert atmosfære er benyttet som brannbeskyttende løsning. En inert atmosfære blir skapt ved å redusere oksygenivået, henholdsvis til 15-16 %, ved å tilsette mer nitrogen[5]. Denne atmosfæren er bare skapt i griden, ikke i de områder der personopphold er gjeldende. Fordeler med inert atmosfære:

- Atmosfæren vil ikke støtte en forbrenning slik at flamme aldri vil oppstå
- Anlegget er alltid på, det vil derfor være lett å vite når det ikke fungerer optimalt
- Ingen sekundærskader

Ulemper med en inert atmosfære:

- Omfattende driftskostnader da anlegget alltid er på
- Jevnlig tap av inert atmosfære da kasser går inn og ut av frisk luft hele tiden
- Vanskelig å distribuere gass til alle områder av griden grunnet mange hindringer (kasser og profiler)
- Nitrogen er lettere enn luft, nødvendig med tak på grid for å bevare inert atmosfære
- Helsekadelig atmosfære er ulempe ved service[6]

### 3.2.2 Alternative løsninger

#### Inergen

Inergen er en gassblanding bestående i hovedsak av nitrogen og argon samt en mindre andel karbondioksid. Gassblandingen blir spylt inn i beskyttet område når en detektor reagerer på brann.

Fordeler med inergen:

- Anlegget opererer bare ved deteksjon
- En inergenatmosfære er ikke direkte skadelig for mennesker
- En inergenatmosfære støtter ikke en forbrenning
- Gir større lagerkapasitet, fordel med mye utnyttet volum

Ulemper med inergen:

- Det vil være vanskelig å oppnå en inergen-atmosfære på grunn av hindringer i grid (kasser, vegger og profiler) og stort areal
- Krever mye vedlikehold for å verifisere at systemet fungerer
- Høye kostnader ved re-fylling
- Nedetid etter deteksjon

#### Sprinklersystem

Sprinklersystem er rørrnett med dyser plassert i gitte avstander fra hverandre. Ved en deteksjon blir vann spylt ut fra en eller flere dyser. Sprinkler er benyttet som beskyttelse av AutoStore i en nåværende installasjon i Norge, og det er ønskelig med en verdensomspennende godkjenning med sprinklerbeskyttelse av AutoStore.

Fordeler med sprinklersystem:

- Mange valgmuligheter; ulike anlegg, ulike dyser, ulik deteksjonstid, ulik plassering (vertikalt eller horisontalt)
- Liten risiko for feilutløsning ved varmebulb
- Allment akseptert som beskyttelse

Ulemper med sprinklersystem:

- Sekundære skader i form av vannskader
- Nedetid etter deteksjon
- Omfattende installasjon ved større anlegg
- Ved vanntilførsel vil toppkassene rundt utløst sprinkler ta opp mye av vannet slik at mindre renner ned i griden

### 3.2.3 Fremtidige mål

Hatteland Computer AS ønsker å få flest mulige slokkesystemer godkjent for AutoStore. Hovedmålet som arbeides med nå er å få godkjent sprinkleranlegg som en brannbeskyttende løsning. De fleste lagersystemer inneholder sprinklersystem, slik at ved kjøp av AutoStore vil ingen ytterligere installasjoner være nødvendig, med mindre sprinkleranlegget behøver oppdimensjonering. I utgangspunktet er ikke bedriftens valg av slokkesystem viktig for Hatteland Computer AS, men fra et økonomisk synspunkt vil valgfrihet av slokkesystemer til AutoStore resultere i flere salg.

## 4 Godkjenning av AutoStore

### 4.1 Regelverk

I Norge er Byggteknisk forskrift (TEK10), med tilhørende veiledning (VTEK10)[7], gjeldende for all utførelse av et byggverk i henhold til kvalitet og tekniske krav. *Kapittel 2: Dokumentasjon av oppfyllelse av krav*, gir at det er mulig å avvike fra veiledningen med analyseløsning, dersom funksjonskrav gitt i TEK10 likevel oppfylles. Slike analyser kan referere til regelverk, standarder og anerkjent litteratur, enten utarbeidet nasjonalt eller internasjonalt. Det blir beskrevet at forskriften ikke krever at norsk standard skal brukes, men at ytelser kan verifiseres dersom metoder blir utført i henhold til anbefalt standard.

AutoStore er per i dag installert i Norge med sprinklerbeskyttelse. Utformingen til AutoStore gjør at krav NS-EN 12845[8] stiller for sprinklerbeskyttelse ikke blir møtt, og det er gjennomført en analyseløsning for å dokumentere oppfyllelse av funksjonskrav.

Hvert land vil ha egen forskrift gjeldende for utførelse av byggverk, slik at en godkjenning i et land i Europa ikke vil resultere i godkjenning i hele Europa. Det vil derfor være viktig for AutoStore å dokumentere en god nok løsning med sprinklerbeskyttelse opp imot den europeiske standarden NS-EN 12845, da denne vil være en retningslinje for alle land i Europa.

### 4.2 Standarder

Det finnes standarder for de fleste områder. En standard er retningslinjer og krav for hvordan blant annet tester, beskyttelse og utførelse skal foregå. For europeiske standarder har land som er medlem av den europeiske standardiseringsorganisasjonen (CEN) en forpliktelse til å innføre alle europeiske standarder som sine egne. En standard kan bli utviklet på ulike måter (her tas det utgangspunkt i Norge)[9]:

NS: Standard utviklet i Norge

NS-EN: Standard utviklet i Europa (CEN), og deretter fastsatt som norsk standard

NS-EN ISO: Standard som er utviklet internasjonalt (i samarbeid ISO og IEC), og deretter fastsatt som europeisk standard (CEN).

NS-INSTA: Standard utviklet i et nordisk samarbeid, og deretter fastsatt som norsk standard

NS-ISO: Standard utviklet internasjonalt (ISO), og fastsatt som norsk standard

NFPA-standarder kan også være aktuelt for Europa. Dette er standarder gjeldende først og fremst for USA, men inneholder informasjon som kan benyttes i Europa.

En godkjenning i henhold til standard vil gi produktet den verifiseringen det trenger for å komme seg inn på markedet, samt å bli sikkerhetsgodkjent av myndighetene. Et annet viktig aspekt med standardgodkjenning er forsikringsselskapene. Det kan være nærmest umulig for en bedrift å få forsikring dersom det på et område forekommer noe som ikke er i henhold til standarder. Store forsikringsselskaper slik som FM Global (verdensomspennende) og VdS (Tyskland), krever enten godkjenning etter standarder eller god verifisering og dokumentasjon på en minst like god løsning.

### 4.3 NS-EN 12845

Beskyttelse av AutoStore der sprinkler er ønskelig å benytte, skal ta utgangspunkt i NS-EN 12845:2004+A2:2009 "Faste brannslukkesystemer, Automatiske sprinklersystemer, Dimensjonering, installering og vedlikehold"[8] ved godkjenning i Europa. For USA vil NFPA13 "Standard for the installation of Sprinkler Systems"[10] være gjeldende. Her omfattes krav til faste sprinklersystemer i bygninger og industrianlegg i henhold til lagringsmetode og fareklasse. Det vil i hovedsak fokuseres på den europeiske standarden (NS-EN 12845), da AutoStore i første steg skal bli godkjent i Europa. Det er også slik at en godkjenning i USA mest sannsynlig vil forekomme lettere. Dette baseres på USA sin brede erfaring og behov for beskyttelse av store lagerbygninger.

Stor konkurranse på markedet gir en hurtig utvikling i nye løsninger og metoder for å kunne være med i toppsjiktet. Dette gjør at en standard ikke alltid er oppdatert i forhold til de løsninger som eksisterer, og en godkjenning kan derfor være vanskelig å få gjennomført. Dette er også aktuelt for beskyttelse av lagersystemer, der NS-EN 12845 er åtte år gammel, med unntak av tillegg A2. NS-EN 12845 omfatter lagring begrenset til ulike blokker og reoler med en viss avstand i mellom. AutoStore er en kompakt løsning der nettopp disse avstandene er eliminert for å gi en høyere lagringskapasitet, samt at lageret har en høyde som overskrider den gitte høyden i standarden.

Standarden har ulike klassifiseringer for fareklasse i lagersystemet:

LH1 – lav fareklasse

OH – ordinær fareklasse

HHS – høy fareklasse; lagringshøyden er overskridende i henhold til OH

OH og HHS er delt inn i fire ulike kategorier avhengig av lagringsmåtenes risiko, der IV er høyeste risiko. NS-EN gir uten unntak at "Lagerkasser av polypropylen og polyetylen skal klassifiseres som HHS kategori IV". - Tillegg G.8.

NS-EN 12845 deler opp lagringsmåte etter seks ulike klasser:

ST1 – Frittstående lagring eller blokklagring

ST2 – Åpne pallecontainere i enkle rekker med mellomganger

ST3 – Åpne pallecontainere i flere rekker

ST4 – Lagring i pallereoler

ST5 – lagring på tette eller perforerte hyller, bredde inntil 1m

ST6 – Lagring på tette eller perforerte hyller, bredde mellom 1-6m

Ved å nytte standarden for AutoStore vil ST1 – frittstående lagring eller blokklagring, være gjeldende klasse.

**Tabell 4-1: Begrensninger for lagring[8]\***

Lagringsmåte	Begrensninger	Kommentar
ST1	Lagringen skal begrenses til blokker som ikke overskrider 150 m <sup>2</sup> i grunnflate for kategori IV	Lagringsblokker bør skilles med mellomganger som er minst 2,4 m brede

\*tabell 2 s.29

Dersom AutoStore skal fullverdig installeres som det lagersystemet det er, med beskyttelse av sprinklere, må en dispensasjon fra standarden bli gitt der en høyde på griden tilsvarende 5,28 meter, og et areal som overskrider 150 m<sup>2</sup>, som gjeldende fravik, se tabell 4-1. Denne oppgaven skal vurdere om en seksjonering kan fungere som oppdeling i stedet for en avstand 2,4 meter mellom hver blokk. Det er ikke gitt i standarden hvor disse avstandene eller arealet er hentet fra eller hva det baseres på.

## 4.4 Tester

### 4.4.1 AutoStore

Fire tester i forhold til sprinklerbeskyttelse av AutoStore skal gjennomføres av Hatteland Computer AS (mai 2012), og skal utføres etter gjeldende oppsett gitt i tabell 4-2.

**Tabell 4-2 Testoppsett for Hatteland, mai 2012**

Lagringshøyde [m]	Takhøyde [m]	Klarering (mellom sprinkler og øverste lagringshøyde) [m]	Dimensjonerende vanntetthet [mm/min]
5,28	10,7	5,4	24,5

Sprinklere som skal benyttes er hurtigutløsende K160 sprinklere (utløsning 68 °C), og plassering av brannstart i forhold til sprinkler vil bli testet henholdsvis rett under og mellom fire sprinklere. Testoppsettet som skal gjennomføres gir ytterligere fravik i forhold til standarden der en klarering overstiger 4meter og en dimensjonerende vanntetthet tilsvarende en lagringshøyde på maksimalt 3,6 meter, som vist i tabell 4-3.

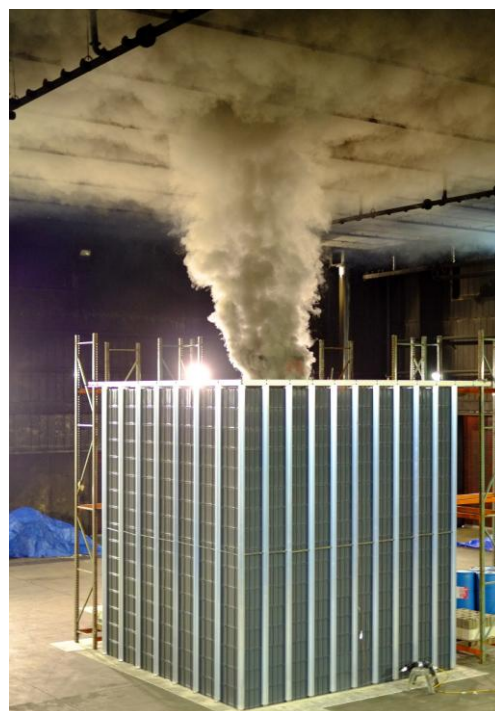
**Tabell 4-3: Største tillatte lagringshøyde[8]\***

Lagringsmåte	Største tillatte lagringshøyde - Kategori IV	Dimensjonerende vanntetthet mm/min
ST1 Frittstående lagring eller blokklagring	3,3	20,0
	3,6	22,5
	3,8	25,0
	4,1	27,5
	4,4	30,0

\*tabell 4 s.33

Per dags dato er én test gjennomført, se figur 4-1. Brann i AutoStore ble plassert på bunn av grid, sentrert mellom fire sprinklere. Det foreligger ingen resultater eller dokumentasjon av skadeomfang foreløpig, men testen var vellykket, og brannen ble detektert og sløkket av sprinklersystemet.

I testene skal et falskt tak plasseres i lik høyde som sprinklerne. Figur 4-1 viser at brann i AutoStore gir en smal røyksøyle, noe som gjør at sprinklerdysene ikke alltid vil være plassert i røyksøylen. Det falske taket gjør at røyken samler seg opp og brer seg utover. Dette gjør at sprinklerdysene detekterer brannen og utløses.



**Figur 4-1 Sprinklertest av AutoStore 1. mai 2012**

#### 4.4.2 Test av plastkasser i lager

FM Global gjennomførte i mai 2006 fire tester[11], der de testet en brann i lager med plastkasser (PP-plast). Oppsettet var blokklagring, der hovedblokken hadde en høyde 4,6m og besto av fire blokker med en avstand 200mm mellom. Høyden på hovedblokken overskrider gjeldende høyde i standarden. På to sider av hovedblokken var det blokk med høyde 1,5m. Avstanden mellom de mindre blokkene og hovedblokken var 2,4m, tilsvarende kravet i standarden. Prinsippet var å se på slokking gjennomført med skumblanding og rent vann fra sprinkler i taket. Klareringen mellom den høyeste blokken og sprinklerne var omtrentlig 6,1m, noe som er et avvik fra standarden. Video- og loggdokumentasjon av testene viste at brannen utviklet seg i avstanden på 200mm i hovedblokken og var vanskelig å kontrollere og undertrykke. Det ble ikke antennelse til de blokkene som var plassert 2,4m unna, men det kan tenkes at en antennelse ville funnet sted dersom kollapsing av hovedblokken hadde skjedd på et tidligere tidspunkt, der brannen ikke ville vært tilstrekkelig undertrykt av sprinklerne.

#### 4.4.3 Nytteverdi av testene

Videreføring av denne kunnskapen til AutoStore er at små avstander vil begrense brannforløpet i plastkassene. Et svært hurtig brannforløp ble observert i FM Global sine tester, tre minutter og 10 sekunder ut i testen var flammene i takhøyde, tilsvarende 10,5m. Det vil heller ikke forekomme kollaps av plastkasser da det er svært liten plass, samt at griden holder hver plastrad oppe.

Konklusjonen fra FM Global var at sprinklerbeskyttelse med rent vann var den anbefalte beskyttelsesmetoden for plastkasser. Det ble avgjort at skumblandingen ikke begrenset brannen eller skadene noe ytterligere. Med en verdensomspennende aksept fra FM Global der korrekt dimensjonert sprinklerbeskyttelse med rent vann av plastikkasser i lagersystem, selv med en takhøyde eller lagringshøyde som overstiger de høyder gitt i NS-EN 12845, øver dette et press på endring og oppdatering av standarden.

Basert på FM Global sine tester og konklusjon, samt tidligere tester gjennomført av AutoStore der en sakte brannutvikling før flamme på toppen forekommer er observert[12], gir at sprinkler med vann som slokkemiddel vil være tilstrekkelig å benytte. FM Global sine tester viser at en kraftig brann i plastkasser kan slokkes av sprinkler ved en høyde over det standarden gir. Tester som er under gjennomføring av Hatteland Computer AS per dags dato har foreløpig hatt positive resultater. Det antas at disse testene vil kunne gi en god dokumentasjon ved godkjenning av sprinklerbeskyttelse. Det kan antas at en løsning av AutoStore der avstander mellom blokkene blir erstattet med en tilstrekkelig løsning for seksjonering, og sprinkler med vann som beskyttelse, vil gi en minst like god løsning som standarden sine krav. En dispensasjon, eventuelt oppdatering av NS-EN 12845, burde bli gjennomført dersom videre testing dokumenterer en god nok løsning.



## 5 Sammen drag av gjennomførte tester

Det ble i denne oppgaven gjennomført totalt fire tester. Test #1-3 ble gjennomført med en gassbrenner. Hensikten var å finne beste seksjonering av AutoStore ut i fra de løsningene som ble valgt<sup>2</sup>. Test #4 ble gjennomført som småskala AutoStore der beste løsning fra test #1-3 ble benyttet som seksjonering. På grunnlag av vurdering<sup>3</sup> ble dobbel stålplate benyttet i test #4. En oversikt over de fire testene er listet opp i tabell 5-1.

**Tabell 5-1 Oversikt over gjennomførte tester**

Test	Seksjonering	Kapittel
#1	Singel stålplate	8
#2	Dobbel stålplate	9
#3	Mineralfiberplate	10
#4	Dobbel stålplate	12

Resultatene fra de gjennomførte testene er presentert i tabell 5-2. Metoden for test #1-3 er ulik test #4. Det er likevel mulig å vurdere alle resultatene opp mot hverandre på grunn av overføringsverdien fra gassbrenner til en brann i kasser<sup>4</sup>.

**Tabell 5-2 Utvalgte resultater fra gjennomførte tester**

	Test #1	Test #2	Test #3	Test #4
<b>Brannspredning [time:min:sek]</b>	00:10:50	01:11:16	00:28:00	00:17:32
<b>Temperatur på kald side ved antennelse [°C]</b>	T4: 204 T5: 417 T6: 359	T4: 199 T5: 226 T6: 135	T4: 723 T5: 586 T6: 121	T4: 132 T5: 133 T6: 142
<b>Snitteffekt [kW]</b>	116	<60min: 115 >60min: 191	122	-

Den store tidsdifferansen mellom test #2 og test #4, som begge ble gjennomført med dobbel stålplate, er som følge av svakheter i profilfeste, som resulterte i spredning via pølbrann. Det er antatt at tiden til brannspredning i test #4 ville vært tilsvarende test #2 dersom pølbrann ikke hadde spredd seg til kald side via profilfester.

<sup>2</sup> Kap. 6.2 Seksjoneringsløsninger

<sup>3</sup> Kap. 11. Vurdering

<sup>4</sup> Kap. 6.1 Hensikt

## 6 Forløp til testing

### 6.1 Hensikt

Hensikten med testene var å erstatte krav i NS-EN 12845 med en seksjoneringsløsning, som sammen med sprinklerbeskyttelse vil fungere som en godkjent løsning. På sikt er det ønskelig at denne løsningen kan benyttes i hele verden. Det var fokus på hvilken seksjoneringsløsning som var best egnet for brannsikring, montering og pris.

Testene ( #1-3) var forholdsvis enkle, og innebar bruk av gassbrenner, termoelementer og visuell observasjon av eventuell brannspredning, med fokus på sammenligning mellom løsningene ved like testforhold. Best egnede løsning ble testet ved brann i småskala AutoStore (#4).

Bruk av gassbrenner som branneksporing på seksjoneringsløsningene i test #1-3 ga resultater som var overførbare til test #4. Brann i lagerkasser gir en betydelig høyere energiproduksjon enn bruk av gassbrenner, men flammemetemperaturen vil være relativt lik. I litteraturen foreligger det utførte forsøk med metan, hvor flammemetemperaturen er plottet ved ulike posisjoner og energiproduksjoner for en diffusjonsflamme<sup>5</sup>. Temperaturene i senter av flammen ligger på mellom 750 – 900 °C, og flammemetemperaturene avtar med høyden[14]. Selv om forsøket er blitt utført med metan som brensel, vil ikke flammemetemperaturene avvike mye fra verken propan- eller kassebrann, grunnet relativt lik forbrenningsvarme, se tabell 3-1. På bakgrunn av teorien om varmetransport<sup>6</sup> vil varmeledningen gjennom seksjoneringsveggen kun være et resultat av temperaturforskjellen mellom varm og kald side. Dette gir at brann fra gassbrenner og brann i kasser kan sammenlignes opp mot hverandre.

Likevel ga test #4 en større brann enn gassbrenneren, og resulterte i en jevnere påkjenning over en større del av seksjoneringsveggen. Dette ga at småskala-test var nødvendig for å kunne vurdere seksjonering som en løsning. Dette ga også at videre testing i en storskala må utføres. Dette vil være nødvendig for å se på muligheten for brannspredning over seksjonering, samt for å avdekke eventuelle svakheter i griden.

Testresultatene vil gi en indikasjon på om seksjonering i det hele tatt kan fungere som kompensasjon for manglende møte av krav i standarden. Testresultatene vil være grunnlag for en konklusjon med anbefalinger til forbedringer av systemet, med fokus på å begrense/hindre brannspredning mellom seksjoner. Testene vil fungere som et forarbeid for Hatteland Computer AS, og konklusjonen vil legge forholdene til rette for videre testing av beste seksjoneringsløsning i storskala AutoStore.

---

<sup>5</sup> Vedlegg: H. Litteratur

<sup>6</sup> Vedlegg: A1. Varmetransport

## 6.2 Seksjoneringsløsninger

Tre tester ble gjennomført, der tre ulike seksjoneringsløsninger ble benyttet. Hatteland Computer AS ønsket å dokumentere ulike løsninger og materialer for seksjonering, der viktige faktorer var valg av materiale, pris, vekt, dimensjonsmuligheter, monteringsmuligheter og branntekniske egenskaper.

I et eksisterende AutoStore er single stålplate en benyttet seksjonering, og det var ønske fra Hatteland Computer AS der dokumentasjon av en slik seksjonering ble gjennomført. Én løsning, dobbel stålplate, ble funnet i samarbeid med Hatteland Computer AS. Tredje løsning, isoleringsplate, var en egen løsning, og dette materialet ble funnet gjennom en produktanalyse<sup>7</sup>.

### Singel stålplate<sup>8</sup>

I test #1 ble singel stålplate benyttet som seksjonering. I en reell løsning blir det benyttet fire stålplater i høyden, og en skjøt eksisterer mellom hver av disse platene. Stålplatene blir benyttet den dag i dag, det er derfor utviklet stålplater tilpasset montering og feste i griden. Stål er også et billig og lett tilgjengelig materiale, noe som er et viktig hensyn å ta med tanke på det store antallet plater som behøves i fullskala AutoStore.

Gjeldende stålplate benyttet som seksjoneringsløsning i denne oppgaven er lik som gjeldende stålplate benyttet i eksisterende løsning, men dimensjonen er mindre for å få en eksponert skjøt mellom stålplatene i testforløpet.

### Dobbel stålplate<sup>9</sup>

I test #2 ble dobbel stålplate benyttet. Oppsettet var to stålplater plassert mot hverandre med en luftspalte i mellom. Stålplatene var de samme som for den foregående testen, noe som ga monteringsvennlighet. Festet på stålplatene ga feste mot hverandre og luftspalten ga en avstand på 13,5mm. Denne løsningen ble valgt på grunnlag av den høye varmeledningsevnen til stål alene. En luftlomme med stillestående luft mellom to stålplater vil øke varmemotstanden i hele veggen betraktelig fordi stillestående luft har en særdeles lav varmeledningsevne, se tabell C-1<sup>7</sup>. Problematikken med denne løsningen kan oppstå dersom stålplatene deformeres som følge av varmepåkjenningen og slår inntil hverandre slik at luftlommen ikke lenger eksisterer.

### Protecta Mineralfiberplate STD<sup>10</sup>

I test #3 ble Protecta Mineralfiberplate type STD valgt som seksjoneringsmateriale. Materialet ble valgt basert på gjennomføring av en produktanalyse<sup>6</sup>.

Mineralfiberplate er en isolasjonsplate med lav egenvekt, noe som gjorde den skjør ved montering. Det var viktig å overflatebehandle platene da det er et fibermateriale, og det ble utført preparasjon av platene før test<sup>11</sup>.

---

<sup>7</sup> Vedlegg: C. Produktanalyse

<sup>8</sup> Vedlegg: K. Konstruksjonstegning stålplate

<sup>9</sup> Vedlegg: K. Konstruksjonstegning stålplate

<sup>10</sup> Vedlegg: I. Datablad: Protecta Mineralfiber STD

<sup>11</sup> Vedlegg: D. Preparasjon

### 6.3 Testbegrensninger

- Testene var kun ment til å gi en indikasjon på muligheten av seksjonering i stedet for krav om avstand og oppdeling gitt i NS-EN 12845 i de installasjoner der sprinklersystem skal bli benyttet som beskyttelse. AutoStore fraviker også krav gitt i standarden som omfatter lagringshøyde, men mulig konsekvens av overskridende høyde vil ikke bli vurdert i testene
- I utgangspunktet ble det bestemt at alle tester skulle gjennomføres to ganger for å få en viss verifisering av resultatene<sup>12</sup>. Utarbeiding av testoppsett, varebestilling og testmontering tok mye tid, dermed ble det bestemt at alle testene skulle gjennomføres kun én gang for å spare tid. Det ble satt av reservedager i testplanen, slik at eventuelle mislykkede tester kunne gjennomføres på nytt
- Varigheten på testene ble vurdert ut i fra hver enkelt test, med utgangspunkt i å avslutte testen ved synlig brannspredning. Ved testforløp som overgikk 60 minutter ble effekten fra gassbrenneren økt for å forsøke å få brannspredning
- Størrelsen på testgriden måtte passe inn under røykviften i forsøkslokalet
- Effekten avgitt av gassbrenneren ble begrenset av hvor mye gass gassbeholderne klarte å frigi. En konstant effekt var umulig å opprettholde på grunn av manuell gasstyring
- Kapasiteten til den mekaniske røykventilasjonen i forsøkslokalet styrte varigheten av test #4. Ved for stor brann måtte forsøket stoppes for å ivareta sikkerheten

---

<sup>12</sup> Vedlegg: G. Kommentar til endring av testoppsett

## 7 Test av seksjoneringsløsninger

Test #1-3 ble gjennomført etter samme testoppsett gitt i tabell 7-1. For alle benevnelser varm side menes branneksonert side, kald side er uekspnert side.

### 7.1 Metode

**Tabell 7-1: Testoppsett test # 1-3**

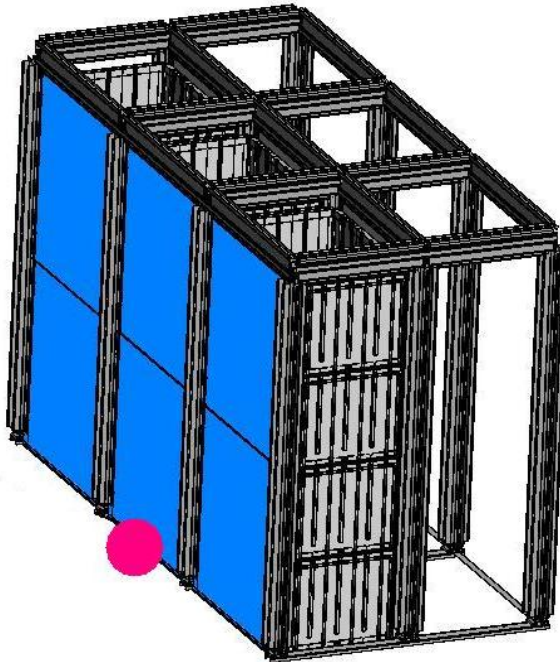
Antall tester per løsning	1
Varighet	Forsøk avsluttes ved synlige flammer på kald side
<b>Testgrid</b>	
Materiale	Aluminium
Mål	1055 (L) x 2235 (B) x 1444,5 (H) [mm]
Celler	Plan: 6 Høyde: 4
Kasser	Høye HDPE plastkasser Produsent: Scholler Arca Systems AB  Første cellerad horisontalt: 12 Andre cellerad horisontalt: 0
<b>Gassbrenner</b>	
Brensel	Propan (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )
Mål	300 (L) x 300 (B) x 160 (H) [mm]
Avstand til seksjonering	20 mm
Effekt	110 – 120 kW
<b>Måleutstyr</b>	
Termoelement	Type K
Temperaturlogging	Fluke Hydra Datalogger med tilhørende dataloggerprogram versjon 4.2
Tidsintervall temperaturlogging	5 sekunder
Gassmåler	American Meter Diaphragm Gas Meter Kapasitet: 1 liter per omløp
<b>Seksjoneringsmaterialer</b>	
M1	Stålplate  Materiale: Stål Belegg: Alu-sink Mål: 664 (L) x 587 (B) x 1000 (H), t: 1,5 [mm] Lengde skjøt: 16,8mm Vekt pr. plate: 7,7kg
M2	Protecta AS, Mineralfiberplate STD  Materiale: Keramisk mineralfiber Belegg: POLYSEAM Ablative Sealant Coat Mål: 667 (L) x 637 (B), t: 15 [mm] Vekt pr. plate: 1,85kg

Kommentar: Ved fraværende brannspredning etter 60 minutter ble effekten fra gassbrenneren oppjustert for å øke flammehøyden, og ga dermed en jevnere brannpåkjenning på hele seksjoneringsveggen. Termoelementer på kald side hadde en lavere brannmotstand i isoleringen enn de på varm side. Se vedlegg E. for testprosedyre i brannlaboratoriet.

### 7.1.1 Testgrid

Se figur 7-1 for testgrid og vedlegg J. for dimensjoner. Testgriden bestod av aluminiumsprofiler med spor for feste av seksjoneringsvegg. Figur 7-2 viser montering av grid. Valgt plassering av seksjonering ga et minimum på seks plater per test. Griden inneholdt totalt 12 kasser plassert i tre celler langs seksjoneringsveggen med fire i høyden. Griden ble ikke fylt med kasser i sin helhet (totalt antall kasser: 24 stk.) da dette ikke ville påvirket resultatene (avsluttet ved synlig flamme) og for å lette slokkearbeidet ved å gi bedre tilgjengelighet.

Testgriden var under alle forsøkene plassert på gipsplate. På grunn av sluk i testlaboratoriet var ikke gulvet i vater.



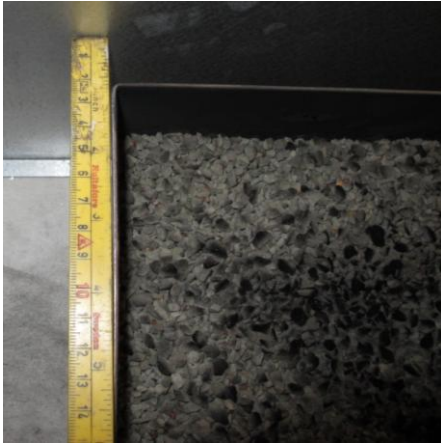
Figur 7-1 Testgrid # 1-3 Gassbrennerens plassering markert



Figur 7-2 Montering av grid

## 7.1.2 Gassbrenner

Gassbrenneren<sup>13</sup> ble sentrert i midtre celle av testgriden i en avstand 2cm fra seksjoneringen, se figur 7-3A. Rundt gassbrenneren ble det bygd opp Siporex-blokker, som vist i figur 7-3B, for å hindre varmetap og redusere turbulens, samt for å etterligne en brann i AutoStore.



A: Gassbrenners plassering sett ovenfra



B: Siporex-blokker rundt gassbrenner

Figur 7-3 Gassbrenner

Gasstankene sto til enhver tid i et kar med vann for å øke fordampningen, se figur 7-4. Gasstilførselen ble styrt manuelt, en konstant effekt var derfor umulig. Gasstrømmen ble jevnlig kontrollert, justert og logget.



Figur 7-4 Oppsett av gasstanker

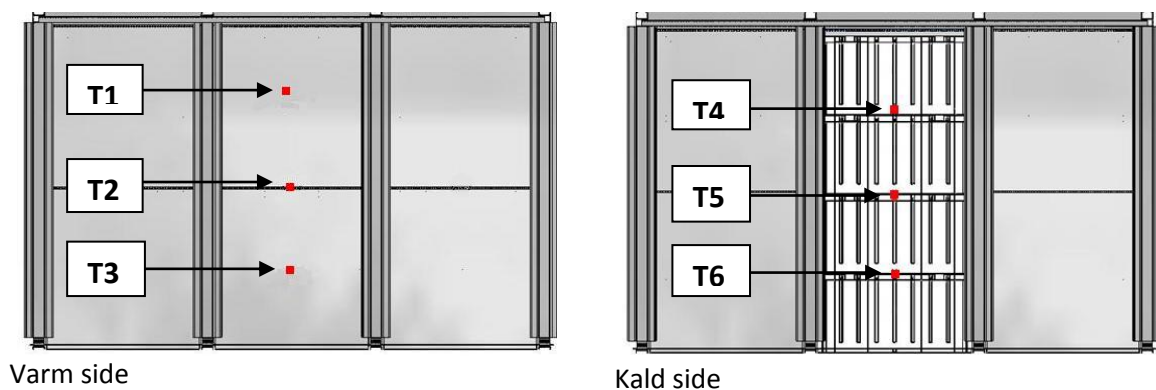
<sup>13</sup> Vedlegg: A3. Bruk av gassbrenner

## 7.2 Måleutstyr

Termoelementer<sup>14</sup> av type K med ulik isolering ble benyttet ved de ulike sidene. Det ble benyttet isolering med høy brannmotstand på de termoelementene som befant seg på varm side. Tynnere termoelementer med lavere brannmotstand i isoleringen ble benyttet på kald side. Ulik isolering ble benyttet på grunn av direkte eksponering av flammer på varm side og behov for tynnere og mer bevegelige termoelementer på kald side grunnet små avstander mellom kasse og seksjonering. Termoelementene var koblet til Fluke Hydra logger, som logget temperatur hvert 5. sekund og sendt til en datamaskin.

### 7.2.1 Plassering av termoelementer

Temperaturen ble målt i tre høyder på hver side av seksjoneringsveggen. Figur 7-5 viser oppsett, tabell 7-2 gir posisjonen.



Figur 7-5 Plassering av termoelementer, sett forfra

Tabell 7-2 Posisjon termoelementer

Posisjon#	Posisjon (L:H)*
T1, T4	1005,75mm, 1057,5mm
T2, T5	1005,75mm, 705mm
T3, T6	1005,75mm, 352,5mm

\*referansepunkt: Venstre hjørne (0,0)

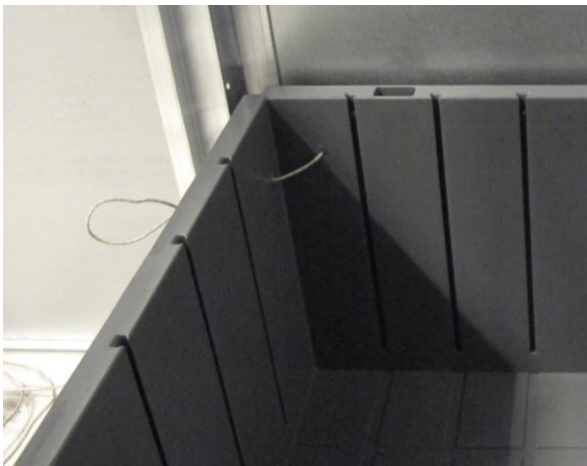
Termoelementene på varm side ble festet gjennom drillhull i profilen og holdt oppe av ståltråd, se figur 7-6. Termoelementene på kald side ble festet i drillhull gjennom kassenes vegg og holdt oppe av ståltråd, se figur 7-7. Termoelementene ble på begge sider plassert slik at de ikke var kontakt med kasser eller seksjoneringsvegg, men målte temperaturen i luften.

<sup>14</sup> Vedlegg: A2. Temperaturmåling





Figur 7-6 Feste av termoelementer på varm side



Termotråd gjennom drillhull for feste



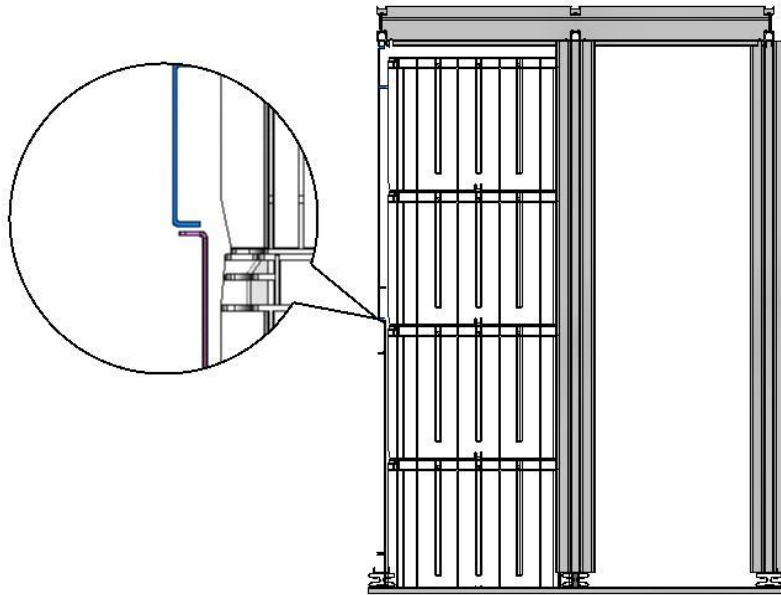
Termotråd festet med ståltråd mellom kasse og seksjonering

Figur 7-7 Feste av termoelementer på kald side

## 7.2.2 Seksjoneringsløsninger

### Test #1

Testen ble gjennomført med enkel stålplate, M1. Platene ble montert i mosaikkmønster der kantene overlappet hverandre i skjøten. Se figur 7-8 for oppsett og figur 7-9 for utførelse.



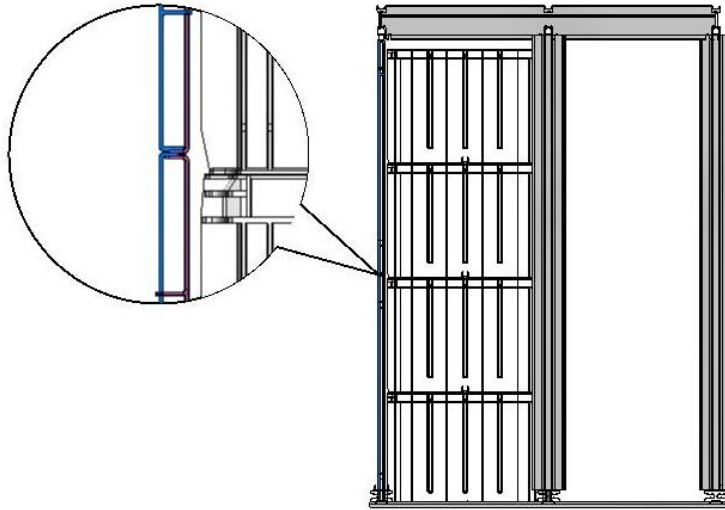
Figur 7-8 Oppsett test #1



Figur 7-9 Utførelse test #1

## Test #2

Testen ble gjennomført med dobbel stålplate, 2 x M1, plassert med kantene mot hverandre. Dette ga en luftspalte på 13,5mm mellom stålplatene, total tykkelse 16,5mm. Figur 7-10 viser oppsett, figur 7-11 viser utførelse.



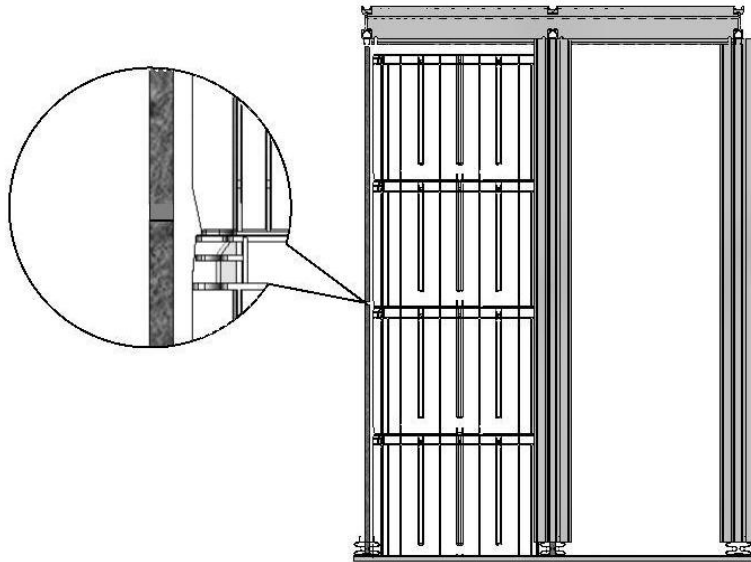
Figur 7-10: Oppsett test #2



Figur 7-11: Utførelse test #2

### Test #3

Testen ble gjennomført med singel mineralfiberplate STD, M2, behandlet etter gjeldende krav. Platene ble satt direkte inn i spor i griden uten ytterligere feste. Se figur 7-12 for oppsett og figur 7-13 for utførelse.



**Figur 7-12 Oppsett test #3**



**Figur 7-13 Utførelse test #3**

## 8 Test #1

### 8.1 Resultater

Her presenteres en oversikt over visuelle observasjoner, bilder og loggede temperaturmålinger fra forsøket med singel stålplate.

#### 8.1.1 Visuelle observasjoner

Tabell 8-1 Visuelle observasjoner, test #1

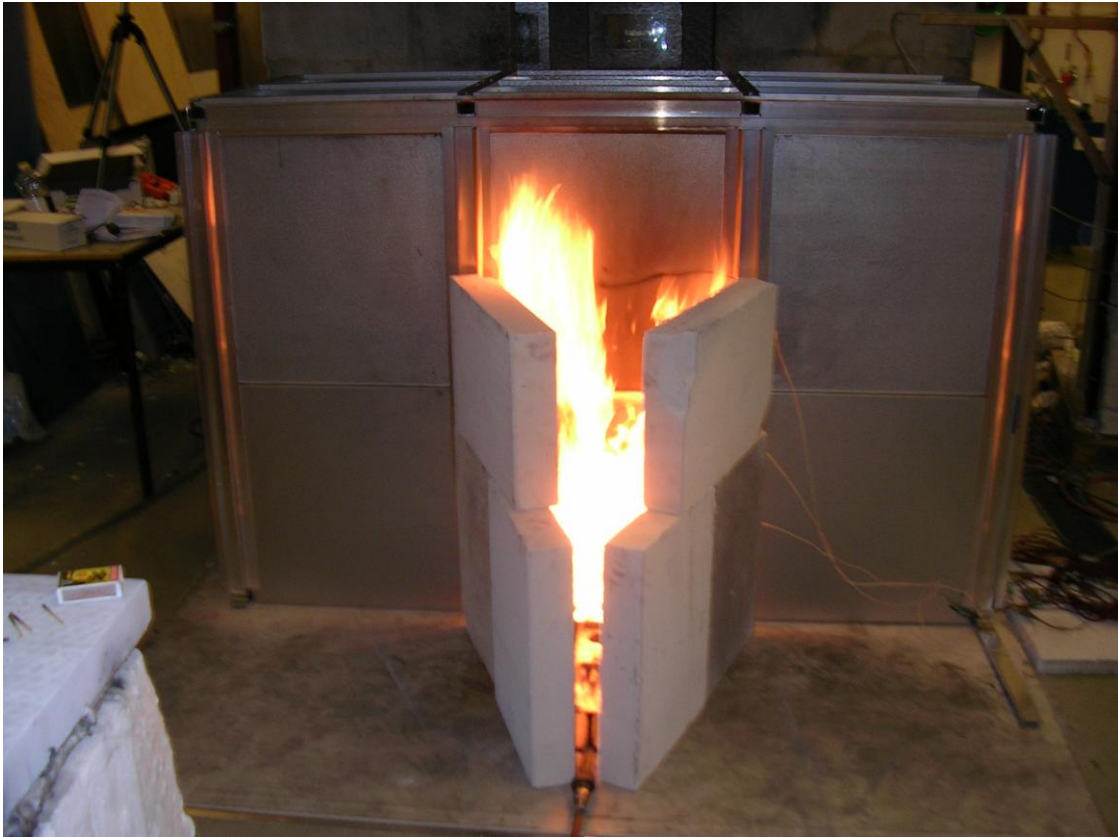
Tid [min:sek]	Observasjon
T-1	Start av logger, kamera, stoppeklokke
00:00	Antennelse av gassbrenner, Figur 8-1
04:09	Røyk observert fra kasser [sort]
04:22	Lukt av smeltet plast
05:27	Røyk observert fra kasser [grå], Figur 8-2
05:55	Røyk observert fra kasser [hvit]
07:55	Kortvarig flamme synlig på topp av grid (kald side)
08:36	Kortvarig flamme synlig på topp av grid (kald side)
10:50	Kontinuerlig flamme på topp av grid (kald side), Figur 8-3
11:26	Gasstilførsel og stoppeklokke avsluttet
17:20	Manuell slokking, logger og kamera stanset

Kommentarer: Første tegn til pyrolisering<sup>15</sup> av kassene var ved 04:09 [min:sek], da røyk ble observert fra kald side. Snitteeffekten for hele forsøket var 116 kW<sup>16</sup>.

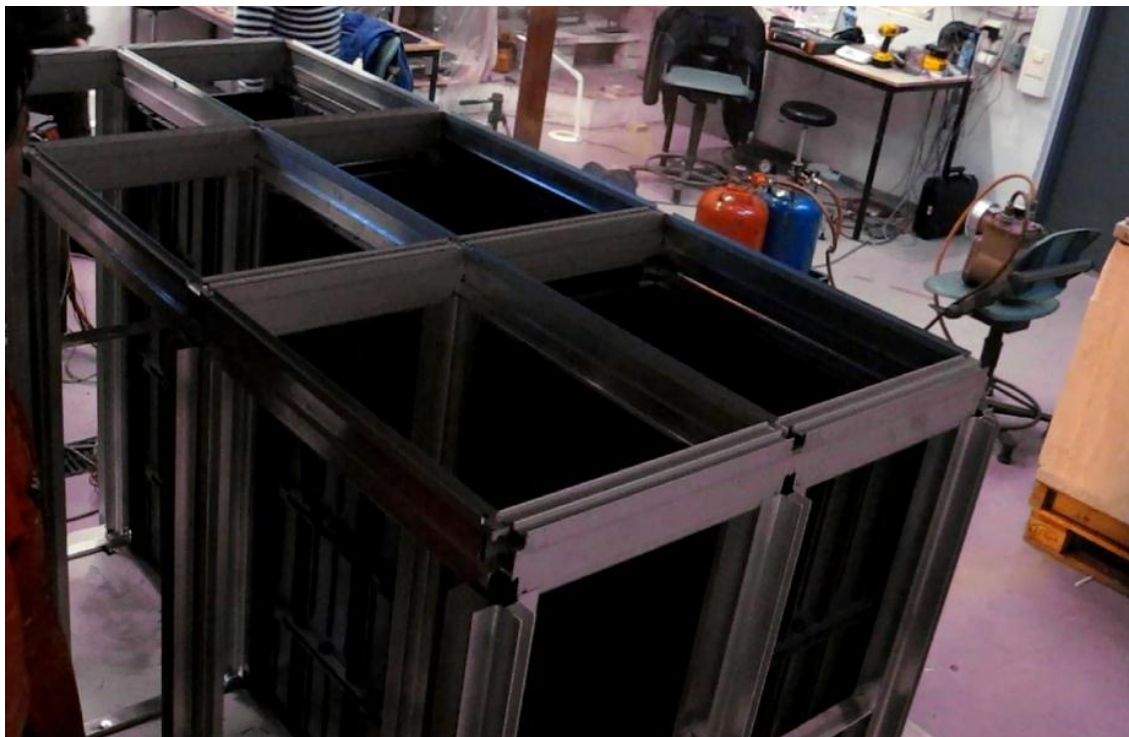
<sup>15</sup> Pyrolisering er kjemisk nedbrytning av faste stoffer, og brennbare gasser blir avgitt

<sup>16</sup> Vedlegg: B. Beregninger

## 8.1.2 Bilder fra test



Figur 8-1 Starten av testforløp. Gassen antent



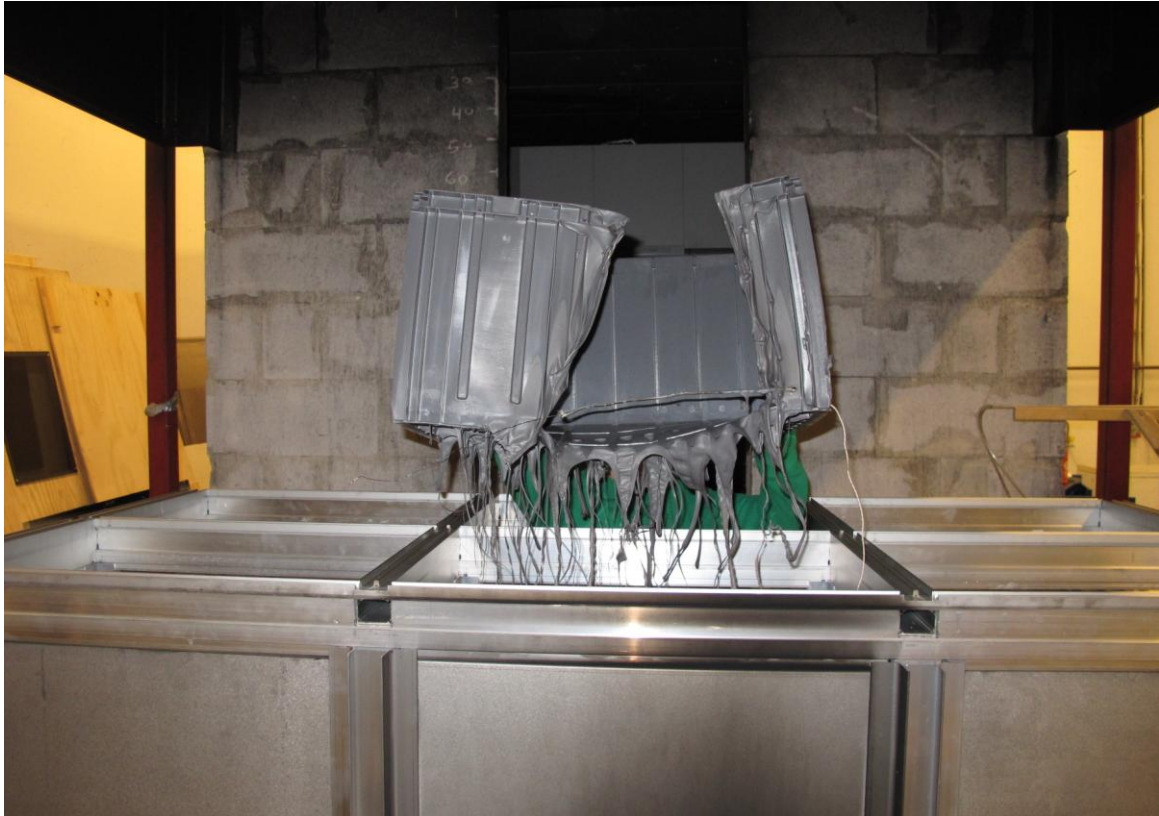
Figur 8-2 Første tegn til røykproduksjon fra kald side etter tilnærmet 05:27 [min:sek]



Figur 8-3 Kontinuerlig flamme på kald side etter tilnærmet 10:50 [min:sek]



Figur 8-4 Dokumentasjon av skader på kasser



Figur 8-5 Kasse nr. to fra toppen

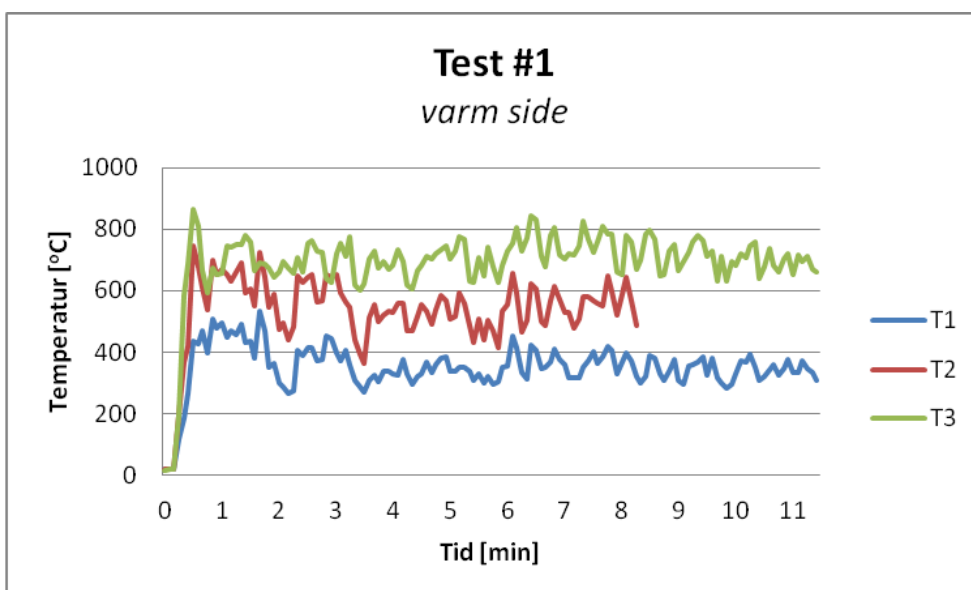


Figur 8-6 Seksjoneringsvegg kald side



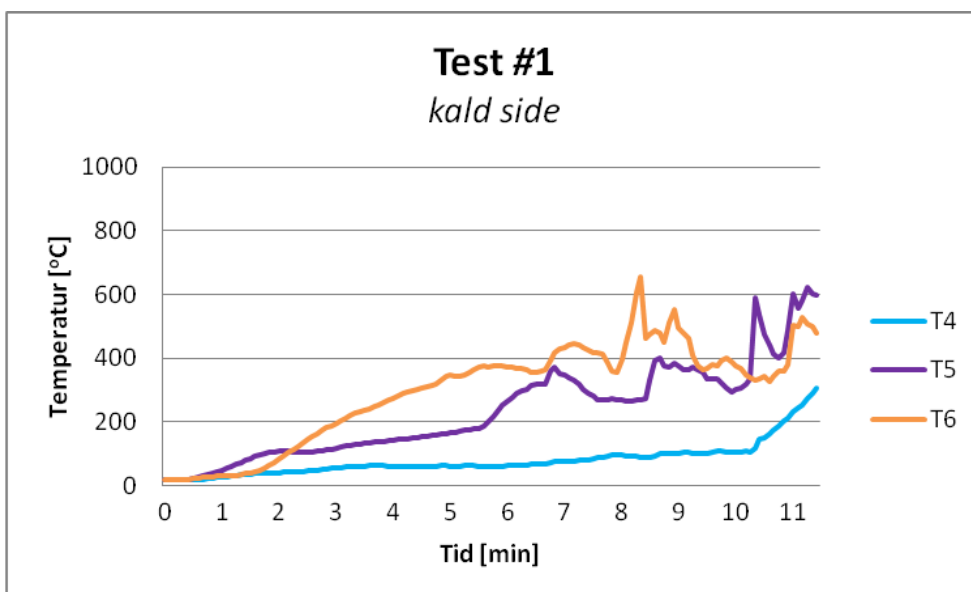
### 8.1.3 Temperaturmålinger

Figur 8-7 og 8-8 fremstiller temperaturmålingene på henholdsvis varm og kald side i tre posisjoner.



Figur 8-7 Temperaturmålinger varm side, test #1

Til figur 8-7: Det oppstod feilmåling på T2 etter 08:15 [min:sek]. Grunnen til dette er ukjent, men det kan antas at isoleringen i termoelementet brant opp. Temperaturforskjellen mellom T1, T2 og T3 er et resultat av ulik posisjonering i forhold til gassbrenneren. T3 befant seg direkte i flammen under forsøket, derav den høyeste temperaturen. T1 var posisjonert lengst fra gassbrenneren, derav den laveste temperaturen.



Figur 8-8 Temperaturmålinger kald side, test #1

## 8.2 Diskusjon

### 8.2.1 Temperaturmålinger

Temperaturvariasjonene på varm side er et resultat av turbulens i flammen og tidsintervallet for loggingen. Temperaturområdet for en diffusjonsflamme kan antas å være 750 – 900 °C<sup>17</sup>, noe som er gjeldende for T3 under hele forsøket. Posisjonene til T1 og T2 gjør at de ikke blir konstant påvirket av flammen og måler derfor lavere temperaturer.

Figur 8-8 viser temperaturmålingene på kald side. Det kan observeres at T6, som er plassert nederst på seksjoneringen, i snitt målte den høyeste temperaturen gjennom hele forsøket. Dette samsvarer med høyeste temperatur målt i samme posisjon på varm side. Høyere temperatur på varm side fører til økt varmeoverføring fra flammen til stålplaten via varmeledning og stråling. Dette medførte høyere temperatur på overflaten av stålplaten på kald side og ga økt varmestråling fra stålplaten til T6.

Utslagene etter tilnærmet 8 minutter i temperaturmålingen for T5 og T6 kan skyldes økende pyrolysering som resulterte i de observerte diskontinuerlige flammer på toppen av griden. En annen mulighet er brann inne i selve griden før en flamme ble observert på toppen. Den observerte røyken fra kald side etter henholdsvis 05:27 og 05:55 [min:sek] antas å være kraftig pyrolysering, og en mulig brann, som resulterte i diskontinuerlige flammer på toppen. Det kan antas at flammen ikke var vedvarende grunnet mangel på oksygen i griden. De uforbrente gassene oppnådde ikke en blanding med luft som støttet forbrenning før de var over griden, slik at synlig flamme på toppen lå som en pute. Det kan antas at dette er årsaken til at T4 holder en lav temperatur, sett i forhold til en diffusjonsflamme, ved de diskontinuerlige flammene siden det ikke forekommer flammer inne i griden ved T4. Videre utover i forsøket ga bortsmeltet plast større rom for oksygen, samt at temperaturen hadde fått bygd seg opp, og en vedvarende flamme forekom ved 10:50 [min:sek].

---

<sup>17</sup> Kap. 6.1 Hensikt

## 8.2.2 Skadeomfang

Skader er dokumentert i figur 8-4, 8-5 og 8-6.

### Seksjoneringsvegg

Brannspredning til kald side etter 10:50 [min:sek] anses for å være meget hurtig. Overflatetemperaturen på kald side økte raskt da stål leder varme godt, se tabell A-1<sup>18</sup>. En singel stålplate med avstand tilnærmet 3 cm til kassene ga høy mottatt strålevarme på kassene. Liten tykkelse på stålplaten og ingen annen form for isolering, eller annet som kan øke brannmotstanden, ga den forholdsvis hurtige brannspredningen til kald side. Temperaturmålingen fra T5 viser at det ikke er noen betydelig svakhet i skjøten mellom de to stålplatene. Demontering av griden viste ingen deformering eller bøyning av stålplaten. Dette ga at stålplaten ikke hadde vært i kontakt med kassene under forsøket, og årsaken til antennelse på kald side anses å være resultat av høy varmestråling fra stålplaten til kassene. Det var heller ingen observerte sprekkdannelser på overflaten av stålplaten, se figur 8-6.

### Kasser

Figur 8-4 og 8-5 viser at skadeomfanget på kassene er begrenset til midtre celle der gassbrenneren var sentrert. Hele fronten på nederste kasse er brent bort, mens skadene på kassene avtar oppover. I den øverste kassen er kun litt av plasten smeltet bort på fremsiden. Skadeomfanget viser at brannforløpet har foregått først og fremst i kasse én og to fra gulvet. Figur 8-5 viser kasse to fra toppen som har blitt utsatt for brannpåkjenning fra kassene under. Det er ingen synlige skader på kassene i de to sidestående cellene. Dette skyldes mest sannsynlig isoleringen rundt flammen, samt at et brannforløp foregår raskere oppover enn til siden.

## 8.2.3 Kommentar

Ut i fra resultatene av test #1 kan det antas at en seksjoneringsløsning bestående av singel stålplate ikke vil være tilstrekkelig som seksjonering i AutoStore, da brannspredning til kald side forekom etter bare 11 minutter.

---

<sup>18</sup> Vedlegg: A1: Varmetransport

## 9 Test #2

Test #2 ble gjennomført tre ganger. Ved første test var snitteffekt fra gassbrenner vesentlig lavere enn ønsket verdi (snitt på 83 kW). Ved andre test tok gassen slutt under forsøket og det oppstod aldri en brannspredning til kald side. Erfaringene ga at brannspredning var vanskelig og oppnå. Effekten fra gassbrenneren ble oppjustert etter 60 minutter grunnet fravær av brannspredning.

### 9.1 Resultater

Her presenteres en oversikt over visuelle observasjoner, bilder og loggede temperaturmålinger fra forsøket med dobbel stålplate. Presenterte resultater er utelukkende fra tredje test som anses som utført i henhold til testoppsett.

#### 9.1.1 Visuelle observasjoner

Tabell 9-1 Visuelle observasjoner fra test #3

Tid [timer:min:sek]	Observasjon
T-1	Logger og stoppeklokke startet
00:00	Antennelse av gassbrenner, Figur 9-1
00:30	10l/5,8s
05:00	10l/7,2s
06:00	Toppkasse lunken ved berøring på baksiden
07:48	10l/7,9s
12:40	Stort smell
14:49	10l/8,2s, øker gasstilførsel
15:32	10l/7,2s
18:17	Lite smell
20:00	Kamera skrudd på
22:56	10l/6,8s
23:34	Røyk observert fra kasser på venstre side [hvit], Figur 9-3
26:40	Betydelig mengde røyk fra kasser
27:22	Røyk fra kasser avtar
27:50	Ingen synlig røyk fra kasser
28:20	10l/7,4s
41:45	10l/7,5s, øker gasstilførsel
42:15	10l/6,1s
47:53	Kamera skrudd av
47:59	Kamera skrudd på
48:41	10l/6,4s
01:00:06	Mengde gassforbruk dokumentert
01:00:23	Øker gasstilførsel fra tilnærmet 10l/7s til 10l/4s
01:00:42	Oppfatning av uidentifiserbar lyd
01:00:50	10l/4s
01:02:04	10l/4,1s, øker gasstilførsel
01:05:16	10l/3,8s
01:05:51	Røyk observert fra kasse høyre side [hvit]
01:08:11	Mye røyk fra kasser observert
01:10:41	Røyk fra kasser avtar
01:11:05	Ingen synlig røyk fra kasser
01:11:16	Kontinuerlig flamme på kald side, Figur 9-4
01:11:21	Gass skrudd av, manuell slukking foretatt
01:19.07	Logger avsluttet

Kommentarer: l/s representerer avlest gasstrøm. Smell som er logget i observasjonene er alle antatt å komme fra stålplatene som deformerte. Første lyd ble oppfattet etter 12:40 [min:sek]. Videokamera ble første gang skrudd på ved 20:00 [min:sek]. Dette er på grunn av erfaring av hendelsesforløp fra de to første testene gjennomført for test #2. Ved tiden 47:59 [min:sek] ble kameraet på nytt skrudd på da det hadde skrudd seg av automatisk (kamerainstilling ga en maksimal filminspilling på 28 minutter). Ved tiden 01:00:23 [timer:min:sek] ble effekten fra gassbrenneren oppjustert grunnet manglende brannspredning til kald side. Snitteffekt de første 60 minuttene var 115 kW<sup>18</sup>. Snitteffekten etter oppjustering (varighet omtrentlig 11 minutter) var 191 kW<sup>19</sup>.

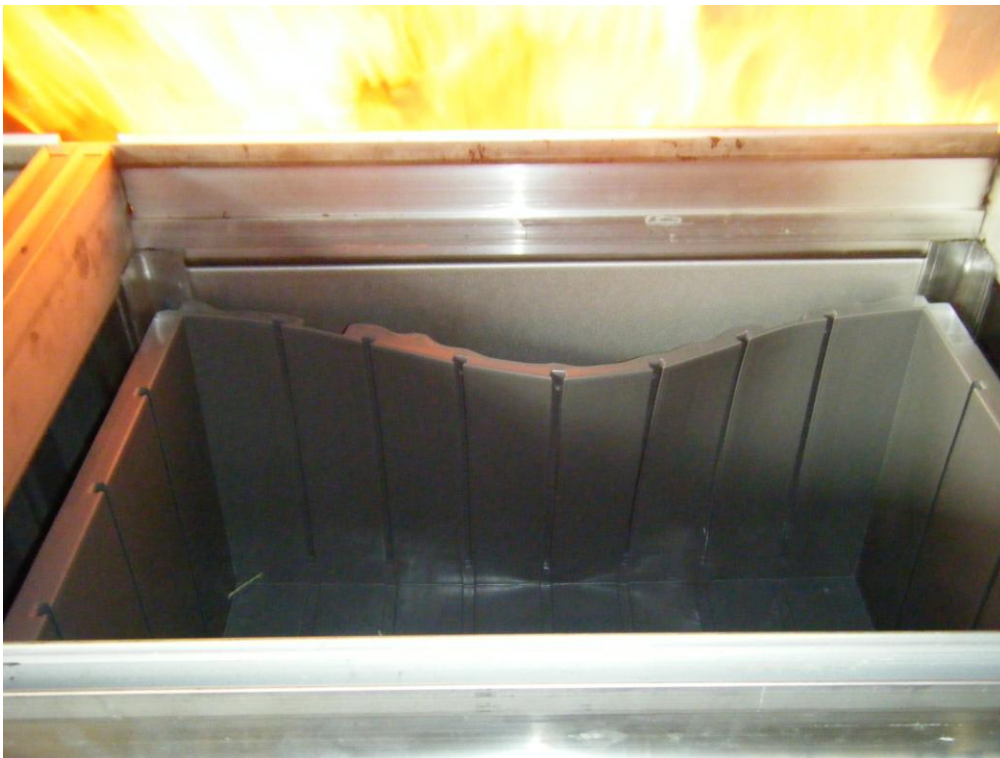
---

<sup>19</sup> Vedlegg: B. Beregninger

## 9.1.2 Bilder fra test



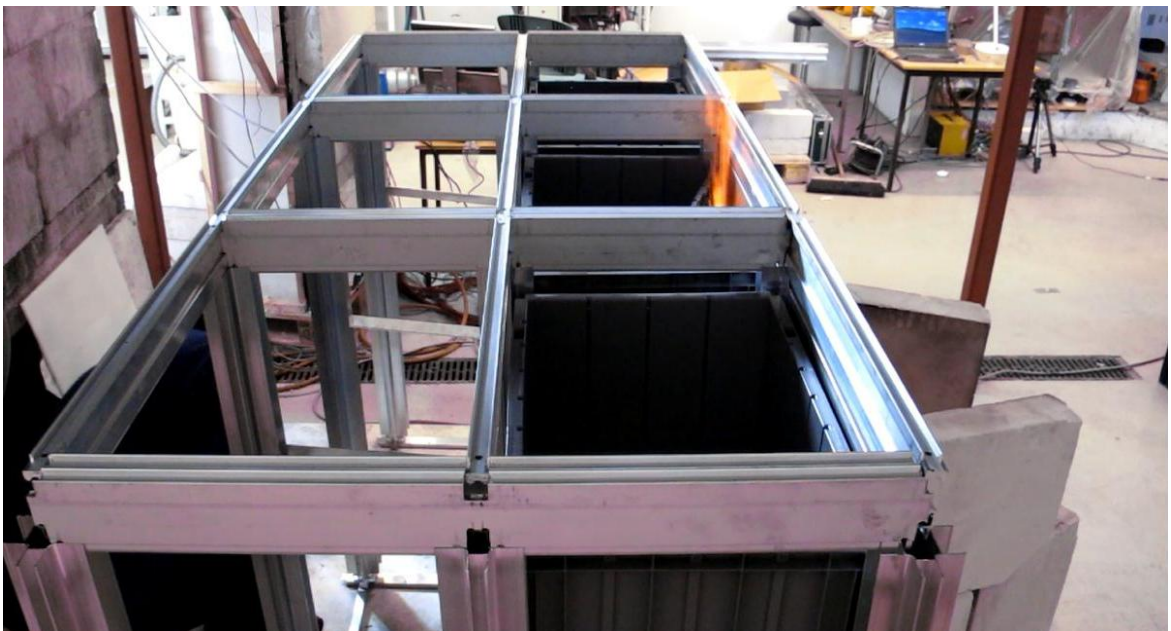
Figur 9-1 Begynnelsen av testforløp



Figur 9-2 Deformasjon av toppkasse under test



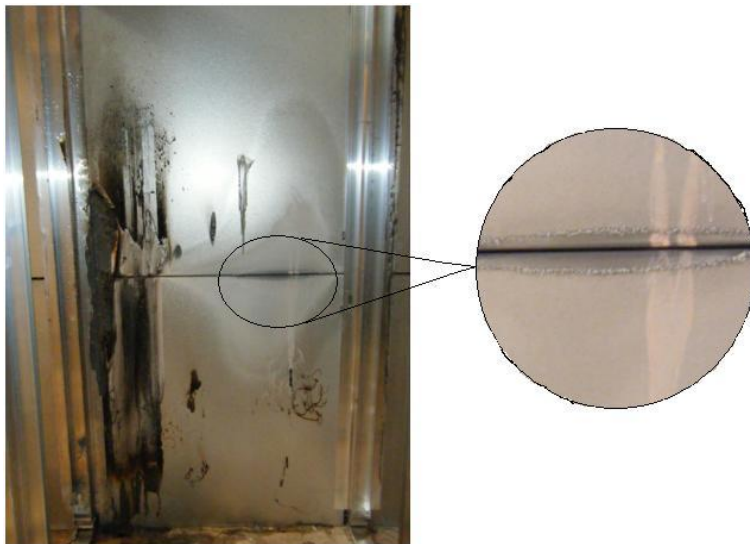
Figur 9-3 Hvit røyk observert fra kald side etter tilnærmet 23:34 [min:sek]



Figur 9-4 Kontinuerlig flamme på kald side etter 01:11:16 [time:min:sek]



Figur 9-5 Skadeomfang



A: Skade på skjøt (kald side)



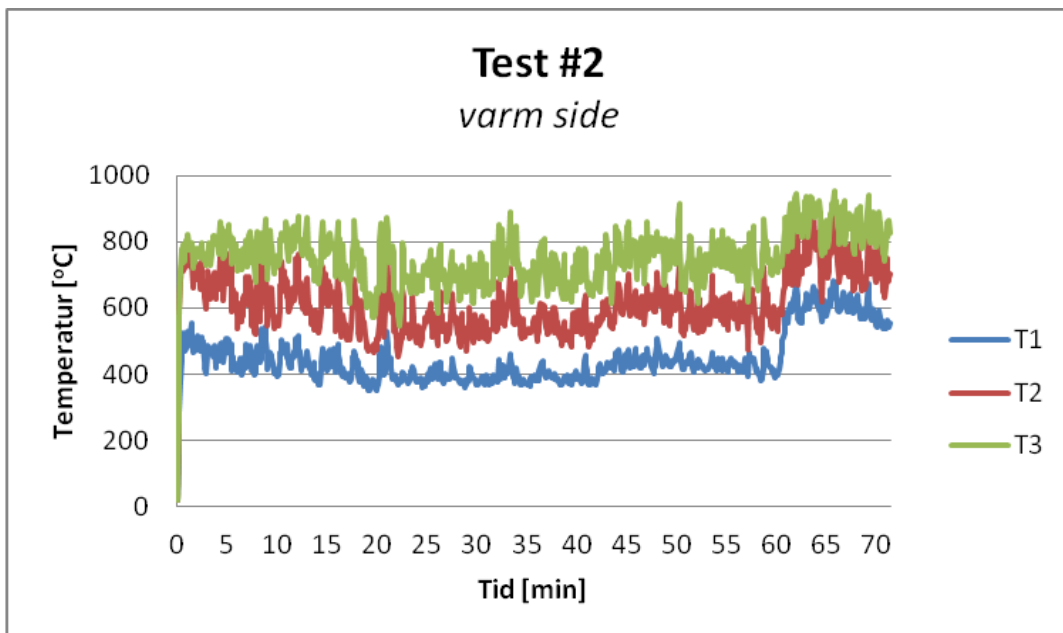
B: Stålplatene har slått inn mot hverandre

Figur 9-6 Skadeomfang på seksjoneringsvegg



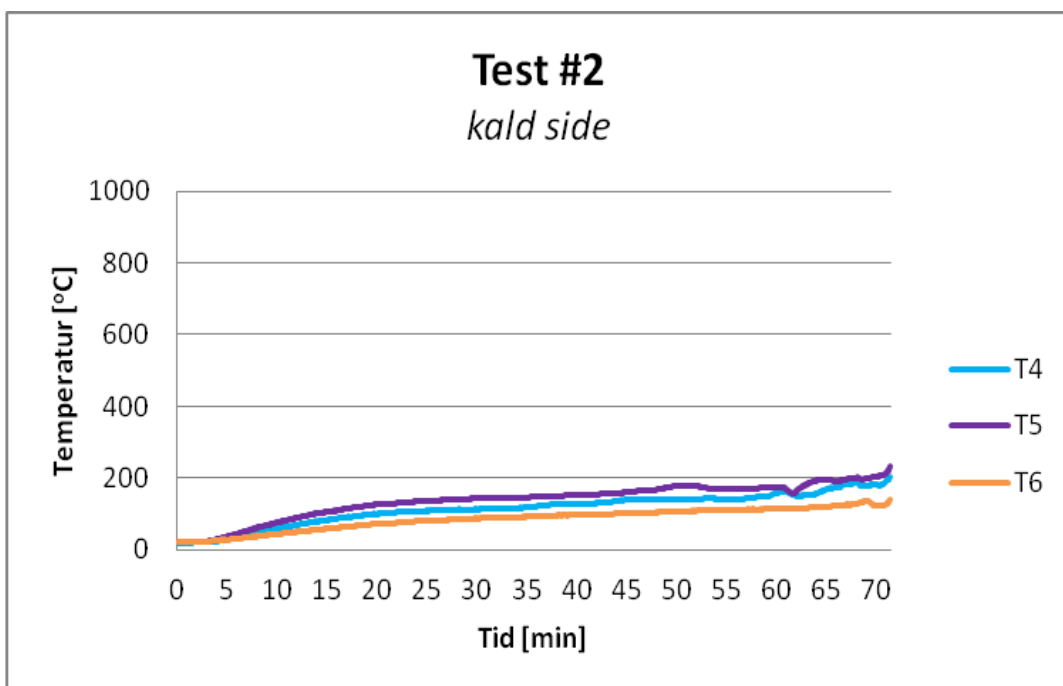
### 9.1.3 Temperaturmålinger

Figur 9-7 og 9-8 fremstiller temperaturmålingene på henholdsvis varm og kald side i tre posisjoner.



Figur 9-7 Temperaturmålinger varm side, test #2

Til figur 9-7: Ujevnheterne i temperaturmålingene er et resultat av turbulens i flammen og den påfølgende varierende varmepåkjenningen i de ulike posisjonene. Temperaturøkningen for alle posisjonene etter 60 minutter kommer som følge av oppjusterte effekten fra gassbrenneren ved dette tidspunktet. Dette er særlig gjeldende for T1 og T2 da flammen blir større ved oppjustering og gir en mer eller mindre konstant varmepåkjenning.



Figur 9-8 Temperaturmålinger kald side, test #2

## 9.2 Diskusjon

Oppjusteringen av effekten fra gassbrenneren etter 60 minutter ble gjort basert på erfaringer fra de to foregående testene til test #2 da doble stålplater viste seg å gi god brannmotstand. For å oppnå en antennelse på kald side måtte effekten oppjusteres dersom en antennelse ikke hadde forekommet innen 60 minutter. Oppjusteringen kan også begrunnes med at en reell brann vil ha en effektøkning utover i brannforløpet.

### 9.2.1 Temperaturmålinger

Temperaturvariasjonene på varm side er et resultat av turbulensen i flammen og tidsintervallet for loggingen. Posisjonene til T1 og T2 gjør at de ikke til enhver tid befinner seg i flammen og holder derfor lavere temperaturer. Ved oppjustering av effekten etter 60 minutter øker temperaturene for T1 og T2 på grunn av en mer direkte varmepåkjenning fra flammen.

Figur 9-8 viser temperaturmålingene på kald side. Alle posisjonene hadde en jevn temperaturøkning, der T4 og T5 målte de høyeste temperaturene. Grafene viser ingen store utslag, og dette kan oppfattes som at det ikke har eksistert noen diskontinuerlige flammer eller brann inne i griden. Den manglende stigningen fra 50 til 60 minutter, særlig synlig for T5, kan antas å være et resultat av stabiliserende temperatur på kald side. En stabilisering av temperaturen kan skyldes varmetap eller at mye plast har smeltet bort, slik at pyrolysing avtar. T4 og T5 viser en økning i temperaturmålinger etter 60 minutter da effekten ble oppjustert. Det kan her antas at pyrolysingen har økt.

### 9.2.2 Skadeomfang

Figur 9-5 og 9-6 viser skader etter test #2.

#### Seksjoneringsvegg

Demontering av griden viste at stålplatene hadde slått mot hverandre under forsøket. Figur 9-6B viser stålplatene, og det ser ut som at det er stålplaten fra varm side som har slått inn mot motstående stålplate. Første observerte lyd var etter 12:40 [min:sek], og det er derfor mulig at deler av platene har stått inntil hverandre i nesten 60 minutter av testen. Ved direkte kontakt mellom platene vil den isolerende luftspalten forsvinne, og det har resultert i økt varmetransport via varmeledningen mellom stålplatene. Figur 9-6A viser seksjoneringsvegg fra kald side, og det fremkommer at det har vært tydelig påkjenning av skjøten under testen, og avdekker en potensiell svakhet. Dette antas å være et resultat av den lange eksponeringstiden. Det ble ikke observert sprekke-dannelser i overflaten på seksjoneringsvegg.

#### Kasser

Figur 9-5 viser skadeomfanget på kassene. Skadene er sentrert i midtre celle, med de største skadene på kasse to og tre fra bunnen, der fremsiden er borte. De største skadene på kassen er sentrert rundt skjøten. Det kan antas at kassene har blitt utsatt for direkte flamme fra varm side gjennom skjøten ved enkelte tilfeller. Kassene i de to cellene på sidene hadde små tegn til smelting i kantene. Kasse én fra bunnen og kasse én fra toppen har bare blitt deformert. Figur 9-2 viser deformering av toppkassen under forsøket.

### 9.2.3 Kommentar

Resultatene fra test #2 viser at en seksjoneringsløsning bestående av dobbel stålplate med luftspalte kan være en god løsning på grunn av den lange tiden før brannspredning til kald side.

## 10 Test #3

### 10.1 Resultater

Her presenteres en oversikt over visuelle observasjoner, bilder og loggede temperaturmålinger fra forsøket med Protecta Mineralfiberplate.

#### 10.1.1 Visuelle observasjoner

Tabell 10-1 Visuelle observasjoner, test #3

Tid [min:sek]	Hendelse
T-1	Start av logger, kamera, stoppeklokke
00:00	Gassbrenner antent, Figur 10-1
00:37	10l/6,3s
01:58	Isoleringen brenner i midten på varm siden
02:20	Røyk observert fra kald side
02:20	10l/7,2s
03:15	Isolering brenner i bunnen på varm side
03:39	Røyk fra kald side avtar
05:40	Jevnt sig med røyk
06:00	10l/8,5s, øker gasstilførsel
06:41	10l/6,1s
09:00	Stor røykutvikling
09:50	10l/6,7s
12:06	Konsentrert røyk observert på kald side til høyre
12:40	Toppkasse litt varm ved berøring fra baksiden
14:09	10l/7,4s, øker gasstilførsel
14:40	10l/6,7s
15:10	Ingen røyk observert fra kald side
15:20	Hvit røyk observert fra kald side
19:06	10l/7,3s
21:28	Øker gasstilførsel
21:45	10l/5,7s
27:00	Kamera skrudd av
27:10	Brann observert inne i kasse to fra toppen
28:00	Synlig flamme på toppen (kald side), Figur 10-2
28:12	Kamera skrudd på
28:28	Gass skrudd av
28:30	Flamme observert gjennom skjøt (varm side)
28:30	Manuell slokking foretatt
39:30	Logger skrudd av

Kommentar: l/s representerer avlest gasstrøm. Første tegn på røyk fra kald side ble observert etter 02:20 [min:sek]. Det antas at denne røyken ikke kommer som følge av pyrolysing av kassene, men fra ett av elementene (isolering, maling, fugemasse) til seksjoneringen. Etter 27:00 [min:sek] skrudde kameraet seg av som følge av innstillingene. Kameraet ble ikke skrudd på igjen før etter antennelse på kald siden hadde funnet sted. Tidspunkt for antenelsen ble bare dokumentert visuelt. Snitteeffekten for hele forsøket ble beregnet til 122 kW<sup>20</sup>.

<sup>20</sup> Vedlegg: B. Beregninger

### 10.1.2 Bilder fra test



Sett forfra

Figur 10-1: Begynnelsen av testforløp



Sett fra siden



Figur 10-2: Kontinuerlig flamme etter tilnærmet 28:00 [min:sek]



A: Kasser plassert utenfor grid



B: Kasser plassert i grid, nr to fra gulv

**Figur 10-3: Skadeomfang kasser**



A: Varm side

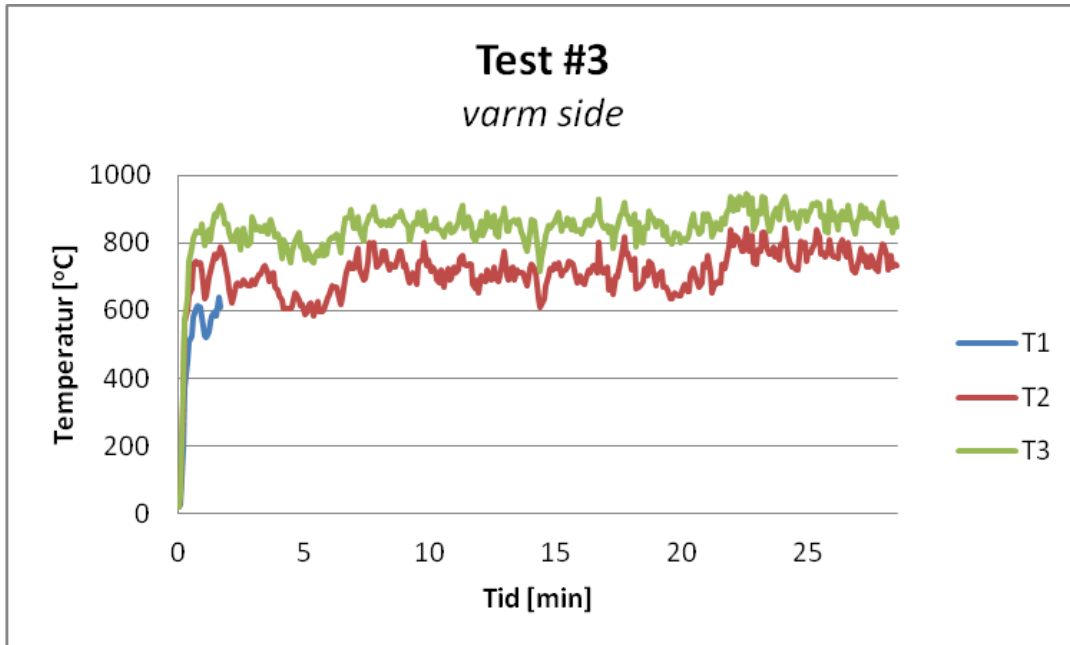


B: Kald side

**Figur 10-4: Skadeomfang på seksjoneringsvegg**

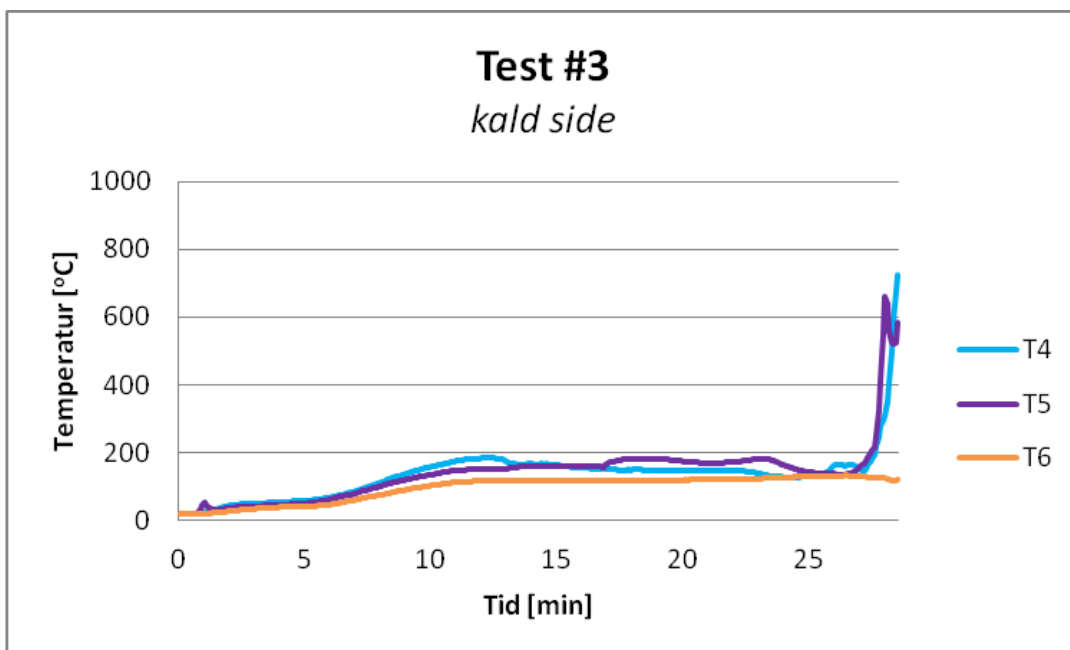
### 10.1.3 Temperaturmålinger

Figur 10-5 og 10-6 fremstiller temperaturmålingene på henholdsvis varm og kald side i tre posisjoner.



Figur 10-5 Temperaturmålinger varm side, test #3

Til figur 10-5: Feilmåling fra T1 oppsto etter ca. 01:30 [min:sek]. Temperaturøkningene etter tilnærmet 22 minutter antas å være resultat av oppjustering av gasstrømmen etter 21:45 [min:sek] som ga en høyere effekt.



Figur 10-6 Temperaturmålinger kald side, test #3

## 10.2 Diskusjon

Den oppjusterte gasstrømmen etter 21:45 [min:sek] var ikke et resultat av behov for større effekt, men som følge av de variasjoner som kan oppstå ved manuell styring av gassen. Det er ikke dokumentert om den noe økende effekten var vedvarende, og det kan ut i fra temperaturmålingene antas at tid til antennelse ikke ble påvirket nevneverdig.

### 10.2.1 Temperaturmålinger

Figur 10-5, som presenterer temperaturmålinger på varm side, viser bare T2 og T3 gjennom hele brannforløpet. Den økte temperaturen for begge posisjonene etter tilnærmet 22 minutter antas å være en følge av den effektøkningen som gir en kraftigere og høyere flamme. Det kan i dette forsøket antas at temperaturen på varm side ble påvirket av den brennende overflaten på seksjoneringsveggen som er dokumentert ved flere tidspunkt.

Figur 10-6 presenterer temperaturene på kald side. En jevn stigning for alle posisjonene frem til tilnærmet 13 minutter der temperaturen jevner ut er gjeldende for alle termoelementene, og T6 holder den laveste temperaturen. Den kraftige temperaturøkningen etter tilnærmet 27 minutter for henholdsvis T4 og T5 skyldes brann i kasse to og tre. Denne brannen ble observert gjennom et lite hull i kasse to fra toppen ca. ett minutt før synlig flamme ble observert på toppen. T6 holder en jevn temperatur under hele forsøket da all brann befant seg over nederste termoelement (T6).

### 10.2.2 Skadeomfang

Figur 10-3 og 10-4 viser skader etter test #3.

#### Seksjoneringsvegg

Figur 10-4 viser et bilde av seksjoneringsveggen etter forsøket på varm (A) og kald (B) side. Sprekkdannelse opppe til venstre i bildet skyldes påkjenninger ved demontering og ikke påkjenninger fra brannen på varm side. Det er dog hvert å merke seg at skjøre materialer kan deformeres ved montering/demontering eller som følge av trykk og strekk i grid. Det ble ikke observert bøyninger av seksjoneringsveggen ved demontering. Etter avstengning av gass ble det observert flamme gjennom skjøt i seksjonering på varm side. Dette kan tyde på utilstrekkelig brannmotstand i overgangen mellom platene. Denne antagelsen kan også baseres på den hurtige temperaturøkningen etter tilnærmet 27 minutter. Temperaturmålinger på kald side viser ingen jevn stigning, men en plutselig brann som oppstod.

#### Kasser

Figur 10-3A viser et bilde av skadeomfanget på kassene i griden. Størst skade har forekommet på kasse nr 2 og 3 i sentercellen, som vist i figur 10-3B, hvor fronten av kassene har brent/smeltet helt bort. Det kan også observeres hull i fronten i den øverste kassen. Kassene plassert i sidecellene hadde kun litt smeltet plast i kantene, men ingen skader av betydning. Det ble observert en relativt stor brann inne i griden en viss tid før flammen var synlig på toppen. Dette kan indikere at seksjoneringsløsningen ga mer oksygentilgang og direkte flammepåkjennning til kald side enn foregående tester.

### 10.2.3 Kommentar

Ut i fra forsøket kan det tyde på at en seksjoneringsløsning bestående av isolasjonsmateriale ikke er en optimal løsning til tross for en viss varighet før brannspredning til kald side forekom.

## 11 Vurdering av seksjoneringsløsningene

En vurdering av de tre seksjoneringsløsningene som har blitt testet ble gjennomført i den hensikt å finne den best egnede. Valgt seksjoneringsløsning ble testet videre i småskala AutoStore.

**Tabell 11-1 Utvalgte resultater fra test #1-3**

	Test #1	Test #2*	Test #3
<b>Brannspredning [time:min:sek]</b>	00:10:50	01:11:16	00:28:00
<b>Snitteffekt [kW]</b>	116	<60min: 115 >60min: 191	122
<b>Temperatur på kald side ved brannspredning [°C]</b>	T4: 204 T5: 417 T6: 359	T4: 199 T5: 226 T6: 135	T4: 723 T5: 586 T6: 121

\* Effekten fra gassbrenneren ble oppjustert etter 60 minutter

Kommentar til tabell 11-1: Brannspredning betegner observert flamme på toppen av grid uavhengig av hvor lenge en eventuell brann har foregått inne i grid på forhånd.

Fra tabell 11-1 kommer det frem at seksjoneringsløsningen benyttet i test #2 ga klart best resultater. Dobbel stålplate motstod brannspredning over 43 minutter lenger enn nest beste løsning, som var Protecta Mineralfiber. Det kan antas at antennelse på kald side oppstod som følge av oppjustering av effekten fra gassbrenneren, da temperaturene på kald side stagnerte etter tilnærmet 50 minutter. Økt effekt ga en større flamme og en jevnere brannpåkjenning på en større del av seksjoneringen. Det er usikkert om brannspredning hadde forekommet uten effektøkning.

Det fremkommer i figur 9-8 at dobbel stålplate ga en treg temperaturøkning på kald side. Det kan virke som at den trege temperaturøkningen medførte omfattende smelting av plast uten at brannspredning forekom. Temperaturene i tabell 11-1 for test #2 viser at det ikke har vært brann i griden før flamme ble observert på toppen. I motsetning til test #1 og #3 er temperaturene for dobbel stålplate betydelig lavere jevnt over. Særlig temperaturene i test #3 indikerer en brann i grid før dokumentert antennelsestid, dette ble også observert.

Det konkluderes med at dobbel stålplate er beste løsning som seksjonering i AutoStore i henhold til fastsatte betingelser i metode. Denne løsningen blir derfor benyttet i test #4; småskala AutoStore.



## 12 Test #4: Test i småskala AutoStore

Test #4 ble gjennomført i henhold til tabell 12-1, med utgangspunkt i beste seksjoneringsløsning, dobbel stålplate. Alle benevnelser varm side betegner brannekspontert side, kald side er uekspontert side.

### 12.1 Testoppsett

**Tabell 12-1: Testoppsett test#4**

Antall tester	1
Varighet	1) Til synlige flammer oppstår på kald side 2) Til brann på varm side blir vurdert til for stor
Antenneskilde	"standardisert" tennbrikke i henhold til SP
Innhold i kassene	Varm side: Kartonger med plastikkopper Kald side: Tomme kasser
<b>Testgrid</b>	
Materiale	Aluminium
Mål	1055 (L) x 2235 (B) x 1444,5 (H) [mm]
Celler	Plan: 6 Høyde: 4
Kasser	Høye HDPE plastkasser Produsent: Scholler Arca Systems AB Første cellerad horisontalt: 12 Andre cellerad horisontalt: 12
<b>Måleutstyr</b>	
Termoelement	Type K
Temperaturlogging	Fluke Hydra Datalogger med tilhørende dataloggerprogram versjon 4.2
Tidsintervall temperaturlogging	5 sekunder
<b>Seksjoneringsmateriale</b>	
2 x M1	Stålplate  Materiale: Stål Belegg: Alu-sink Mål: 664 (L) x 587 (B) x 1000 (H), t: 1,5 [mm] Lengde skjøt: 16,8mm Vekt pr. plate: 7,7kg

Kommentar: Termoelementer på kald side hadde en lavere brannmotstand i isoleringen enn de på varm side. Se vedlegg E. for testprosedyre i brannlaboratoriet.

### 12.1.1 Varighet

Testvarigheten var ikke fastsatt på forhånd. Avslutning av test skulle skje når enten:

1. Synlige flammer observert på kald side, eller
2. For stor brann på varm side:
  - avgjort etter vurdering under test, eller
  - pølbrann på den størrelsen at den ikke kan slokkes uten å avslutte hele testen

Begrensninger i laboratoriet i forhold til kapasiteten til den mekaniske avtrekksviften, størrelsen på laboratoriet og sikkerhet forbundet med røykutvikling og slokking var hovedpunktene i vurderingen av når testen skulle avsluttes<sup>21</sup>.

### 12.1.2 Antenneskilde

Antenneskilden var standard tennkilde[13] benyttet av SP, normalt sett brukt til sprinkler- eller vareklassifiseringstester. Tennkilden besto av:

- Lav-densitet fiberplate 400mm (L) x 50mm (H) x 25mm (B)
- 240 ml heptan ( $C_7H_{16}$ )
- Plastpose (type brødpose)

Fiberplaten ble gjennomtrukket med heptan og pakket inn i brødpose. Figur 12-1 viser antenneskilden.

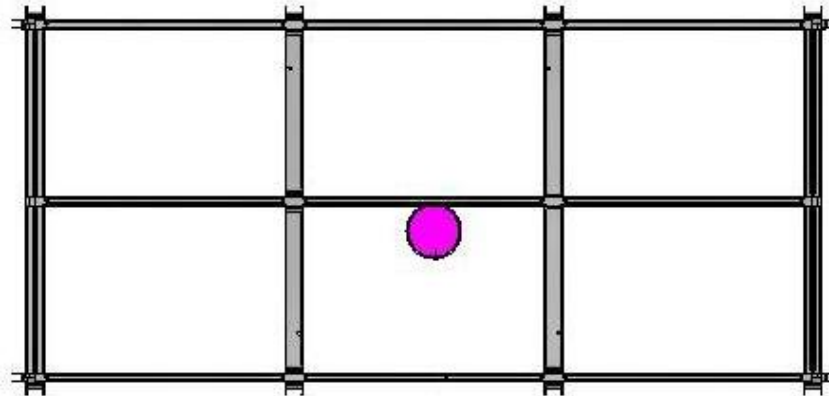


Figur 12-1: Antenneskilde

---

<sup>21</sup> Kap. 6.3 Testbegrensninger

Antenneskilden ble plassert i celle to mellom seksjoneringsveggen og kassene på varm side, se figur 12-2. For å antenne antenneskilden var kassene i midtre celle holdt oppe før testen, og senket etter antennelse, se figur 12-3.



Figur 12-2 Plassering av antenneskilde

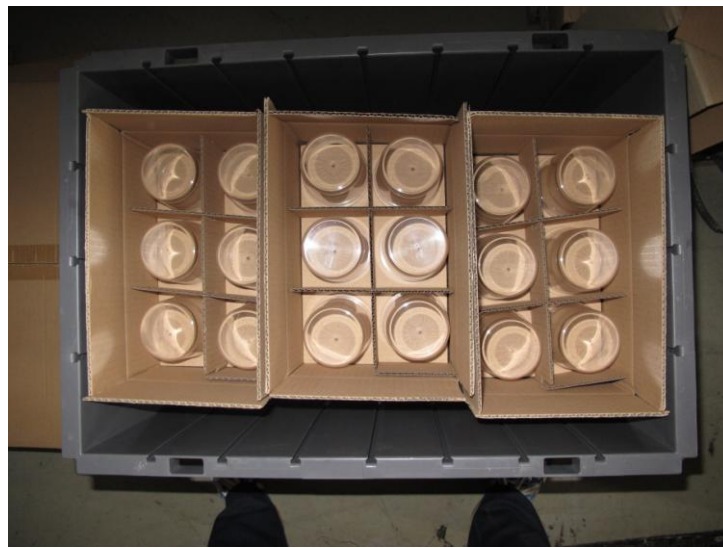


Figur 12-3 Plassering av antenneskilde. Kasser er holdt oppe for antennelse

### 12.1.3 Kasseinnhold

Kassene på varm side inneholdt pappkartonger fylt med plastikkopper etter oppsett fra SP. Dette er en tilnærming til reelle varer som vil befinne seg i et lagersystem, og er en tilnærming til Europeisk standard av plastikkvarer. Forskjellen mellom benyttet vare og Europeisk standard er andel plastinnhold, henholdsvis 63 % for Europeisk standard og 54 % i benyttede varer[13].

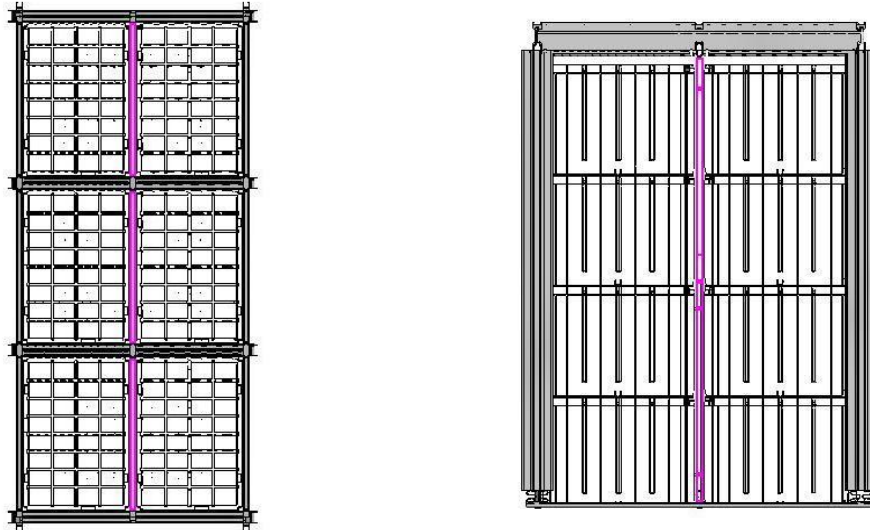
Hver pappkartong inneholder 12 plastikkopper delt med papplater. Pappkartongene hadde en ytre dimensjons 300mm (L) x 200mm (B) x 214mm (H). Hver kasse inneholdt totalt seks kartonger plassert med to i høyden, se figur 12-4. Kassene på varm side inneholdt varer for å representere en brann i et reelt lagersystem, samt for å øke brannenergien og opprettholde vedvarende flamme.



Figur 12-4 Innhold i kassene på varm side

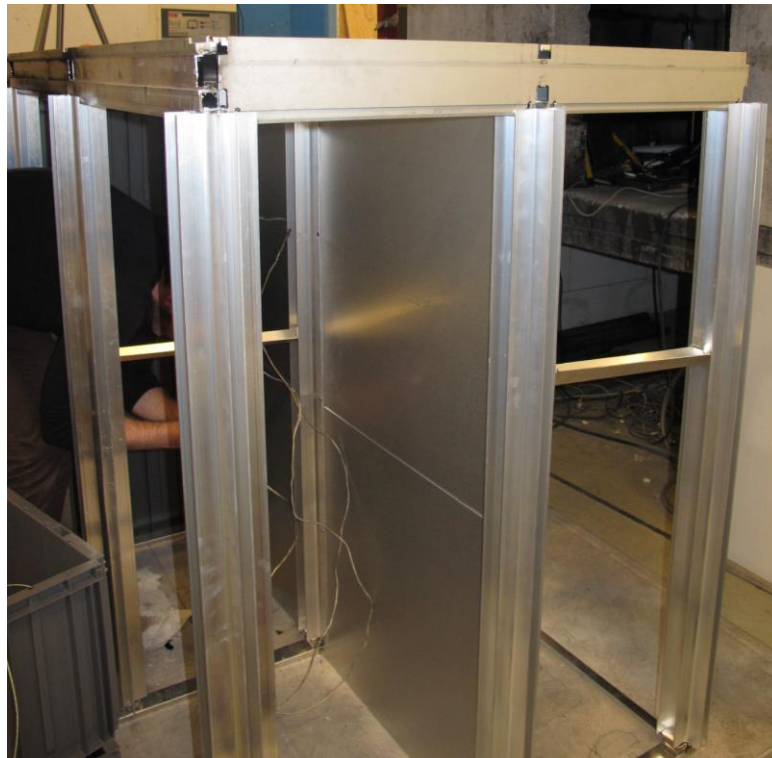
### 12.1.4 Testgrid

Se figur 12-5 for testgrid og vedlegg J. for dimensjoner. Testgriden besto av aluminiumsprofiler med spor for feste av seksjoneringsvegg. Seksjoneringen ble plassert i midten av griden langs tre celler. Figur 12-6 viser montering av grid. Valgt seksjonering av dobbel stålplate ga bruk av 12 stålplater. Griden ble fylt med kasser i sin helhet, totalt 24 kasser, 12 på hver side av seksjoneringen. Testgriden var under forsøket plassert på en gipsplate. På grunn av sluk i testlaboratoriet var ikke gulvet i vater.



Testgrid sett ovenfra, seksjonering er markert    Testgrid sett fra siden, seksjonering er markert

Figur 12-5 Testgrid



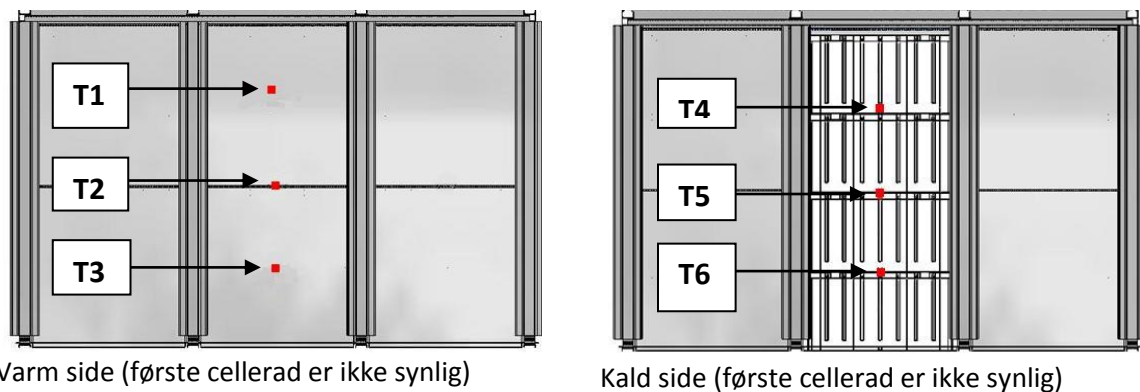
Figur 12-6 Montering av grid

### 12.1.5 Måleutstyr

Termoelementer<sup>22</sup> av type K med ulik isolering ble benyttet ved de ulike sidene. Det ble benyttet isolering med høy brannmotstand på de termoelementene som befant seg på varm side. Tynnere termoelementer med lavere brannmotstand i isoleringen ble benyttet på kald side. Ulik isolering ble benyttet på grunn av direkte eksponering av flammer på varm side og behov for tynnere og mer bevegelige termoelementer på kald side grunnet små avstander mellom kasse og seksjonering.

#### Plassering av termoelementer

Temperaturen ble målt i tre høyder på hver side av seksjoneringsveggen, se figur 12-7 for oppsett, tabell 12-2 gir posisjon.



**Figur 12-7 Plassering av termoelementer**

**Tabell 12-2: Posisjon termoelementer**

Posisjon#	Posisjon (L:H)*
T1, T4	1005,75mm, 1057,5mm
T2, T5	1005,75mm, 705mm
T3, T6	1005,75mm, 352,5mm

\*referansepunkt: Venstre hjørne (0,0)

Termoelementene på varm side ble festet gjennom drillhull i profilen og holdt oppe av ståltråd, se figur 12-8. Termoelementene på kald side ble festet i drillhull gjennom kassenes vegg og holdt oppe av ståltråd, se figur 12-9. Termoelementene ble på begge sider plassert slik at de ikke var i kontakt med kasser eller seksjoneringsvegg, men målte temperaturen i luften.

<sup>22</sup> Vedlegg: A2. Temperaturmåling



Figur 12-8 Feste av termoelementer på varm side



Termotråd gjennom hull for feste

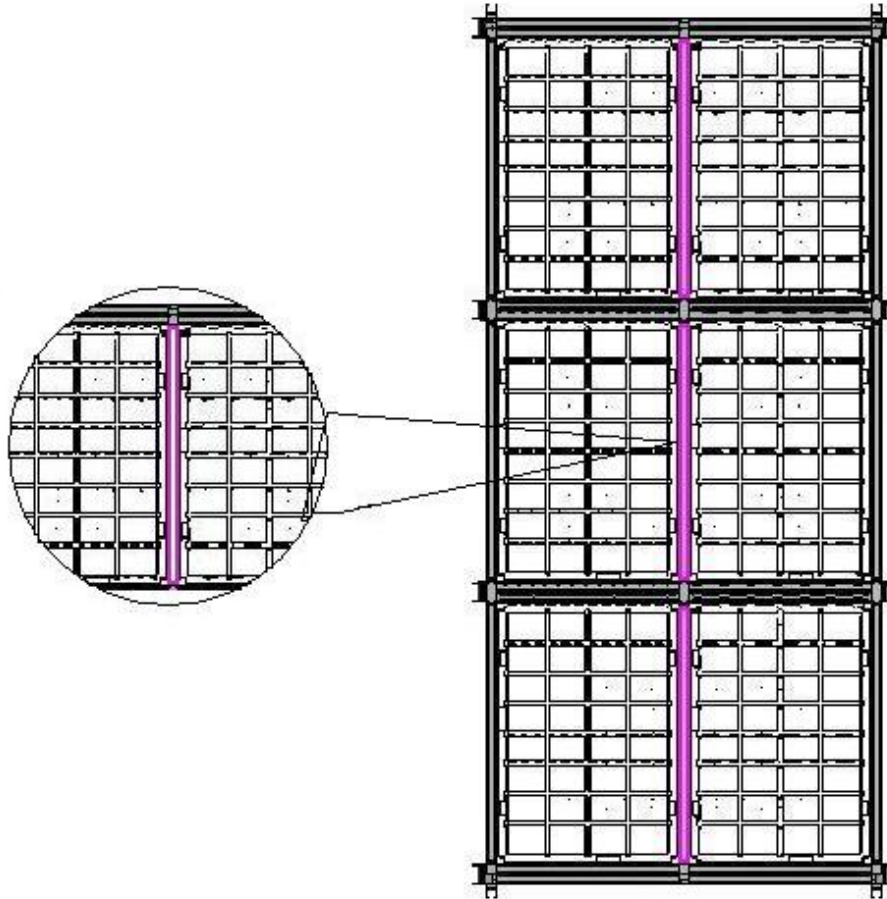


Termotråd festet med ståltråd mellom kasse og seksjonering

Figur 12-9 Feste av termoelementer på kald side

### 12.1.6 Seksjonering

Testen ble gjennomført med seksjoneringsløsning fra test #2. Seksjoneringen besto av dobbel stålplate, 2 x M1, plassert med kantene mot hverandre. Dette ga en luftspalte på 13,5mm mellom stålplatene, total tykkelse 16,5mm. Se figur 12-10 for oppsett.



Figur 12-10 Seksjonering test #4



## 12.2 Resultater

Her presenteres en oversikt over visuelle observasjoner, bilder og loggede temperaturmålinger fra forsøket med dobbel ståplate som seksjonering i småskala AutoStore.

### 12.2.1 Visuelle observasjoner

Tabell 12-3 Visuelle observasjoner, test #4

Tid [min:sek]	Observasjon
T-1	Logger, stoppeklokke og kamera startet
00:00	Antennelse av tennbrikke
00:20	Alle kasser på plass
01:00	Figur 12-11A
01:34	"Crack" fra seksjoneringsvegg
03:45	Mye røyk observert mellom kassene på varm side
06:10	Figur 12-11B
06:15	Røyk observert mellom kasse en og to, samt ut fra kassene (fra toppen)
06:46	Diskontinuerlig flamme over grid, figur 12-12A
07:08	Varene i toppkassen antenner, figur 12-12B
07:18	Røykgassen antenner, se figur 12-13
08:28	Røyk observert fra kald side [hvit]
09:04	Venstre celle på varm side brenner
09:28	Smeltet plast på gulvet foran kassene, figur 12-14A
10:07	Gjennombrenning av toppkasse i celle 2
10:20	Pølbrann på varm side foran celle 2, figur 12-14B
10:48	Manuell slokking foretatt
11:26	Alle synlige flammer slokket
14:00	Kamera avsluttet
15:28	Brann blusset opp på varm side
15:30	Manuell slokking foretatt
17:32	Brann har spredd seg til kald side, figur 12-15
20:00	Manuell slokking foretatt
27:28	Brann varm side. Manuell slokking iverksatt
37:45	Avkjøling med vann på varm side
42:06	Ulmning varm side. Avkjøling med vann
47:00	Logger avsluttet

Kommentar: Kamera ble avsluttet etter 14:00 [min:sek] grunnet at manuell slokking hadde blitt utført. Det var ingen synlige tegn på vedvarende brann i grid, og det ble derfor vurdert til at brannspredning til kald side ikke ville forekomme.

### 12.2.2 Bilder fra test



A: 01:00 [min:sek]

Figur 12-11 Røykproduksjon under forsøk



B: 06:10 [min:sek]



A: Diskontinuerlig flamme i røykgassene etter 06:46 [min:sek]

Figur 12-12 Brannforløp



B: Spontanantennelse av varer ved 07:14 [min:sek]



Figur 12-13 Antennelse av røykgasser etter 07:18 [min:sek]



A: Hele midtre celle i brann, og begynnelse av pølbrann på gulvet etter 08:45 [min:sek]



B: Brannen har spredd seg til venstre celle og voksende pølbrann. Gjennombrennning av enkelte kasser i midtre celle etter 09:53 [min:sek]

Figur 12-14 Kraftig brannforløp



Figur 12-15 Synlig observert brannspredning til kald side etter tilnærmet 17:32 [min:sek]



Figur 12-16 Pølbrann på kald side etter at slokking på varm side var utført



Figur 12-17 Skadeomfang på kasser (varm side)



Figur 12-18 Seksjoneringsvegg (kald side)

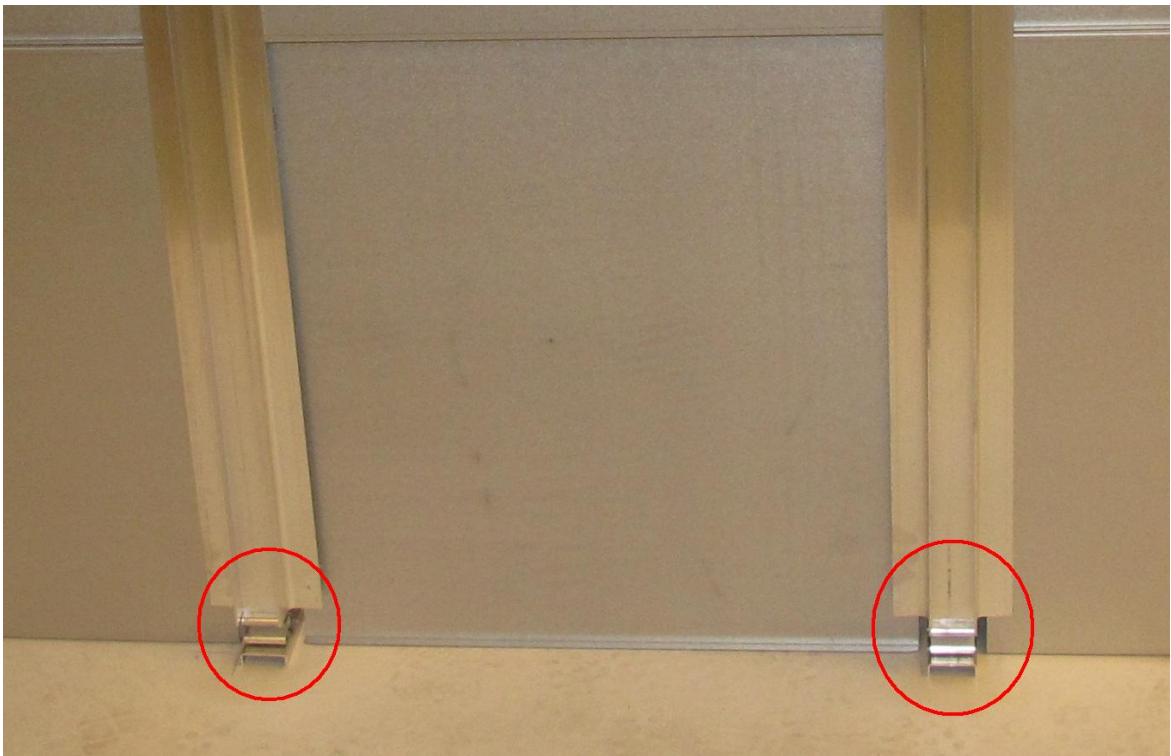


A: Seksjoneringsvegg sett fra varm side



B: Stålplatene har slått inn mot hverandre

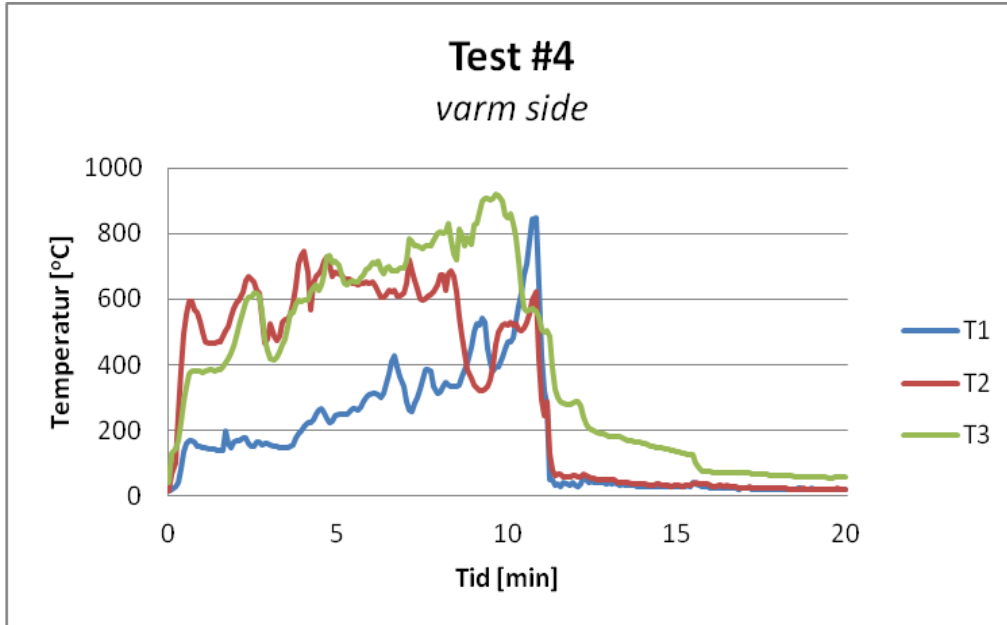
Figur 12-19 Seksjoneringsvegg etter brannforløp



Figur 12-20 Svakhhet i seksjoninggen

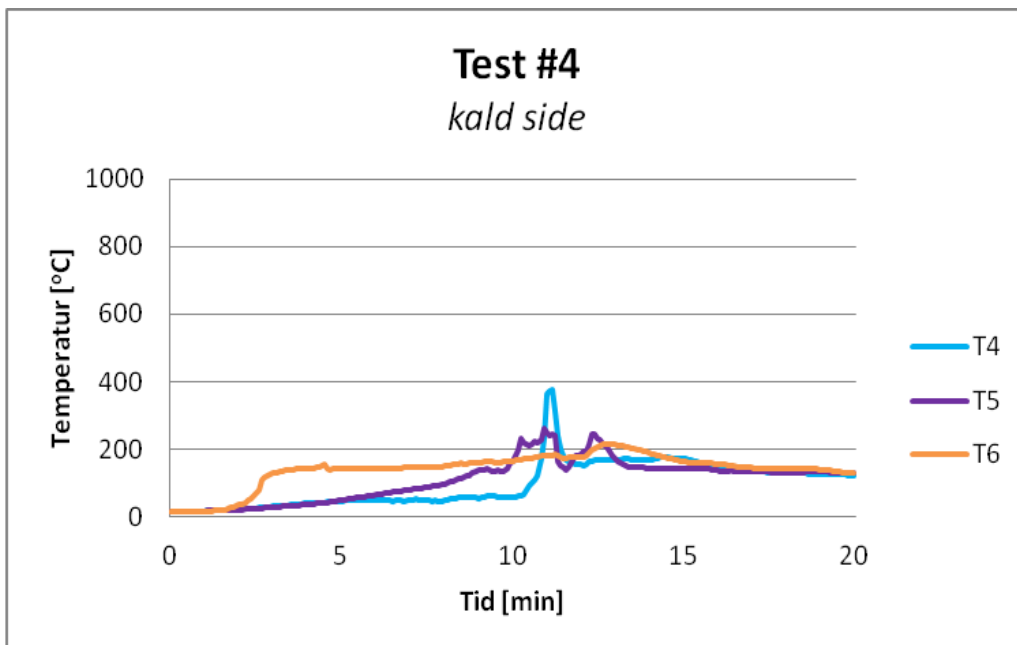
### 12.2.3 Temperaturmålinger

Figur 12-21 og 12-22 fremstiller temperaturmålingene på henholdsvis varm og kald side i tre posisjoner. Den totale varigheten av loggingen er ikke tatt med i sin helhet, grafene er avsluttet ved det tidspunktet testen ble ansett som fullført i henhold til metode.



Figur 12-21 Temperaturmålinger

Til figur 12-21: Plutselig temperaturfall er ved tiden 10:48 [min:sek] der manuell slokking ble iverksatt første gang.



Figur 12-22 Temperaturmålinger

## 12.3 Diskusjon

### 12.3.1 Temperaturmålinger

Figur 12-21 viser at T2 og T3 har en betydelig hurtigere temperaturøkning i forhold til T1. Dette skyldes plasseringen av tennbrikken i forhold til termoelementenes posisjoner. Ved omtrent tre minutter er det et temperaturfall gjeldende for både T2 og T3. Det kan antas at her brenner tennbrikken ut, og videre temperaturmålinger skyldes bare brann i kassene.

Etter ca. syv minutter ble det observert flamme på toppen av griden på varm side. Det var først varene i kassene som spontanantente grunnet den høye varmestrålingen fra røykgassene, se figur 12-12B. Litt senere stod også flammer opp fra griden, og brannutviklingen kan beskrives som hurtig. Temperaturen målt ved T1 var relativt lav i forhold til at det var en brann på toppen. Figur 12-13 viser bildet av flammen på toppen. Det kan antas at årsaken til T1 sine måleverdier er at branngassene ikke nådde en atmosfære som støttet forbrenning før de var utenfor griden. Varene i toppkassen spontanantente før branngassene, ved dette tidspunktet målte T1 en temperatur på 288 °C, som var gjeldende for branngassene som strømmet forbi.

Figur 12-22 presenterer temperaturmålingene på kald side. Temperaturøkningen for alle posisjonene begynte etter omtrent to minutter, med ulik stigning. T6 hadde klart raskeste økning, trolig grunn til dette er at tennbrikken ligger i gjeldende posisjon på varm side. T4 hadde en betydelig økning etter ca. 11 minutter, etter at manuell slokking ble gjennomført på varm side for første gang. Dette kan indikere en brann i griden på kald side, utenfor en direkte kontakt med noen av termoelementene. Den observerte flammen på toppen av griden på kald side etter 17:32 [min:sek] ga ingen utslag i temperaturmålingene på kald side. Dette kan indikere at en brann på kald side har foregått fra omtrentlig 11 minutter ut i testen, da eneste markante temperaturøkning oppsto her.

Figur 12-15 viser brann i kassene på kald side etter dokumentert antennelsestid, og det kan ses at brannen var lokalisert på kantene av kassene, ikke i midten der termoelementene var plassert. Årsaken til brannspredning, og det faktumet at brannen oppstod på kantene av kassene, antas og ha skjedd som følge av åpninger i bunnen der seksjoneringsveggen festes til profilen, se figur 12-20. Disse hullene har ført til at smeltet plast spredde seg over til kald side, og en pølbrann oppstod og førte til videre brannspredning opp langs kant på kassene. Antagelsen kan begrunnes ytterligere ved Figur 12-18, som viser smeltet plast og sotavleiringer opp langs seksjoneringen ved begge festepunktene. Figur 12-16 viser plastkonsentrasjonen, samt en pølbrann, på kald side under forsøket. Det at temperaturmålingene på kald side var så lave i forhold til at det eksisterte en brann der, viste en sakte horisontal brannspredning.



### 12.3.2 Skadeomfang

Figur 12-16, 12-17, 12-18 og 12-19 viser skadeomfang etter test #4.

#### Seksjoneringsvegg

Ved demontering ble det dokumentert at stålplaten på varm side hadde slått inntil motstående plate som følge av brannpåkjenning, se figur 12-19B. Figur 12-18 viser forekomst av sot ved skjøten. Det er uvisst om dette var som følge av kassene eller om det hadde kommet direkte gjennom skjøten, men lokasjonen til sotavleiringene, opp langs skjøten ved begge festepunktene, kan tyde på en svakhet i skjøten, som observert i test #2. Dersom brannen hadde hatt et lengre forløp kunne en potensiell svakhet blitt dokumentert ytterligere.

Figur 12-19A viser seksjoneringsveggen fra varm side. Stor brannpåkjenning har ført til begynnende sprekkdannelser på overflaten, mest sannsynlig av belegget stålplatene er dekket med.

#### Kasser

Figur 12-17 dokumenterer skadeomfanget på kasser på varm side. Oppsettet viser at de tre øverste kassene i midtre celle er fullstendig brent opp. Kassen på bunn hadde ikke brent opp til tross for at antennelse startet mellom denne kassen og seksjoneringen. Det var også større skader på cellen til venstre for arnestedet enn cellen til høyre. Dette er forårsaket av avtrekksviften som trakk flammen mot venstre.

Ved demontering ble det visuelt observert at kassene i de to cellene på hver side på kald side ikke hadde betydelige skader på seg. Figur 12-16 viser brann i kassene i midtre celle. Det kan ses på kasse to fra bunnen i den ytterste cellen at kassen ikke har noen synlige skader. Det kan antas at profilen mellom hver celle hindrer direkte varmpåkjenning mellom hjørnene til cellene og reduserer horisontal brannspredning. Det ble ikke dokumentert med fotografi skadene på kassene i midtre celle ved demontering, men det forekom ikke en fullstendig gjennombrenning av fronten på noen av kassene, slik som observert i test #2.

## 13 Anbefaling

Resultater og observasjoner fra testene gjennomført i denne rapporten er grunnlag for anbefaling til Hatteland Computer AS angående brannseksjonering av AutoStore. Anbefalingen omfatter videre testing og forbedringer av systemet, samt en konklusjon om bruk av seksjonering og sprinklerbeskyttelse av AutoStore.

### 13.1 Brannseksjonering av storskala AutoStore

En reell størrelse av AutoStore vil ha høyde 5,28 meter, og seksjonering vil bestå av fire plater i høyden. En storskala AutoStore vil bestå av større flater og flere materialer i form av antall profiler og kasser, slik at varmeledning vil skje over et større område, og mindre varme vil ledes gjennom seksjoneringsveggen til kald side. Testresultatene av dobbel stålplate indikerte at selve seksjoneringsveggen ikke vil være den mest kritiske årsak til brannspredning, men at det vil foregå via svakheter beskrevet videre.

#### Pølbrann

I test #4, der dobbel stålplate ble testet i småskala AutoStore, ble det avdekket svakheter i seksjoneringsveggen som ikke kunne forutses fra test #2. Brann i kasser kontra brann fra gassbrenner ga omfattende pølbrann som resultat av mye smeltet plast, se figur 12-14. Pølbrannene smittet over til kald side som følge av åpninger ved feste i gridprofilene i bunn, se figur 12-20. En tidsdifferanse til brannspredning tilnærmet 54 minutter mellom de to testmetodene for dobbel stålplate (test #2 og #4) skyldes i hovedsak pølbrannene. Det kan antas at tette fester i bunn ville gitt en betydelig lenger tid før brann på kald side var et faktum. Denne antagelsen baseres på overføringsverdien mellom bruk av gassbrenner og en brann i kasser<sup>23</sup>. I en reell AutoStore-installerings vil det være maksimalt 16 kasser i høyden (gjelder ved bruk av høye kasser), totalt 5,2 meter. En startbrann i en viss høyde over gulvet vil redusere sannsynligheten for pølbrann. Dersom smeltet plast har en lang vei å renne vil temperaturen reduseres, og platen vil størkne på vei ned. Ved brann nær gulvet eller store mengder smeltet plast med høy temperatur dannet på bunnen, vil spredning via pølbrann være den største risikoen.

#### Skjøt

En antagelse på forhånd av testing var at skjøten mellom platene var en potensiell svakhet i seksjoneringen. Svekkelse på skjøten kan gi direkte brannpåkjenning til kald side. Mulige årsaker til svekkelse kan forekomme som følge av deformering av platene eller bortbrenning av overflate. Test #2 viste betydelig større påkjenning på skjøten enn test #4. Dette viser at svekkelsen av skjøten påvirkes av eksponeringstiden. I en reell AutoStore-installerings vil det være totalt fire seksjoneringsplater i høyden, noe som gir tre skjøter per celle. Ved lang branneeksponering vil en mulig svekkelse i skjøt kunne medføre spredning til kald side. Uavhengig av ved hvilken høyde brannen oppstår vil minst én skjøt bli eksponert.

#### Spredning over seksjoneringsvegg

I en AutoStore-installerings er kasser og seksjoneringsvegg i lik høyde som grid. Dette gjør at en fullt utviklet brann, eller en brann i toppen, kan spre seg fra varm til kald side over seksjoneringen, eller til omkringliggende kasser, som følge av høy varmestråling fra flammer og/eller røykgasser. Dette ble observert i test #4 der varene i toppkassen spontanantente på grunn av de varme røykgassene før synlig flamme oppstod, se figur 12-12B. I et reelt AutoStore vil det alltid være

---

<sup>23</sup> Kap. 6.1 Hensikt

innhold i kassene. Erfaringene fra testene er at brannspredning i kassene foregår veldig sakte bortover, mens det ikke ble observert nedover i noen av testene. Det er rimelig å anta at ved en eventuell brannspredning over seksjonering, vil spredningen skje sakte.

### Deformasjon

Begge testene med dobbel stålplate (test #2 og #4) viste at stålplaten på varm side deformerte og slo inntil motstående plate. Observerte lyder under testforløp ga at dette mest sannsynlig skjedde på et tidlig tidspunkt. Dette medførte økt varmetransport til kald side via varmeledning fordi luftspalten ble eliminert. Ved lang eksponeringstid på profilene vil aluminiumen på et tidspunkt smelte, slik at platene kan endre posisjon eller falle helt bort. Det vil da være direkte åpninger mellom seksjonene. Dette forekom ikke i utførte tester, og det er rimelig å anta at det kreves en større brann over lengre tid før smelting inntreffer.

### Småskala vs. Storskala

I et reelt AutoStore vil utsiden av griden være kledd med plater. Dette vil gi en større begrensning i oksygentilførsel i forhold til småskala-griden benyttet i testen. Testet grid hadde ingen plater på utsiden, og en lav høyde i forhold til virkeligheten. Dette gir økt oksygentilgang som bedre tilrettelegger for brannutvikling. I småskala-grid antente ikke branngassene før de var over griden, dette var som følge av oksygenmangel. I storskala vil oksygentilførselen være enda mer redusert, samt at branngassene potensielt vil ha en lenger vei til toppen, og mye varme tapes. Årsaken til begrenset lufttilgang i grid kommer av små avstander mellom cellene og ingen avstand mellom kassene vertikalt.

## **13.2 Videre arbeid**

Videre arbeid baseres på bruk av dobbel stålplate som seksjonering. Testene gjennomført i denne oppgaven viste klart best resultater for denne løsningen.

### Videre testing

- Testene bør utføres i storskala, herunder menes høyde tilsvarende reell installasjon, kledning av grid, og et større areal. Dokumentasjon av seksjoneringens ytelse ved eksponering av en større brann over lengre tid vil gi en god indikasjon på spredning av brann mellom seksjoner i en reell installasjon av AutoStore
- Toppkasser på kald side bør inneholde varer for å dokumentere brannspredning over seksjoneringsvegg
- Testene bør utføres med anbefalte forbedringer av systemet

### Forbedringer

- Hull mellom profil og seksjonering i bunn av grid bør tettes for å unngå brannspredning via pølbrann, se figur 12-20. Gulvet bør være helt plant for å unngå åpninger
- Det bør utarbeides en løsning for å hindre at stålplatene slår i hverandre ved brannpåkjenning
- Det bør ses på muligheter for å forbedre overgangen mellom platene vertikalt
- Det bør ses på muligheten for å ha lokk på kassene, dette vil kunne begrense brannspredning mellom seksjoner på toppen, samt at vann fra sprinklere vil distribueres raskere ned i griden

### **13.3 Konklusjon**

Det konkluderes med at de største farene for brannspredning mellom seksjoner i AutoStore vil skje som følge av pølbrann eller spredning over toppen av grid. Det er anbefalt som en forbedring at alle kasser blir utstyrt med lokk, dette vil redusere risikoen for at varer spontanantenner på kald side. Det kan likevel antas at dersom denne anbefalingen ikke blir fulgt, vil en brann i en toppkasse bli slukket av sprinkleranlegg før en stor brann rekker å spre seg. En forbedring gjeldende for å hindre spredning via pølbrann bør være høyeste prioritet.

Dersom anbefalinger til forbedringer og videre arbeid gitt i oppgaven blir fulgt, antas det at dobbel stålplate som seksjonering vil kunne hindre en brannspredning mellom seksjoner i den tid det er nødvendig før sprinklere utløses. Dobbelt stålplate som seksjonering blir sett på som en mulighet bare der sprinklersystem er benyttet som beskyttelse. Løsningen kan likevel være aktuell ved andre slokkesystemer. Det er viktig å presisere at en brannspredning mellom seksjoner på et tidspunkt høyst sannsynlig vil forekomme ved vedvarende brann, og sprinkleranlegg må være tilstrekkelig dimensjonert.

Det ses positivt på at videre testing i storskala AutoStore vil dokumentere at dobbel stålplate som seksjonering ved sprinklerbeskyttelse vil være en minst like god løsning som krav og anbefalinger gitt i NS-EN 12845.

### **13.4 Feilkilder**

- Feilmålinger fra termoelementer som følge av sotlagring på tuppen
- Feilmålinger fra selvlagde termoelementer som følge av monteringsfeil
- Utettheter i seksjoneringsvegg som følge av monteringsfeil kan gi en hurtigere brannspredning
- Begrensede observasjonsmuligheter kan ha hatt en senere dokumentering av tid for brannspredning enn realiteten
- I forbindelse med test #3 kan den manglende tørketiden til fugemassen og malingsbelegget ha hatt en innvirkning på resultatene
- Målefeil/avlesningsfeil på gjennomstrømningsmåleren
- Målefeil på temperaturloggeren
- Menneskelig svikt

## Referanser

1. FEMA, U.S. Fire Administration (April 2010). *Nonresidential Building Fires*. (Storage Buildings, s. 82-89) Tilgjengelig fra [http://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/statistics/nonresidential\\_building\\_fires.pdf](http://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/statistics/nonresidential_building_fires.pdf)
2. SFPE (2002) "*Handbook of Fire Protection Engineering*" (3rd ed.)
3. Rapport utarbeidet av SP: P903499, R1 (Materialtest 1) (2009) (intern rapport for Hatteland Computer AS)  
Rapport utarbeidet av SP: PX00778 (Materialtest 2) (2009)(intern rapport for Hatteland Computer AS)
4. Rapport utarbeidet av Norconsult v/ Stefan Andersson (2007), oppdragsnummer 5004033 (intern rapport for Hatteland Computer AS)
5. Hypoxic Technologies. Tilgjengelig fra <http://www.hypoxic.no/FAQ>
6. AGA. Tilgjengelig fra [http://www.aga.no/international/web/lg/no/like35agano.nsf/docbyalias/nav\\_inert\\_gases](http://www.aga.no/international/web/lg/no/like35agano.nsf/docbyalias/nav_inert_gases)
7. Forskrift om Tekniske krav til byggverk (2010) med tilhørende veiledning. Kapittel 2: *Dokumentasjon av oppfyllelse av krav*. Tilgjengelig fra <http://byggeregler.dibk.no/dxp/content/tekniskekrav/>
8. Standard Norge (2004), NS-EN 12845:2004+A2:2009 "*Faste brannsløkkesystemer, Automatiske sprinklersystemer, Dimensjonering, installering og vedlikehold*"
9. Standard Norge. Tilgjengelig fra <http://www.standard.no/no/Standardisering/Norsk-standard/>
10. NFPA13 "*Standard for the installation of Sprinkler Systems*" (2010)
11. Bennie G., Vincent, "*Evaluation of Protection for Plastic Containers Using Sprinkler Systems with 1.0% AFFF and Plain Water*" (Vol. 19, 2009). Tilgjengelig fra <http://jfe.sagepub.com/content/19/2/107.abstract>
12. Rapport utarbeidet av SP: P907897 (2010) (intern rapport for Hatteland Computer AS)
13. Rapport utarbeidet av SP: P903510 (2009) (intern rapport for Hatteland Computer AS)
14. Drysdale, Dougal (2009). "*An introduction to Fire Dynamics*" (2nd ed.)
15. Verdi for aluminium. Tilgjengelig fra <http://no.wikipedia.org/wiki/Aluminium>
16. Hagen, Bjarne Christian (2004). "*Grunnleggende brannteknikk*"

17. Pyro °Control AS. Tilgjengelig fra <http://www.pyrocontrol.no/tempraturkatalogen/46-47.pdf>
18. Rockwool, *Conlite 300*. Tilgjengelig fra <http://guiden.rockwool.no/produkter/passiv-brannsikring/conlit-300>
19. Norgips, *Brannplate 15 (type F)*. Tilgjengelig fra <http://www.norgips.no/produkter/gipsplater/brannplate-15/index2,806.htm>
20. Olbi Aluminium, *Versapanel Sementfiberplate*. Tilgjengelig fra <http://www.olbi.no/PDF/versapanel-produktblad>
21. Standard Norge (2002)  
ISO-5660-1:2002 *"Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – part 1: heat release rate (cone calorimeter method)*  
ISO-5660-2:2002 *"Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – part 2: Smoke production rate (dynamic measurement)*

# Vedlegg

## A. Teori

### A1. Varmetransport

I en brann vil varme transporteres vekk fra brannen ved varmetransport. Det finnes tre former for varmetransport; varmeledning, konveksjon og varmestråling. Varme er definert som energi som overføres fra et varmere materiale til et kaldere materiale på grunn av temperaturforskjeller. Arbeid med kraft på én newton over en avstand på én meter betegnes med Joule [J], som er enheten for varme.

#### Varmeledning

Varmerledning, også kalt varmekonduktivitet, er energi som ledes gjennom materialer (gass, væske eller fast stoff). Ved tilført energi vil det forekomme en økning i kinetisk energi som skaper bevegelser og vibrasjoner i molekyler og atomer. Dette fører til kollisjoner mellom atomer og molekyler med ulik energinivå, som dermed overfører energi. Varmeledning er den dominerende formen for varmetransport i faste materialer, kontra væske og gasser, grunnet den høye molekyltettheten.

Varmeledningsevnen betegnes med  $k$ , og beskriver materialets evne til å lede varme. Dersom verdien til varmeledningsevnen er høy omtales materialet som en god varmeleder, og lavere verdi tilsvarer dårligere varmeledningsevne. Varmeledningsevnen til materialer avhenger av materialtettheten. Høy materialtetthet medfører god varmeledningsevne, mens porøse materialer med lav materialtetthet leder varme dårlig. Stillestående luft fungerer godt som isolasjon på grunn av den lave varmeledningsevnen. I en seksjoneringsløsning som innebærer luftspalte mellom to materialer vil varmetransporten i hovedsak kun foregå ved varmestråling mellom platene. Denne løsningen kan dermed ha god brannisoleringsevne. Tabell A-1 presenterer noen materialers varmeledningsevne.

**Tabell A-1: Varmeledningsevnen til noen utvalgte materialer[14], [15]**

<b>Materiale</b>	<b>Varmeledningsevne <math>k</math> [W/mK]</b>
Stål	45,8
Aluminium	237
Gips	0,48
Luft	0,026

Varmen som transporteres gjennom et materiale er avhengig av materialets varmeledningsevne, tykkelse og temperaturforskjellen mellom varm og kald side av materialet.

$$\dot{q}'' = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} \text{ [W / m}^2\text{]}$$

## Konveksjon

Varmekonveksjon omtales som overføring av energi i gass/væske, eller mellom gass/væske til et fast materiale. Selve varmeoverføringen skjer på grunn av temperaturforskjeller.

Det skilles mellom naturlig og tvungen konveksjon. Naturlig konveksjon oppstår ved temperatur- og tetthetsforskjeller mellom fluidet og omgivelsene. Eksempelvis vil varm røyk stige i luft fordi den varme røyken har mindre tetthet enn omkringliggende luft. Tvungen konveksjon oppstår eksempelvis ved bruk av vifter, ventilasjon, pumper etc. som styrer strømninger.

Ligning for konveksjon:

$$\dot{q}'' = h \cdot \Delta T \text{ [W / m}^2\text{]}$$

## Varmestråling

I motsetning til varmeledning og konveksjon, krever ikke varmemestråling et mellomliggende medium som transporterer energien mellom utstrålingsobjekt og mottaker. Alle objekter over det absolutte nullpunktet (0 K) avgir varmemestråling, eller elektromagnetisk stråling. Utstrålingen fra et materiale er proporsjonal med temperaturen til objektet i 4. potens [16]:

$$q \sim T^4$$

Varmestråling fra et legeme:

$$\dot{q}'' = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \text{ [W / m}^2\text{]}$$

Mottatt varmemestråling til et legeme, sett i forhold til utstrålingsobjektet:

$$\dot{q}'' = \phi \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \text{ [W / m}^2\text{]}$$



## A2. Temperaturmåling

Temperaturen i forsøkene blir målt med termoelementer. Måleprinsippet bak et termoelement er to ulike metalltråder koblet sammen i den ene enden, før trådene separeres. Enden som befinner seg i måleområdet vil bli varmet opp, og det skapes en strøm gjennom kretsen. Et brudd i denne kretsen vil skape en spenning lik funksjonen av temperaturen i måleområdet og type metaller. De to metalltrådene der bruddet blir gjort kobles til koblingspunkt som føres til en logger som omgjør spenningen til temperatur og sender verdiene til en datamaskin. Alle loggere har kaldpunktskompensering som trekker fra omgivelsestemperaturen, slik at avlest temperatur er den reelle temperaturen.

Det er viktig at kablen mellom måleområdet og loggeren, kompensasjonskablen, er av samme type som termoelementet, eller har samme type egenskaper som termoelementet dersom termoelementet består av dyre metaller, for eksempel platina.

Nøyaktigheten til temperaturmålingene vil påvirkes av type termoelement og kompensasjonskabel. Det vil også være fare for feilutslag og ukorrekte måleresultater da det vil være motstand i alle overganger frem til loggeren. Responstiden,  $\tau$  (tau), til et termoelement påvirkes av diameteren til termoelementet. Jo større diameter, jo lengre responstid.

Termoelementer kan utføres som isolerte tråder lagt sammen i en kabel og uisolerte tråder som enten tvinnes eller punktsveises i enden. Uisolerte tråder er viktig å holde adskilt alle andre steder enn i enden. Det finnes også fast tupp der termoelementet bare eksisterer i enden. Fordelen med termoelement av tråder er at enden kan kuttes av og metalltrådene kan føres sammen igjen på enden for å gi et fungerende termoelement igjen [17].

Det finnes ulike termoelementer avhengig av ønsket temperaturrekkevidde. Noen vanlige typer termoelement er vist i tabell A-2.

**Tabell A-2 Ulike typer termoelementer[17]**

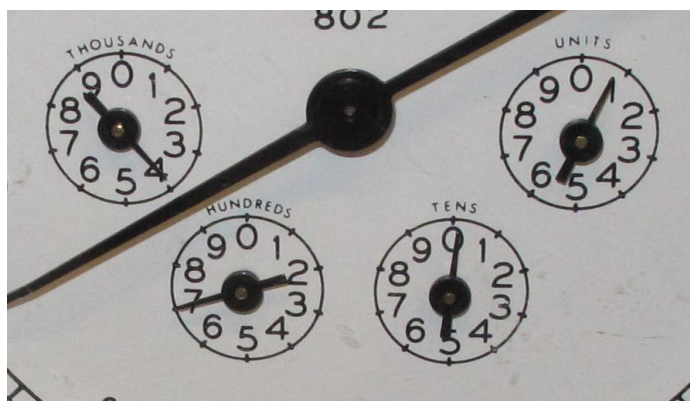
Termoelement	Metaller	Temperaturområde [°C]
Type J	Jern, konstantan (Fe/Cu-Ni)	-40 til 750
Type K	Nikkel, aluminium (Ni/Al)	-200 til 1200
Type R	Platina 13 % Rhodium, Platina (Pt-13Rh/Pt)	0 til 1600

### A3. Bruk av gassbrenner

#### Generelt

En brann fra gassbrenner inntreffer når væske fra gassbeholderen fordamper og gass frigis, dersom det eksisterer en tennkilde, og en atmosfære som støtter forbrenning, ved gassutløpet. Tennkilden kan være flamme fra fyrstikker eller andre tennkilder, med nok energi, for å antenne gassen. Flammen som oppstår fra gassbrenneren, benyttet i forsøkene, betegnes som en diffusjonsflamme.

Gassen transporteres gjennom en gjennomstrømningsmåler som måler mengde gass som strømmer gjennom til enhver tid. Gassmåleren benyttet i forsøkene opererte med totalt fem tellere, se figur A-1. Den store viserene representerte én liter per omløp. De andre viserene målte forholdsvis 1, 10, 100 og 1000 liter. Når den store viserene hadde foretatt ett omløp betydde det at én liter gass hadde strømmet gjennom måleren, dermed flyttet 1-liter viserene seg ett hakk. Når 1-liter viserene hadde gått ett omløp flyttet 10-liter viserene seg ett hakk osv. I forsøkene kan effekten reguleres ved å benytte 1-liter viserene som referanse. Ved å ta tiden på hvor lang tid 1-liter viserene bruker på ett omløp kan fordampningsraten estimeres ved å dividere én liter på omløpstiden.



Figur A-1: Gjennomstrømningsmåler

Effekten av gassbrenneren kan styres til ønsket effekt ved å vite hvor mye fordampet gass per tidsenhet som kreves for å oppnå den ønskede effekten. Dette krever nøye observasjon av måleren for å justere gassgjennomstrømningen til ønsket mengde. Gassbeholderen er trykksatt for at gassen skal være i væskefase i beholderen. Etter hvert som beholderen tappes for gass vil trykket synke, dermed minker gasstrømmen fra beholder litt etter litt. Ventilen må åpnes mer og mer for å opprettholde ønsket branneffekt fra brenneren.

### Prosedyre for å beregne snitteffekt

Etter et endt forsøk kan den gjennomsnittlige effekten avgitt fra gassbrenneren beregnes. Det første som gjøres er å registrere det totale gassvolumet som er blitt benyttet under forsøket. Dette gjøres ved å lese av gassmåleren før og etter forsøket. Det ble kun foretatt avlesninger av 1000-liter viseren grunnet den store mengden gass benyttet i hvert forsøk. Det totale gassforbruket kan da beregnes ut fra følgende formel:

$$V_{tot} = V_{etter} - V_{før} \text{ [m}^3\text{]}$$

Volumet kan skrives om til vekt ved å kjenne tettheten til gassen:

$$m_{tot} = \rho_{gass} \cdot V_{tot} \text{ [kg]}$$

Den gjennomsnittlige fordampningsraten kan dermed beregnes ut i fra ligning:

$$\dot{m}_{snitt} = \frac{m_{tot}}{t} \text{ [kg/s]}$$

Den gjennomsnittlige snitteffekten avgitt av gassbrenneren kan dermed beregnes:

$$\dot{Q}_{snitt} = \dot{m}_{snitt} \cdot \Delta H_c \text{ [kW]}$$

### Prosedyre for å beregne nødvendig mengde tilført gass

Om ønsket effekt avgitt av gassbrenneren er kjent kan den nødvendige fordampningsraten som kreves for å oppnå ønsket effekt beregnes:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{\Delta H_c} \text{ [kg/s]}$$

Massestrømmen kan skrives om til volumstrøm:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho_{gass}} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Ønsket effekt fra gassbrenneren kan dermed oppnås ved å justere fordampningen fra gassbeholderne, ved å benytte gjennomstrømningsmåleren, til gitt volumstrøm.

## B. Beregninger

### Test #1



A: Før test

Figur B-1: Forbrukt gass test #1



B: Etter test

Varighet:

t=686 s

Beregning av snitteffekt:

$$\Delta V \approx 950 \text{ liter} = 0,950 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{tot}} = 1,8 \text{ kg} / \text{m}^3 \cdot 0,950 \text{ m}^3 = 1,71 \text{ kg}$$

$$\dot{m}_{\text{snitt}} = \frac{1,71 \text{ kg}}{686 \text{ s}} = 2,49 \cdot 10^{-3} \text{ kg} / \text{s}$$

$$\dot{Q}_{\text{snitt}} = 2,49 \cdot 10^{-3} \text{ kg} / \text{s} \cdot 46500 \text{ kJ} / \text{kg} \approx \underline{116 \text{ kW}}$$

Test #2

Før oppjustering av effekt:



A: Før



B: Etter

Figur B-2: Før oppjustering av effekt

Varighet:

$$t=3623s$$

Beregning av snitteffekt:

$$\Delta V \approx 5000 \text{ liter} = 5m^3$$

$$m_{tot} = 1,8kg / m^3 \cdot 5m^3 = 9kg$$

$$\dot{m}_{snitt} = \frac{9kg}{3623s} = 2,48 \cdot 10^{-3} kg / s$$

$$\dot{Q}_{snitt} = 2,48 \cdot 10^{-3} kg / s \cdot 46500kJ / kg \approx \underline{\underline{115kW}}$$

Etter oppjustering av effekt:



A: Før



B: Etter

Figur B-3: Oppjustering av effekt

Varighet:

$t=658s$

Beregning av snitteffekt:

$$\Delta V \approx 1500 \text{ liter} = 1,5m^3$$

$$m_{tot} = 1,8kg / m^3 \cdot 1,5m^3 = 2,7kg$$

$$\dot{m}_{snitt} = \frac{2,7kg}{658s} = 4,10 \cdot 10^{-3} kg / s$$

$$\dot{Q}_{snitt} = 4,10 \cdot 10^{-3} kg / s \cdot 46500kJ / kg \approx \underline{191kW}$$

Test #3



A: Før



B: Etter

Figur B-4: Forbrukt gass

Varighet:

$t=1708s$

Beregning av snitteffekt:

$$\Delta V \approx 2500 \text{ liter} = 2,5m^3$$

$$m_{tot} = 1,8kg / m^3 \cdot 2,5m^3 = 4,5kg$$

$$\dot{m}_{snitt} = \frac{4,5kg}{1708s} = 2,63 \cdot 10^{-3} kg / s$$

$$\dot{Q}_{snitt} = 2,63 \cdot 10^{-3} kg / s \cdot 46500kJ / kg \approx \underline{\underline{122kW}}$$

## C. Produktanalyse

I test #3 vil enkel isolasjonsplate bli benyttet som seksjoneringsløsning. Det utføres en enkel produktanalyse for å bestemme det best egnede materiale til isolering i disse testene. Viktige faktorer å se på i forhold til valg av materiale vil være pris, vekt, dimensjonsmuligheter, monteringsmuligheter og isoleringsevne. Produktanalysen baseres på informasjon, ingen tester vil bli gjennomført. Det er sett på totalt fire ulike ubrennbare produkter som alle vil fungere i kategorien passiv brannbeskyttelse:

- Conlit 300 [18]  
Hardpressede plater av Rockwool steinull. Benyttes hovedsakelig til brannbeskyttende bærende stålkonstruksjoner i brannklasse R30 til R180.
- Protecta Mineralfiberplate<sup>24</sup>  
Fiberplate som kan brukes til brannbeskyttelse mot de fleste andre materialer. Platene er spesielt designet for å klare ekstreme temperaturer.

Isoleringsevnen oppgitt for Protecta Mineralfiberplate er gjeldene for materialet med en egenvekt 128 kg/m<sup>3</sup>. Vurdert plate har en større egenvekt, noe som gir at isolasjonsevnen er garantert bedre enn oppgitt verdi i følge Protecta AS.

- Norgips Brannplate (type F) [19]  
Ekstra hard glassfiberarmert gipskjerne med ekstra sterk spesialkartong i forhold til vanlige gipsplater. Ulikheten mellom en normal gipsplate og brannplaten er glassfiberarmeringen som utgjør 0,1 – 0,3 % av platens vekt, samt innhold av leirsortene Kaoline og Vermiculitt, som utgjør < 10 % av vekten. Vanlig bruksområde er på vegger der det er behov for større motstandskraft og brannbeskyttelse.
- Versapanel sementfiberplate [20]  
Ubrennbar trefiberarmert sementplate. Universal bygningsplate som kan brukes til alle konstruksjoner, innvendig og utvendig.

---

<sup>24</sup> Vedlegg: I. Datablad: Protecta Mineralfiberplate STD



**Tabell C-1 Isoleringsmaterialer**

Produkt	Tykkelse [mm]*	Isoleringsevne** [W/mK]	Egenvekt [kg/m <sup>3</sup> ]	Pris [kr/m <sup>2</sup> ]
Conlit 300	15	0,04	300	200
Norgips brannplate	15	0,25	800	52,10
Versapanel sementfiberplate	12	0,26	1350	-
Protecta Mineralfiberplate STD	15	<0,179 v. 800 C°	290	100

\*Den største mulige tykkelsen < 16 mm

\*\*Isoleringsevne for stillestående luft er 0,026 W/mK

Protecta mineralfiberplate type STD blir valgt til å benyttes i test #3. Dette gjøres på bakgrunn av branntekniske egenskaper, lett egenvekt og betydelig rimeligere i pris enn Conlit 300 som i tabellen fremstår med bedre branntekniske egenskaper.

#### Protecta Mineralfiberplate

Protecta mineralfiberplate kommer i klassene STD og BIO. Ved montering og behandling skal det brukes personlig verneutstyr.

STD: Keramisk mineralfiber. Har helsefarer forbundet med fare for kreft ved innånding av fibre, hud- og øyeirritasjon. STD er klassifisert som farlig avfall.

BIO: Alkaline earth silicate (AES-fiber). Har ingen helsefarer forbundet til seg, men kan irritere hud og øyne. BIO er ikke klassifisert som farlig avfall. Det har kommet frem fra småskala tester av produsent Protecta AS at BIO inneholder brennbare komponenter, dette medfører svakheter ved direkte flammepåvirkning.

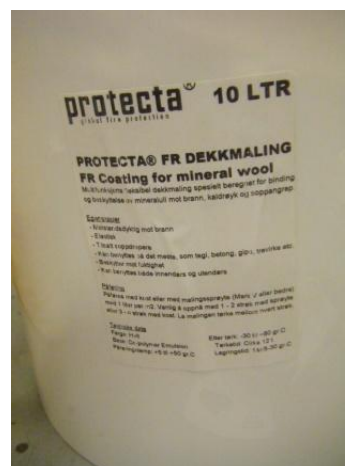
## D. Preparasjon

Ved montering og behandling av STD og BIO skal det brukes personlig verneutstyr.

For å tilpasse STD-platene til griden ble de skjøtet, der fugemasse *Protecta FR Akryl* ble benyttet. Fugemassen vil ekspandere ved 180 °C og beskytte aktivt mot brann i opptil 4 timer. Grunnet HMS-krav for fiber ble platene dekt med et lag maling av typen *POLYSEAM Ablative Sealant Coating*. Den varmeabsorberende (ablative) egenskapen til dekkmalingen vil beskytte mineralfiberplaten mot flammespredning. Se figur D-1.



Fugemasse *Protecta FR Akryl*



Dekkmaling *POLYSEAM Ablative Sealant Coating*

**Figur D-1 Produkter benyttet preparasjon**

For at fugemassen skal fungere optimalt er anbefalt tørketid 4 uker. Da dette ikke var mulig for i henhold til prosjektplanen ble platene stiftet sammen etter fugging og lagret varmt og tørt i tre dager. Det var også anbefalt at malingslaget skulle bli sprayet på for et best mulig dekkende resultat. I mangel på utstyr ble malingen malt på platene i et tykt lag (anbefalt tykkelse er 0,8 - 1mm). Figur D-2 viser preparasjon av platene. Preparasjonen av protectaplatene kan ha redusert brannmotstanden.



Platene ble kappet med en tapetkniv og skjøtet sammen



Maling av platene

**Figur D-2 Preparasjon**

## ***E. Testprosedyre***

### Før test, sikkerhet

- Sjekk at brannalarmen er skrudd av
- Sjekk at vannet er skrudd på, slange plassert i riktig posisjon til slukking
- Fjerne alt brennbart materiale rundt testoppsett
- Skru på vifta

### Før test, dokumentasjon

- Dokumenter gassmåler med bilde
- Plassere kamera i riktig posisjon

### Testprosedyre

- Synkronisering  
T-1: Stoppeklokke, logger (Anine) og kamera (Anders)  
T-0: Gassbrenner (Anders)
- Gjøremål under test  
1 pers. Loggføring av observasjoner (Anine)  
1 pers. Ta bilder + gassjekk (Anders)  
1 pers. Slukkeansvarlig, skal alltid stå klar med vannslange (Arjen)
- Avslutning av test skjer når enten:  
kasser antennes,  
Store mengder plast har smeltet,  
Avslutning vurderes ut i fra hver enkelt test  
  
Skru av gass (Anders)  
Stopp stoppeklokke (Anine)  
Slukke med vann (Arjen)  
Logger avsluttes etter kjøling
- Avslutning test, dokumentasjon  
Dokumentere gassmåler med bilde  
Dokumentere skader på kasser/grid/stål

## ***F. Pre-test***

Det ble det foretatt en pre-test i brannlaben på HSH i forkant av testene til hovedprosjektet. Hensikten med pre-testen var å få en pekepinn på oppførselen til ståleplate og lagringskasse når de ble utsatt for branneksporing. Det skulle foretas temperaturmålinger i kasse, mellom kasse og ståleplate, samt se på hvor lenge ståleplaten kunne forhindre brannspredning fra gassbrenner til kasse.

### Utstyr

- Gassbrenner med propan
- Ståleplate med tykkelse 1,2 mm
- Kasse fra Autostore (HDPE)
- Ubrennbare blokker til oppstøtting av ståleplaten
- K-type termoelement (chromel-alumel)
- Termokamera

Gassbrenneren ble plassert i midten av brannrommet. Ståleplaten ble plassert på langs, stående vertikalt, ved siden av gassbrenneren. Det ble benyttet ubrennbare blokker til å støtte opp ståleplaten slik at den var stabil. Kassen ble plassert på den andre siden av ståleplaten fra gassbrenneren, og under kassen ble det plassert et kar for å plassere kassen høyere, samt en blokk for å isolere kassen fra karet. Et termoelement ble festet med teip og plassert mellom kassen og ståleplaten, omtrent på midten av kassen. Avstanden mellom ståleplate og gassbrenner og mellom ståleplate og kasse ble ikke målt da formålet med pre-testen kun var å gi en pekepinn på brannforløp i kasse og effekten av ståleplaten med tanke på å forhindre brannspredning. Et termokamera ble benyttet med sikteposisjon inn mot bunnen av kassen for å måle temperaturen til kassen. Se figur F-1 for bilde av oppsettet.

Gassbrenneren ble slått på og antent. Effekten avgitt av gassbrenneren var på ca. 100 kW under hele forsøket. Deretter ble brannforløpet målt og observert.

**Tabell F-1 Temperaturmålinger og visuelle observasjoner fra pre-test**

Tid [min:sek]	Termoelement [°C]	Termokamera [°C]	Visuelle observasjoner
1:30	50		
1:46	70		
2:10	100	30	
2:35	150		
3:00	200	50	
3:20			Stålplaten endrer farge, deformeres?
3:35	250		
3:50	270	80	
4:30	260		
4:45	250	100	
5:10	240		
6:00			Kassen smelter
6:30		125	
7:00			Røyk fra kassen
7:30			Hull i kassen, se figur 3
8:00		150	
9:20			Brennende dråper og partikler innvendig fra kasse
9:45		170	
10:30		160	
11:00			Brennende dråper og partikler fra store deler av kasse
11:24			Brann i kasse

Temperaturen mellom kasse og stålplate økte relativt fort opp til 270 °C. Deretter sank temperaturen ca. 20-30 °C før den stabiliserte seg. Temperaturøkningen inne i kassen var av logiske grunner ikke like rask, da kassen isolerte en gitt tid før den startet å deformere grunnet den høye temperaturen. Det ble observert at stålplaten endret farge underveis, og det ble også registrert ulike "smell" fra brannrommet. Det er usikkert hva som forårsaket disse lydene, men det kan være at stålplaten startet å deformere på grunn av branneksplosjonen.

Kassen startet etter hvert å smelte, mest sannsynlig forårsaket av varmestråling fra stålplaten, og litt etter at kassen startet og smelte ble det observert røyk fra kassen. Varmepåkjenningen medførte deformasjon av kassen og drypping av smeltende plast. Temperaturen i kassen økte da kassen hadde deformert og varme strålte inn i kassen fra stålplaten. 11 minutter ut i forsøket var det betydelig med drypping av smeltende plast fra kassen, og etter 11:24 tok kassen fyr. Det ble observert betydelig mengde brennende dråper og partikler fra kassen når den brant.

Usikkerhet med tanke på avstander i testoppsettet kan være en potensiell feilkilde i testen, da avstandene i Autostore kan være noe annerledes. Dette vil derimot være snakk om veldig små differanser. Brannspredning til kasse skjedde enten på grunn av stråling fra stålplaten til kassen, ved varmeledning grunnet at stålplaten var i direkte kontakt med kassen, eller som en kombinasjon av disse. Det er derimot usikkert hvordan brannspredningen foregikk, da dette var vanskelig å observere fra utsiden av brannrommet. Direkte kontakt mellom stålplate og kasse kan også være en reell problemstilling i Autostore.



**Figur F-1: Oversikt over testoppsett.  
Gassebrenneren er plassert på baksiden**



**Figur F-2: Kassen brenner**

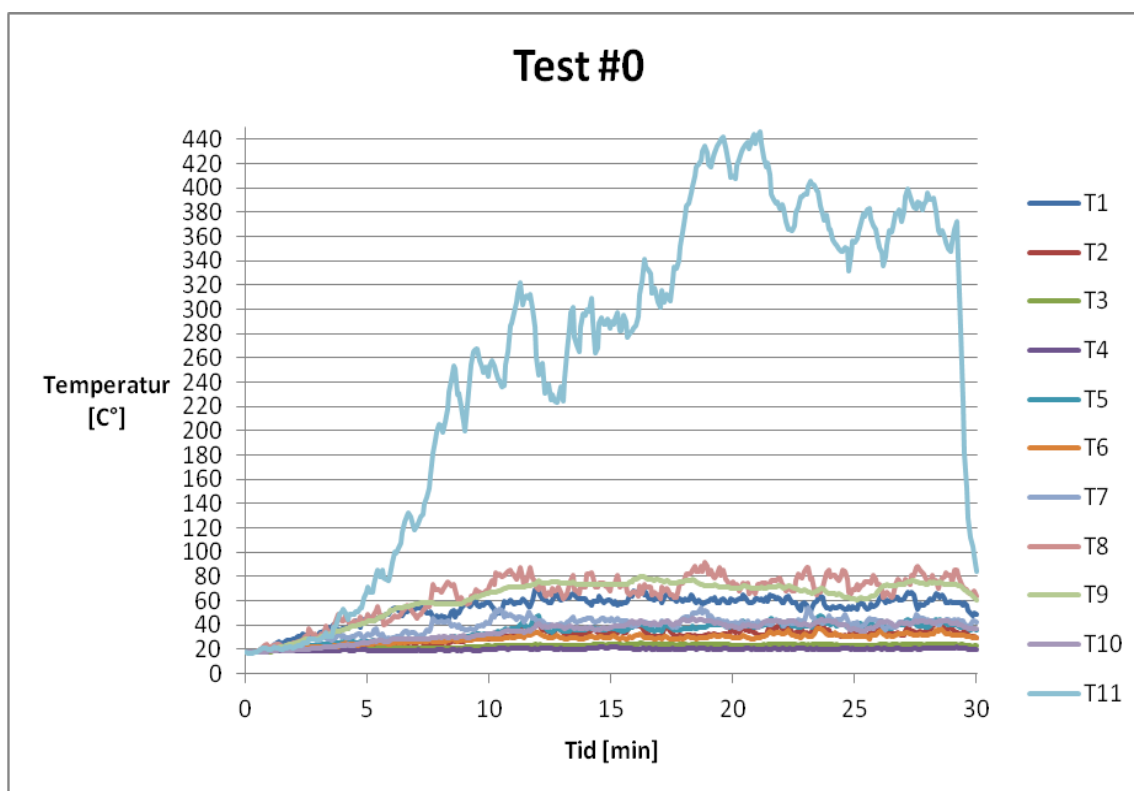
Pre-testen var nyttig for å få en pekepinn på hvor godt stålplaten kunne hindre brannspredning til kasse og hvordan plastkassen oppførte seg under brann. Resultatet fra testen viste at forsøk med ulike seksjoneringsplater vil være nyttig for å se på effekten av brannmotstand for ulike løsninger. Kassen tok fyr etter 11:24 og effekten av stålplaten anses dermed til ikke å gi god nok brannsikkerhet med tanke på at brannspredning til kassen skjer relativt fort. Når kassen brant ble det observert betydelige mengder med brennende dråper og partikler fra kassen og det vil være nødvendig å vurdere om denne smitten vil kunne føre til brannspredning mellom kasser, samt hvordan brannspredningen mellom kassene, horisontalt og vertikalt, vil utarte seg.

## G. Kommentar til endring av testoppsett

Testoppsettet for å finne beste seksjoneringsløsning besto i utgangspunktet av fire ulike seksjoneringsløsninger, og skulle utføres i to som to tester per løsning. De ulike seksjoneringsløsningene var:

- Enkel stålplate
- Enkel stålplate med isolering (mineralfiberplate STD)
- Dobbel stålplate med isolering mellom (mineralfiberplate BIO)
- Dobbel stålplate med luftspalte mellom

Testene skulle utføres i testgriden uten kasser. Hensikten med dette baserte seg på antagelse av at skjøten mellom seksjoneringsplatene og mellom gridprofilen og seksjoneringsplatene skulle utgjøre en stor svakhet med tanke på varme- og flammegjennomtrengning. Det skulle også utføres flere temperaturmålinger, blant annet på skjøten av alle seksjoneringsplatene samt i overgang mellom gridprofil og seksjoneringsvegg. Alle temperaturmålinger skulle bli tatt på kald side av seksjoneringsveggen. Observasjoner med varmekamera og visuell observasjon av synlige flammer på seksjoneringsveggenes kalde side skulle avsløre de svake punktene i seksjoneringsveggen. En test med singel stålplate, M1, ble utført etter dette testoppsettet.



Figur G-1 Temperaturer test #0

Figur G-1 viser til temperaturene på kald side av singel stålplate. Termoelement T11 representerer en feilkilde da denne var i kontakt med stålplaten under testen. Temperaturene målt fra T1 til T10 viser lave verdier, og det er rimelig å anta at en brann i kassene ikke ville forekommet ved så lav temperatur. Ingen betydningsfulle observasjoner visuelt eller med termokamera ble gjort under testen.

Erfaringer etter test:

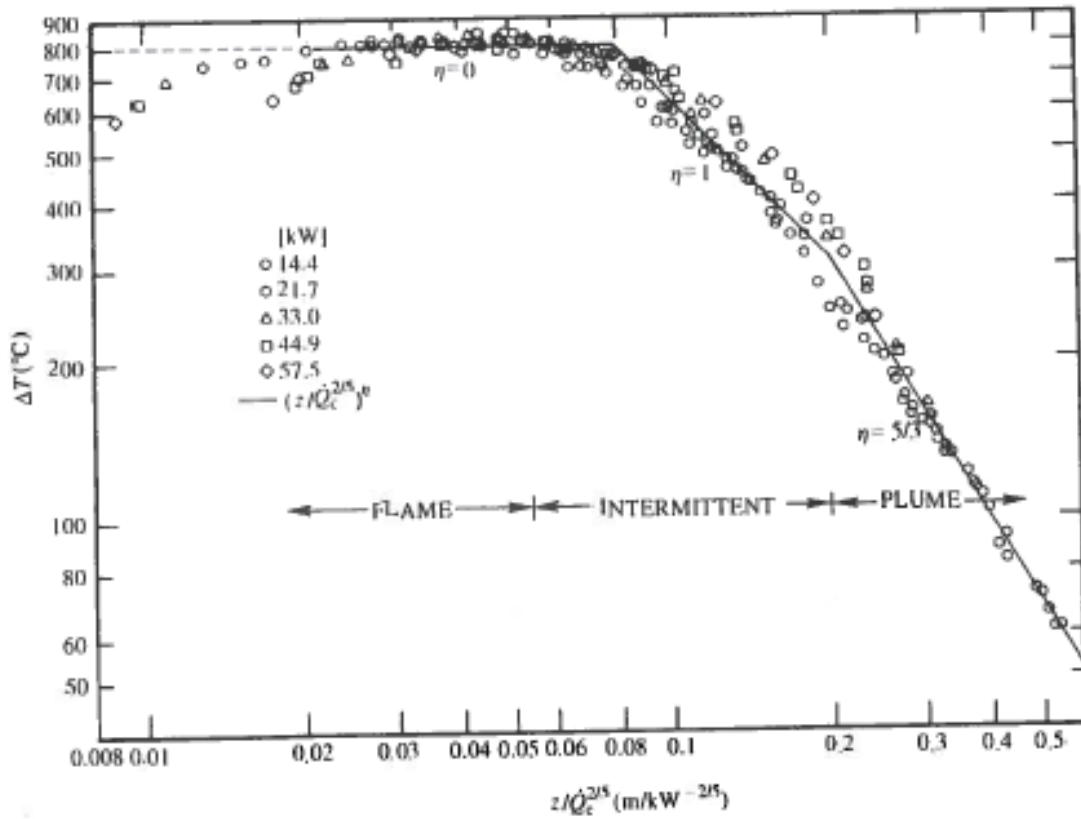
- Mye tid til montering av termoelementer, totalt 11 termoelementer
- Metoden viste ingen særlige svakheter i seksjoneringen, se graf 1
- Behov for å vite temperatur på varm side i forhold til kald side
- Resultatene er lite overførbare i forhold til når kassene eventuelt vil antenne
- Tidkrevende testing

Resultatene etter test #0 gjorde at videre testoppsett ble gjennomført med kasser på kald side. Kassene vil holde varmen inne mellom kasser og seksjoneringsvegg slik at det blir minimalt med varmetap til omgivelsene. En eventuell antennelse av kasser på kald side vil kunne bli dokumentert. Ingen særlige svake punkter i seksjoneringen og ingen økning i temperatur i de skjøter der gassbrenneren ikke var lokalisert (midtrelle) resulterte i reduksjon av termoelementer på kald side. Gassbrenneren ble også skjermet inne av Siporex-blokker for å hindre omfattende tap av strålevarme fra flammen. Grunnet en vurdering av kostnad og montering for en reell løsning gjennomført med Hatteland Computer AS ble antall seksjoneringsløsninger redusert. Antall tester ble også redusert fra to tester til én test grunnet tidsmangel.



## H. Litteratur

Figur H-1 illustrer forsøk utført med metan som brensel. Hensikten var å se på flammtemperaturer ved ulike energiproduksjoner gjeldende for diffusjonsflamme. Temperaturen ble for hver energiproduksjon målt ved flere posisjoner i flammen [14].



Figur H-1 Temperaturvariasjoner i diffusjonsflamme [14]

## I. Datablad: Protecta Mineralfiberplate STD

Kommentar: Dette databladet gjelder for mineralfibermatte med en lettere egenvekt enn mineralfiberplaten brukt i test #3. Teknisk informasjon er også gjeldende for plate.

# TEKNISK DATABLAD

## Protecta® Mineralfiber STD



protecta®  
global fire protection

### Generell produktbeskrivelse

Protecta Mineralfiber STD er en fleksibel fibermatte spesielt designet for å klare ekstreme temperaturer, også innen hydrokarbon og jet brann motstand som benyttes i offshore og marine applikasjoner samt smelteovner og andre områder hvor ekstrem beskyttelse er nødvendig.

Ved sin lave vekt og særlige gode termiske egenskaper, passer den ideelt til beskyttelse av stålskott i fartøy, men benyttes også ofte som isolering av rør og kanaler samt bakdytt materiale i brannettinger da den er mer vennlig for huden enn for eksempel steinull, og tåler også høyere temperaturer.



### Egenskaper

- Testet for brannisolering av stålrør og ventilasjonskanaler.
- Testet for brannisolering av lastbærende stålkonstruksjoner.
- Testet for brannisolering av stålskott og ståldekker.
- Testet for brannisolering av rør og koplinger offshore.
- Velegnet for isolering av kabelbroer offshore.
- Fleksibel tilpassing, lett å tilpasse de enkelte applikasjoner.
- Reagerer ikke i kontakt med andre materialer.
- Klassifisert som bakdytt for alle brannettinger.
- Velegnet for isolering av smelteovner og lignende.
- Benyttes som fyllmasse i dører til høyere brannmotstand.
- Ingen farlige kjemikalier, se for øvrig Sikkerhetsdatabladet.

### Emisjonsdata

Stoffbetegnelse	Protecta Mineralfiber	
	Emisjonsrate 4 uker [µg/m³xt]	Emisjonsrate 26 uker [µg/m³xt]
TVOC	Produktet kles inn etter montasje og utslipper ingen stoffer ferdig innkledt.	
H <sub>2</sub> CO		
NH <sub>3</sub>		
Kretf-IARC kat.1		
AllergICLIMPAQ		

### Kjemisk sammensetning

Stoffbetegnelser		
Aluminiumoksid	CAS 1344-28-1	>44%
Amorphous silica	CAS 7631-86-9	>52%
Diron trioxide	CAS 1308-37-1	<1,5%
Potassium oxide	CAS 12136-45-7	<0,5%
Sodium oxide	CAS 1313-59-3	<0,5%

### Tekniske data

Tilstand	Klar til bruk, fibermatter
Densitet	128 kg/m³
Strekkestyrke	0,04 MPa
Flammepunkt	Ingen
Krymp 1000°C	< 3% målt over 24 timer
Fleksibilitet	Lav til medium
Lagring	Ubegrenset lagringstid Lagres i temperatur over 5°C
Kompatibilitet	Kan benyttes mot de fleste materialer
Begrensninger	Benytt verneutstyr ved bruk, arbeidsklær, vernebriller støvmaske P3 og hansker
Klassifisering	Mineralfiber 1260 °C
Farge	Hvit
Pakking	Pose med rull å forskjellige dimensjoner
Paller	20 poser på europall

### Termisk konduktivitet

Temperatur	Termisk konduktivitet
400°C	0,090 W/m.k
800°C	0,176 W/m.k

### Temperaturgrenser

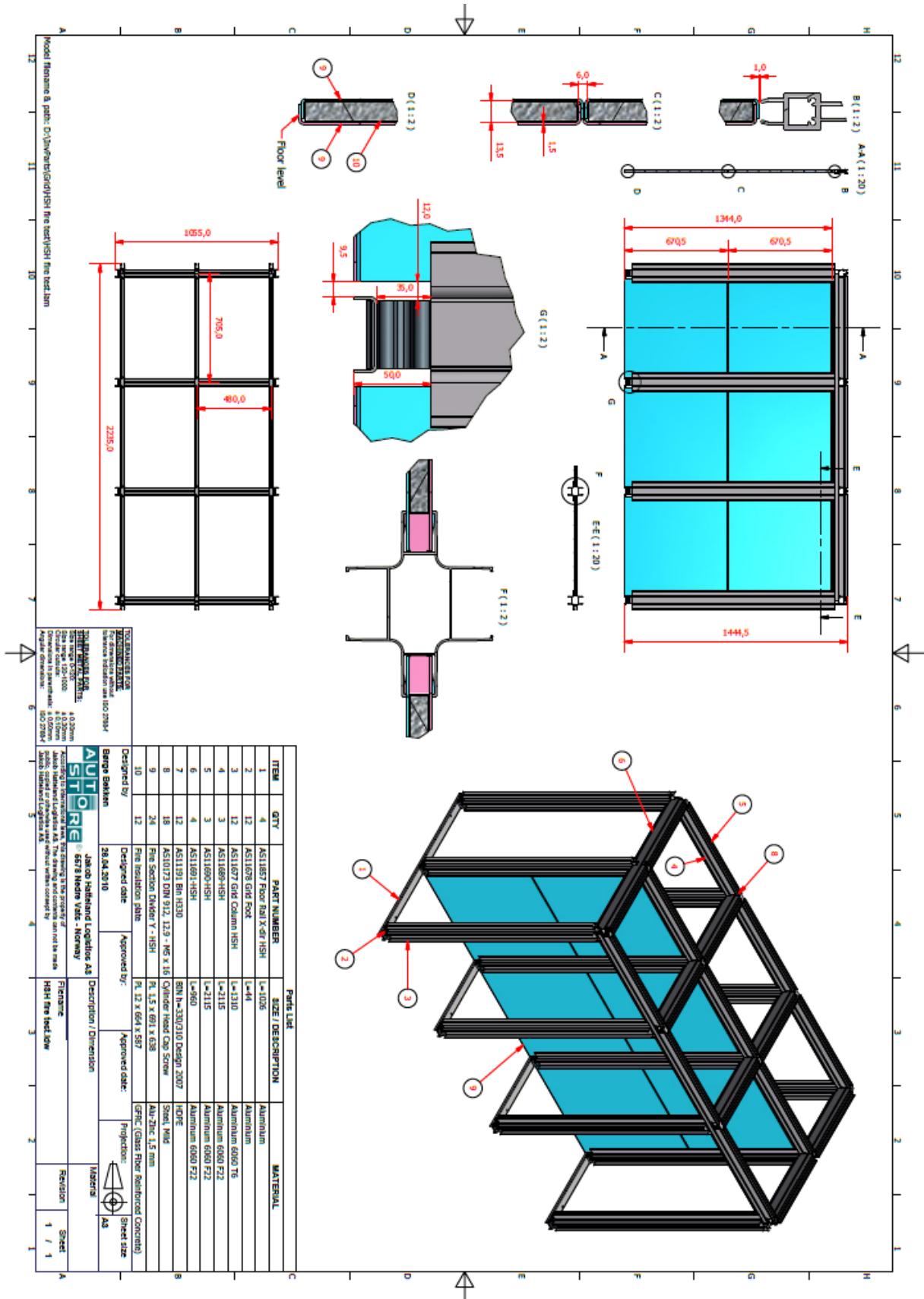
Type	Temperatur
Klassifiseringstemp.	1260 °C
Driftstemperatur	1000 °C

Som del av vår politikk med stadig å forbedre produktene, tas der forbehold om rettigheten til å endre eller forandre produktspesifikasjoner uten varsel. Produktillustrasjonene er kun illustrerende. All informasjon i dette dokument er kun veiledende, og siden Protecta AS ikke har noen kontroll over selve installasjonene, eller byggeprosjekter, så gives det ingen garantier for klassifisering på de ferdige brannettinger, og har intet ansvar ved tap eller skade som følge av bruk med produkter som dette dokument beskriver.

Protecta AS  
www.protecta.no  
post@protecta.no  
Tlf. +47 02944

Produktansvarlig: Protecta AS (v.1.2)

### J. Konstruksjonstegning av småskala grid



### K. Konstruksjonstegning av stålplate

