

Riskutvärdering av brand i plastbackar

*Samuel Andersson
Jakob Dahlqvist*

Department of Fire Safety Engineering and Systems
Safety
Lund University, Sweden

Brandteknik och Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 5245, Lund 2008

Riskutvärdering av brand i plastbackar



**Samuel Andersson
Jakob Dahlqvist**

Lund 2008

Titel/Title:

Riskutvärdering av brand i plastbackar / Hazard Identification of fires in plastic trays

Författare/Authors:

Samuel Andersson
Jakob Dahlgvist

Report number: 5245

Number of pages: 121

Keywords

Plastic bakery trays, fire safety, experiment, calculations, simulations ignition sources, detector systems, bakeries, Lantmannen Farskbrod

Sökord

Plastbackar, brandsäkerhet, försök, beräkningar, simuleringar, antändningskällor, detektionssystem, bageri, Lantmännen Färskröd

Abstract

At the bakery of Lantmannens Farskbrod in Lund there is a storage for approximately 20 000 plastic bakery trays. The aim of this project is to evaluate how a possible fire in these plastic bakery trays would develop, and from this knowledge suggest measures to improve the fire safety. This has been done through several experimental works, calculations and simulations. In the experimental works, different types of ignition sources, constellations for the bakery trays and detector systems have been tested. The data and observations from these experiments have then been applied as input for calculations of mass losses and fire effects. To progress measures for improved safety at Lantmannen Farskbrod all of the results from experimental works, calculations and simulations, have been used as starting point. The measures are developed for the bakery in Lund, but they are also applicable on the other bakeries of Lantmannen Farskbrod.

© Copyright Brandteknik och Riskhantering, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2008.

Department of Fire Safety Engineering
and Systems Safety
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden
brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>
Telephone: +46-46-222 73 60

Avdelningen för Brandteknik och
Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund
brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>
Telefon: 046-222 73 60

Sammanfattning

I Lantmännen Färskröds bagerier finns stora kvantiteter plastbackar, som används vid transport av bröd. För att uppfylla de krav på brandteknisk riskvärdering, som ställs i det riskreduceringssystem som utarbetats av försäkringsmäklarfirmen Willis AB, måste grundläggande fakta om plastbackarnas egenskaper vid brand tas fram.

Genom olika försök undersöks brandtekniska fakta kring plastbackarna och dess konfiguration. Utifrån dessa resultat förs sedan en diskussion angående lämpliga förebyggande åtgärder och släcksystem.

Från försöken i brandlaboratoriet på Lunds tekniska högskola kunde det konstateras att om en liten och jämn låga får verka direkt på plasten konstant under en tid kommer plasten antändas. Dock har plasten en relativt god beständighet mot värmestrålning, detsamma gäller en oregelbunden flamma som inte verkar konstant mot en specifik punkt av plasten. Konstanten av försöken är att plastbackarna är relativt lättantändliga.

Från försöken i brandlaboratoriet i Revinge kunde konstateras att plastbackarna brinner i två faser. I den första fasen sker brandspridningen snabbt, främst i vertikal led, och plasten smälter. När plasten smälter bildas en pöl av brinnande plast, vilket kännetecknar den andra fasen. I denna andra fas uppnår branden högre effekt, temperaturen i rummet stiger betydligt och branden blir ventilationskontrollerad. Är plastbackarna lastade med bröd så dämpas brandens intensitet och brandspridningen markant. Från försöken kan även konstateras att skum är ett bättre släckmedel än vatten vid brand i plastbackarna.

Detektionsförsöken, som även utfördes i brandlaboratoriet i Revinge, visade att ett samplande system är det klart mest effektiva detektionssystemet. De samplande system som testades detekterade branden på 2-4 minuter, övriga testade detektionssystem tog ungefär ytterligare 5 minuter eller längre tid på sig att detektera branden.

Efter beräkningar och verifiering i CFAST kan en del slutsatser dras. Vid jämförelse av första fasen i de olika försöken kan ett tydligt samband ses. Dubblas antalet plastbackar i en stapel så dubblas effekten. Däremot i försöken med två staplar ses ingen dubbling av effekten i den första fasen, eftersom det tar lång tid innan brandspridningen till den andra stapeln sker. Detta innebär en fördröjning för bildandet av den pölbrand som kännetecknar andra fasen. Effekten i den andra fasen ökar kraftigt mot antalet plastbackar, och branden i försöken begränsas av syretillgången och pölbrandens utbredning.

Vid en eventuell brand i backhallen kommer brandförloppet att vara snabbt, branden kommer tidigt nå höga effekter och en kraftig brandgasutveckling. Brandgaserna påverkar den livsmedelshanterande verksamheten på ett mycket negativt sätt. De mest kostnadseffektiva åtgärderna för att minska konsekvenserna av en brand ligger på det förebyggande planet, dessa åtgärder är även de som är lättast att genomföra. En kombination med konsekvensbegränsande åtgärder ger det bästa skyddet. Försöken visar att en tidig detektion och därefter tidig begränsning av branden, till exempel genom sprinklers, är kritisk för de konsekvensbegränsande åtgärderna.

Summary

The bakeries of Lantmannen Farskbrod stores large quantities of plastic bakery trays that are used for transport of bread. To fulfil the requirements of the fire safety evaluation, which is set by the risk reduction system developed by Willis AB, the basic fire characteristics of the plastic bakery trays must be determined.

The fire characteristics have been worked out through several experiments. The results from these experiments have then been used as a starting point for a discussion regarding preventative measures and active fire extinction systems.

From the results of the experiments conducted in the fire laboratory at Lund University, it was possible to deduce that the plastic bakery trays would ignite if exposed to a small and even flame. However, the plastic bakery trays demonstrate a relatively good heat resistance. The same results apply with a flame that is very turbulent. The conclusion from these experiments is that the plastic bakery trays are easy to ignite.

From the results of the experiments taking place in the fire laboratory in Revinge, it was possible to determine that when the plastic bakery trays were set alight, the fire consists of two phases. In the first phase, the fire spreads rapidly in a vertical direction, and the plastic melts. When the plastic is completely melted, a pool fire is created. This pool fire characterises the second phase, which results in even greater heat release rates and higher temperatures in the room. If the plastic bakery trays are loaded with bread the firespread and the heat release will reduce. It could also be established that foam is a better extinguisher than conventional sprinklers.

To determine what type of detection system is most appropriate to detect a fire in the plastic bakery trays, experiments have been conducted in the fire laboratory in Revinge. The results from these experiments show that a sampling system is the most efficient for detection. It took 2-4 minutes for the sampling system to detect the fire, while it took a further 5 minutes or more for the other detection systems that were tested.

The results from all the experiments have been used as a starting point for calculation and simulations of heat release rates. A comparison between the first phases in the different experiments shows that when the number of plastic bakery trays in one pile is doubled, the heat release rate is doubled. In the experiments that consist of two piles, no duplication of the heat release rate can be seen in the first phase. This is because of the longer time period before the fire spreads to the second pile, thus resulting in a delay of the second phase. The heat release rate in the second phase grows rapidly in proportion to the number of plastic bakery trays. The fire is limited by the access to oxygen and the spread of the pool fire.

If a fire would occur in the storage of the plastic bakery trays, the fire will spread rapidly and will reach high heat and gas release rates at an early stage. The fire gases will affect Lantmannen Farskbrods activity in a very negative way. It should be realized that the most efficient measures to reduce risks, when it comes to costs compared with benefit, are the preventive ones – especially given the ease in which they can be carried out. A combination of preventive measures and measures to reduce consequences gives the best improvement to fire safety. It has been demonstrated that early detection and early limitation of the fire are the most critical issues for reducing the consequences.

Förord

Detta projektarbete har utförts på uppdrag av Lantmännen Färskröd. Via försök undersöks vad som krävs för antändning och hur brandspridning sker i de plastbackar som Lantmännen använder för distribution av sina produkter. Detta är aktuellt då plastbackarna förvaras i stora kvantiteter på bagerierna, och en eventuell brand i dessa skulle få allvarliga konsekvenser för företaget.

En stor del av försöken har utförts i det nybyggda och mycket kompetenta brandlaboratoriet på Räddningsverkets skola i Revinge. Vid försöken och i det efterföljande arbetet har Tomas Nilsson och Stefan Svensson varit till stor hjälp, samt varit en ovärderlig inspirations- och informationskälla.

Den tid och det engagemang som Tomas och Stefan lagt ner tillsammans med de faciliteter som Räddningsverket tillhandahåller, innebär väldigt goda möjligheter för studenter att utföra liknande studier i Revinge. Detta borde i framtiden ytterligare stärka samarbetet mellan avdelningen för Brandteknik och Riskhantering på Lunds tekniska högskola och Räddningsverkets skola i Revinge.

Vår huvudkontakt på Lantmännen, Thomas Andersson, har varit mycket hjälpsam. Även hans kollega, Nils-Göran Johansson på bageriet i Lund, har på alla sätt varit väldigt tillmötesgående och gett oss tillgång till anläggningen i Lund.

Vidare vill vi även tacka vår eminenta handledare på Lunds tekniska högskola, Ulf Göransson, som varit till stor hjälp vid strukturering och planering av rapporten samt kommit med värdefulla åsikter under arbetets gång.

Vid de försök som genomfördes i Brandlaboratoriet på Lunds tekniska högskola var Sven-Ingvar Granemark väldigt hjälpsam.

Samuel Andersson och Jakob Dahlqvist

Lund, december 2007.

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Mål och syfte.....	1
1.3 Frågeställning.....	2
1.4 Metod	2
1.5 Motivering av metod.....	3
1.6 Avgränsningar.....	3
2. Objektsbeskrivning	5
2.1 Systematiskt brandskyddsarbete	7
2.2 Brandcellsindelning	8
2.3 Släckutrustning och aktiva system.....	8
2.4 Larm och detektorer	9
2.5 Ventilationssystem.....	9
3 Fakta om plastbackarna	11
3.1 Allmän beskrivning av plastbacken	11
3.2 Allmänt om polyeten.....	12
4 Försök i brandlaboratoriet Lunds tekniska högskola.....	13
4.1 Test av olika potentiella tändkällor.....	13
4.2 Försök i Konkalorimetern	17
4.3 Diskussion av försöken i brandlaboratoriet på Lunds tekniska högskola.....	19
5 Försök i Brandlaboratoriet på Revinge	21
5.1 Generell beskrivning av försöken	21
5.2 Försök 1a Revinge brandlaboratorium: Endast plastbackar	24
5.3 Försök 1b Revinge brandlaboratorium: Endast plastbackar	27
5.4 Försök 1c Revinge brandlaboratorium: Endast plastbackar	31
5.5 Försök 1d Revinge brandlaboratorium: Endast plastbackar	35
5.6 Försök 2a Revinge brandlaboratorium: Plastbackar med grovt bröd	39
5.7 Försök 2b Revinge brandlaboratorium: Plastbackar med hamburgerbröd	42
5.8 Försök 3a Revinge brandlaboratorium: Släckning av brand i plastbackar med sprinkler	45
5.9 Försök 3b Revinge brandlaboratorium: Släckning av brand i plastbackar med lättskum.....	47
5.10 Diskussion av försöken i Revinge.....	49
6 Försök i Detektionslaboratoriet på Revinge	51

7	Beräkningar och simuleringar av effekt	57
7.1	Effektutveckling med hjälp av massavbrinningen	57
7.2	Simuleringar med hjälp av CFAST	58
7.3	Försök 1a Revinge brandlaboratorium: Endast plastbackar	60
7.4	Försök 1b Revinge brandlaboratorium: Endast plastbackar	62
7.5	Försök 1c Revinge brandlaboratorium: Endast plastbackar	64
7.6	Försök 1d Revinge brandlaboratorium: Endast plastbackar	67
7.7	Försök 2a Revinge brandlaboratorium: Plastbackar med grovt bröd	69
7.8	Försök 2b Revinge brandlaboratorium: Plastbackar med hamburgerbröd	71
7.9	Försök 3a Revinge brandlaboratorium: Släckning av brand i plastbackar med sprinkler	73
7.10	Försök 3b Revinge brandlaboratorium: Släckning av brand i plastbackar med lättskum	75
7.11	Diskussion av effektberäkningarna	77
8	Sammanställning och diskussion av försöksresultat	79
9.	Troligt brandscenario i backhallen	81
10.	Förslag till åtgärder	83
10.1	Eliminera de mest troliga tändkällorna	83
10.2	Systematiskt brandskyddsarbete	83
10.3	Brandskyddsmedel i plastmaterialet	83
10.4	Utforma backhallen till en brandcell	83
10.5	Effektivt detektionssystem	84
10.6	Sprinklersystem	84
10.7	Övriga aktiva system	84
10.8	Övrig släckutrustning	85
10.9	Rutiner vid hög beläggning	85
10.10	Riskreducering för lastbilsparken	85
11.	Validering av åtgärdsförslag	87
12	Exempel på lämplig utformning av brandskydd	89
13	Svar på frågeställning	91
14	Förslag till fortsatt forskning	93
15	Referenser	95
15.1	Publicerade källor	95
15.2	Icke publicerade källor	95
15.3	Muntliga källor	95
15.4	Internet	96
Bilaga 1	ii
Bilaga 2	iv
Bilaga 3	xii

1. Inledning

I detta kapitel behandlas bakgrund och mål med rapporten. Frågeställningen presenteras, val av metod och avgränsningar motiveras.

1.1 Bakgrund

Bakgrunden till projektet är att det i Lantmännen Färskbröds bagerier, finns stora kvantiteter plastbackar. Dessa plastbackar antas utgöra en stor risk hos dessa bagerier vid en eventuell brand. Ofta förvaras plastbackarna i samma brandcell som själva produktionen, men i vissa fall i egna brandceller. Plastbackarna är lagrade i höga staplar med en geometri som tillåter ett högt luftflöde mellan dem, vilket innebär att en eventuell brand kan få ett snabbt brandförlopp med hög intensitet. Grundläggande fakta om plastbackarnas egenskaper vid brand saknas. Dessa data är nödvändiga för att genomföra en utförlig brandteknisk riskvärdering.

Lantmännen Färskbröd har ett eget riskreduceringssystem, Lantmännen Blue, som utarbetats i samarbete med försäkringsmäklarföretaget Willis AB. För att uppfylla de krav som detta riskreduceringssystem ställer måste en brandteknisk riskvärdering utföras.

En ytterligare anledning till en riskvärdering av plastbackarna är tillbudshistoriken som visar att plastbackarnas innehåll är en stor potentiell fara. Lantmännen Färskbröds verksamhet har drabbats av olyckor både i Sverige och utomlands. I dessa fall har det varit allt från mindre bränder till totalförstörda fabriker, och vid dessa olyckor har det visat sig att en eventuell brand i plastbackarna kan innebära allvarliga konsekvenser för verksamheten.

Projektarbetet ingår i kursen "*brandtekniskt projektarbete*", och omfattar 15 högskolepoäng. I denna kurs skall studenten visa förmåga att tillämpa de kunskaper och förmågor som erhållits under brandingenjörsutbildningen, och även analysera och redovisa en omfattande uppgift på ett vetenskapligt sätt.

1.2 Mål och syfte

De önskemål som Lantmännen Färskbröd har på rapporten är att följande områden ska studeras och analyseras:

- Vad krävs för att plastbackarna skall antändas?
- Hur ser brandförloppet ut vid olika typer av lagerkonfigurationer?
- Hur skiljer sig bränder med tomma plastbackar mot de fyllda med bröd?
- Diskutera lämpliga släcksystem och skadeförebyggande åtgärder

Målet med rapporten är att med utgångspunkt från ovan nämnda punkter utföra experiment och få fram brandtekniska fakta kring plastbackarna och dess lagringskonfiguration. Utifrån dessa framtagna data skall sedan en diskussion föras angående lämpliga förebyggande åtgärder och lämpliga aktiva system.

1.3 Frågeställning

Nedan presenteras de konkreta frågor som tagits fram med utgångspunkt från de önskemål som Lantmännen Färsbröd har på rapporten:

- Vad krävs för att plastbackarna skall antändas?
- Hur ser ett eventuellt brandförlopp ut?
- Hur påverkar olika lagerkonfigurationer brandförloppet och är det någon skillnad mellan brand i enbart plastbackarna jämfört med om de är fyllda med bröd?
- Hur kan negativa konsekvenser av en eventuell brand på bageriets verksamhet förhindras eller begränsas på lämpligaste sätt?

1.4 Metod

Arbetet delas in i sex faser:

- Instudering av befintligt material genom litteratur, rapporter och diskussioner.
- Precisering av försök i brandlaboratoriet i Revinge.
- Genomförande av småskaliga försök i brandlaboratoriet på Lunds tekniska högskola. Olika möjliga antändningskällor undersöks, samt en inledande studie av brandförloppet.
- Genomförande av storskaliga försök i brandlaboratoriet i Revinge. Brandförloppet studeras vid olika lagerkonfigurationer, även massavbrinning och temperaturprofiler undersöks.
- Sammanställning, tolkning och strukturering av relevant information från försöken. Dessutom genomförs beräkningar och simuleringar.
- Diskussion av lämpliga förebyggande åtgärder och släcksystem.

Förutom dessa punkter tillkommer start- och avslutningsfasen. I den förstnämnda utarbetas projektplanen, kontakt med handledare och examinator tas, samt nödvändiga resurser såsom litteratur och programvaror införskaffas. I avslutningsfasen slutförs rapporten och en presentation av denna planeras och genomförs.

1.5 Motivering av metod

Valet av metod baseras på de frågeställningar som tagits fram med utgångspunkt från de önskemål Lantmännen Färskröd har på rapporten.

I det initiella skedet av rapportskrivandet sker en grundläggande orientering av befintlig litteratur och forskning inom området, och inläsning av denna för att erhålla ämnesspecifika kunskaper.

Sedan utformas i samråd med handledaren en precisering av hur de storskaliga försöken, som är rapportens huvuddel, ska genomföras.

För att kunna välja en lämplig antändningskälla till de storskaliga försöken, studeras olika möjliga antändningskällor i mindre skala i brandtekniks laboratorium på Lunds tekniska högskola. Detta sker innan de storskaliga försöken genomförs, så att resultaten från de småskaliga försöken kan appliceras i de storskaliga.

När de storskaliga försöken är genomförda sammanställs och struktureras de erhållna resultaten upp, och lämpliga förebyggande åtgärder och släcksystem diskuteras.

Rapportens undersökande del hade givetvis kunnat utföras annorlunda. Men för att på bästa sätt kunna utföra försöken så att de representerar troliga brandscenarier och händelseförlopp valde författarna att utföra vissa moment före andra, då resultaten sedermera applicerades i efterföljande försök, simuleringar och diskussioner.

1.6 Avgränsningar

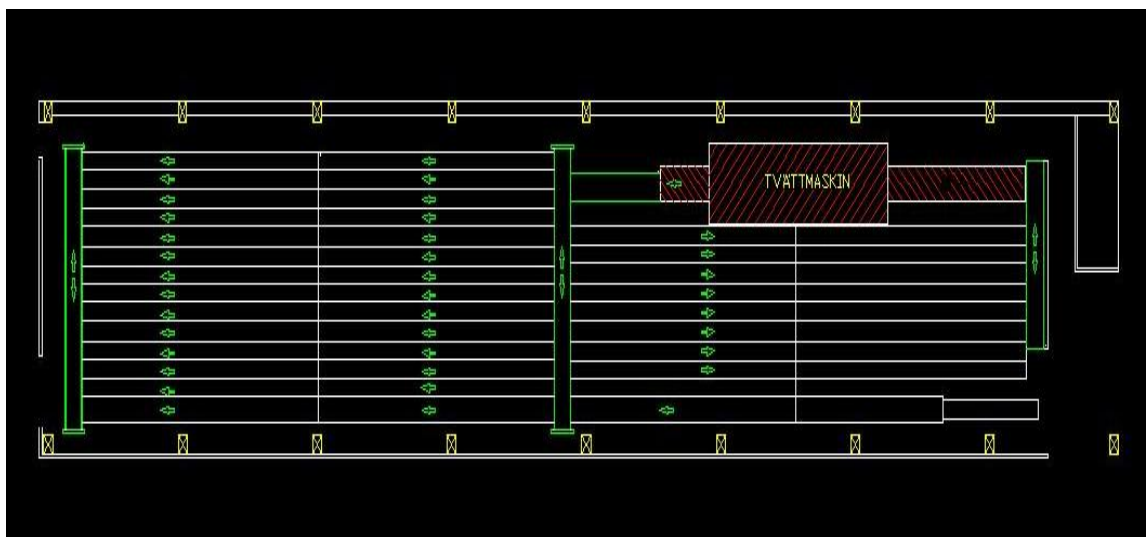
De avgränsningar som har gjorts innan och under arbetets gång är följande:

- Ingen hänsyn har tagits till personsäkerheten vid en eventuell brand i Lantmännen Färskröds bageri. Ingen person vistas i denna del av byggnaden förutom vid tillsyn och reparation. Personer i övriga delar av fastigheten förutses kunna utrymma innan branden sprider sig dit. Därför har fokus legat på skador av egendom och verksamhet.
- Utformning av försöken har anpassats till den tillgängliga utrustningen och de lokaler som fanns tillgänglig för projektet.
- Tyngden i åtgärdsförlagen ligger på rent brandtekniska funktioner, ytterst liten hänsyn tas till ekonomiska aspekter. Detta eftersom företagen inom brandsäkerhetsområdet är ovilliga att ge ut priser på sina produkter, vilket gör det väldigt svårt att få reda på kostnader för olika släcksystem etcetera.

2. Objektsbeskrivning

Lantmännens Färsbrödsbageri är lokaliserat i de västra delarna av Lund. Verksamhet som administration, bageri, packningsutrymme, last- och lossningscentral samt förvaringsutrymme för plastbackar, återfinns alla i samma byggnad. Last- och lossningscentralen fungerar även som tillfällig lagerplats för färdigpackat bröd på väg ut från bageriet. Detta innebär att det vid storhelger här finns en stor mängd brännbart material. Det kan även noteras att det utanför bageriet finns ett lager av plastbackar som lagras precis bredvid den yta där företaget parkerar sina lastbilar.

Den del av fastigheten som ligger i fokus för denna undersökning är lokalen där plastbackarna förvaras. En ritning över lokalen visas nedan i figur 1. Pilarna i ritningen representerar de rullband och dess riktning, på vilka plastbackarna förvaras och hanteras.



Figur 1. Schematisk bild över backhallen (Göransson N-G, 2007)

Lokalen, som härmed benämns backhallen, är 50 meter lång, 10 meter bred och har en takhöjd på 5 meter. Lokalen inhyser tvättapparatur där plastbackarna rengörs, varefter de torkas och förvaras i rummet och sedan skickas vidare ut till fabriken's produktionsdel. Inmatning, tvättning, fördelning och stapling samt vidare utmatning sker via automatik som styrs elektriskt. Detta innebär att en mängd elektrisk utrustning och maskiner finns i utrymmet. Även tvättapparaturen innehåller många elektroniska komponenter.



Figur 2. En av de maskiner som finns i backhallen. (Foto: Andersson S, 2007)

Plastbackarna förvaras i utrymmet tills det är dags att packa brödet och skicka ut det till affärerna. Varje stapel består av 20 plastbackar, vilket motsvarar en höjd på ungefär 2,8 meter. I raderna står plastbackarna precis intill varandra, medan det är minst 11 cm i mellanrum mellan raderna.



Figur 3. Plastbackarnas konfiguration i backhallen. (Foto: Andersson S, 2007)

Det finns två stora icke brandklassade öppningar (se figur 4), för transport av plastbackar ut och in i backhallen. Den ena är från bagerisektionen, dit de nytvättade plastbackarna skickas och den andra öppningen hanterar de använda och otvättade plastbackarna som kommer från last- och lossningscentralen. Dessa öppningar är 6.6 m² respektive 8.4 m². Dessutom finns det två dörrar placerade bredvid de stora öppningarna, varav den ena saknar dörrstängare (se figur 5). Dessa dörrar är brandklassade till A60, vilket betyder att dörren står emot en standardbrand under 60 minuter (Daloc, 2007).



Figur 4. Öppning in till backhallen.
(Foto: Andersson S, 2007)



Figur 5. Brandklassad dörr utan självstängare i backhallen.
(Foto: Andersson S, 2007)

2.1 Systematiskt brandskyddsarbete

Det systematiska brandskyddsarbetet syftar till att kontinuerligt förbättra och se över rutiner och utrustning relaterade till brand och brandskydd. I det systematiska brandskyddsarbetet bör följande delar ingå:

- Policy och ansvar.
- Beskrivning av brandskyddet.
- Risker och åtgärdsplan.
- Organisation.
- Kontroll- och underhållsrutiner.
- Instruktioner, regler och rutiner.
- Utbildning, information och övning.

(Brandskyddshandboken, 2005)

Utdrag ur Lagen om Skydd mot Olyckor: Kapitel 2 § 2 – Systematiskt brandskyddsarbete
”Ägare eller nyttjanderättshavare till byggnader eller andra anläggningar skall i skälig omfattning hålla utrustning för släckning av brand och för livräddning vid brand eller annan olycka och i övrigt vidta de åtgärder som behövs för att förebygga brand och för att hindra eller begränsa skador till följd av brand” (Notisum, 2007).

Detta innebär att det på en anläggning som Lantmännen Färskröds bageri skall finnas tillgång till brandsläckare, första hjälpen utrustning, väl utmärkta och fungerande utrymningsvägar, samt att ett systematiskt brandskyddsarbete kontinuerligt utförs.
(Räddningstjänsten Karlstad, 2007)

Räddningstjänsten är tillsynsmyndighet för att lagen efterlevs medan fastighetsägaren och verksamhetsutövaren tillsammans är ansvariga för att brandskyddet efterlevs, detta i enlighet med Lagen om Skydd mot Olyckor (Brandskyddshandboken, 2005).

Lantmännen Färskröd har via samarbete med en brandkonsult, Kidde Sweden AB, utarbetat en brandskyddsdokumentation. Brandskyddsdokumentationen är enligt författarnas uppfattning omfattande och korrekt utförd samt innehåller alla nödvändiga delar. Arbetet med det systematiska brandskyddet startade 2004 och gick till en början enligt planerna. Detta märks bland annat på att det finns god tillgång till handbrandsläckare i lokalen. Efter ett tag ändrades dock förutsättningarna, tongivande personer inom projektet sade upp sig och det fanns planer på att bageriets verksamhet skulle förändras. Dessa sammanträffanden gjorde att det systematiska brandskyddsarbetet nedprioriterades av organisationen. Arbetet har inte återupptagits sedan dess, även om det finns planer på det. (Johansson N-G, 2007)

2.2 Brandcellsindelning

Det finns öppningar som inte går att stänga mellan backhallen och produktionsdelen av byggnaden. Således räknas hela byggnaden som en enda brandcell, vilket är negativt då det innebär att en eventuell brandspridning och brandgasspridning i byggnaden inte förhindras.

2.3 Släckutrustning och aktiva system

Det finns i byggnaden god tillgång till handbrandsläckare, som är väl placerade och korrekt utmärkta. I backhallen finns en handbrandsläckare (se figur 6). Det finns rökluckor (se figur 7) installerade i backhallen, vid behov öppnas dessa manuellt av räddningstjänsten när de kommer på plats.



Figur 6. Pulversläckare i backhallen.
(Foto: Andersson S, 2007)



Figur 7. Rökluckorna i taket i backhallen.
(Foto: Andersson S, 2007)

2.4 Larm och detektorer

Den enda tillgängliga uppgiften på vilka detektorer som finns installerade i backhallen är att de är av typen rökdetektorer, antingen optisk eller joniserande typ. De sitter monterade i taket med mellan 8-10 meters mellanrum. Om detektorerna i backhallen larmar går larmet direkt till en lokal central och därefter till räddningstjänsten. Ett akustiskt larm ljuder i hela byggnaden och även utomhus. (Johansson N-G, 2007)

2.5 Ventilationssystem

Den ventilation som finns i backhallen består av, förutom de öppningar där plastbackar transporteras in och ut i rummet, ett gammalt ventilationssystem som är avstängt och nu endast innebär två hål i väggen som mynnar ut i bageriets produktionsavdelning. Genom dessa öppningar kan brandgaser vid en eventuell brand spridas från backhallen vidare ut i byggnaden. (Johansson N-G, 2007)

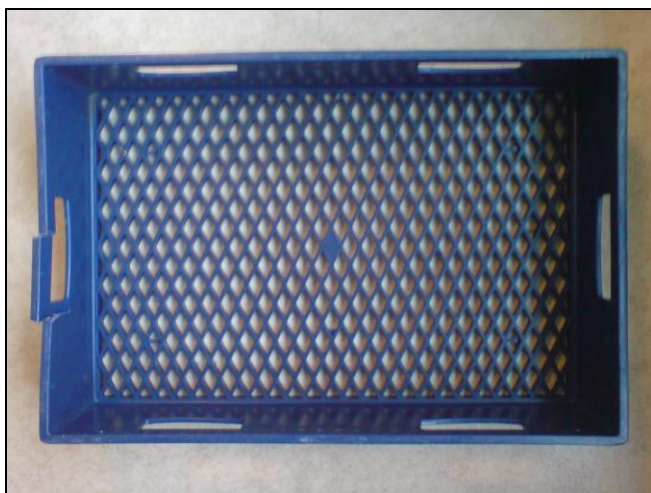
3 Fakta om plastbackarna

De plastbackar som förvaras hos Lantmännens färskbrödsbagerier tillverkas av det danska företaget Ikadan. (Johansson N-G, 2007)

3.1 Allmän beskrivning av plastbacken

De plastbackar som används hos Lantmännens färskbrödsbagerier består till 99 procent av polyeten, eller polyetylen som det även kan benämnas. 2 procent av innehållet i plastbackarna utgörs av en färgtillsats som ger plastbackarna dess blåa färg. Av denna färgtillsats är 50 procent polyeten, vilket innebär att den totala mängden polyeten i plastbackarna blir 99 procent. Resterande 50 procent i färgtillsatsen består av ämnen som är försumbara vid brand. (Hansen J, 2007)

Plastbackens dimensioner är 60 x 40 x 14 cm och är uppbyggd av en ram med handtag på vardera kortsidan. I denna ram sitter sedan ett rutnät av plast vilket illustreras i figur 8 nedan. En plastback väger 2,0 kg.



Figur 8. Plastback sett från ovan. (Foto: Andersson S, 2007)

3.2 Allmänt om polyeten

Polyeten är en termoplast, bestående av kol och väte som formats till kedjeformiga molekylstrukturer, så kallade polymerkedjor. Dess egenskaper bestäms av hur lång kedjan är, storleken på dess förgreningar samt hur fördelningen i längden hos molekylerna ser ut. Polyetens molekyler hålls samman av svaga bindningar vilket gör dem lätta att smälta om och omforma ett obegränsat antal gånger. Smältpunkten för termoplaster ligger vanligtvis mellan 85°C till 185°C beroende på kvalitet och densitet. Ökad densitet medför högre smältpunkt. Polyeten förekommer i många olika varianter från nästintill transparenta kvaliteter till dem som är vita och ogenomskinliga. Polyeten kan dock färgas till alla möjliga tänkbara färgtoner (Chalmers Tekniska Högskola, 2007)

Det finns två huvudtyper av polyeten, kallade HDPE (High Density Poly Ethylene) och LDPE (Low Density Poly Ethylene). HDPE framställs vid så pass lågt tryck att polymerkedjorna får tillräckligt med tid för att hinna formas till raka kedjor. Detta medför att de sedan packar sig tätt samman och materialet blir då styvt. LDPE däremot produceras vid högt tryck, så att etenmolekylerna erhåller hög energi och rör sig mycket. Reaktionen leder till i polymerkedjor som är rikt förgrenade och som inte kan placera sig nära varandra av utrymmesskäl. LDPE blir i och med det mjukt och passar för att göra plastpåsar och plastfolie. Densiteten för LDPE och HDPE ligger mellan 0,91 till 0,96 g/cm³ (Kemikalieinspektionen, 2007). Den variant som används i Lantmännen Färskröds plastbackar är den av hög densitet, alltså HDPE.

Fysiska kännetecken för polyeten är att den inte leder elektricitet, är olöslig i vatten och de flesta organiska lösningsmedel samt att den har ett mycket lågt ångtryck (Kemikalieinspektionen, 2007). Eftersom polyeten utvinns ur olja har den ett högt innehåll av energi som frigörs vid brand. De vanliga plasterna, till vilka polyeten räknas tillsammans med polypropen, polyamid, ABS, polystyren och polyuretan, har en förbränningsentalpi på mellan 25 och 43 MJ/kg. Polyeten har en förbränningsentalpi på 43.6 MJ/kg (Karlsson, Quintiere 2000). Detta kan jämföras med bensin som har en förbränningsentalpi på ungefär 45 MJ/kg och trä som innehåller knappt hälften så mycket energi, cirka 19 MJ/kg (Räddningsverket 1, 2007).

4 Försök i brandlaboratoriet Lunds tekniska högskola

Vid de försök som utfördes i brandlaboratoriet på Lunds tekniska högskola, assisterade forskningsingenjör Sven-Ingemar Granemark med hjälp och tips.

4.1 Test av olika potentiella tändkällor

Att utföra försök med olika potentiella antändningskällor är relevant för att få en uppfattning om huruvida plasten i plastbackarna är lättantändliga eller inte.

Syfte

För att få en fullständig uppfattning om vad som krävs för att antända plasten undersöks hur plasten påverkas av olika relevanta tändkällor.

Försöksuppställning

Försöken utförs i ett skyddande plåtfat inrett med aluminiumfolie. Tändkällan placeras under plasten. Plastbitens storlek är 8 x 7 cm.

Genomförande/Metod

Försöken utförs genom att tändkällan appliceras på plasten. Tändkällorna tänds med hjälp av en tändsticka, utom i fallet med endast en tändsticka där den brinnande tändstickan appliceras direkt mot plasten. Försöken avslutas så fort en eventuell antändning av plasten sker.

Undersökta tändkällor

De tändkällor som har undersökts är:

- Cigarett
- Tändsticka
- 20 gram Toalettpapper
- Vätskebrand av 5 cl heptan

Dessa tändkällor har i första hand valts för att efterlikna naturliga tändkällor som återfinns på bageriet, men även för att få en variation i typen av tändkälla.

Resultat

De resultat som erhöles från försöken redovisas nedan.

Cigarett

En glödande cigarett ger ingen antändning av plasten. Den enda som hände med plasten var att den blev lite förkolnad, vilket syns i figur 10 nedan. En cigarett utvecklar en värmeeffekt på 5 W, men kan uppnå en temperatur på 850°C vid ”insugning” och 600°C utan påverkan (Räddningsverket 2, 2007).



Figur 9. Glödande cigarett på plastback.
(Foto: Dahlqvist J, 2007)



Figur 10. Resultatet av den glödande cigaretten.
(Foto: Dahlqvist J, 2007)

Tändsticka

Plasten antänds av en tändsticka. Tiden tills det att plasten börjar brinna är 7 sekunder. Det skall påpekas att antändningen skedde i hörnet av en avsågad plastbit, vilket förkortade tiden till antändningen en aning, detta åskådliggörs i figur 11 och 12. En tändsticka utvecklar under 20 till 30 sekunder en värmeeffekt på ungefär 80 W. Den maximala temperatur på lågan som kan uppnås under denna tid är 1100°C. (Räddningsverket 3, 2007)



Figur 11 och 12. I bildserien ses tydligt hur tändstickan antänder plastbiten. (Foto: Dahlqvist J, 2007)

Toalettpapper

Plasten läggs ovanpå pappret som därefter antänds. Till försöket användes cirka 20 gram toalettpapper. Enligt svenska räddningsverket utvecklar 20 gram skrynklad tidningspapper, som antänds i ovankant, en värmeeffekt på 7,4 kJ/g (Räddningsverket 3, 2007). Tidningspapper och toalettpapper kan i detta fall likställas, eftersom det rör sig om samma massa och ungefär lika lång brinntid. Branden leder till att plastbiten antänds efter 25 sekunder (se figur 13 och 14).



Figur 13 Pappret placerat under plasten.
(Foto: Dahlqvist J, 2007)



Figur 14. Det upprända pappret antände plasten.
(Foto: Dahlqvist J, 2007)

Vätskebrand med Heptan

Två olika försök med vätskebrand genomfördes. I den första hälldes heptan ner i en liten glasburk, där lågorna från branden fick slå upp mot plasten som var placerad ovanpå (se figur 15). Mängden heptan i glasburken var 5 cl. Vid detta försök antändes inte plasten, utan smälte endast ihop lite (se figur 16). Heptan har ett relativt högt energiinnehåll och en liten brand som denna utvecklar, efter överslagsberäkningar, uppskattningsvis maximalt 4 kW i ett kärl med en diameter på 5 cm.



Figur 15 Plasten över heptanbrand.
(Foto: Dahlqvist J, 2007)



Figur 16. Resultatet från heptanbranden.
(Foto: Dahlqvist J, 2007)

I det andra försöket med heptan applicerades den brännbara vätskan direkt på plasten (se figur 17). I detta fall antändes plasten relativt snabbt, efter cirka 5 sekunder (se figur 18). Denna tid kan inte ses som exakt, eftersom det är svårt att avgöra när det är plasten själv som brinner och inte heptanet som är applicerat direkt på plasten.



Figur 17. Plasten applicerad med heptan
(Foto: Dahlqvist J, 2007)



Figur 18. Plasten antänds av heptanet
(Foto: Dahlqvist J, 2007)

Analys

En mindre koncentrerad jämn låga som får verka direkt på plasten konstant under en tid leder till att plasten antänds. Denna tid behöver inte vara särskilt lång, vilket syns i försöken då det handlar om sekunder i vissa fall. När plasten brinner så bildas droppar av smält plast.

Däremot så har plasten en relativt god beständighet mot strålning från flammor och en oregelbunden flamma som inte verkar konstant på en punkt av plasten. Uppfyller inte lågan detta kriterium krävs det betydligt mer energi för att plasten ska antändas, om den överhuvudtaget skall antändas.

4.2 Försök i Konkolorimetern

Fyra försök med konkolorimetern utfördes för att undersöka plastens motståndsförmåga mot strålning.

Syfte

Får att få en uppfattning om plastens värmeförmåga undersöks hur den påverkas och om den eventuellt antänds vid olika strålningsnivåer.

Försöksuppställning

Vid försöken används den befintliga konkolorimetern (se figur 19) som finns på brandtekniks laboratorium på Lunds tekniska högskola. En del av plastbackens långsida, som består av homogen plast, utsätts för en bestämd strålningsnivå som motsvarar en viss värmeeffekt. Då provkroppen värms upp tillräckligt mycket kommer den att avge pyrolysgaser, som sedan antingen antänds med en gnista eller självantänder beroende på försöksuppställning.



Figur 19. Konkolorimetern i brandlaboratoriet.
(Foto: Dahlqvist J, 2007)

Genomförande/Metod

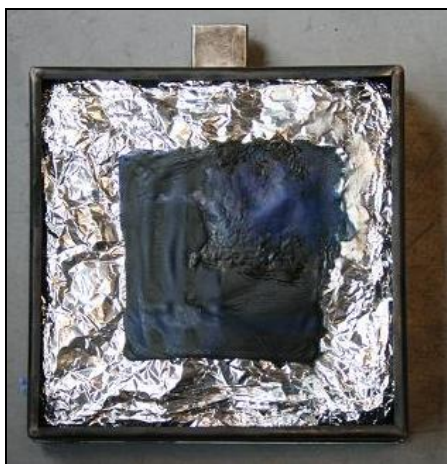
Två olika strålningsnivåer studeras. Först testas 20 kW/m^2 , vilket innebär att högsta möjliga temperatur på plastbitens yta är 630°C (Granemark S-I, 2007). Detta är den strålningsnivå som enligt brandskyddshandboken är den strålningsnivå en människa sägs klara av under en väldigt kort tid (2-3 sekunder). Därefter testas också 10 kW/m^2 , vilket motsvarar en högsta temperatur på 500°C på plastbitens yta. Båda strålningsnivåerna testas med och utan gnista. I de fall pyrolysen är tillräckligt intensiv kommer det att bildas brännbara gaser som antänds av gnistan.

Resultat

Resultaten från de fyra olika försöken redovisas nedan.

Försök 1, 20 kW/m²

I det första försöket användes ingen gnista för antändning. Efter en minut börjar plasten smälta. Plasten pyrolyseras och det bildas brännbara gaser med ökande intensitet. En liten glöd på plastbiten syns efter 6 minuter, för att den sedan skall antända efter 6 minuter 27 sekunder. När plastbiten väl antänds sker en momentan antändning av hela dess yta och försöket avbryts (se figur 20).



Figur 20. Plasten efter försök i konkalorimetern.
(Foto: Dahlqvist, 2007)

Försök 2, 20 kW/m² med gnista

I försök 2 användes samma strålningsnivå som i försök 1, men en gnista för att antända pyrolysgaserna nyttjades dessutom. Efter en minut börjar plasten smälta. Plasten pyrolyseras och det bildas brännbara gaser med ökande intensitet. Gaserna antänds av gnistan efter 3 minuter och 3 sekunder.

Försök 3, 10 kW/m²

I det tredje försöket användes en strålning på 10 kW/m² utan gnista. Efter 2,5 minuter börjar plasten smälta. Sakta börjar pyrolys av plasten ske, och det bildas brännbara gaser. Intensiteten på gasbildningen är som högst efter 6 minuter. Därefter börjar plastens yta förkolna och pyrolyseringen avtar. Försöket avslutas efter 20 minuter, utan att antändning har skett.

Försök 4, 10 kW/m² med gnista

I det fjärde och sista försöket användes 10 kW/m² med gnista. Händelsförloppet var detsamma som i försök 3. Under försöket producerades aldrig tillräckligt mycket brännbara gaser för att antändning skulle ske, inte ens med gnista.

Analys

Plasten har relativt god beständighet mot värmestrålning. Om strålningen inte kommer upp i tillräckligt hög nivå, så bildas inte pyrolysgaser i så pass stor utsträckning att antändning kan ske. Vid så pass hög strålningsnivå som 20 kW/m^2 tar det över 6 minuter för plasten att självantända och 3 minuter för antändning med gnista. Detta är relativt lång tid för de höga strålningsnivåer plasten utsetts för, särskilt i jämförelse med resultaten från försöken med öppen låga.

4.3 Diskussion av försöken i brandlaboratoriet på Lunds tekniska högskola

Försöken med antändningskällor och strålning visar att plastbackarna är lättantändliga i avseende på en mindre öppen koncentrerad låga. Att plasten antänds av både pappersbiten och det direkt applicerade heptanet är förståeligt. Då erhålls en öppen låga med direkt verkan på plasten med en, sett till de övriga två tändkällorna, relativt hög effekt. Men att en så liten effekt som cirka 80 W, vilket en tändsticka genererar, antänder plasten är däremot överraskande.

Plastbackarna har dock relativt bra motståndsförmåga mot strålning. Plasten klarar strålningsnivåer på 20 kW/m^2 under 6 minuter, medan värmeeffekten på 7,4 kJ/g som utvecklas av 20 gram brinnande toalettpapper antänder plasten redan efter 25 sekunder. Att plasten klarar så pass höga strålningsnivåer som 20 kW/m^2 i 6 minuter innan den självantänder är anmärkningsvärt, sett till den låga antändningsenergi som krävs av en öppen flamma för att antända plasten. Kontentan av försöken är att plastbackarna är lätta att antända.

5 Försök i Brandlaboratoriet på Revinge

De försök som utfördes i Brandlaboratoriet på Revinge utfördes i samarbete med Räddningsverkets skola. Under försöken assisterade Stefan Svensson och Thomas Nilsson.

5.1 Generell beskrivning av försöken

Nedan följer en generell beskrivning av försöken utförda i brandlaboratoriet på Revinge.

Syfte

Syftet med de försök som utfördes i brandlaboratoriet var, förutom att studera brandförloppet, att undersöka massavbrinning, temperatur, flammhöjd, brandgaslagrets höjd och brandspridning för olika konfigurationer. Dessa data användes sedan för att beräkna effekten för dessa konfigurationer samt att uppskatta en lämplig korrelation för försöken i större skala.

Begränsningar

De begränsningar som finns för Brandlaboratoriet på Revinge är först och främst storleken på lokalen. På grund av dess begränsade volym kan inte effekter över 1 MW tillåtas, vilket begränsar antalet plastbackar som kan eldas samtidigt till cirka åtta stycken.

Lokal

Lokalen består av ett rum med betongväggar, med en långsida på 8 meter och en kortsida på 6 meter samt en takhöjd på 3 meter. Den ena kortsidan består av värmetåligt glas så att hela rummet kan observeras. I rummet finns en kraftig ventilationsanläggning. Dessutom finns det fyra stycken sprinklers, två stycken lättskumsaggregat samt fyra termoelement installerade.

Utrustning

- **Våg**
För att registrera massavbrinningen användes en pallvåg med tre lastceller (se figur 21). På denna lades skyddande isolering och ovanpå denna en massiv plåtskiva med 0,10 meter höga kanter. Måttet på plåtskivan var 1,45 x 1,05 meter. På denna plåtskiva ställdes sedan plastbackarna i olika konfigurationer. De tre lastcellerna var kopplade till en dator där massavbrinningen registrerades. (Svensson S, 2007)
- **Temperaturmätare**
Vid försöken användes fyra stycken termoelement som monterades in hängandes på ett avstånd av två meter från centrumlinjen på plåtskivan. Termoelementen placerades på avstånden 0,30; 1,10; 1,90 samt 2,70 meter från golvet. Dessa termoelement var kopplade till samma dator som lastcellerna.
- **Sprinkler**

I brandlaboratoriet finns det fyra stycken sprinkler installerade i en rektangel. Sprinklerna sitter positionerade två meter från kortsidan och en och en halv meter från långsidan. Alltså är de lokaliserade så att om man delar upp laboratoriet i fyra lika stora delar, så det finns ett sprinklerhuvud i centrum av varje kvadrat. Trycket i sprinklerna var vid försöken mellan 6 och 8 bar, vilket genererar ett flöde av totalt cirka 400 liter/minut för de fyra sprinklerhuvudena tillsammans (Nilsson T, 2007). Sprinklerhuvudena har en bulb med en diameter på 3 millimeter, och har ett RTI-värde på under 50. Aktivering av sprinklerna sker vid 68°C (GW Sprinkler, 2007).

- **Ventilation**

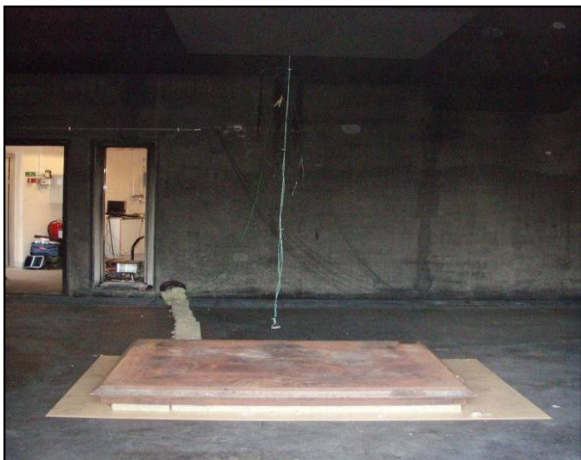
Under samtliga försök i brandlaboratoriet användes fritt flöde av luft både in och ut ur rummet. Detta på grund av att det inte existerar någon fungerande ventilation i backhallen på Lantmännens Färsbrödsbageri. Storleken på ventilationstrumman ut är 0,80 meter i diameter, vilket motsvarar en area på 0,50 m². Storleken på ventilationen in till laboratoriet är inte känd.

- **Kamera**

Samtliga försök filmades med en VHS-kamera lånad från Räddningsskolan i Revinge.

- **Dator med programvara för sammanställning av resultat.**

Precis som tidigare nämnts kopplades termoelementen och lastcellerna till en dator (se figur 22). Från lastcellerna kommer en signal om förändring varje sekund mätt i mV. Denna signal räknas sedan om till kg. Temperaturerna från termoelementen registreras direkt i C° varje sekund. (Svensson S, 2007).



Figur 21. Plåtskivan placerad på lastcellerna, med termoelementen hängande i bakgrunden. (Foto: Dahlqvist J, 2007)



Figur 22. Datorn där mätdata från lastcellerna och termoelementen registreras. (Foto: Dahlqvist J, 2007)

Tändkälla

Vid samtliga försök används en identisk tändkälla bestående av en spånskiva som mättats med tändvätska. Spånskivan var utformad som en kvadrat med sidorna 9,5 cm och en tjocklek på 3 cm. Denna tändkälla visade sig vara lämplig då den var tillräckligt kraftig för att antända plastbackarna och enkel att reproducera. Dessutom tillförde den själv inte någon nämnvärd effekt till branden, utan fungerade enbart som tändkälla (Nilsson T, 2007). Spånskivan placerades i samtliga försök framför ett av handtagen på kortsidan av plastbacken längst ner i stapeln. Detta eftersom den då antände plastbackarna snabbast och därmed gav det värsta brandförloppet.

5.2 Försök 1a Revinge brandlaboratorium: Endast plastbackar

Försöksuppställning

Det första försöket bestod av en stapel med fyra plastbackar, således 8 kg brännbart material. Denna stapel ställdes på mitten av plåtskivan.

Syfte

Syftet med det första försöket var att studera brandförloppet samt att mäta massavbrinning, temperatur och flammhöjd. Resultaten användes sedan för att beräkna effekten för denna konfiguration och att uppskatta en lämplig korrelation för försöken i större skala

Genomförande/Metod

Datorn startades, varefter mätning av massavbrinning och temperatur började registreras. Ventilationen i laboratoriet ställs till fritt flöde, både in och ut. Plastbackarna placerades sedan på plåtskivan. Tändkällan appliceras längst ner på kortsidan av plastbackarna under deras handtag, varpå den antänds och tiden startas. Efter antändning studeras brandförlopp, brandspridning, brandgaslagrets höjd samt flammhöjd. Hela försöket filmas med videokamera och brandförloppet redovisas nedan.

Brandförloppet

Tid (min, s)	Händelse
1:00	Det brinner i samtliga fyra plastbackar och de har börjat smälta. Branden sprider sig snabbt i höjdlid.
2:00	Alla fyra plastbackar brinner nu ordenligt och smälter mycket. Branden sprider sig sakta i horisontellt led.
3:00	Branden fortsätter enligt tidigare. Förbränningen är på grund av god tillgång på syre relativt fullständig, med ren vit rök.
4:00	En liten pölbrand har börjat bildas nedanför den antända kortsidan.
4:50	Ytterväggarna på plastbackarnas långsida fallerar.
5:30	En större yta på pölbranden har bildats. Det finns en tydlig skiktning av brandgaser som ligger på samma höjd som flammen, vilken är 1,2 meter över golvet.
6:00	Hela stapeln välter.
9:30	Branden är nu uteslutande en pölbrand. Brandgaslagrets höjd befinner sig på 0,9 meter.

- 10:00 Intensiteten på branden ökar då all massa i pölen börjats värma upp. Tillgången till syre har minskat och flammen och brandgaserna är betydligt sotigare (se figur 23).
- 12:30 Branden har nu väldigt hög intensitet. Flamman är väldigt sotig och strålningen från denna är hög, vilket känns genom glasrutan. Brandgaslagret är kolsvart och fyller hela rummet ända ner till 0,2 meter ovanför golvet.
- 14:00 Brandförloppet fortsätter enligt tidigare. Flamhöjden är 1,5 meter.
- 18:00 Intensiteten på branden sänks kraftigt.
- 22:00 Försöket avslutas och branden släcks.



Figur 23. Branden efter 10 minuter. (Foto: Dahlqvist J, 2007)

Resultat

Brandförloppet i det första försöket karakteriseras av två faser. I den första fasen antänds plastbackarna och brinner sedan vertikalt. I den andra fasen bildar plastbackarna en pölbrand. Erhållen data från försöken redovisas i nedanstående diagram.

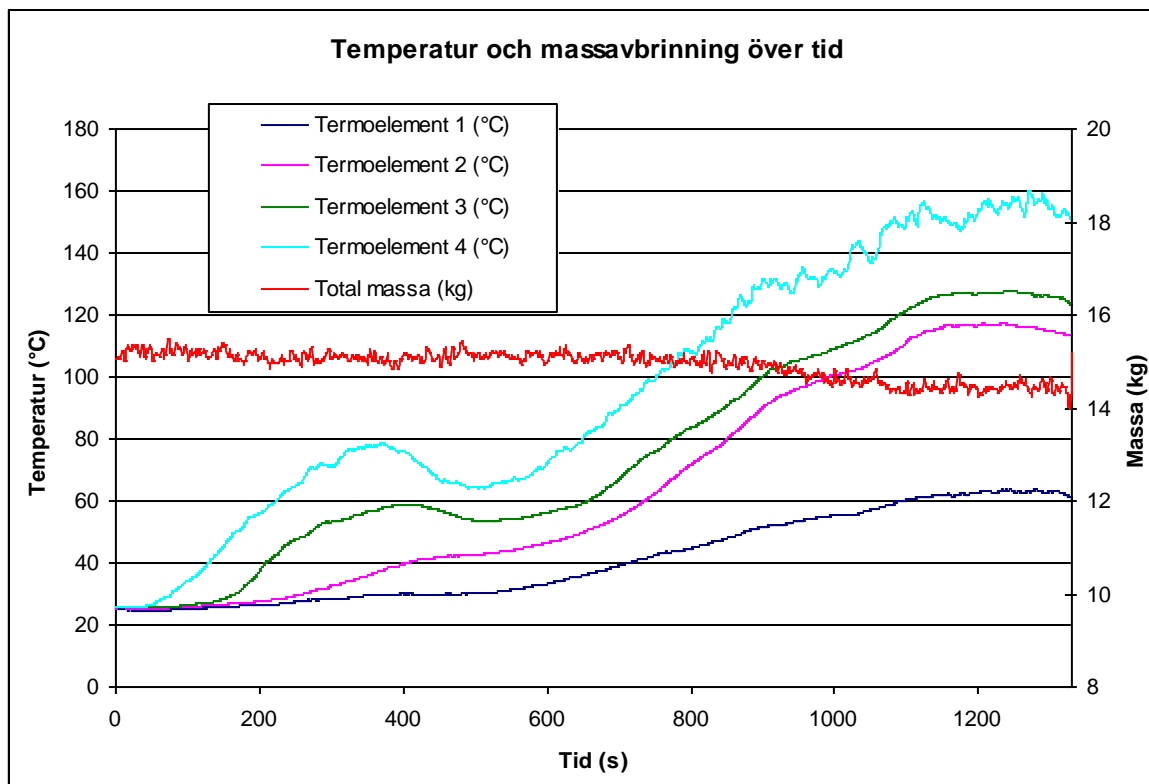


Diagram 1. Temperaturförändringen i rummet och plastbackarnas massa över tiden i försök 1a.

Ur diagrammet åskådliggörs att temperaturen får två toppar i brandgaslagret. Den första byggs upp från den tidpunkt plastbackarna antänds, ökar sedan när branden sprider sig vertikalt för att nå sin topp innan samtliga plastbackar börjat smälta och falla ihop. Mellan topparna sänks temperaturen, då en stor del av energin från branden går till att smälta plastbackarna. Då detta skett ökar temperaturen igen för att stiga upp till sin maximala temperatur på 160°C i takhöjd innan försöket avbryts och branden släcks. Temperaturkurvan korresponderar väl med det brandförlopp som beskrivits tidigare.

Den minskning av massa som redovisas i diagrammet är logisk med avseende på både brandförlopp och temperaturförändring. Massavbrinningen kan sägas ske även den i två faser. I den första, då plastbackarna brinner vertikalt, så minskar massan endast marginellt (se kapitel 7.2). Då plastbackarna har smält fullständigt och bildat en pölbrand, ökar massavbrinningen, vilket kännetecknar den andra fasen. Till följd av detta ökar temperaturen i rummet och då minimalt med energi går tillbaka till plastbackarna sker temperaturökningen betydligt mer drastiskt än i den första toppen. Anledningen till att massan ökar igen efter cirka 23 minuter, är att släckning av branden med hjälp av vatten då påbörjas.

5.3 Försök 1b Revinge brandlaboratorium: Endast plastbackar

Försöksuppställning

Försök 1b bestod av en stapel med åtta plastbackar, således 16 kg brännbart material. Denna stapel ställdes på mitten av plåtskivan.

Syfte

Syftet med försök 1b var, precis som 1a, att studera brandförloppet samt att mäta massavbrinning, temperatur, flammhöjd. Resultaten användes sedan för att beräkna effekten för denna konfiguration och att uppskatta en lämplig korrelation för försöken i större skala genom jämförelse med 1a.

Genomförande/Metod

Försöket genomfördes på exakt samma sätt som 1a.

Brandförlopp

Tid (min, s)	Händelse
1:00	De brinner i fyra plastbackar och de har börjat smälta. Branden sprider sig snabbt i höjded.
1:20	Flammorna sträcker sig hela vägen upp längs med stapelns kortsida.
2:00	Samtliga åtta plastbackar brinner nu ordenligt och smälter mycket. Det brinner dock sakta i horisontellt led.
3:00	Intensiteten på branden är mycket hög. Flammornas höjd är hela 2,6 meter.
3:55	Hela stapeln ramlar ihop, och en del av materialet hamnar utanför plåtskivan.
4:10	Allt material som ramlade utanför plåtskivan har lagts tillbaka på denna. Branden förlorar rejält i intensitet.
5:00	Branden brinner med låg intensitet medan plasten smälter.
9:00	Hela mängden material börjar smälta ner till en pölbrand och intensiteten ökar.
11:00	Pölbranden upptar halva arean av plåtskivan på grund av att den lutar.
12:30	Hela plåtskivan täcks av en intensiv pölbrand. Brandgaserna är svarta och fulla av sot. Höjden på brandgaslagret är nere på 0,2 meter.

17:00 Släckningsförsök påbörjas.

21:00 Allt brinnande material har släckts.



Figur 24 och 25. Bilderna åskådliggör släckningsinsatsen som utfördes av Stefan Svensson i försök 1b. (Foto: Dahlqvist J, 2007)

Resultat

Brandförloppet i det andra försöket har samma karaktär som i det första, med två tydliga faser. Den stora skillnaden mellan de båda är att branden i det andra försöket uppnår en högre intensitet. Från mätdata har följande diagram gjorts.

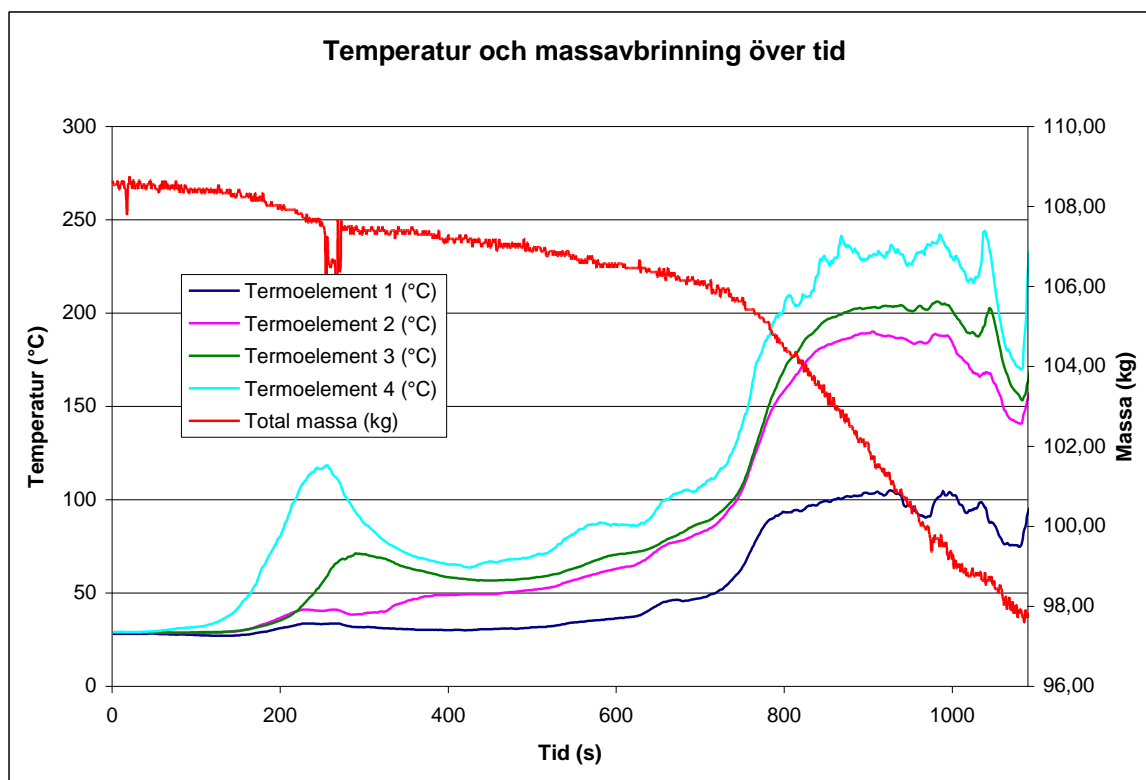


Diagram 2. Temperaturförändringen i rummet och plastbackarnas massa över tiden i försök 1b.

Precis som i försök 1a åskådliggörs i diagrammet hur temperaturen får två toppar i brandgaslagret. Skillnaden jämfört med försök 1a är att topparna växer betydligt fortare och är större, temperaturen är alltså högre här. Det beror på att det i detta försök används dubbelt så många plastbackar. Den första toppen byggs upp från den tidpunkt då plastbackarna antänds, när branden sedan sprider sig vertikalt sker det med en snabb tillväxt. Mellan topparna är det ett mellanrum, vilken är betydligt bredare än i försök 1a. Detta beror på att det tar längre tid att smälta den dubbelt så stora massan plast. När detta väl har skett ökar temperaturen drastiskt igen för att uppnå försökets maximala temperatur på cirka 245°C vid takhöjd innan försöket avbryts. Temperaturkurvan korresponderar i försök 1b väldigt väl med det visuellt dokumenterade brandförlopp som beskrivits ovan.

Den avbrinning av massa som åskådliggörs i diagram 2 överensstämmer i hög grad med både brandförlopp och temperaturförändring. I den första fasen, då plastbackarna brinner vertikalt, så minskar massan med en viss hastighet (se kapitel 7.4). Då plastbackarna har smält fullständigt och bildat en pölbrand, ökar massavbrinningen radikalt. Till följd av detta ökar temperaturen i rummet och eftersom minimalt med energi återgår till

plastbackarna, sker temperaturökningen betydligt fortare än i den första toppen. Den plötsliga minskning i massa som syns i diagrammet efter cirka 4 minuter beror på att plastbackarna faller ihop, och en del av materialet då hamnar utanför vågen. Det plastmaterial som hamnade utanför vågen lades tillbaka omedelbart, således kan den plötsliga minskningen i massa bortses ifrån.

5.4 Försök 1c Revinge brandlaboratorium: Endast plastbackar

Försöksuppställning

Försök 1c bestod av två staplar med fyra plastbackar i vardera, således 16 kg brännbart material. Dessa staplar placerades med långsidan riktade mot varandra med ett avstånd på 11 cm emellan. Detta avstånd är det minsta möjliga som raderna av staplar har på bageriet.



Figur 26. Försöksuppställning inför försök 1c. (Foto: Dahlqvist J, 2007)

Syfte

Syftet med försök 1c var, precis som i tidigare försök, att studera brandförloppet samt att mäta massavbrinning, temperatur, flamhöjd. Särskild vikt lades i detta försök på att studera brandspridningen mellan de två staplarna. Resultaten användes sedan för att beräkna effekten för denna konfiguration och att uppskatta en lämplig korrelation för försöken i större skala.

Genomförande/Metod

Försöket genomfördes på exakt samma sätt som försök 1a. Noterbart är att tändkällan applicerades längt ner på kortsidan av den ena stapeln.

Brandförlopp

Brandförloppet är tills 6 minuter passerat detsamma som i försök 1a, då endast den ena stapeln brinner fram till dess. Skillnaden är vid 6 minuter att hela stapeln inte välter vid denna tidpunkt, utan den står kvar ytterligare i 1 minut och 30 sekunder i detta försök.

Tid (min, s)	Händelse
1:00	Det brinner i samtliga fyra plastbackar i den stapel branden initierades i och de har börjat smälta. Branden sprider sig snabbt i höjdlid.
2:00	Alla fyra plastbackar i den berörda stapeln brinner nu ordenligt och smälter mycket. Det brinner dock sakta i horisontellt led.
3:00	Branden fortsätter enligt tidigare. Förbränningen är på grund av god tillgång på syre relativt fullständig, med ren vit rök.
4:00	En liten pölbrand har börjat bildas nedanför den antända kortsidan.
4:50	Ytterväggarna på plastbackarnas långsida fallerar.
5:30	En större yta på pölbranden har bildats. Det finns en tydlig skiktning av brandgaserna på samma höjd som flammen, vilken är 1,2 meter.
7:00	Det börjar nu brinna i den andra stapeln via den pölbrand som bildats runt den första stapeln.
7:30	Första stapeln smälter och sjunker ihop. Brandgaslagrets höjd är nere på 0,9 meter.
9:00	Plasten från den första stapeln består i princip enbart av en pölbrand.
9:10	Två av plastbackarna i den andra stapeln brinner. Brandgaslagret har sänkts sig ytterligare med 0,2 meter till 0,7 meter.
11:30	Samtliga fyra plastbackar i den andra stapeln brinner.
13:00	Intensiteten på branden är hög. Flamhöjden ligger på 1,5 meter.
13:30	Försöket avslutas och släckinsats påbörjas.
15:00	Branden är helt släckt.

Resultat

Brandförloppet i det tredje försöket karakteriseras av två faser, som dock är lite mer otydliga än i de två första försöken. I den första fasen antänds plastbackarna i den första stapeln och brinner sedan snabbt vertikalt och långsamt horisontalt. I den andra fasen har plastbackarna i den första stapeln smält och bildat en pölbrand. Den andra stapeln antändes och bidrog till effektökningen under den andra fasen. Från de data som erhöles ur termoelementen och lastcellerna har nedanstående diagram skapats.

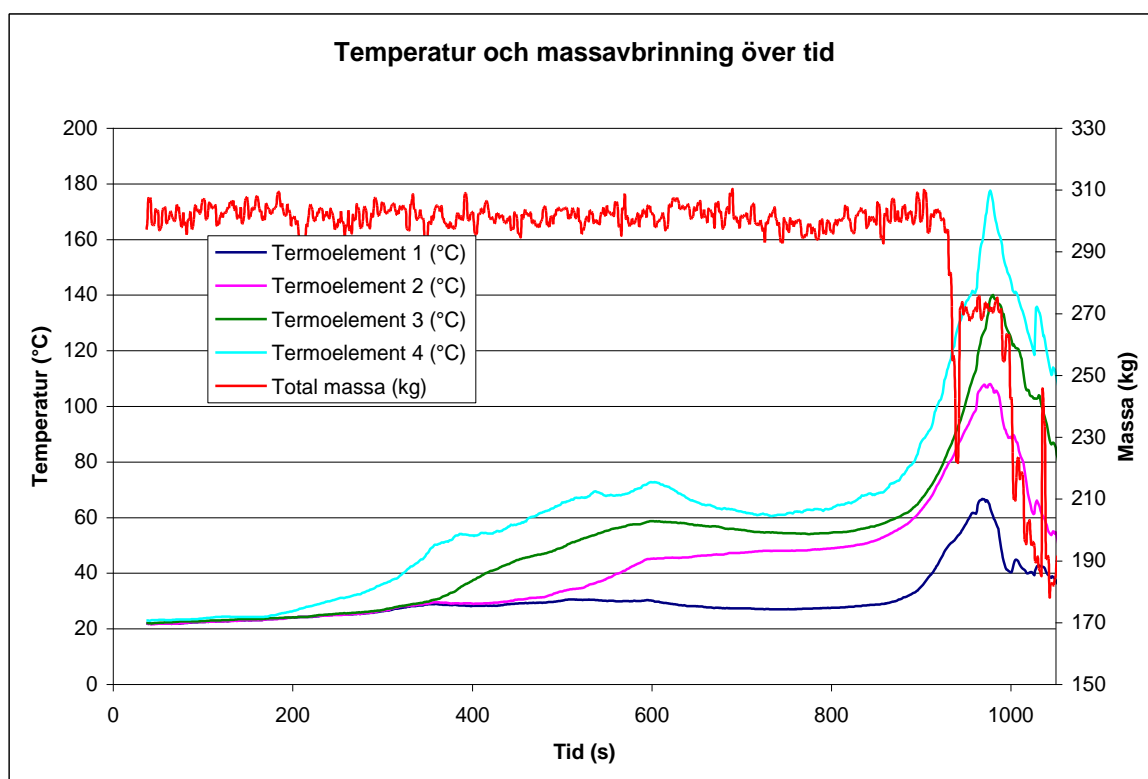


Diagram 3. Temperaturförändringen i rummet och plastbackarnas massa över tiden i försök 1c.

I temperaturprofilen för försök 1c syns det två toppar, om än inte lika tydlig som i de två första försöken. Den första toppen är mindre markant, vilket beror på att en stor del av den av branden angivna energin går åt till att värma upp plasten i den andra stapeln. Den första stapeln smälter därför inte lika fort som i försök 1a. När detta väl har skett efter 7 minuter, bildas en pölbrand. Denna pölbrand, tillsammans med en fullständig brand i den andra stapeln, gör att temperaturen i rummet ökar drastiskt efter cirka 12-13 minuter. Försöket tilläts inte gå så långt att den andra stapeln också smälte och bidrog med flytande plast till den redan befintliga pölbranden. Hade så varit fallet hade en ytterligare temperaturökning varit trolig. Den stora temperaturtoppen överensstämmer väl i försök 1c med det visuellt dokumenterade brandförlopp som beskrivits ovan.

Förändringen i massa ser vid en första anblick i diagram 3 ut att vara obefintlig. Så är inte fallet, vilket redogörs i kapitel 7.5. Detta beror på att skalan är felaktig. Dels så stämmer inte skalan överens med verkligheten, plastbackarna och plåtskivan de står på väger omöjligt runt 310 kg. Dels så är skalan så bred att en variation i massa inte kan urskiljas i

diagrammet. Faktum kvarstår dock att en massavbrinning sker och att den sker i två faser. I den första fasen brinner den först stapeln vertikalt och minskar massan med en viss hastighet (se kapitel 7.5). Vid den tidpunkt en pölbrand har uppstått brinner även den andra stapeln. Detta medför att massan minskar avsevärt fortare än tidigare, vilket kännetecknar fas två. Den andra fasen varar dock inte så länge innan försöket avbryts. Den andra toppen i temperaturkurvan och den andra fasen i massavbrinningen korresponderar mycket väl.

5.5 Försök 1d Revinge brandlaboratorium: Endast plastbackar

Försöksuppställning

Försök 1d bestod av två staplar med fyra plastbackar i vardera, således 16 kg brännbart material. Till skillnad från försök 1c så placerades dessa med kortsidan mot varandra utan något avstånd emellan. Det är denna konfiguration av staplarna som används på Lantmännens färskbrödsbageri.

Syfte

Syftet med försök 1d var detsamma som för försök 1c.

Genomförande/Metod

Genomförandet var även det oförändrat från försök 1c, med tillägget att den första stapeln antändes på den kortsida som var vänd bort från den andra stapeln.

Brandförlopp

Brandförloppet är tills 5 minuter och 30 sekunder passerat detsamma som i försök 1a, då endast den ena stapeln brinner fram till dess. Skillnaden är att redan vid 5 minuter och 30 sekunder så välter den första stapeln, jämfört med 6 minuter i försök 1a.

Tid (min, s)	Händelse
1:00	Det brinner i samtliga fyra plastbackar i den stapel branden initierades i och de har börjat smälta. Branden sprider sig snabbt i höjdlid.
2:00	Alla fyra plastbackar i den första stapeln brinner nu kraftigt och smälter mycket. Det brinner dock sakta i horisontellt led.
3:00	Branden fortsätter enligt tidigare. Förbränningen är på grund av god tillgång på syre relativt fullständig, med ren vit rök.
4:00	En liten pölbrand har börjat bildas nedanför den antända kortsidan.
4:50	Ytterväggarna på plastbackarnas långsida fallerar.
5:30	Den första stapeln faller omkull. Intensiteten på branden sjunker då.
6:00	En större yta på pölbranden har bildats. Det finns en tydlig skiktning av brandgaserna på samma höjd som flammen, vilken är 1,2 meter.
7:00	Det börjar nu brinna i den andra stapeln via den pölbrand som bildats runt den första stapeln.
7:30	Materialet från den första stapeln består enbart av en pölbrand och intensiteten ökar. Brandgaslagret är nere på 0,7 meter.

- 11:00 En tydlig strålningspåverkan syns på den andra stapeln.
- 12:30 Plastbackarna i den andra stapeln börjar smälta.
- 13:00 Det brinner nu fullständigt i den nedersta plastbacken i den andra stapeln. Brandgaslagret är nere på 0,5 meter.
- 15:00 Samtliga plastbackar i den andra stapeln har antänts. Brandgaslagrets höjd har sänkts ytterligare till 0,3 meter.
- 17:00 Brandgaslagret är nere vid golvet. Försöket avslutas.

Resultat

I det fjärde försöket har brandförloppet två faser. I den första fasen antänds plastbackarna i den första stapeln och brinner snabbt vertikalt och långsamt horisontalt. I den andra fasen har plastbackarna i den första stapeln smält och bildat en pölbrand. Den andra stapeln antänds och bidrog till effektökningen under den andra fasen. Från de data som erhöles från termoelementen och lastcellerna har nedanstående diagram skapats.

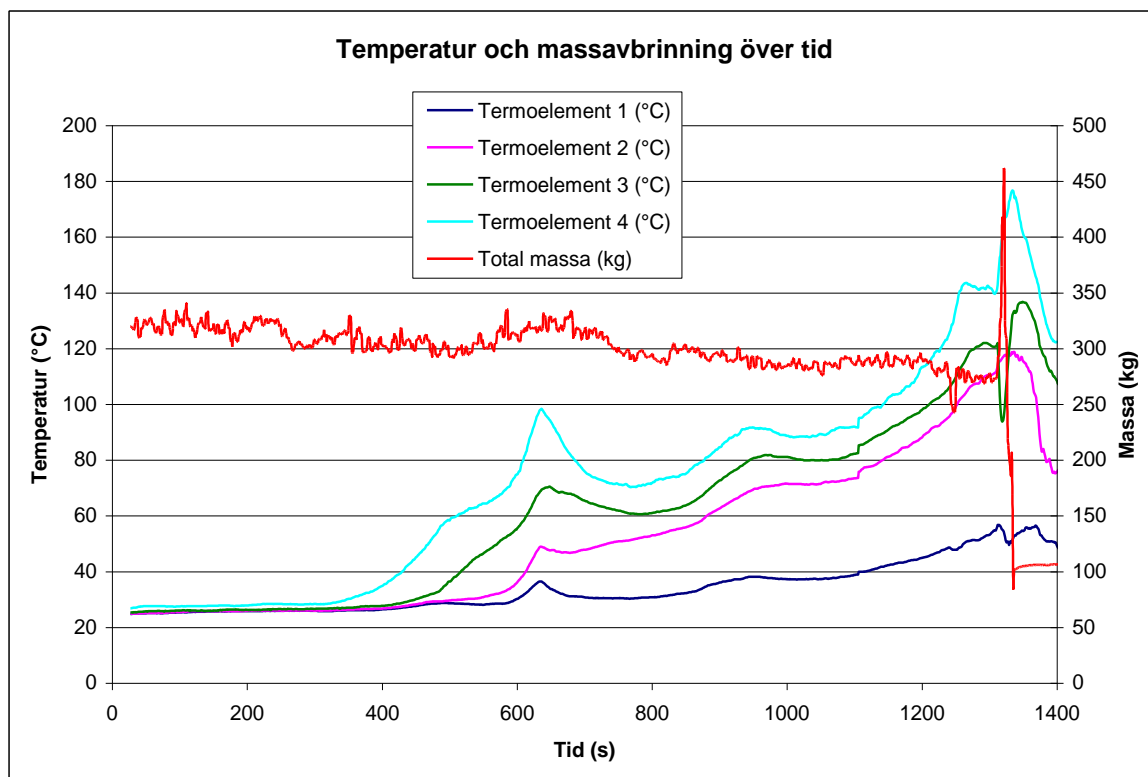


Diagram 4. Temperaturförändringen i rummet och plastbackarnas massa över tiden i försök 1d.

I försök 1d syns det två toppar i temperaturprofilen. Den första toppen är mindre på grund av att en del av den avgivna energin går tillbaka som värme till plasten i den andra stapeln. Den första stapeln smälter därför inte riktigt lika fort som i försök 1a. Detta inträffar efter 7 minuter och 30 sekunder, varefter pölbrand inträffar och temperaturen stiger. Men det är inte förrän den andra stapeln brinner fullständigt, som temperaturen i rummet når sin absoluta topp. Försöket avbröts innan den andra stapeln smälte, därmed bidrog aldrig den andra stapeln med flytande plast till pölbranden. Temperaturprofilen verifieras av det visuellt dokumenterade brandförloppet som beskrivits ovan.

Förändringen i massa sker i två faser. Den första fasen sträcker sig från antändning till dess att den första stapeln har smält och bildat en pölbrand. Den andra fasen inleds när den första stapeln har övergått till pölbrand. I den andra fasen minskar massan fortare än i första fasen och massavbrinningen är som störst när den andra stapeln brinner helt. I detta försök antänds den andra stapeln 3 minuter och 30 sekunder senare än i försök 1c. Detta beror på att brandens spridning i horisontell led är långsam, det tar längre tid för lågorna

att nå den borte kortsidan av stapeln än det tar att nå långsidan. Försöket avbröts innan den andra stapeln hann övergå till pölbrand. Precis som i det förra försöket är skalan för bred för att kunna läsas av noggrant (se kap 7.5). Temperaturkurvan och massavbrinningen korresponderar relativt väl med varandra.

5.6 Försök 2a Revinge brandlaboratorium: Plastbackar med grovt bröd

Försöksuppställning

Försök 2a bestod av en stapel med fyra backar innehållande grovt bröd och dess emballage. Plastbackarna vägde 8 kg och brödet ungefär 27 kg. Två av plastbackarna fylldes med tätt packat bröd med hög densitet av sorten ”Coop Extra” (se figur 27). Då detta bröd inte fanns i tillräcklig mängd för att fylla fyra plastbackar, fylldes de övriga två med lite mindre tätt packat grovt bröd kallat ”Carlssons Fyrkant” (se figur 28). Stapeln arrangerades med de två brödsorterna placerades varannan ”Coop Extra” och varannan ”Carlssons Fyrkant”. Stapeln ställdes sedan på mitten av plåtskivan.



Figur 27. Bröd av sorten ”Coop Extra” och dess konfiguration inför försöken. (Foto: Dahlqvist J, 2007)



Figur 28. Bröd av sorten ”Carlssons Fyrkant” och dess konfiguration inför försöken. (Foto: Dahlqvist J, 2007)

Syfte

Syftet med försök 2a var, precis som i tidigare försök, att studera brandförloppet samt att mäta massavbrinning, temperatur, flammhöjd. Men det huvudsakliga syftet var att studera skillnaden mellan en brand i plastbackar utan respektive med bröd. Resultaten användes sedan för att beräkna effekten för denna konfiguration och att uppskatta en lämplig korrelation för försöken i större skala genom jämförelse.

Genomförande/Metod

Försök 2a genomfördes exakt likadant som försök 1a.

Brandförlopp

Tid (min, s)	Händelse
0:30	Lågorna når inte in i stapeln genom handtagen, på grund av bröden.
2:00	Samtliga fyra plastbackar brinner. Det brinner dock väldigt sakta i horisontellt led. Från branden avges en tydligt vit rök innehållande en stor mängd vattenånga.

- 5:30 Brandens intensitet ökar på grund av att en mindre pölbrand har bildats.
- 7:00 Brandens intensitet dämpas av nedfallande bröd.
- 9:15 Brandgaslagrets höjd är nere på 1,3 meter.
- 10:00 Branden ökar ibland sporadiskt i intensitet för att sedan minska när bröd åter faller ner.
- 13:00 Halva stapeln har smält, men brandens intensitet dämpas kraftigt av brödet.
- 20:00 Ingen förändring har skett.
- 35:00 I princip all plast har smält men ingen pölbrand uppstår eftersom branden dämpas starkt av brödet.
- 40:00 Försöket avslutas då ingen förändring har skett.

Resultat

Brandförloppet i försök 2a skiljer sig markant från de tidigare försöken. Det grova brödet begränsar brandspridningen, reducerar intensiteten och hindrar uppkomsten av en pölbrand genom att binda det smälta plastmaterialet. Detta medför att de två faser som funnits i tidigare försök nu inte återfinns här. Det grova brödets brinner dåligt. Efter 40 minuter var en stor del av brödet ännu i princip opåverkat av branden, utan hade endast förkolnats på ytan. Detta åskådliggörs i figur 29 och 30 nedan.



Figur 29 och 30. Bröden efter försöket. Observera att bröden är i princip oförändrade under det översta svarta kollagret. (Foto: Dahlqvist J, 2007)

I diagrammet nedan redogörs för de data som erhöles från försöket.

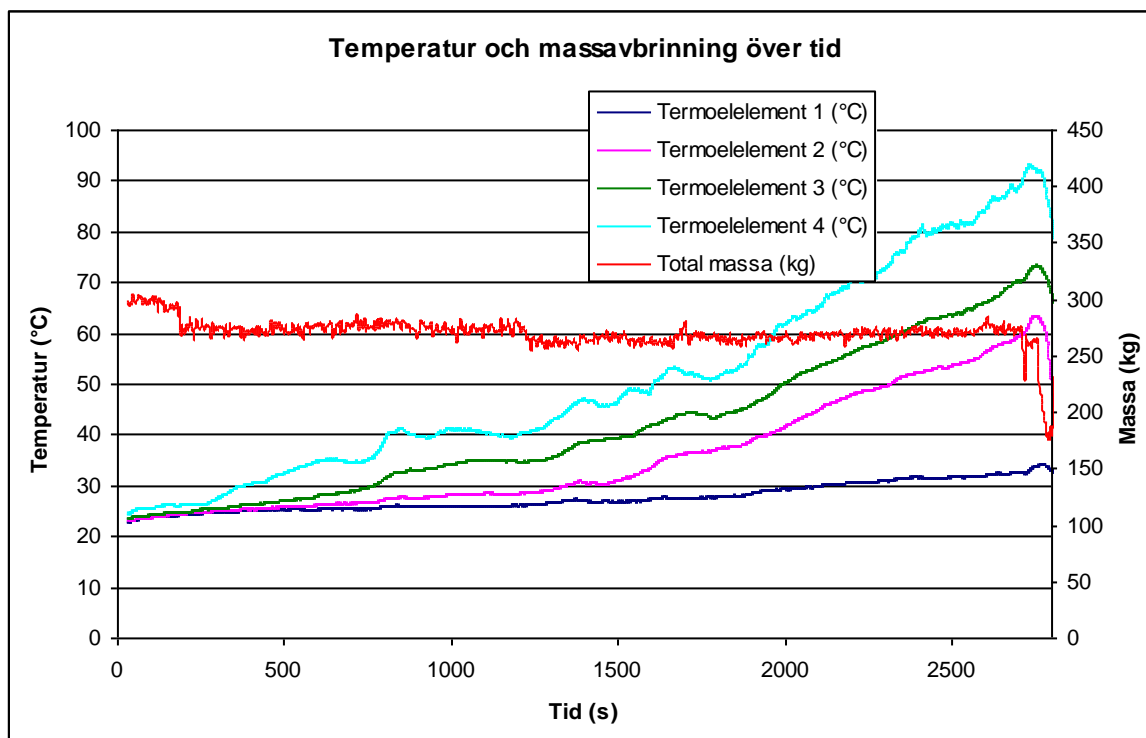


Diagram 5. Temperaturförändringen i rummet och plastbackarnas massa över tiden i försök 2a.

I diagram 5 finns inte de två temperaturtopparna som syns i de tidigare försöken och inte heller någon tydlig fasförändring finns. Temperaturen ökar istället väldigt sakta. Den maximala temperaturen är inte speciellt hög, endast 95°C efter cirka 45 minuter.

Massavbrinningen följer samma mönster. Ingen tydlig skillnad mellan faserna går att finna, utan det kan konstateras att massan avtar jämnt över tiden.

Avsaknaden av två faser i temperaturkurvan respektive massavbrinningen, beror på att det grova brödet kraftigt hindrar brandutvecklingen. Branden i plastbackarna beter sig annorlunda med bröd jämfört med utan. Spridningen av branden horisontellt och vertikalt sker mycket långsammare än i tidigare försök. En stor del av brandens energi tas upp av brödet med dess höga fuktinnehåll och brandens intensitet dämpas. Den pölbrand som bildats i tidigare försök förhindras av att brödet binder den smälta plasten.

5.7 Försök 2b Revinge brandlaboratorium: Plastbackar med hamburgerbröd

Försöksuppställning

Försök 2b bestod av en stapel med fyra plastbackar innehållande hamburgerbröd och dess emballage. Plastbackarna vägde 8 kg och hamburgerbrödet ungefär 7 kg. Skillnaden mellan hamburgerbröden och bröden i försök 2a är innehållet och förpacknings sättet. Hamburgerbröden är förpackade med betydligt mer luft emellan sig och själva bröden är mer porösa med en lägre densitet än de grova bröden. Stapeln placerades på mitten av plåtskivan.

Syfte

Syftet med försök 2b var, precis som i tidigare försök, att studera brandförloppet samt att mäta massavbrining, temperatur, flammhöjd. Särskilt intresse lades dock vid i att studera huruvida det finns en skillnad mellan en brand i plastbackar med hamburgerbröd och plastbackar med grovt bröd. Resultaten användes sedan för att beräkna effekten för denna konfiguration samt att uppskatta en lämplig korrelation för en brand i större skala.

Genomförande/Metod

Försök 2b genomfördes exakt likadant som försök 2a

Brandförlopp

Tid (min, s)	Händelse
0:30	De brinner i samtliga fyra plastbackar och de har börjat smälta.
2:00	Branden ökar i intensitet. Det brinner dock sakta i horisontellt led på grund av att bröden reducerar spridningen.
5:00	Branden är relativt intensiv men dämpas ändå av hamburgerbröden. Både flammhöjd och brandgaslagret ligger på 1,3 meter
7:30	Plastbackarna smälter och sjunker ihop.
10:00	Hamburgerbröden begränsar plastens utbredning och hindrar utveckling av pölbrand.
12:30	Brandgaslagrets höjd har sjunkit till 0,7 meter.
20:00	En intensifiering av branden sker. Branden har nu spridit sig horisontellt och börjar alltmer likna en brand utan bröd.
22:00	Brandens intensitet avtar något.

24:00 Brandgaslagrets höjd ligger på 0,5 meter. Röken är väldigt svart.

25:00 Försöket avslutas.

Resultat

Brandförloppet i försök 2b påminner om det i försök 2a. Hamburgerbrödet begränsar brandens spridning, reducerar dess intensitet och hindrar delvis skapandet av en pölbrand. Detta sker dock inte i lika stor utsträckning som i försöket med grovt bröd. Densiteten på hamburgerbrödet är betydligt lägre än det grova brödet och hamburgerbrödet är även mindre tätt packat, vilket medför ett mindre energiupptag från branden än det grova brödet. Hamburgerbrödet är mer lättantändligt och brinner med högre intensitet än det grova brödet, vilket kan bero på ett högre sockernehåll. Trots detta hade inte allt hamburgerbröd brunnit upp vid försökets slut, utan endast förkolnats på ytan.

De data som registrerades från lastcellerna och termoelementen redovisas i diagram 6 nedan.

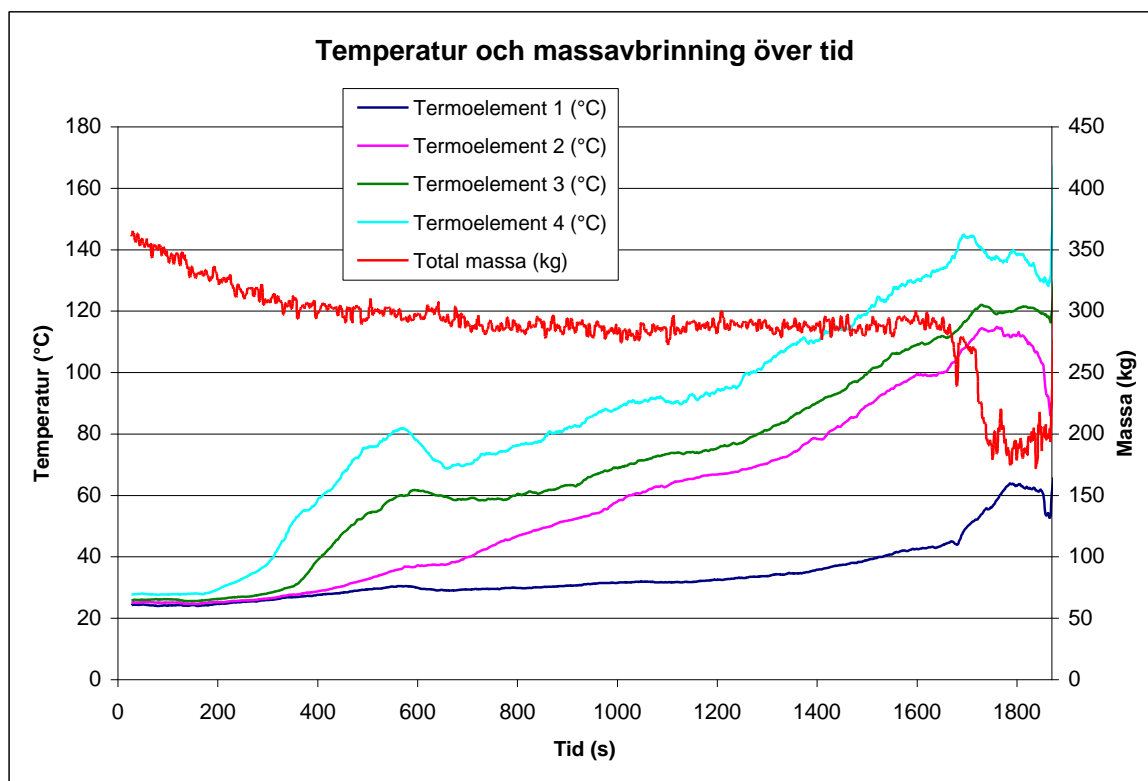


Diagram 6. Temperaturförändringen i rummet och plastbackarnas massa över tiden i försök 2b.

I diagrammet finns två temperaturtoppar, men de är mindre än i de första försöken. Temperaturen rör sig snarare relativt linjärt upp till 140°C. Det finns en liten fasförändring, eftersom hamburgerbrödet inte kan hindra plastbackarna från att smälta och sjunka ihop. Dock hindrar de utbredningen av smält plast och fördröjer därmed uppkomsten av en pölbrand. Först efter 20 minuter, bildas en pölbrand liknande den i de tidigare utförda försöken utan bröd.

Massavbrinningen däremot har två tydliga faser. Att en mindre ökning av massavbrinningen sker när branden intensifieras efter 20 minuter, kan tyckas logiskt. Men att ökningen är så drastisk som i diagrammet, då massan minskar med cirka 100 kg på endast ett par hundra sekunder, anses orimligt.

Branden i plastbackarna beter sig annorlunda med hamburgerbröd jämfört med plastbackar fyllda med grovt bröd och enbart plastbackar. Med hamburgerbröd sker spridningen av branden horisontellt och vertikalt sker snabbare än i försöket med grovt bröd, men långsammare än i försöken utan bröd. En del av brandens energi tas upp av hamburgerbröden med dess fuktinnehåll och brandens intensitet dämpas. Den pölbrand som tidigare bildats försenas dessutom genom att brödet binder den smälta platen till en viss del. Hamburgerbröden har i princip samma typ av påverkan på branden som de grova bröden, men med en mindre effekt än dessa.

5.8 Försök 3a Revinge brandlaboratorium: Släckning av brand i plastbackar med sprinkler

Försöksuppställning

Försök 3a bestod av en stapel med åtta plastbackar, och således 16 kg brännbart material. Denna stapel ställdes på mitten av plåtskivan. Fyra nya sprinklerhuvuden installerades med en utlösningstemperatur på 68°C. Trycket i vattenledningarna är mellan 6 och 8 bar och flödet blir då totalt cirka 400 liter/minut för de fyra sprinklerna tillsammans. Sprinklerna var placerade så att om taket delades upp i fyra lika stora delar, hamnar varje sprinklerhuvud i mitten av varsin av dessa delar.

Syfte

Syftet med försök 3a var att studera tiden till sprinklerutlösning och studera släckeffekten hos sprinklerna. Avsikten var också att mäta temperatur och massavbrinning under hela händelseförloppet. Resultaten användes för att beräkna effekten för branden vid sprinklerutlösning samt hur brandens effekt påverkas av sprinklerna.

Genomförande/Metod

De fyra sprinklerhuvuden som installerades trycksattes med vatten under ett tryck av 6 bar. Genomförandet utfördes därefter som i 1a med skillnaden att vattnet från sprinklerna släcker branden efter 2 minuter och 50 sekunder.

Brandförlopp

Tid (min, s)	Händelse
1:00	Det brinner i fyra plastbackar och de har börjat smälta. Branden accelererar snabbt i höjdlid.
1:20	Flammorna sträcker sig hela vägen upp till översta plastbacken i stapeln.
1:40	Samtliga åtta plastbackar brinner och smälter kraftigt. Flamhöjden är över två meter.
2:00	Intensiteten på branden är mycket hög.
2:45	Den första sprinklern utlöses.
2:50	De tre övriga sprinklerna utlöser samtidigt.
3:15	Stapeln slås omkull av vattnet och branden reduceras.
3:20	Sprinklerna begränsar flamhöjden till 0,5 meter.

5:00

Branden består endast av en liten låga och är i princip släckt.

Resultat

Detta försök fokuserade på släckverkan snarare än temperaturökning och massavbrinning. Ett diagram över dessa redovisas ändå nedan i syfte att jämföra det inledande brandförloppet med tidigare försök, samt åskådliggöra temperatursänkning till följd av brandgaskylning av sprinklervattnet.

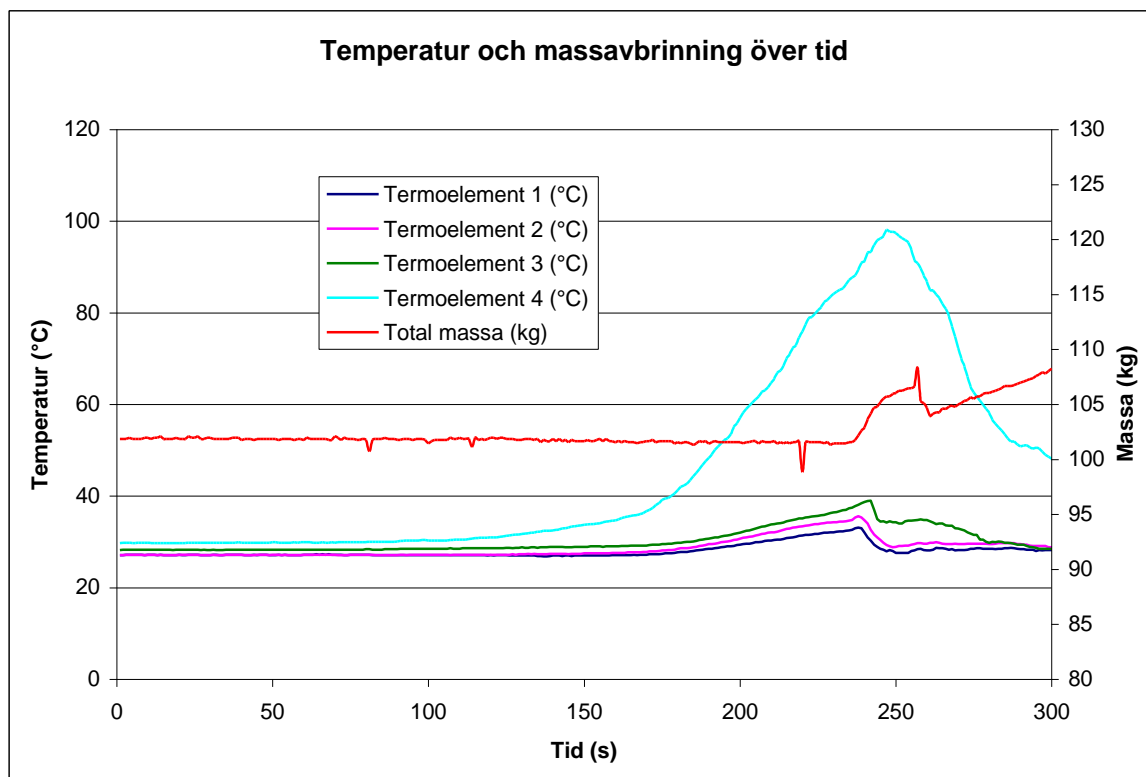


Diagram 7. Temperaturförändringen i rummet och plastbackarnas massa över tiden i försök 3a.

I detta diagram kan endast fakta rörande det inledande skeendet på branden tolkas eftersom sprinklerna reducerar branden efter 3 minuter och 20 sekunder. Det väsentliga i detta försök är istället observationerna rörande sprinklernas släckverkan. Tydligt är dock att temperaturen i takhöjd hann öka drastiskt från 30°C till 100°C på cirka 1 minut och 30 sekunder. Detta förstärker trovärdigheten om det snabba brandförlopp i vertikalled hos plastbackar som iaktogs i försök 1b. Noterbart är att vattnet från sprinklerna sänker temperaturen lika fort som den ökade precis innan sprinkleraktiveringen. Massavbrinningen som registrerades är relativt låg, se kap 7.8.

5.9 Försök 3b Revinge brandlaboratorium: Släckning av brand i plastbackar med lättskum

Försöksuppställning

Försök 3b bestod av en stapel med åtta plastbackar, och således 16 kg brännbart material. Denna stapel ställdes på mitten av plåtskivan. Det fanns två lättskumsaggregat placerade mitt emot varandra på båda långsidorna. Det skum som användes var Meteor P+, vilket är ett hotfoam-skum från Svenska skum AB. Meteor P+ är ett detergentskum.

Syfte

Syftet med försök 3b var att studera effekten av lättskummet och jämföra dess släckverkan med sprinklernas. Syftet var också att mäta temperatur och massavbrinning under hela händelseförloppet. Resultaten användes för att beräkna effekten för att sedan uppskatta en lämplig korrelation för försöken i större skala.

Genomförande/Metod

Genomförandet är sedan detsamma som i 1a med den skillnaden att lättskumsaggregaten aktiveras vid 2 minuter och 45 sekunder. Detta för att intensiteten på branden skall vara densamma som när sprinklerna aktiveras och att det då går att jämföra deras släckverkan. Den totala mängd skum som påfördes innan branden var släckt var 160 liter. Då skummet har en inblandning av 2 % skumvätska, betyder det att cirka 3,2 liter skumvätska krävdes för släckinsatsen.

Brandförlopp

Tid (min, s)	Händelse
1:00	Det brinner i fyra plastbackar och de har börjat smälta. Branden accelererar snabbt i höjdlid.
1:20	Flammorna sträcker sig hela vägen upp.
1:40	Samtliga åtta plastbackar brinner nu kraftigt och smälter mycket. Flamhöjden når över två meter.
2:00	Intensiteten på branden är mycket hög. Flammorna når upp till taket.
2:45	Lättskumsaggregatet utlöses.
3:05	Skummet täcker hela rummets area, skumtäcket är 1 meter tjockt. Intensiteten på branden dämpas.
3:15	Branden är helt släckt.

Resultat

Detta försök fokuserade på släckverkan snarare än temperaturökning och massavbrinning. Ett diagram över dessa redovisas ändå nedan i syfte att jämföra det inledande brandförloppet med tidigare försök, särskilt 3a.

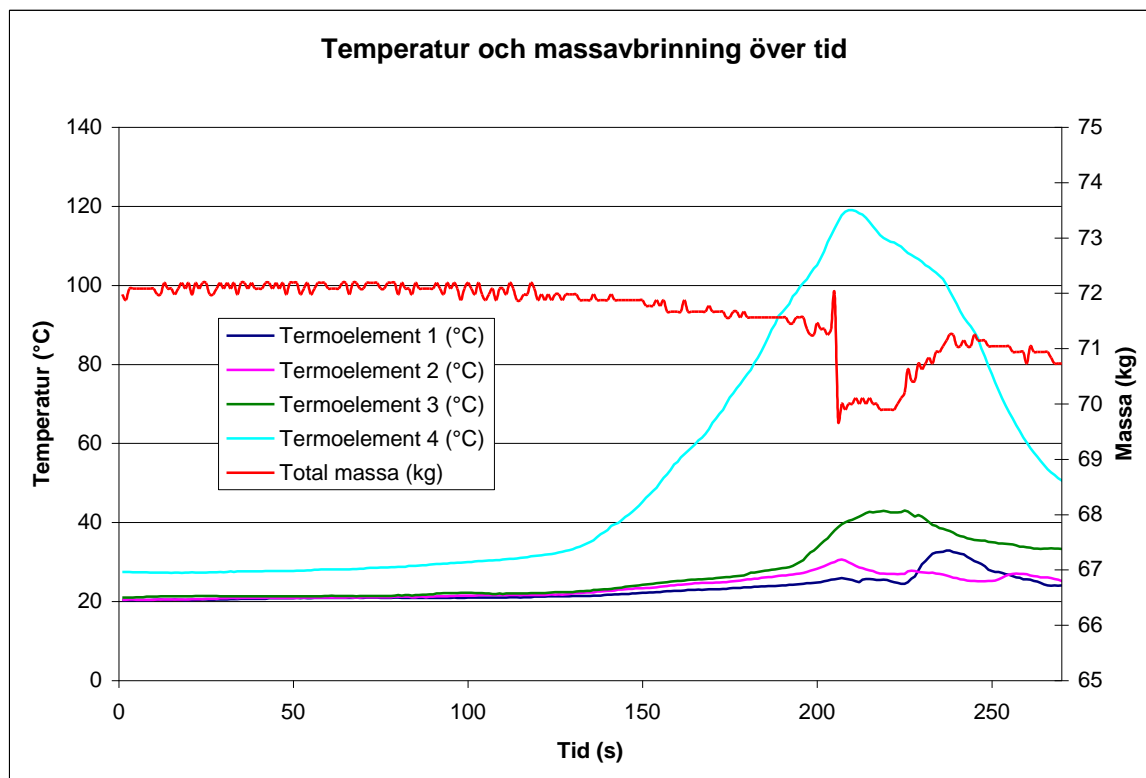


Diagram 8. Temperaturförändringen i rummet och plastbackarnas massa över tiden i försök 3b.

I detta diagram kan endast fakta rörande det inledande skeendet på branden redovisas eftersom skummet släcker branden efter 3 minuter och 15 sekunder. Det essentiella i detta försök är istället observationerna rörande skummets släckverkan. Tydligt är dock att temperaturen i takhöjd hann öka drastiskt från 30°C till 120°C på cirka 1 minut och 30 sekunder. Detta förstärker trovärdigheten om det snabba brandförlopp i vertikalled hos plastbackar som iaktogs i försök 1b och 3a. Precis som släckvattnet i försök 3a, så sänker skummet temperaturen i taknivå lika fort som den ökade precis innan skumpåföringen. Massavbrinningen som registrerades redovisas kap 7.9.

5.10 Diskussion av försöken i Revinge

Från de åtta olika försök som genomfördes i brandlaboratoriet på Revinge kan en rad slutsatser dras. Den mest genomgående och tydligaste av dessa är att plastbackarna brinner i två faser. I den första fasen sker brandspridningen vertikalt och horisontellt. I vertikalt led sker spridningen mycket snabbt och plasten smälter snabbt. Anledningen till detta är att plastbacken är uppbyggd på det vis som beskrivs i kapitel 3.1. Detta medför att luft kan transporteras i mitten av stapeln med plastbackar i princip obehindrat. Luft kan dessutom tränga in till mitten av stapeln genom bärhandtagen. Detta resulterar i ett mycket snabbt brandförlopp, främst i vertikalt led. När plastbackarna smälter bildas en pöl av brinnande smält plast, vilket karaktäriserar brandens andra fas. Denna fas kännetecknas av högre intensitet, temperatur och effekt jämfört med brandens första fas. I denna andra fas är branden ventilationskontrollerad.

Brandspridningen mellan staplar stående nära varandra sker relativt långsamt, oavsett om de står med kort- eller långsidan mot varandra. Inte förrän den smälta brinnande plasten från den första stapeln når plastbackarna i den andra stapeln antänds den. Detta kan ses som en bekräftelse på att plastbackarna är relativt tåliga mot strålning, men lättantändliga vid direkt kontakt av lågor.

Det kan konstateras att bröd i plastbackarna har en stor inverkan på brandförloppet. Brödet reducerar brandspridningen och intensiteten på branden i båda faserna. I den första upptar brödet en stor del av den värmeenergi som produceras av branden, samt hindrar plasten från att smälta. I den andra fasen binder brödet upp den smälta plasten och motverkar bildandet av en pölbrand. Ju högre densitet och fukttinnehåll brödet har, desto större reducerande effekt på brandförloppet.

Från försöken kan slutsatsen dras att skum har en bättre släckverkan än konventionella vattensprinklers. Eftersom både lättskumsaggregaten och sprinklerna aktiverades vid samma tidpunkt i brandförloppet kan en tidsmässig skillnad utläsas. Medan det med sprinklerna tog 5 minuter innan branden var så pass begränsad att den kan betraktas som släckt, tog det med lättskummet 3 minuter och 15 sekunder. Påföring av vatten leder dessutom till att den brinnande smälta plasten stänker upp och därmed sprider sig branden ytterligare. Vattnet måste vara finfördelat i sin karaktär, med små vattendroppar, för att erhålla en god släckverkan. Vid skumsläckningen observerades inga negativa faktorer utan skummet flödade ut över de brinnande plastbackarna och släckte branden väldigt effektivt.

6 Försök i Detektionslaboratoriet på Revinge

Precis intill brandlaboratoriet på Revinge ligger i samma byggnad Detektionslaboratoriet. Detta laboratorium är nästintill identiskt med brandlaboratoriet förutom att detta rum har kaklade väggar och detektionsapparat installerad istället för sprinkler och lättskumsaggregat.

Syfte

Syftet med försöken i Detektionslaboratoriet var att undersöka vilka olika typer av detektionsutrustning som är lämpligast för att detektera en brand i plastbackarna. Tiden fram till detektion studeras givetvis också.

Begränsningar

De begränsningar som finns i detektionslaboratoriet är den tillåtna effekten på branden. Här tillåts betydligt mindre är de 1MW som medges i brandlaboratoriet. På grund av detta eldas endast en plastback åt gången inne i detektionslaboratoriet.

Utrustning

- **Dator**
Samtliga detektorer är kopplade till en dator som visar resultaten på en projektorskärm. I datorn registreras även tiden till detektion för de olika detektorerna.
- **Kamera**
Samtliga försök filmades med en kamera lånad från Räddningsskolan i Revinge
- **Detektionsapparat**
En mängd olika detektorer finns installerade i Detektionslaboratoriet. Dessa listas nedan. En kortare beskrivning av de olika systemen ges i bilaga 1.
 - Optisk standard
 - Optisk standard +
 - Flersensor balanserad
 - Flersensor snabb respons
 - Flersensor supression
 - Värmedetektor 60°C (2 stycken)
 - Joniserande rökdetektor
 - Samplingsenhet
 - Flamdetektor infraröd
 - Linjeröksdetektor
 - Samplande system nivå 1
 - Samplande system nivå 2
 - Samplande system nivå 3

Tändkälla

Vid de två försök som utfördes i Detektionslaboratoriet användes en identisk tändkälla bestående av en spånskiva som mättats med tändvätska. Spånskvivorna var utformade som en rektangel med sidorna 9 cm och 4 cm samt en höjd på 3 cm. Att denna tändkälla var mindre än den som användes i försöken i Brandlaboratoriet berodde på att endast en plastback användes i dessa två försök. Dessutom får inte tändkällan vara så stor att den avger lågor som kan detekteras av flamdetektorn innan den detekterar branden i själva plastbacken. Tändkällan doldes därför.

Försöksuppställning

Samtliga detektorer finns installerade i taket snett ovanför branden, förutom flamdetektorn som fanns placerade i ett hörn. Plastbacken placerades i en låda utan tak tillverkad av gipsskivor. Detta för att tändkällan skulle döljas för flamdetektorn.

Genomförande/Metod

Datorn startades, varefter mätning av detektion påbörjades. Ventilationen i laboratoriet stängdes av eftersom att brandgaserna annars skulle ventileras ut, och därmed fördröja detektionen. Tändkällan applicerades längst ner vid plastbacken dold under denna, varpå den antänds och tiden startas. Hela försöket filmas med videokameran.

Två identiska försök utfördes enligt denna beskrivning. Detta på grund av att det första försöket gav oväntade resultat och det andra försöket då användes för att verifiera resultaten från det första försöket. En kontroll av flamdetektorn med brinnande heptan i ett kärl genomfördes mellan försöken för att utesluta fel.

Resultat

Nedan listas detektorerna i den ordning de aktiverade i de två försöken som utfördes. Tiden till aktivering är angiven i minuter och sekunder.

Försök 1

Detektortyp	Tid (min, s)
Samplande system nivå 1	2:00
Samplande system nivå 2	3:10
Samplande system nivå 3	3:20
Samplingsenhet	5:45
Joniserande rökdetektor	9:10
Linjeröksdetektor	9:45
Flersensor snabb respons	10:30
Flamdetektor infraröd	10:40
Optisk standard +	10:45
Flersensor balanserad	11:10
Flersensor supresession	11:45
Optisk standard	11:50
Värmedetektor 60°C (2 stycken)	13:10

Försök 2

Detektortyp	Tid (min, s)
Samplande system nivå 1	2:15
Samplande system nivå 2	2:20
Samplande system nivå 3	2:35
Samplingsenhet	4:45
Flamdetektor infraröd	5:05
Joniserande rökdetektor	8:25
Flersensor snabb respons	8:25
Flersensor balanserad	8:30
Linjeröksdetektor	8:30
Optisk standard +	10:40
Flersensor supression	11:05
Optisk standard	11:40
Värmedetektor 60°C (2 stycken)	12:35

Analys

Försöken visar att de samplande systemen nivå 1,2 och 3 är mest effektiva av de olika testade detektorsystemen. En tid till detektion på mellan två och tre minuter är väldigt bra för att på ett tidigt stadium kunna hindra branden från att utvecklas och spridas.

Samplingsenheten, hamnar i en mellanzon på runt fem-sex minuter. Samplingsenheten är funktionsmässigt i princip densamma som de samplade systemen nivå 1,2 och 3 men är inte lika känslig och skulle kunna sägas utgöra en form av samplingsystem nivå 4. Övriga detektionssystem upptäcker inte branden förrän efter minst åtta minuter.

Det bör tas i åtanke innan dessa resultat åberopas att det i försöken är en relativt liten brand som har ett begränsat brännbart material att tillgå. Om det funnits mer brännbart material, skulle branden ha utvecklats fortare, och på kortare tid bildat kraftigare signaturer som detektionssystemen då hade haft lättare att detektera. Dock är tendenserna som försöken ger applicerbara även på en brand i större skala.

Eftersom brandgasspridningen är det som i ett första skede är mest kritiskt att stoppa, sett ur bageriets synvinkel, är vikten av att i ett tidigt skede stoppa branden mycket stor.

Det som kan diskuteras är vilket detektionssystem som är effektivt i en så pass stor lokal som backhallen. Backhallen har en väldigt stor volym vilket i princip utesluter värmedetektorer, men även gör det svårt för ett samplande system (se vidare diskussion angående lämpliga detektionssystem i kapitel 8).

7 Beräkningar och simuleringar av effekt

De data som erhålls vid försöken i Brandlaboratoriet på Revinge kan användas för att beräkna effekten. Varje försök resulterade i en minskning av massa, och från denna minskning, som kallas massavbrinningen, kan sedan en effekt beräknas. Då varje försök, med undantag för 2a, resulterade i ett brandförlopp som utvecklades i två faser har en effekt för varje fas beräknats.

Dessa effekter används sedan som indata i simuleringsprogrammet CFAST. Programmet är baserat på en tvåzonsmodell där brandrummet delas in i en övre och en undre zon. Utdata i form av temperaturer för brandgaslagret i den övre zonen jämförs sedan med uppmätta temperaturer från försöken för att verifiera dessa.

7.1 Effektutveckling med hjälp av massavbrinningen

Effekt går att beräkna på olika sätt. I dessa försök är massavbrinningen känd, varför det är enklast att beräkna effekten med följande formel:

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

där

\dot{Q} = Effektutvecklingen [kW]

\dot{m} = Massavbrinningen [g/s]

χ = Förbränningseffektiviteten

ΔH_c = Förbränningsentalpin [kJ/g]

Den minskning i massa som registrerats beräknas per tidsenhet, i detta fall sekunder. Men eftersom massavbrinningen har stora variationer över kort tid måste en trendlinje infogas. Denna trendlinje skapar en linjär funktion baserad på punktvärden för massavbrinningen över en längre tid. I trendlinjens ekvation sätts sedan start- och sluttid för de två olika faserna in. Detta resulterar i den totala massan avbrunnen under fasen, vilken sedan divideras med totala tiden över fasen, för att få massavbrinning per tidsenhet.

Massavbrinningen sätts sedan i formel (1). Förbränningseffektiviteten, χ , sätts till cirka 0,6-0,7 då ett bränsle brinner med sotig flamma, vilket polyeten gör. I detta korta intervall väljs värdet 0,7 för att få ett konservativt resultat. ΔH_c -värdet för polyeten är 43,6 kJ/g. (Karlsson, Quintiere 2000). Samtliga effektberäkningar redovisas i bilaga 2.

För att ovanstående formel skall vara giltigt måste branden ha god tillgång till syre (Karlsson, Quintiere 2000). Detta kriterium uppfylls med råge i backhallens stora volym. Beräkningar visar att detta stämmer teoretiskt, då syret i rummet räcker till en brand med effekt på upp till 52 MW, konservativt förutsatt att branden är en αt^2 -kurva med "ultrafast" tillväxthastighet. Då syret i rummet har förbrukats, blir branden ventilationskontrollerad och dämpas till 40 MW. Beräkningarna redovisas i bilaga 3

7.2 Simuleringar med hjälp av CFAST

CFAST är utvecklat av Building and Fire research, NIST (USA). Detta program bygger på en så kallad tvåzonsmodell. Det innebär en förenklad uppdelning av brandrummet i en övre zon och en undre zon. De varma brandgaserna antas befinna sig i det övre skiktet och vara homogent omblandade. I det undre skiktet antas att det är fritt från brandgaser och att det i princip är rumstemperatur. Denna uppdelning är förenklad från det verkliga fallet då en brand i ett rum ger ett icke homogent brandgaslager. Dock är skiktningen mellan de två zonerna i verkligheten oftast väl synlig, vilket även observerades i försöken, om än inte lika knivskarpt som i programmen. (NIST 2007; Gojkovic D, 2006)

I tvåzonsmodellen antas det att ingen förbränning sker i det övre brandgaslagret utan all förbränning sker i branden. Detta antagande är förenklat eftersom en viss del av förbränningen sker i brandgaslagret, särskilt när branden närmar sig övertändning. Detta gör att programmet blir otillförlitligt i den fullt utvecklade rumsbranden. (Gojkovic D, 2006)

Det tas ingen hänsyn till masstransporten mellan de olika skikten i programmet. Den sker istället endast via brandgasplymen, dock beräknas inte transporttiderna. Energi- och massekvationerna beräknas per tidsenhet i de två olika zonerna. Detta innebär att ett brandgaslager bildas i samma sekund som branden startar. (Gojkovic D, 2006)

CFAST är framtaget för att vara applicerbart på små lokaler. Programmet utgår från att geometrin i rummen är rektangulärt utformad. Det finns ett par huvudsakliga begränsningar med programmet. Vissa bränder, framförallt i mycket stora lokaler eller där branden är mycket liten, skapar inte en tydlig tvåzonskiktning. (Brandskyddshandboken, 2005). Förhållandet mellan brandeffekt och rumsgeometri bör även följa vissa kriterier för att vara giltiga, dessa listas nedan.

$$\dot{Q} \geq 5 \cdot A \sqrt{H} \text{ (kW)}$$

Där $A = L \cdot H \text{ (m}^2\text{)}$

Nedan listas de förhållanden mellan längd, bredd som måste följa uppfyllas för att tvåzonsmodellen skall vara giltig.

$L/B \leq 3$ godtagbart

$L/B > 5$ ej godtagbart

$L/H \leq 3$ godtagbart

$L/H > 6$ ej godtagbart

$B/H \geq 0,4$ godtagbart

$B/H < 0,2$ ej godtagbart

$L > B$ godtagbart

L = Längd

B = Bredd

H = Höjd

De krav som ställs ovan är uppfyllda i brandlaboratoriet på Revinge och trots ovan nämnda förenklingar och begränsningar ger programmet en bra förenklad överblick av ett brandscenario. Medvetenhet om programmets begränsningar och förståelse för dess uppbyggnad och användning av olika ekvationer möjliggör ändå användbara resultat. Simuleringsmodellen är ett väl fungerande verktyg för analytisk dimensionering.

(Gojkovic D, 2006)

De effekter som beräknas med hjälp av massavbrinningen används som indata för att erhålla temperaturkurvor och höjd på brandgaslager. De konstanta medelvärdena för varje fas sätts i CFAST ihop till en effektkurva för varje försök. Detta resulterar bland annat i en temperatur för den övre och undre zonen samt ger höjden på brandgaslagret. Vid specifika tidpunkter kan då temperaturen från CFAST jämföras med medeltemperaturen från de olika termoelementen i övre brandgaslagret i försöken. Medeltemperaturen tas från de termoelement som enligt CFAST ligger i den övre zonen.

Den är inte möjligt att återskapa den första uppmätta temperaturtoppen i simuleringsprogrammet från nuvarande indata, då denna består av en medeleffekt över hela första fasen och inte bara temperaturtoppen. Fler effekter i mindre tidsintervall skulle behövas för att rekonstruera denna. Därför bortses det från den första temperaturtoppen vid jämförelsen mellan simulerad och uppmätt temperatur.

7.3 Försök 1a Revinge brandlaboratorium: Endast plastbackar

Nedan redovisas data från det första försöket som bestod av en stapel med 4 plastbackar där två relativt väldefinierade faser erhöles.

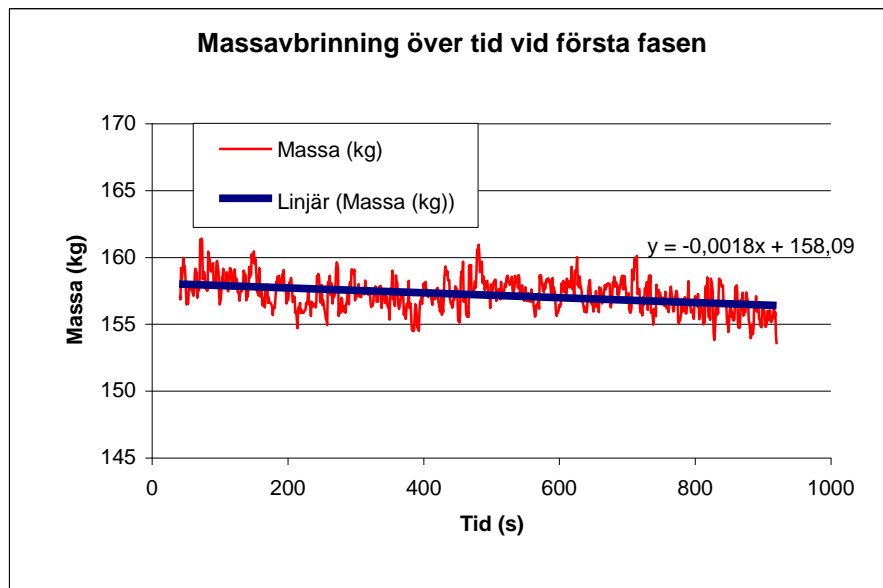


Diagram 9. Massavbrinningen över första fasen i försök 1a.

I den första fasen uppgår den genomsnittliga massavbrinningen till $\dot{m} = 1,8$ g/s. Detta resulterar i en effekt på $\dot{Q} = 54,9$ kW. Detta värde kan tyckas lågt med hänsyn till de visuella observationer som gjordes under försöket, men det är endast ett genomsnittligt värde. I den del av första fasen då plastbackarna brinner vertikalt är effekten högre.

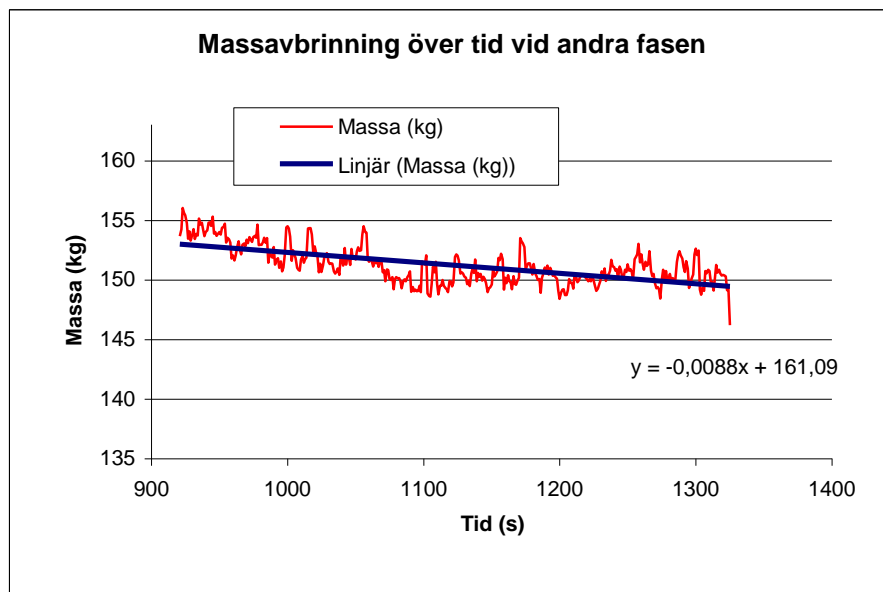


Diagram 10. Massavbrinningen över andra fasen i försök 1a.

I den andra fasen ökar massavbrinningen och således också effekten. Massavbrinningen uppgår till $\dot{m} = 8,8 \text{ g/s}$ vilket leder till en effektutveckling på $\dot{Q} = 268,6 \text{ kW}$. Detta medelvärde är cirka 5 gånger större än medelvärdet för den första fasen.

En simulering med utgångspunkt från dessa två beräknade effekter har gjorts i CFAST och redovisas i diagrammet nedan. Resultatet från denna simulering visar en temperaturprofil som till stor del överensstämmer med den uppmätta i kapitel 5.2. Temperaturen i den övre zonen är cirka 140°C efter 1300 sekunder. Brandgaslagrets höjd vid denna tidpunkt är cirka 1 meter från golvet i CFAST, således skall medeltemperaturen från de två översta termoelementen användas för jämförelse. Den uppmätta medeltemperaturen för dessa är efter 1300 sekunder också ungefär 140°C . Detta tolkas som att försök 1a har givit trovärdiga resultat.

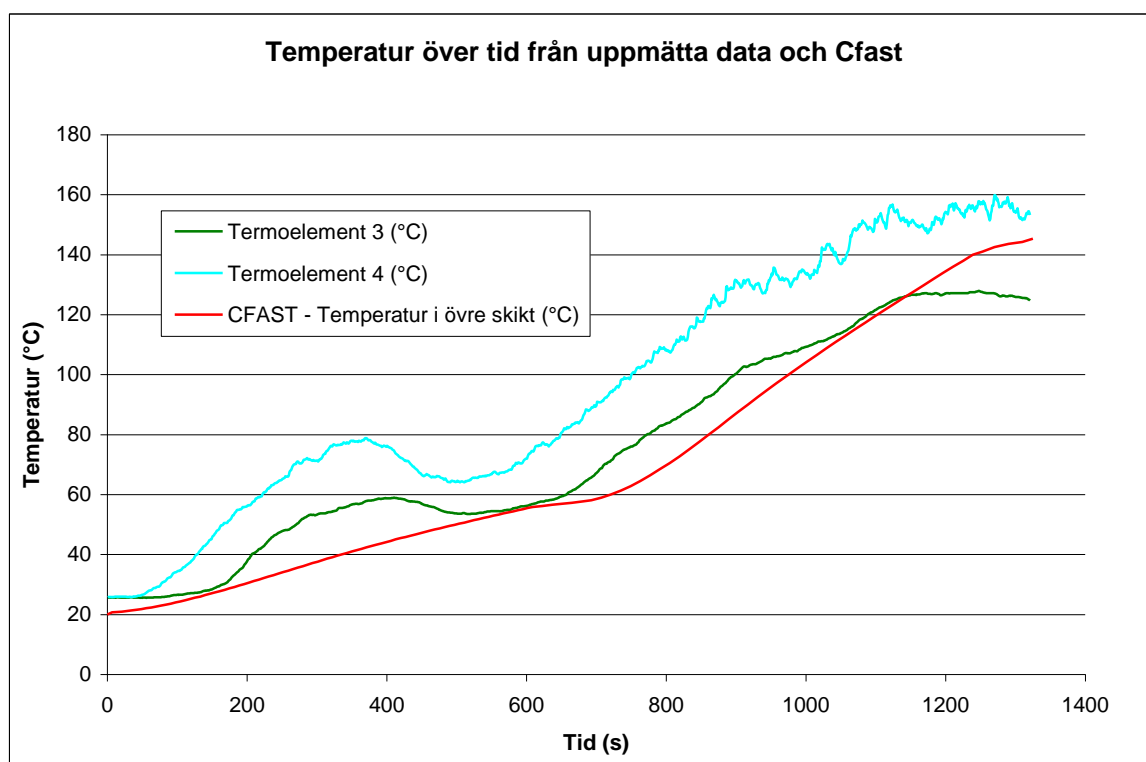


Diagram 11. Jämförelse av temperatur från uppmätta data och simulerad i CFAST.

7.4 Försök 1b Revinge brandlaboratorium: Endast plastbackar

I det andra försöket som bestod av en stapel med 8 plastbackar erhöles två väldefinierade faser. Dessa redovisas nedan som diagram med tillhörande värden för massavbrinning och effekt.

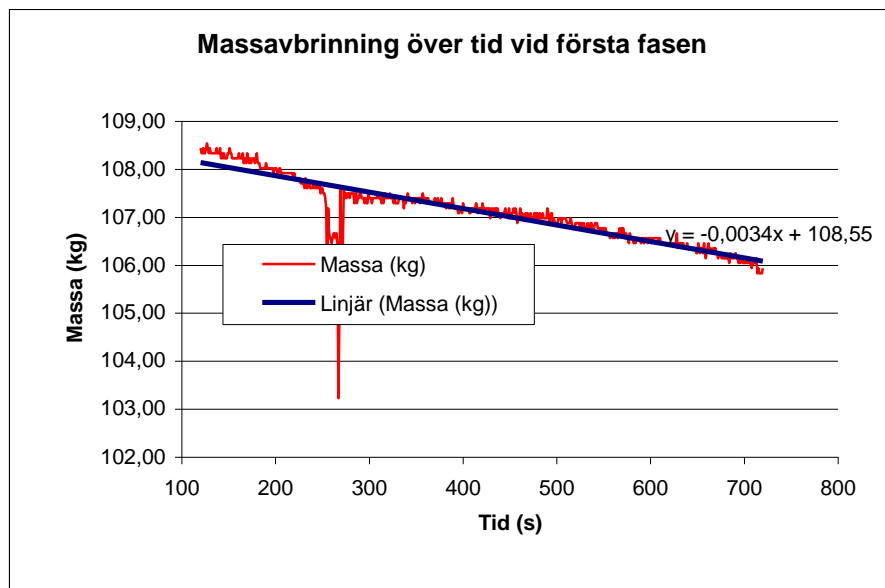


Diagram 12. Massavbrinningen över första fasen i försök 1b.

I den första fasen uppgår medelvärdet för massavbrinningen till $\dot{m} = 3,4$ g/s. Detta resulterar i en effekt på $\dot{Q} = 103,8$ kW. Detta är ungefär dubbelt så mycket som effektutvecklingen i första försöket, vilket kan förklaras av att det i försök 2a är dubbelt så många plastbackar.

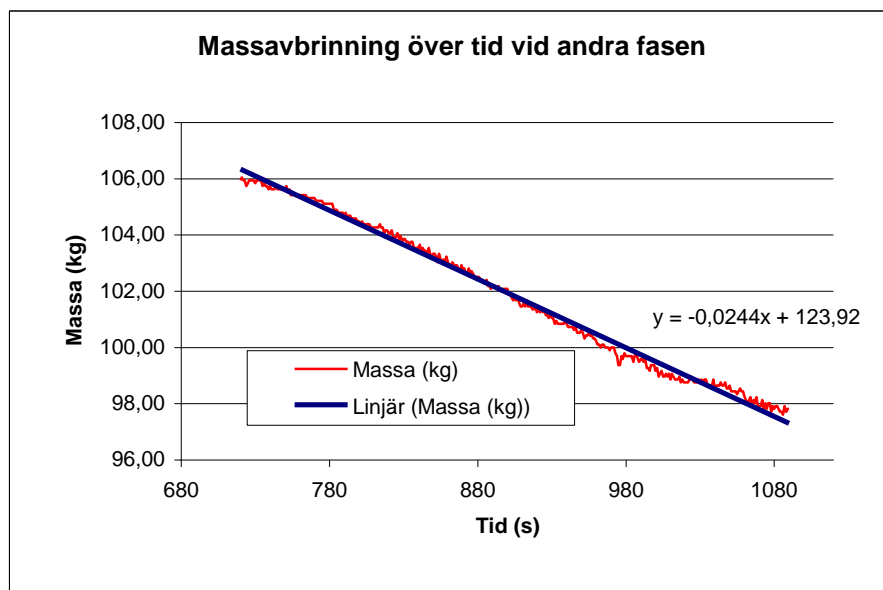


Diagram 13. Massavbrinningen över andra fasen i försök 1b.

I den andra fasen ökar massavbrinningen drastiskt. Massavbrinningen stiger till $\dot{m} = 24,4$ g/s vilket medför en effektutveckling på $\dot{Q} = 744,7$ kW. Detta medelvärde är cirka 7 gånger större än genomsnittet för den första fasen och nästan tredubbelt så stort som medelvärdet för andra fasen i försök 1a.

En simulering i CFAST med utgångsläge från dessa två beräknade effekter har gjorts och redovisas i diagrammet nedan. Resultatet visar en temperaturprofil som överensstämmer relativt väl med den uppmätta i kapitel 5.3. Temperaturen i den övre zonen är cirka 70°C efter 600 sekunder. Efter 1000 sekunder är temperaturen 255°C . Brandgaslagrets höjd är vid denna tidpunkt ungefär 0,5 meter, vilket betyder att det inte skall tas hänsyn till det understa termoelementet vid en jämförelse. Den uppmätta medeltemperaturen för de tre översta termoelementen efter 1000 sekunder är ungefär 225°C . Denna skillnad på 30°C är i sammanhanget inte särskilt stor och då temperaturprofilen i övrigt överensstämmer förhållandevis bra med uppmätta värden tolkas det som att försök 1b har tillförlitliga resultat.

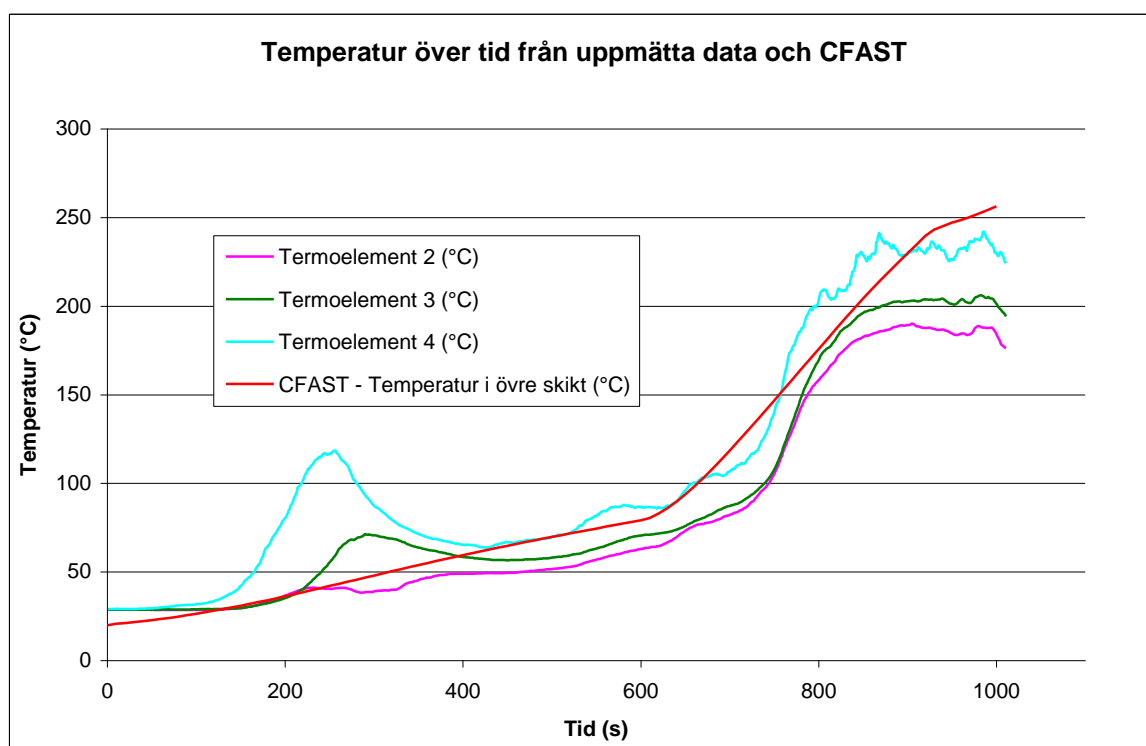


Diagram 14. Jämförelse av temperatur från uppmätta data och simulerad i CFAST.

7.5 Försök 1c Revinge brandlaboratorium: Endast plastbackar

I försök 1c som bestod av 2 staplar med 4 plastbackar i varje, uppkom två mindre väldefinierade faser. Dessa redovisas nedan som diagram med tillhörande värden för massavbrinning och effekt.

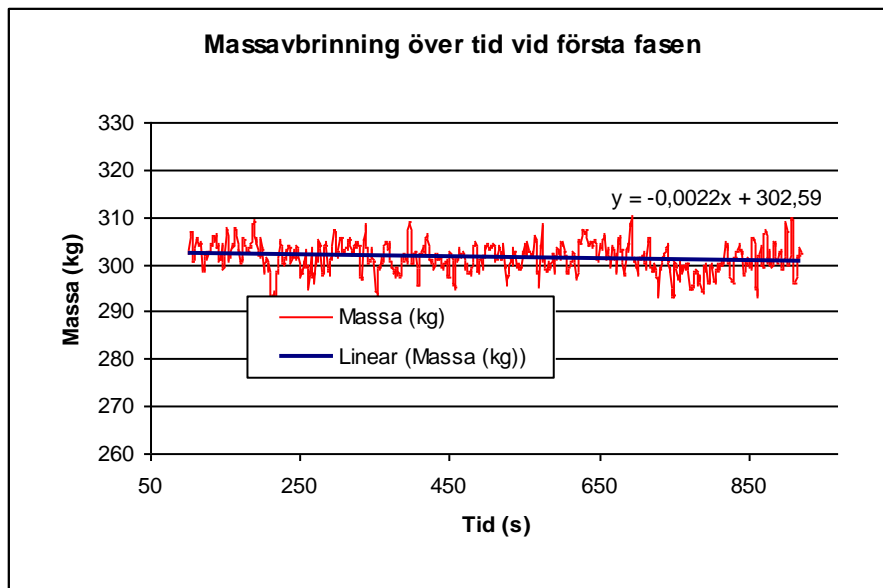


Diagram 15. Massavbrinningen över första fasen i försök 1c.

Genomsnittsvärdet för massavbrinningen uppgår i den första fasen till $\dot{m} = 2,2 \text{ g/s}$. Detta resulterar i en effekt på $\dot{Q} = 67,1 \text{ kW}$. Detta är något mer än i försök 1a, men betydligt mindre än i försök 1b. Förklaringen till detta ligger i att även den andra stapeln antänds och brinner i den första fasen i försök 1c, vilket betyder att dubbelt så många plastbackar brinner jämfört med försök 1a. Dock så antänds den andra stapeln inte förrän efter cirka 420 sekunder och det tar ytterligare några minuter innan den brinner fullständigt. Detta medför att effektutvecklingen inte blir lika hög som i försök 1b, trots lika antal plastbackar.

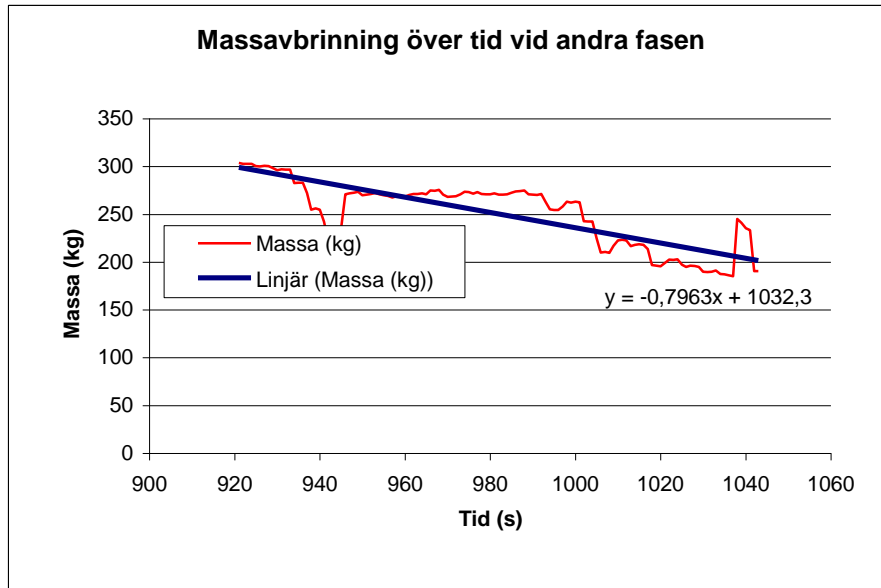


Diagram 16. Massavbrinningen över andra fasen i försök 1c.

I den andra fasen ökar massavbrinningen drastiskt. Massavbrinningen stiger till $\dot{m} = 769,3 \text{ g/s}$ vilket medför en effektutveckling på $\dot{Q} = 23\,479,1 \text{ kW}$. Detta värde är helt orimligt och bortses därför ifrån.

Det naturliga resultatet i den andra fasen av detta försök hade varit en lägre genomsnittseffekt än i andra fasen i försök 1b. Detta på grund av att samtliga plastbackar involveras senare i den andra fasen, men då samtliga plastbackar smält, fås en pölbrand med lika stor effekt som i försök 1b. Denna ”fördröjning” av andra fasen är i storleksordningen flera minuter eftersom samtliga plastbackar i försök 1c inte hade smält då försöket avbröts efter 13 minuter och 30 sekunder medan det vid samma tidpunkt i försök 1b fanns en stor pölbrand bestående av alla åtta plastbackar.

Simulering i CFAST med indata från enbart den första fasen fram till 900 sekunder har gjorts. Detta på grund av att effekten för den andra fasen är orimlig och således genererar ett orimligt resultat även i CFAST. Resultatet från simuleringen, som visas nedan i diagrammet, visar på temperaturprofil som överensstämmer relativt väl med den uppmätta i kapitel 5.4. Temperaturen i det övre skiktet är cirka 65°C efter 900 sekunder och brandgaslagrets höjd är då 1,3 meter. Den uppmätta medeltemperaturen för de två översta termoelementen vid denna tidpunkt är ungefär 70°C. Denna skillnad är försumbar och då tillväxtkurvan fram till detta ögonblick också överensstämmer väl, anses att försök 1c i första fasen har givit trovärdiga resultat.

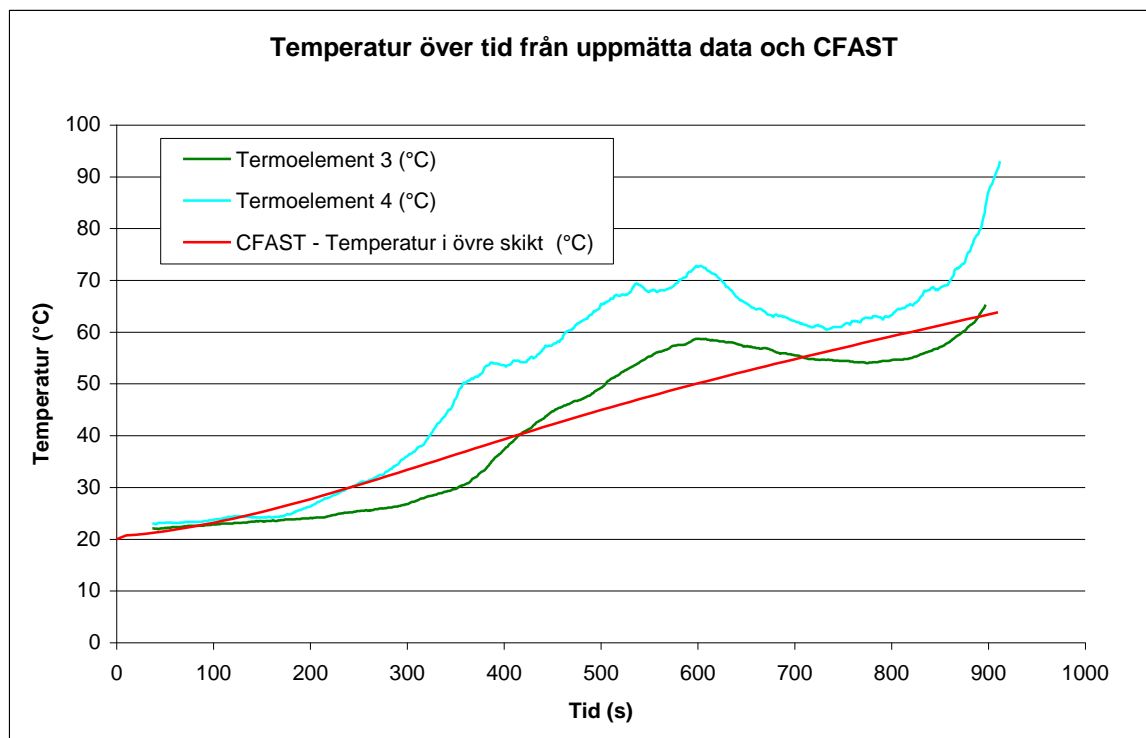


Diagram 17. Temperaturen från uppmätta data jämfört med utdata från CFAST.

7.6 Försök 1d Revinge brandlaboratorium: Endast plastbackar

I försök 1d, som bestod av 2 staplar med 4 plastbackar och kortsidorna riktade mot varandra, erhöles två faser. Dessa redovisas nedan som diagram med tillhörande värden för massavbrinning och effekt.

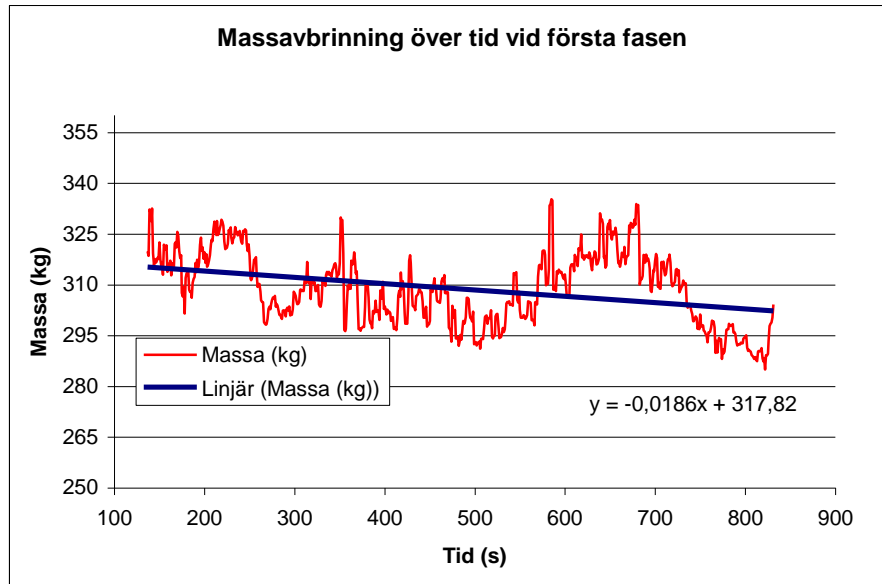


Diagram 18. Massavbrinningen över första fasen i försök 1d.

Massavbrinningen är i genomsnitt under den första fasen orimligt $\dot{m} = 18,6$ g/s. Detta resulterar i en effekt på $\dot{Q} = 567,6$ kW. Detta är orimligt, precis som andra fasen i försök 1d. Ett rimligt resultat hade varit en effektutveckling som är mindre än under första fasen i försök 1c, men större än i första fasen i försök 1a. Motiveringen till detta är att det i försöket inkluderas åtta plastbackar precis som i försök 1c, men att det sker ytterligare en ”fördröjning” tills samtliga plastbackar är antända och brinner. Skillnaden i tid mellan försöken tills dess att samtliga plastbackar i den andra stapeln brinner är 3 minuter och 30 sekunder. Således borde effektutvecklingen under första fasen i försök 1d ligga någonstans mellan 54,9 och 67,1 kW.

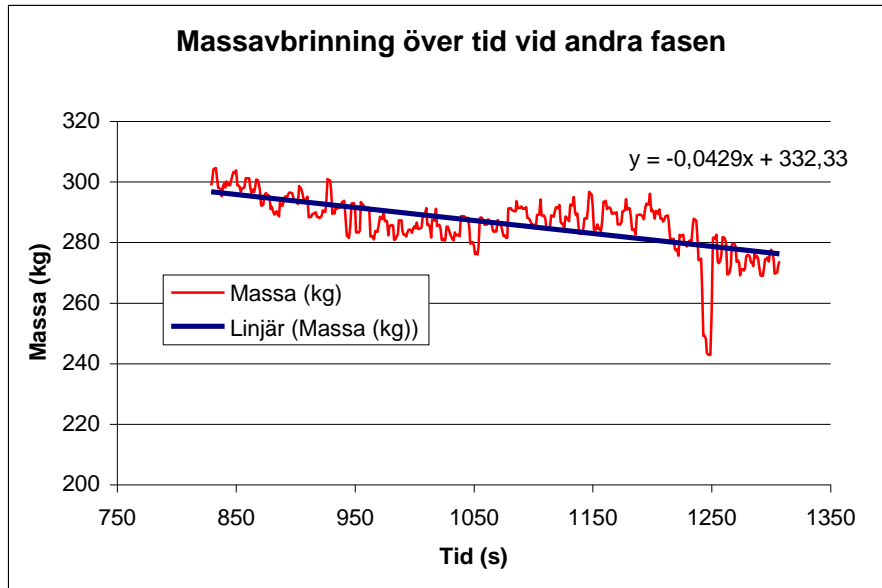


Diagram 19. Massavbrinningen över andra fasen i försök 1d.

I den andra fasen ökar massavbrinningen. Massavbrinningen stiger till $\dot{m} = 42,9$ g/s vilket medför en effektutveckling på $\dot{Q} = 1309$ kW. Detta värde saknar också rimlighet med samma förklaring som tidigare. Effekten kan omöjligt vara högre i detta försök än i försök 1b.

Inga användbara resultat har kunnat skapas i CFAST då den beräknade effekten från försöken är orimlig och resulterar i orimliga resultat även i CFAST.

7.7 Försök 2a Revinge brandlaboratorium: Plastbackar med grovt bröd

I försök 2a, som bestod av en stapel med 4 plastbackar fyllda med grovt bröd, erhöles endast en fas. Denna redovisas nedan i diagrammet med tillhörande massavbrinning och effekt.

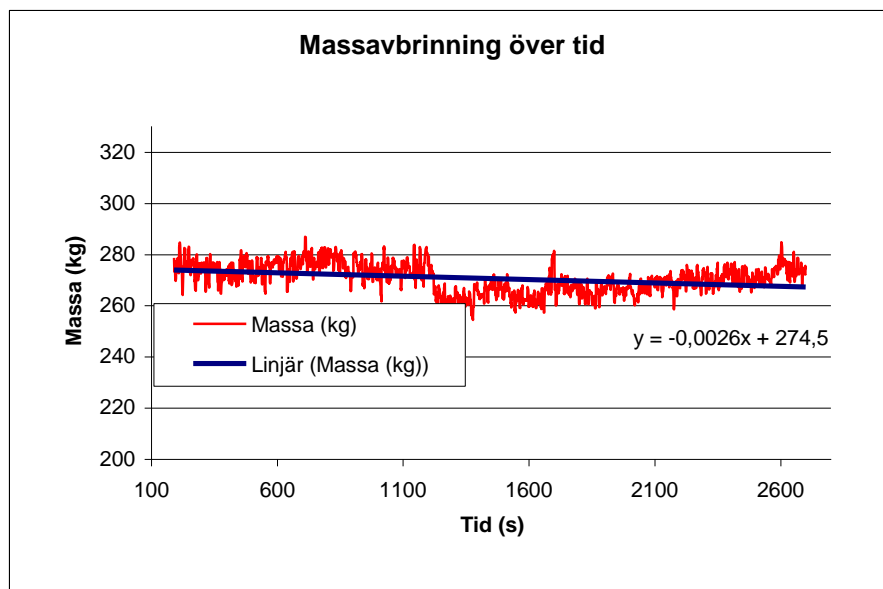


Diagram 20. Massavbrinningen i försök 2a.

I försök 2a är medelvärdet på massavbrinningen $\dot{m} = 2,6 \text{ g/s}$, vilket resulterar i en effekt på $\dot{Q} = 79,4 \text{ kW}$. Detta värde kan i jämförelse med värdet i försök 1a verka ologiskt.

Hur kan effekten vara högre i ett försök med bröd som reducerar brandspridningen och intensiteten på branden, än i ett försök utan bröd? Förklaringen ligger i att det grova brödet har ett högt fukttinnehåll som avdunstar vid branden i plastbackarna. Detta medför en högre massförlust. Effekten är egentligen inte högre, utan det höga värdet är istället ett följdfejl från beräkningarna. Baserat på observationerna ligger genomsnittsvärdet för effekten långt under värdet i försök 1a.

En simulering i CFAST med utgångsläge från den beräknade effekten har gjorts och redovisas nedan. Resultatet från denna visar en temperaturprofil som överensstämmer till en viss del med den uppmätta i kapitel 5.6. Temperaturprofilen i den övre zonen följer samma utveckling som den uppmätta, men är nästan hela tiden fram till försökets slut cirka 5-10°C varmare. Efter 2500 sekunder är dock temperaturen 73°C. Brandgaslagret har en höjd av 1,3 meter från golvet, vilket betyder att det är medeltemperaturen från de två översta termoelementen som skall jämföras. Den uppmätta medeltemperaturen för de två översta termoelementen är efter 2500 sekunder ungefär 75°C. Baserat på detta anses resultaten från försök 2a vara tillförlitliga.

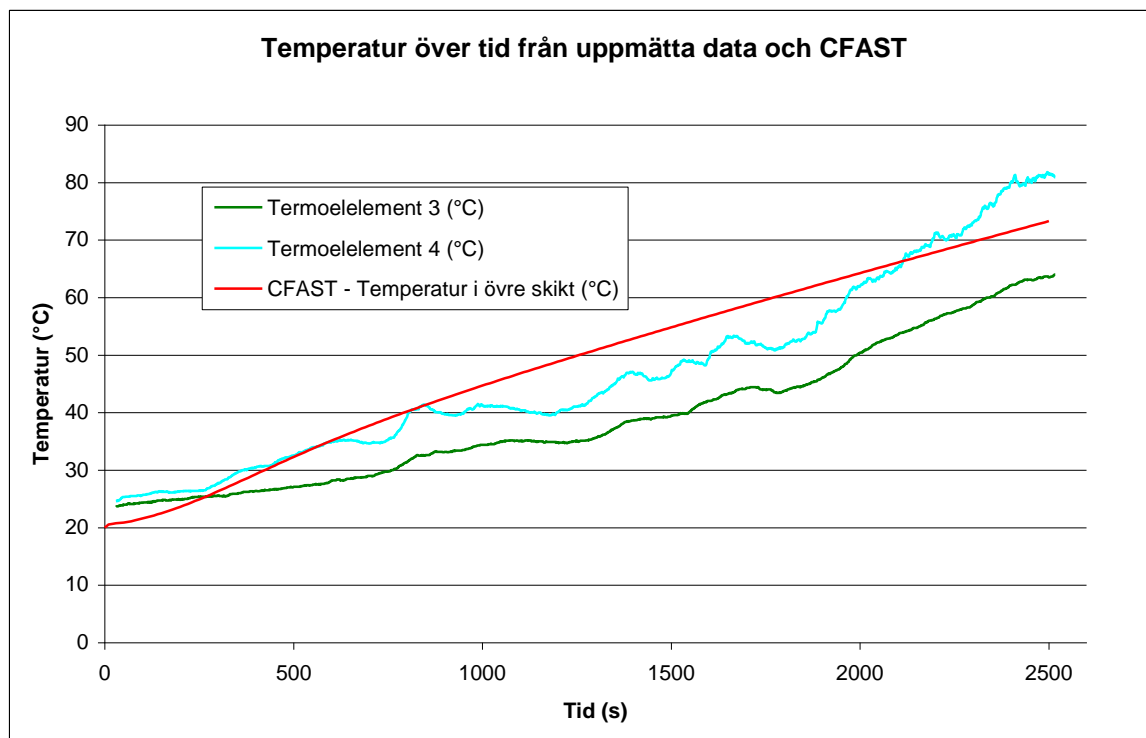


Diagram 21. Jämförelse av uppmätt och simulerad temperatur i brandrummet.

7.8 Försök 2b Revinge brandlaboratorium: Plastbackar med hamburgerbröd

I försök 2b erhöles två faser. Dessa redovisas nedan som diagram med tillhörande värden för massavbrinning och effekt.

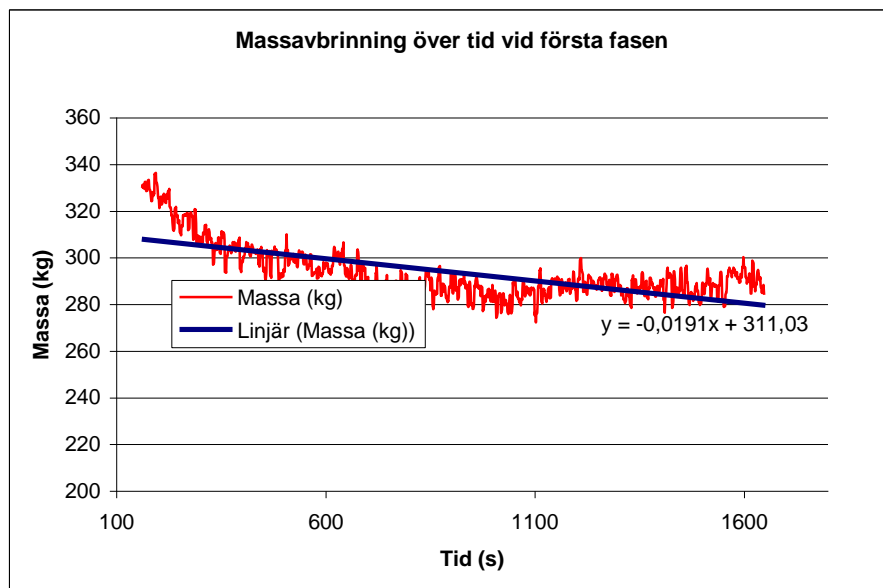


Diagram 22. Massavbrinningen över första fasen i försök 2b.

Medelvärdet för massavbrinningen den första fasen i försök 1d är $\dot{m} = 19,1$ g/s. Detta resulterar i en effekt på $\dot{Q} = 582,9$ kW. Baserat på visuella observationer och jämförelse med effekten i försök 2a är inte detta resultat korrekt. Återigen är det felaktiga mätvärden som är orsaken till den höga effekten. Det är inte sannolikt att det avdunstar så mycket fukt från hamburgerbröden att reduktionen av massa blir mer än 7 gånger större än i försök 2a, där det grova brödet innehåller ett högre fukttinnehåll. Medelvärdet för effekten bör vara högre än i försök 2a, men lägre än i försök 1a. Hamburgerbröden dämpar effekten och brandspridningen, men inte i lika stor utsträckning som det grova brödet.

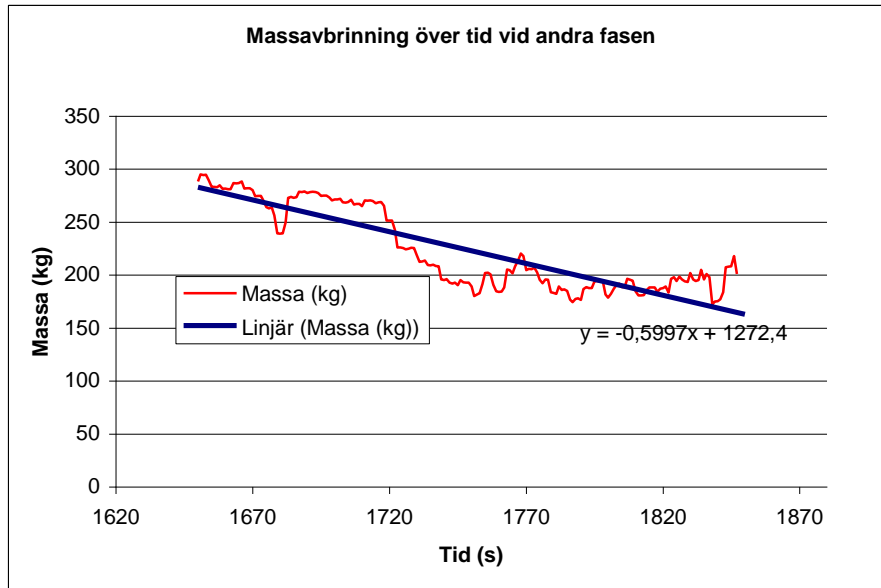


Diagram 23. Massavbrinningen över andra fasen i försök 2b.

I den andra fasen ökar massavbrinningen väldigt kraftigt. Massavbrinningen stiger till $\dot{m} = 599,7 \text{ g/s}$ vilket medför en effektutveckling på $\dot{Q} = 18300 \text{ kW}$. Detta värde saknar rimlighet, med samma förklaring som tidigare. Effekten kan omöjligt bli så här hög.

Inga användbara resultat har kunnat skapas i CFAST då den beräknade effekten från försöken är orimlig och resulterar i orimliga resultat även i CFAST.

7.9 Försök 3a Revinge brandlaboratorium: Släckning av brand i plastbackar med sprinkler

Försök 3a resulterade i en fas då vattnet från sprinklerna påverkar massavbrinningen. Endast tiden tills detta sker är av intresse ur effektsynpunkt.

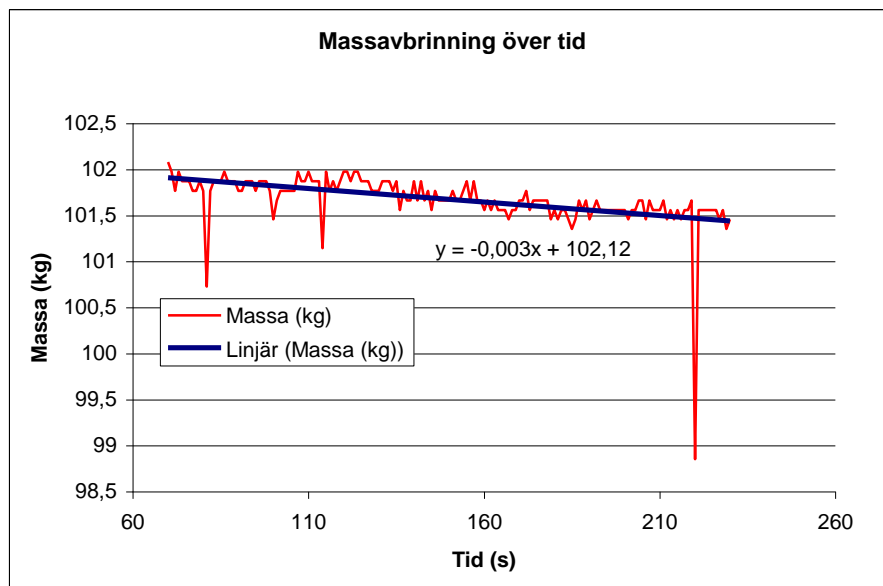


Diagram 24. Massavbrinningen i försök 3a.

Massavbrinningen var i genomsnitt $\dot{m} = 3 \text{ g/s}$ under de cirka 3 minuter som branden hann fortgå innan sprinklerna aktiverade. Detta resulterar i en effekt på $\dot{Q} = 91,56 \text{ kW}$, vilket är i närheten av medelvärdet för effekten under första fasen i försök 1b. Eftersom de två försöken var identiska inledningsvis, kan värdet för effekten i detta försök ses som en validering av resultaten från försök 1b.

En simulering i CFAST med utgångsläge från den beräknade effekten har utförts. Resultatet från denna visar en temperaturprofil som överensstämmer till en viss del med den uppmätta i kapitel 5.8. Temperaturprofilen i den övre zonen har en snabbare, mer linjär ökning än den uppmätta, som växer mer exponentiellt. Vid simuleringens slut, 2 minuter och 40 sekunder efter det att den första mätbara massavbrinningen registrerats, är temperaturen från simuleringen i CFAST 55°C i det övre skiktet. Brandgaslagrets höjd är cirka 1,2 meter från golvet, varför medeltemperaturen från de två översta termoelementen används för jämförelse. Denna medeltemperatur är ungefär 50°C, och de skiljer således 5°C mellan den simulerade temperaturen och den uppmätta medeltemperaturen i de två översta termoelementen. Baserat på detta, anses resultaten från försök 2a vara relativt tillförlitliga, men lämnar en antydning till opålitlighet då de temperaturprofilerna har olika tillväxtkurvor.

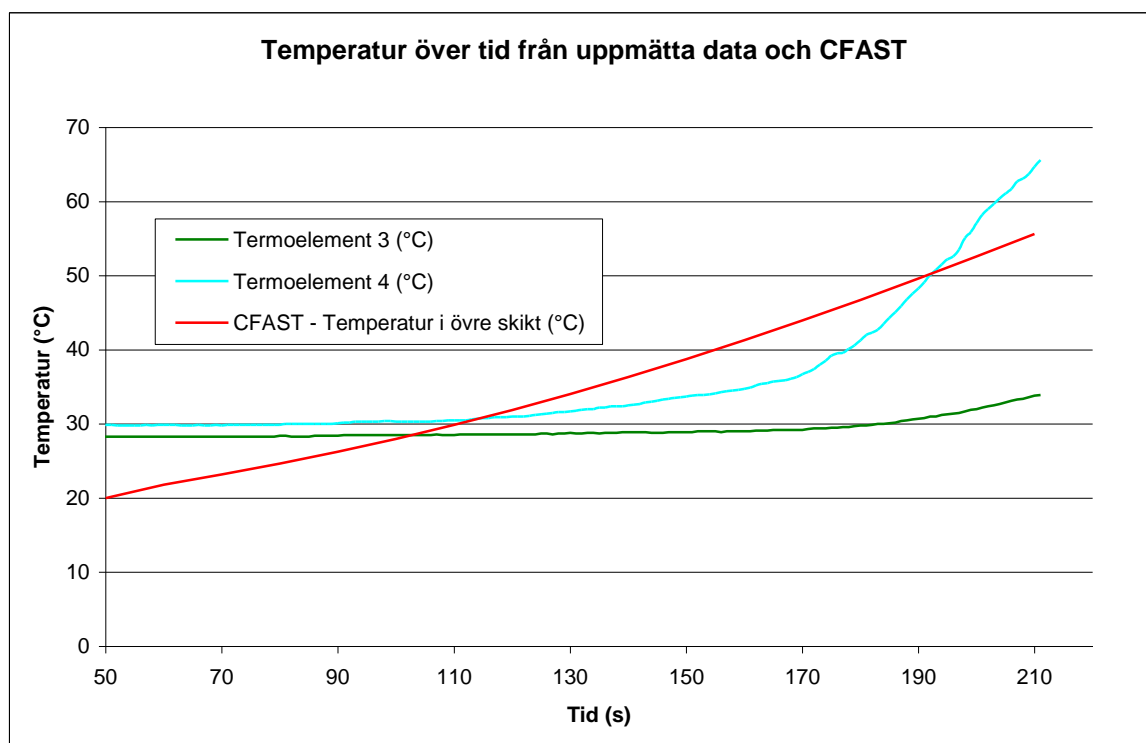


Diagram 25. Jämförelse av temperatur mellan uppmätta data och simulerade i CFAST.

7.10 Försök 3b Revinge brandlaboratorium: Släckning av brand i plastbackar med lättskum

Försök 3b resulterade i en fas då skumaggregaten aktiverades vid samma tidpunkt som sprinklerna aktiverades i försök 3a. Endast tiden tills detta sker är av intresse ur effektsynpunkt.

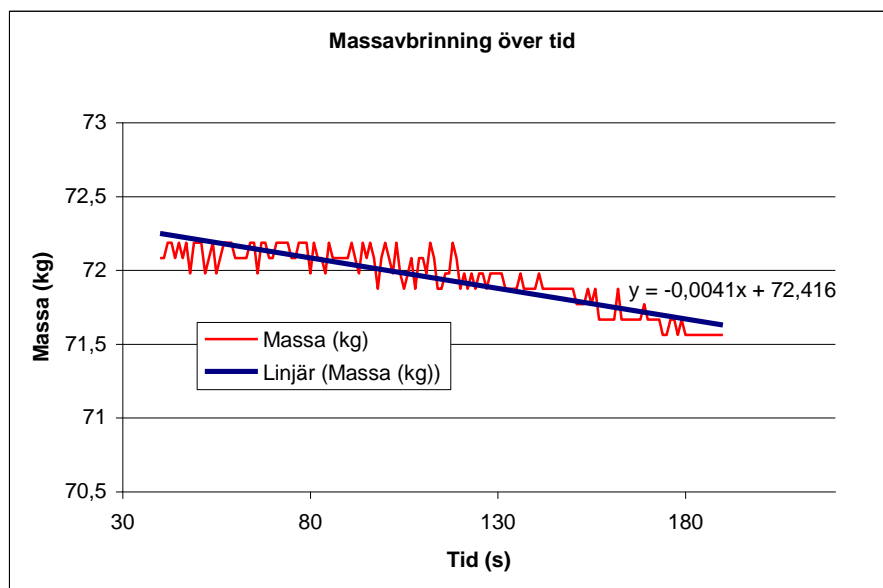


Diagram 26. Massavbrinningen i försök 3b.

Medelvärdet för massavbrinningen var $\dot{m} = 4,1$ g/s under de cirka 3 minuter som branden hann fortgå innan skumaggregaten aktiverades. En massavbrinning på 4,1 g/s genererar en effekt på $\dot{Q} = 125,1$ kW. Detta värde är lite högre än värdet för den genomsnittliga effekten i försök 3a och för första fasen i försök 1b. Då dessa tre försök var identiska inledningsvis, borde de också vara samstämmiga. Differensen på 25–30 kW kan förklaras med små skillnader i till exempel brandspridning och turbulens, som är svåra att undvika vid sådana storskaliga försök.

En simulering har utförts i CFAST med utgångspunkt från den beräknade effekten och redovisas i diagrammet nedan. Resultatet från denna simulering visar en temperaturprofil som liknar den i försök 3a och som överensstämmer till en viss del med den uppmätta temperaturen i kapitel 5.9. Temperaturprofilen i den övre zonen har en snabbare och mer linjär ökning än den uppmätta, och den växer även mer exponentiellt. Efter 2 minuter och 40 sekunder är den simulerade temperaturen i det övre skiktet ungefär 67°C. Brandgaslagret ligger på en höjd av 1,2 meter över golvet vid denna tidpunkt, vilket innebär att det är medeltemperaturen från de två översta termoelementen som används för jämförelse. Medeltemperaturen från dessa är cirka 70°C. Skillnaden är således 3°C mellan den simulerade temperaturen och den uppmätta medeltemperaturen i de två

översta termoelementen. Slutsatsen är att resultaten från försök 2a kan anses vara tillförlitliga, eftersom temperaturprofilen relativt väl följer massavbrinningsprofilen.

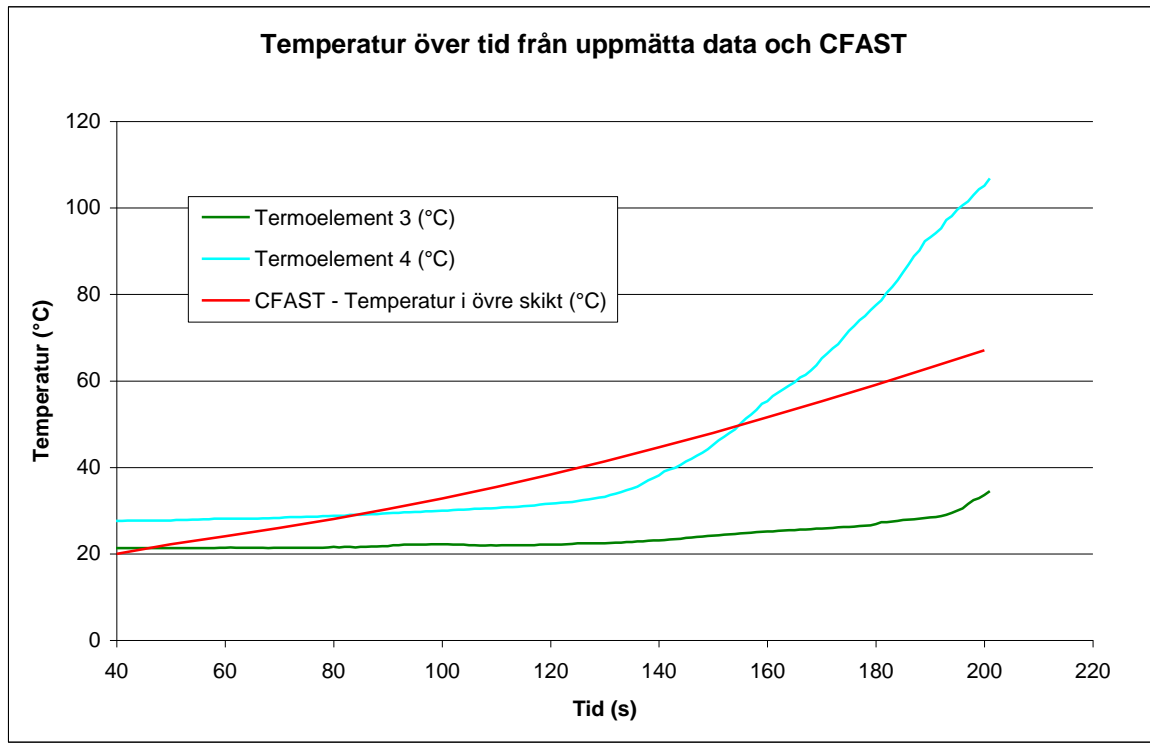


Diagram 27. Jämförelse av uppmätt och simulerad temperatur.

7.11 Diskussion av effektberäkningarna

Från de effektberäkningar som genomförts kan följande slutsatser dras. Med utgångspunkt från det första försöket kan jämförelser mellan resultaten från de olika beräkningarna göras. Medelvärdet i den första fasen i försök 1a motsvarar ungefär den effekt som en 300 grams papperskorg tillverkad i polyeten fylld med 400 gram kartong brinner med (Räddningsverket 3, 2007). Denna effekt kan spontant inte tyckas vara så hög, men det bör tas i beaktning att det är ett medelvärde som har beräknats och att effekten vid den största lutningen i diagrammet är betydligt högre. En snabb överslagsberäkning över första fasen i försök 1a ger effekten 190 kW. Detta motsvarar cirka 4 brinnande papperskorgar av polyeten som är fyllda med mjölkkartonger. Det bör också uppmärksammas att en sådan papperskorg brinner i 3 minuter och 20 sekunder, medan den första fasen i försök 1a varar cirka 13 minuter. Den totala mängden energi och rök som produceras per tidsenhet under en brand i plastbackarna är alltså betydligt högre.

Vid en jämförelse av de första faserna i de olika försöken kan ett tydligt samband utläsas. Dubblas antalet plastbackar i en stapel så dubblas effekten. I de försök som består av två staplar kan ingen dubbling av effekten i den första fasen ses, eftersom det tar lång tid innan brandspridningen till den andra stapeln sker. Detta innebär att det tar längre tid innan den pölbrand som kännetecknar andra fasen inträffar.

I de försök som bestod av två faser, syntes en markant ökning i medelvärdet för effekten mellan de två faserna. I samtliga försök ökade genomsnittsvärdet för effekten med mer än det dubbla från fas ett till två. I några av försöken erhöles helt orimliga värden för andra fasen, dessa värden bortses ifrån. Spontant kan ändå slutsatsen dras att effekten i första fasen dubblas då antalet plastbackar dubblas, men att effekten ökar betydligt kraftigare mot antalet plastbackar i den andra fasen, beroende utbredning av pölbranden och brandens tillgång till luft.

De flesta av försöken har kunnat simuleras i CFAST. I de fall där detta har varit möjligt har resultaten inte varit fullständigt överensstämmande med de uppmätta värdena, men de överensstämmer ändå till den grad att de kan användas för validering av de utförda försöken.

8 Sammanställning och diskussion av försöksresultat

Syftet med detta kapitel är att sammanfatta analyser, diskussioner och beräkningar från de olika försöken och koppla dessa till förslag på åtgärder som bör vidtas.

I försöken med antändning och strålning påvisades att plastbackarna var lättantändliga, särskilt för en öppen och jämn låga, medan de var mer tåliga mot strålning. Det faktum att de kan antändas av en tändsticka, vilket motsvarar en effekt på cirka 80 W, innebär att åtgärder för att reducera tändkällor och förbättra brandsäkerheten hos plastbackarna är nödvändigt. De tändkällor som finns inne i backhallen, främst i form av elektronisk utrustning, bör reduceras. En eventuell brand i dessa bör bekämpas snabbt så att brandförloppet inte får möjlighet att utvecklas. Plastbackarnas sammansättning och konstruktion bör förbättras så att de inte är så lättantändliga.

Från de åtta försök som genomfördes i brandlaboratoriet på Revinge konstaterades att plastbackarna brinner i två faser. I den första fasen brinner plastbackarna vertikalt och horisontellt, för att sedan smälta och bilda den pölbrand som karakteriserar den andra fasen. I båda faserna utvecklas en brand med hög intensitet och kraftig rökutveckling, men i den andra fasen utvecklas en betydligt kraftigare brand än i den första fasen. Detta valideras av de effektberäkningar som utförts på pölbranden i försök 1b. Den andra fasen bör därför med alla medel undvikas i bageriet. Brinnande flytande plast kan sprida sig på golvet bland rullbanden och den kraftiga brandens kan leda till stora konsekvenser i byggnaden. Då branden i denna andra fas dessutom är svårsläckt är det relevant att detektion av en eventuell brand sker så snabbt som möjligt, så att en släckinsats kan påbörjas i ett tidigt stadium. Ett väl fungerade detektionssystem, som till exempel ett samplande system, i kombination med ett väl utformat aktivt släcksystem kan därför vara en lämplig åtgärd. Den befintliga släckutrustning som finns skall även kunna användas på ett korrekt och effektivt sätt, det är därför viktigt att personalen är väl utbildad på denna utrustning.

Under försöken i brandlaboratoriet på Revinge observerades kraftig rökutveckling under båda faserna. I den andra fasen orsakade den kraftiga pölbranden syrebrist i lokalen och röken blev då ännu mer sotig och svart. Denna kraftiga rökutveckling som uppkommer vid brand i plastbackarna är en stor potentiell risk för bagerimaskinerna som står i produktionshallen intill backhallen. Brandgaser i dessa maskiner kan leda till att maskinerna förstörs, vilket skulle vara förödande för bageriets produktion. Åtgärder för att förhindra spridning av brandgaser är därför nödvändigt. Backhallen bör därför byggas om och utformas som en egen brandcell med brandklassade dörrar och portar.

En rad ytterligare slutsatser går att dra från försöken i brandlaboratoriet på Revinge. Brandspridningen mellan staplar stående nära varandra sker relativt långsamt i jämförelse med den vertikala brandspridningen, oavsett om de står med kort- eller långsidan mot varandra. I försöken antänds inte andra stapeln förrän den smältande brinnande plasten från den först stapeln nått den. Det visar sig även att bröd i plastbackarna har en stor inverkan på brandförloppet. Brödet reducerar i stor utsträckning brandspridningen och intensiteten på branden i båda faserna.

Från försöken kan det konstateras att skum har en bättre släckverkan än vatten vid brand i plastbackarna. Påföring av vatten leder till att den brinnande plasten stänker upp och sprids, medan skum har en väldigt effektiv släckverkan utan dessa negativa effekter.

Från försöken i detektionslaboratoriet på Revinge påvisades att det samplande systemet är mest effektivt av de olika testade detektorsystemen. En detektionstid på mellan två och tre minuter är tillfredsställande för att på ett tidigt stadium hindra branden från att utvecklas och spridas, vilket är relevant eftersom en större brand kommer få stora konsekvenser för verksamheten. Det samplande systemet detekterade branden på mellan fem och sex minuter, medan övriga detektionssystem inte upptäcker branden förrän efter cirka åtta minuter. Eftersom konsekvenserna från en eventuell brand kan bli så stora, särskilt från pölbranden i den andra fasen, är det en viktig åtgärd att installera ett effektivt detektorsystem som tidigt upptäcker en eventuell brand. Lokalen har relativt stor volym och plastbackarna skymmer en eventuell brand i det första skedet. Faktorer som försvårar för detektering av en eventuell brand och i princip utesluter vissa detektionssystem. Det detektionssystem som anses mest lämpligt är därför ett samplande system. Försöken visade också att detta system detekterade branden på kortast tid (se kapitel 6).

De effektberäkningar som är utförda bekräftar de observationer och slutsatser som gjorts under de olika försöken. Tillförlitligheten för de beräknade effekterna har i de flesta fall kunnat verifieras med hjälp av simulering i CFAST. Medelvärde för effektutvecklingen i den första fasen är relativt högt, men ökar ändå drastiskt i den andra fasen. En pölbrand bestående av åtta plastbackar genererar en genomsnittlig effekt på cirka 750 kW i den andra fasen. Medelvärde för effekten från en pölbrand bestående av material från en stapel (20 plastbackar) i backhallen uppskattas med hjälp av ingenjörsmässiga bedömningar till cirka 3 MW. Potentialen i den effekt som skulle utvecklas vid en pölbrand som innefattar större delen av plastbackarna i backhallen är enorm. Återigen inses hur betydelsefull en tidig detektion och släckning av en eventuell brand i backhallen är.

9. Troligt brandscenario i backhallen

Med utgångspunkt från resultaten i de utförda försöken har ett troligt brandscenario för backhallen tagits fram. Från försöken appliceras data angående antändningskällor, brandspridning och effekt för att ta fram ett troligt scenario.

Den mest troliga antändningskällan i backhallen är ett elfel i någon av de elektriska komponenter som finns i tvättapparaturen eller de maskiner som driver rullbanden i lokalen. I övrigt finns det i backhallen begränsat med tänkbara tändkällor. En anlagd brand anses inte heller speciellt sannolik då det i normalfallet inte befinner sig någon personal i backhallen. Allmänheten har inte heller tillgång till byggnaden.

Då de elektriska komponenterna befinner sig i höjd med staplarnas understa plastback kommer branden i plastbackarna förmodligen att initieras i stapelns nedre del. Försöken i Revinge visade att brandspridningen i vertikalled går fort. Enligt försöken tar det 1 minut för flammorna att nå 4 plastbackars höjd och 1 minut och 20 sekunder att nå 8 plastbackars höjd. Därmed antas hela stapeln med 20 plastbackar brinna inom två minuter, eventuellt kan brandförloppet utvecklas ännu fortare.

Eftersom stapeln med 20 plastbackar är nästan 3 meter hög kommer branden snabbt att uppnå relativt hög effekt, vilken enligt ingenjörsmässiga bedömningar kommer vara cirka 3 MW. Detta baseras på de försök som utförts, försök med 4 plastbackar gav effekter på runt 0,5 MW och 8 plastbackar gav effekter på ungefär 1 MW när pölbranden har börjat utvecklas. Det är även troligt att backstapeln välter, vilket i försöken inträffar efter cirka 5 minuter, förmodligen kommer stapeln att välta ännu tidigare eftersom stapeln nu är högre och därmed tyngre och mer instabil, samt att branden med fler plastbackar snabbare uppnår en högre effekt och därmed en högre återstrålning av värme.

Vid försök med två staplar med 4 plastbackar sprider sig branden från en backstapel till en annan på ungefär 7 minuter. Detta trots att branden då har längsta möjliga väg ”att gå” för att antända den andra stapeln, eftersom antändningskällan var placerad i kanten av den första stapeln (se Kapitel 5.4). Vid brand i backhallen finns det staplar i alla riktningar för branden att sprida sig till. Detta i kombination med de cirka 2 minuter som det tar för flammorna att nå upp till stapelns topp och de 7 minuter det tar för en ogynnsam brandspridning mellan staplarna, kommer branden ändå uppnå effekter på cirka 15 MW efter 15 minuter. Vid denna tidpunkt är brandförloppet dessutom kraftigt accelererande. Detta är lågt räknat, eftersom den effekt och värmestrålning som den höga stapeln med plastbackar i backhallen utvecklar, är betydligt högre än de från försöken som bara utfördes med 4 plastbackar. Eventuellt kommer brandspridningen mellan staplarna gå fortare och effekten vara högre. Tilläggas bör även att brandförloppet fram till dess att branden blir ventilationskontrollerad kommer accelerera kraftigt samt att det i lokalen finns tillgång till väldigt mycket brännbart material.

Det finns rökdetektorer i lokalen som efter några minuter kommer att detektera branden. Som en relativt tidig detektion antas 4 minuter, därefter kommer det ta ”maximalt 10 minuter för räddningstjänsten att komma på plats vid larm” (Kindberg A, 2007), samt ytterligare någon minut innan släckinsatsen påbörjas. Detta innebär att räddningstjänsten har en minst sagt stor utmaning framför sig bara för att lyckas rädda byggnaden. När släckinsatsen påbörjas kommer branden och brandgasspridningen ut i övriga byggnaden vara omfattande.

Om en brand inträffar i backhallen kommer brandgaserna att stiga upp mot taket i en brandgasplym. När plymen når taket kommer brandgaserna att spridas över takets yta och skapa ett brandgaslager. Detta lager sjunker sedan efter hand när mängden brandgaser i rummet ökar. När brandgaslagret når ner till överkanten på rummets öppningar kommer brandgaser att spridas vidare till intilliggande lokaler i byggnaden. Detta gäller om branden inte initieras så pass nära någon av rummets öppningar att brandgasplymen når direkt till öppningen. Om så är fallet kommer brandgaserna att spridas vidare direkt till intilliggande rum. Oavsett var branden inträffar kommer en del av brandgaserna att strömma ut genom de öppningar i väggen som finns kvar efter den ventilation som tidigare fanns installerad i rummet. Byggnaden är dessutom inte helt tät, så en del brandgaser kommer att spridas ut i byggnaden via otäta väggar och dylikt.

10. Förslag till åtgärder

I detta kapitel presenteras de åtgärder som tagits fram med utgångspunkt från de utförda försöken. Åtgärderna i kapitel 10.1-10.4 samt 10.9-10.10 ligger på det förebyggande planet, vilka anses vara lättare att genomföra och mer kostnadseffektiva än detektionssystemen och de aktiva släcksystemen. En kombination av både förebyggande och konsekvensbegränsade åtgärder ger det bästa brandskyddet. Förslagen nedan listas inte i någon särskild ordning.

10.1 Eliminera de mest troliga tändkällorna

I backhallen är den mest troliga antändningskällan antingen elfel/maskinhaveri i den elektriska utrustningen kring rullbanden eller maskintvätten, eller en brand som uppkommer på grund av mänsklig försummelse. Dessa kan hanteras på olika sätt. Det finns flera olika tekniska lösningar på hur man undviker att elfel/maskinhaveri leder till brand (se kapitel 10.7). Bränder orsakade av mänsklig försummelse förhindras effektivast genom att ha en välutbildad personal som förstår konsekvenserna av en mindre brand bland plastbackarna (se kapitel 10.2).

10.2 Systematiskt brandskyddsarbete

Det systematiska brandskyddsarbetet skall snarast återupptas eftersom det är ett lagstadgat krav. Det är även en bra och relativt billig åtgärd att ha en välutbildad personal som förstår riskerna och konsekvenserna av en eventuell brand. Det är också en värdefull resurs att ha personal som i ett tidigt skede av branden agerar korrekt och därmed kan förhindra en brand. Lämpligt vore att utbilda personalen så att de kan hantera de mest troliga scenarier som kan uppkomma vid en eventuell brand inom verksamheten, till exempel att kunna släcka en mindre brand i plastbackarna med handbrandsläckare.

Det är i nuläget och i normala fall relativt svårt för obehöriga att ta sig in i byggnaden, dock bör man se till att dörrar och portar alltid hålls stängda så att inte obehöriga kan ta sig in i byggnaden och anlägga en brand.

10.3 Brandskyddsmedel i plastmaterialet

Materialet som plastbackarna är tillverkade av skulle kunna innehålla tillsatser i form av ett effektivt brandskyddsmedel. Denna relativt enkla åtgärd hade lett till försvärad antändning och att brandspridningen dämpas. Dock kan eventuella svårigheter ligga i att kombinera detta med en korrekt livsmedelshantering och uppfyllande av miljökrav.

10.4 Utforma backhallen till en brandcell

Backhallen bör utformas som en egen brandcell, så att en eventuell brand inte kan spridas obehindrat i bygganden. Denna dimensionering bör utföras analytiskt, så att den är utformad för de särskilda förutsättningar som gäller i byggnaden. Detta är väldigt viktigt för verksamheten eftersom brandgaserna får förödande konsekvenser för de dyra maskiner där känsliga livsmedel hanteras. Att förse de ingångar i lokalen där plastbackarna kommer in och ut med dörrar eller motsvarande, är fullt möjligt med inte allt för avancerade tekniska lösningar. Att sluta igen öppningarna från

ventilationssystemet som numera är ur drift, och förse den dörren som inte är utrustad med dörrstängare med en sådan, är väldigt enkla men viktiga åtgärder. Det bör observeras att kalla brandgaser eventuellt kan spridas förbi brandcellsgränser. I vilket fall innebär en brandcellsgräns en kraftig reduktion av brandgasspridningen.

10.5 Effektivt detektionssystem

Ett effektivt detektionssystem är önskvärt då en eventuell brand ger så pass allvarliga konsekvenser som i detta fall. En tidig detektion av branden ger möjlighet att i ett tidigt skede kunna bekämpa branden och på så sätt slippa de allvarliga konsekvenser som ett fortsatt brandförlopp ger i form av brandspridning och brandgasspridning. Lämpligt detektionssystem är ett samplande system. Ett samplande system kan dessutom kalibreras så att det endast detekterar på bränder där de avgivna partiklarna har en viss storleksfördelning. Detta görs för att minska fellarmsfrekvensen. I backhallen finns i princip endast bara en sorts brännbart material, plastbackarna, därför hade det varit lämpligt att kalibrera systemet på detta sätt, för att i största möjliga mån reducera fellarm (Nilsson D, 2007).

10.6 Sprinklersystem

Ett effektivt detektionssystem kan med fördel kopplas ihop med ett aktivt släcksystem, som till exempel ett sprinklersystem. Detta för att få en tidigare, men även mindre fellarmsbenägen, utlösning av sprinklersystemet än vad som fås med konventionella sprinklersystem. De utförda försöken visar att skum är ett effektivt släckmedel på den pölbrand som bildas vid brand i plastbackarna. Det vore därför lämpligt med skuminblandning i släckvattnet. Det är positivt att lokalen är relativt okänslig för vatten, vilket inte leder till vattenskadorna om sprinklersystemet löser ut.

10.7 Övriga aktiva system

Ett alternativ till det konventionella sprinklersystemet är att lättskumsaggregat installeras i backhallen. Vidare är det lämpligt att koppla de befintliga rökgasluckorna så att de, när detektionssystemet larmar, automatiskt öppnas och därmed släpper ut brandgaserna så att brandgasspridningen in till produktionsavdelningen begränsas så mycket som möjligt. Eventuellt kan även fläktar installeras som startas vid larm för att skapa en forcerad ventilation och därmed suga ut brandgaserna och effektivisera brandgasventilationen. Detta görs för att reducera spridningen av de för verksamheten så farliga brandgaserna.

Ytterligare en lämplig åtgärd är att koppla detektionssystemet till elsystemet så att elen i lokalen bryts när larmet löser ut. Detta eftersom elfel i någon av maskinerna anses vara en trolig tändkälla, och att en stor del av de bränder som inträffar i elektrisk utrustning självdör om elen bryts i tidigt skede. Denna åtgärd förhindrar i många fall branden att utvecklas vidare såvida elen bryts innan branden har spridit sig från den elektriska komponenten till plastbackarna (Nilsson D, 2007).

En något mer spektakulär lösning är att den elektriska utrustningen förses med pyrotekniskt genererade aerosoler. Dessa släcker ner en mindre brand på ett tidigt stadium. Det pyrotekniska aerosolsläcksystemet består av en behållare med en blandning av fint pulver, oxidationsmedel, förtunningsmedel, bindemedel, kylmedel och en tändsats. Vid utlösning skapas ett kemiskt kylmedel som sänker temperaturen på brandgaserna och därmed släcker branden (Svenska brandskyddsföreningen, 2007). Eftersom enheten är självständig så är installationen enkel och systemet kräver inte mycket underhåll när det väl är på plats.

10.8 Övrig släckutrustning

Det finns i byggnaden relativt många och väl utmärkta handbrandsläckare. Dock hade på vissa ställen varit önskvärt med ytterligare handbrandsläckare, till exempel i backhallen där det för närvarande endast finns en släckare.

10.9 Rutiner vid hög beläggning

Se över rutiner för hur bröd, plastbackar och övrigt brännbart material förvaras i byggnaden, främst vid storhelger då beläggningen är enorm i lastrummet. Vid dessa tillfällen finns det en enorm mängd brännbart material i byggnaden, främst i last och lossningscentralen. Vid dessa tillfällen ökar konsekvenserna av en eventuell brand betydligt.

10.10 Riskreducering för lastbilsparken

En enkel åtgärd vore att flytta alla de plastbackar som i nuläget står placerade utomhus precis bredvid lastbilsparken. Försöken har visat hur lättantändliga plastbackarna är, och en brand här skulle förmodligen slå ut en stor del av de lastbilar som står parkerade på gården. Att någon medvetet, eller vid lek omedvetet, anlägger en brand i dessa plastbackar anses inte vara osannolikt.

11. Validering av åtgärdsförslag

Nedan förs ett kvalitativt resonemang för att validera de olika åtgärdsförslagen och hur de påverkar en eventuell brand i backhallen. För denna validering används kapitel 9 som utgångspunkt.

Som scenariot i kapitel 9 visar är det tydligt att en brand snabbt kommer utvecklas till en väldigt kraftig brand om inte brandförloppet förhindras. Det bästa sättet att undvika det snabba brandförloppet och dess allvarliga konsekvenser, är att aldrig tillåta en brand att initieras i backhallen. Uppstår ändå branden så kommer den snabbt att innebära allvarliga problem för Lantmännen Färskröds verksamhet i byggnaden. För att förhindra att en eventuell brand bör de i dagsläget mest troliga tändkällorna elimineras eller åtminstone i högsta möjliga grad reduceras (se kapitel 10.1).

En lämplig åtgärd ur brandteknisk synvinkel vore att förse det plastmaterial som plastbackarna tillverkas av med brandskyddsmedel så att antändning och brandspridning försvåras eller omöjliggörs, detta ses av författarna som ett mycket bra sätt att reducera brandrisken (se kapitel 10.3). Övriga åtgärder på det förebyggande planet är att återuppta det systematiska brandskyddsarbetet (se kapitel 10.2) samt att förse de troliga tändkällorna med mindre släcksystem, till exempel pyrotekniskt genererade aerosoler (se kapitel 10.7). Detta betyder att man reducerar riskerna för att överhuvudtaget få en brand i lokalen, och eftersom även en relativt liten brand kan hota Lantmännens verksamhet i byggnaden är dessa åtgärder ytterst lämpliga.

Skulle en brand trots ovan nämnda åtgärder uppstå är det ytterst kritiskt att branden detekteras på ett tidigt stadium och bekämpas innan den hinner växa sig okontrollerbart stor. Detta sker lämpligen med ett effektivt detektionssystem, som till exempel ett samplande system, vilket upptäcker branden på ett tidigt stadium och därmed ger släckinsatsen bättre odds att lyckas. Det är viktigt att branden bekämpas på ett så tidigt stadium som möjligt då branden har mindre effekt och är lättare att bekämpa innan den andra fasen inträffar och pölbrand utvecklas (se kapitel 5 och 8). På grund av detta faktum bör detektionssystemet kopplas till sprinklerna för att få en tidigare utlösning av sprinklerna. Vanligtvis löser sprinklerna ut vid en viss temperatur, men i detta fall vore det lämpligt att koppla detektionssystemet så att det torrlagda rörsystemet fylls med vatten, och sprinklerna därmed aktiveras, när detektionssystemet detekterar brand. Detta system väljs eftersom det är kritiskt med en tidig utlösning av sprinklerna i händelse av brand.

Släckinsatsen utförs lämpligen med ett effektivt aktivt släcksystem, till exempel ett sprinklersystem med skuminblandning i släckvattnet, som kan släcka eller åtminstone begränsa branden till dess att räddningstjänsten kommer på plats. I det troliga brandscenarioet beskrivs att branden uppnår effekter i storleksordningen 15 MW på väldigt kort tid. Ett effektivt detektorsystem tillsammans med ett väl fungerande aktivt släcksystem förhindrar branden att från att uppnå dessa höga effekter. Brandspridningen vidare till övriga staplar skulle också reduceras (se kapitel 9).

Brandgaser är förödande för verksamheter där livsmedel hanteras. Därför får inte brandgaserna spridas ut i bygganden. Backhallen bör därför utformas som en enda brandcell, så att brandgaser inte kan lämna backhallen och kontaminera övriga delar av verksamheten. För att ytterligare förhindra brandgaserna att sprida sig till intilliggande lokaler är det lämpligt, vid detektion av brand, att rökluckorna öppnas automatiskt och ventilerar ut brandgaserna. Utformas lokalen som en enda brandcell ska den även stå emot själva branden under den tid som brandcellen är dimensionerad för, till exempel 60 minuter.

De åtgärder som är föreslagna i kapitel 10 kan delas in i två tydliga kategorier, förebyggande av brand och reduktion av redan uppkommen brand. Åtgärderna i dessa två kategorier är viktiga var för sig men det är tillsammans som de skapar det effektivaste skyddet mot brand, så att scenariet som beskrivs i kapitel 9 kan undvikas. Sen är det självfallet alltid att föredra att branden förhindras redan av de förebyggande åtgärderna, och inte uppkommer över huvudtaget.

12 Exempel på lämplig utformning av brandskydd

I detta kapitel har ett förslag på kombinationer av åtgärdsförslag tagits fram av författarna, för att verksamheten hos Lantmännen Färskröd skall erhålla ett tillfredställande brandskydd. Begränsad hänsyn tas till ekonomiska aspekter (se kapitel 1.6).

För att uppnå ett tillfredsställande brandskydd bör ett fungerande förebyggande brandskyddsarbete kontinuerligt utföras. Det är även lämpligt att förse plastmaterialet som plastbackarna tillverkas med lämpligt brandskyddsmedel, eftersom plastbackarna i nuläget är lättantändliga. Med dessa åtgärder anses risken för en eventuell antändning reduceras avsevärt.

Vidare är det främst för att förhindra brandgasspridning, om det trots ovanstående åtgärder börjar brinna, lämpligt att utforma backhallen till en egen brandcell. Brandcellsgränsen antas förhindra eller åtminstone kraftigt begränsa, att brandgaser sprids ut till övriga delar av byggnaden fram till dess att branden är bekämpad.

Ett lämpligt detektionssystem bör även installeras så att en eventuell brand upptäcks så tidigt som möjligt. Systemet ska kopplas till räddningstjänsten så att de vid brand larmas på ett tidigt stadium, och därmed snabbt kan vara på plats och bekämpa en eventuell brand.

Eftersom ovanstående åtgärder kraftigt reducerar risken för antändning, begränsar brandspridning, detekterar en eventuell brand och larmar räddningstjänsten på ett relativt tidigt stadium anses dessa åtgärder ge ett tillfredsställande brandskydd.

Detta är endast ett förslag till hur ett tillfredsställande brandskydd *kan* utformas. Det finns andra kombinationer av åtgärder som även de åstadkommer ett tillfredsställande brandskydd. Det bästa skyddet uppnås genom att alla åtgärdsförslag genomförs, detta är dock kanske inte ekonomiskt försvarbart.

13 Svar på frågeställning

Nedan listas svaren på de frågeställningar som ställdes i början av rapporten.

- Vad krävs för att plastbackarna skall antändas?
Försöken visade att plastbackarna antändes relativt enkelt. Vid försök med öppen och jämn låga antändes plasten av en tändsticka efter 7 sekunder. Tändstickan motsvarar en värmeeffekt på ungefär 80 W.
- Hur ser ett eventuellt brandförlopp ut?
Utan åtgärder kommer brandförloppet förmodligen utvecklas enligt beskrivet scenario i kapitel 9. Det vill säga en snabb vertikal brandspridning i en första fas, för att sedan i en andra fas övergå till en pölbrand med hög effekt och kraftig brandgasutveckling.
- Hur påverkar olika lagerkonfigurationer brandförloppet och är det någon skillnad mellan brand i enbart plastbackarna jämfört med om de är fyllda med bröd?
Försöken visade att om plastbackarna lagras i höga staplar erhålls fortare en större brand med hög effekt, eftersom brandspridningen i vertikal led går snabbt. Är plastbackarna fyllda med bröd så dämpas brandutvecklingen.
- Hur kan negativa konsekvenser av en eventuell brand på bageriets verksamhet förhindras eller begränsas på lämpligaste sätt?
Genom de åtgärder som föreslagits i kapitel 10 kommer ett tillfredsställande brandskydd uppnås. En kombination av förebyggande och konsekvensbegränsande åtgärder ger det bästa brandskyddet.

14 Förslag till fortsatt forskning

Det har inom området i dagsläget utförts relativt lite forskning trots att liknande plastprodukter används i stor utsträckning inom många områden ute i samhället. Våra försök har visat att plastbackarna som Lantmännen Färskröd använder sig av utgör en stor potentiell fara vid brand. Det är rimligt att anta att liknande produkter kommer att uppvisa liknande brandegenskaper. Det bör således finnas ett stort behov av vidare forskning på området.

På grund av de givna begränsningarna i rapportens omfattning samt i de resurser som funnits tillgängliga för författarna, har inte alla typer av försök och inte heller den mängd försök som möjligen är önskvärt kunnat genomföras.

De försök som författarna främst anser vara intressanta är storskaliga försök. Dessa försök hade givit ytterligare inblick och förståelse för hur branden utvecklar sig i ett större format. Ytterligare försök för att få fram vilka släckmedel och släckmetoder som är effektivast på bränder i mindre och i större skala i plastbackarna hade även det varit av stort intresse. Vidare hade fler försök med ungefär samma försöksmetoder varit intressant för att ytterligare validera de resultat och slutsatser som författarna kommer fram till.

15 Referenser

15.1 Publicerade källor

Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering. (2005) Brandskyddshandboken, Rapport 3134, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Drysdale, D. (1998) An Introduction to Fire Dynamics 2nd edition, John Wiley & Sons, Chichester.

Ingason, H. (2001) Heat release rate of rack storage fires, Interflam 2001. International Interflam Conference. 9th proceedings Vol. 1, sid 731-740, Interscience communications Ltd, London

Ingason, H. (2003) Effects Of Flue Spaces On The Initial In-rack Plume Flow, Fire Safety Science - Proceedings of the Seventh International Symposium, International Association for Fire Safety Science, sid 235-246

Karlsson, B. Quintiere, J. G. (2000) Enclose Fire Dynamics, CRC Press, Boca Raton

Pabich, M J. Fangmann, F T. (2007) Assessment of the effects of configuration, product loading, and water application on the heat release rate of burning plastic bakery trays, Interflam 2007, International Interflam Conference. 11th proceedings, Interscience communications Ltd, London

SFPE (1995) Handbook of Fire Protection Engineering 2nd edition, National Fire Protection Association, USA

15.2 Icke publicerade källor

Gojkovic, D. (2006-09-20) Föreläsningsmaterial, tvåzonsmodellering CFAST, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Nilsson, D. (2006) Detektionshäfte, kurslitteratur i kursen Aktiva system, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

15.3 Muntliga källor

Frantzich, H. (2007) Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund

Granemark, S-I. (2007) Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund

Hansen, J. (2007) Försäljningschef för Sverige, Ikadan

Johansson, N-G. (2007) Lantmännen Färskröd, Lund

Kindberg, A. (2007) Brandmästare, Räddningstjänsten Syd

Nilsson, D. (2007) Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund

Nilsson, T (2007) Civilingenjör, Räddningsverket Revinge

Stefan Svensson (2007), forsknings- och brandingenjör, Räddningsverket Revinge

15.4 Internet

Släckmedel och släcksystem

GW Sprinkler, 2007-11-15

[http://www.gwsprinkler.com/gwsprinkler_german/wordpdf/Product%20Data%20Sheets/Sprinkler%20Heads%20\(Incl%20Residential\)/DD1%20Standard%20Special%20&%20Quick%20Response/D-GW-SSP%2015mm%20K80.pdf](http://www.gwsprinkler.com/gwsprinkler_german/wordpdf/Product%20Data%20Sheets/Sprinkler%20Heads%20(Incl%20Residential)/DD1%20Standard%20Special%20&%20Quick%20Response/D-GW-SSP%2015mm%20K80.pdf)

Svenska brandskyddsföreningen, 2007-12-14

www.svb.se/A1_Omoss/Bilder/BF02_507_991_Aerosoler.pdf

Svenska skum, 2007-06-09

http://prorexoil.ee.mikare.net/files/est_equipment_skum_hotfoam/meteor_p-.pdf

Polyeten

Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för Energi och Miljö, 2007-06-11

http://www.esa.chalmers.se/education/I1/text_files/polyeten.pdf

Kemikalieinspektionen, 2007-06-11

<http://apps.kemi.se/flodessok/floden/kemamne/polyeten.htm>

Räddningsverket 1, 2007-06-11

http://www.srv.se/templates/SRV_Page____21381.aspx

Lagen om skydd mot olyckor

Notisum, 2007-10-02

<http://www.notisum.se/rnp/sls/lag/20030778.HTM>

Räddningstjänsten Karlstad, 2007-10-03

<http://raddningstjansten.karlstadsregionen.se/index.asp?id=808>

Övriga

Daloc, 2007-11-15

<http://www.daloc.se/avsiter/site/download/pdf-filer/trycksaker/Brand.pdf>

NIST, National Institute of Standards and Technology, 2007-12-02

<http://fast.nist.gov/>

Räddningsverket 2, 2007-07-03

<http://www.srv.se/Shopping/pdf/20841.pdf>

Räddningsverket 3, 2007-07-03

<http://www.raddningsverket.se/Shopping/pdf/7395.pdf>

Bilaga 1

I denna bilaga ges en kortfattad beskrivning av de olika detektionstyper som användes vid försöken i Detektionslaboratoriet på Revinge. Informationen till nedanstående stycke har hämtats från kurslitteratur (Nilsson D, 2006) som användes i kursen Aktiva system.

Optisk ljusspridningsdetektor

Den optiska ljusspridningsdetektorn är effektiv på att upptäcka en brand som avger stora partiklar, vilket en glödbrand gör. Detta innebär också att detektorn blir effektivare ju äldre brandgaserna blir, eftersom brandgaserna med tiden klumpar ihop sig till större partiklar. Dock är denna typ av detektor mindre effektiv på att upptäcka flambränder, där partikelstorleken är mindre.

Joniserande rökdetektor

En joniserande detektor är effektiv på att upptäcka en brand där det bildas små aerosolpartiklar, som till exempel vid en brand i papper eller trä. Effektiviteten är sämre på större partiklar som bildas vid glödbränder. En nackdel med den joniserande detektorn är att den innehåller radioaktivt material vilket innebär miljömässiga krav vid återvinning.

Flamdetektor IR

Flamdetektorn är lämplig att använda när en snabb detektering av flammor är nödvändig, eller i de fall det kan vara svårt att detektera branden på annat sätt, till exempel i stora lokaler. För att detektorn skall upptäcka branden måste branden vara synlig, det vill säga inte vara täckt eller utanför detektorns synfält. Detektorn kan bara upptäcka bränder där koldioxid bildas.

Värmedetektorer

Det finns två sorters värmedetektorer, antingen löser de på en given maximal temperatur, maximalvärmedetektorn, eller på en viss temperaturökning över en given tid, differentialvärmedetektorn. Det finns även värmedetektorer där de båda varianterna kombineras. Värmedetektorn har låg falsklarmsfrekvens, men en lång detektionstid.

Linjeröksdetektor

Linjeröksdetektorn kan täcka av långa sträckor och är därför lämplig i stora lokaler. För att undvika falsklarm brukar detektorerna bara avge falsklarm om fördunklingen är kraftig, i storleksordningen 95-100 % över en sekund. Detta kan dock innebära att en väldigt kraftig brand inte utlöser larmet, utan endast registreras som ett fellarm.

Detektor i samplande system

I samplande system används vanligen speciella ljusspridningsdetektorer, som är känsligare än vanliga ljusspridningsdetektorer. Detta innebär att en tidigare detektion och därmed också att snabbare larmgivning är möjlig. Det går även att ställa in vilka storleksfördelningar av partiklar som detektorn ska lösa ut på. Detta innebär att falsklarmsfrekvensen kan minskas.

Multidetektorer

Multidetektorer är kombinationer av olika typer av detektorer. Ett exempel på multidetektor är en kombinerad optisk ljusspridningsdetektor och värmedetektor. Multidetektorerna programmeras ofta med algoritmer så att larmsignal endast avges vid en viss kombination av signaler från de i systemet ingående detektorerna. Algoritmerna utformas så att störkällor inte ska leda till falsklarm, utan endast verkliga bränder ska utlösa larm. Multidetektorer kan också benämnas flersensordetektorer.

Bilaga 2

I denna bilaga redovisas beräkningar av massavbrinning och effekt för varje fas i respektive försök.

Försök 1a

Första fasen:

$$y = -0,0018t + 158,09$$

$$y_0 = 158,02 \text{ kg} \quad y_1 = 156,43 \text{ kg} \quad \text{då}$$

$$t_0 = 40 \text{ s} \quad t_1 = 920 \text{ s}$$

$$y_0 - y_1 = 1,58 \text{ kg}$$

$$t_1 - t_0 = 880 \text{ s}$$

$$\left[\frac{y_0 - y_1}{t_1 - t_0} \right] \cdot 1000 = 1,8 \text{ g/s}$$

$$\dot{Q} = 1,8 \cdot 0,7 \cdot 43,6 \cdot 10^3 = 54,9 \text{ kW}$$

Andra fasen:

$$y = -0,0088t + 161,09$$

$$y_0 = 152,99 \text{ kg} \quad y_1 = 149,43 \text{ kg} \quad \text{då}$$

$$t_0 = 921 \text{ s} \quad t_1 = 1325 \text{ s}$$

$$y_0 - y_1 = 3,56 \text{ kg}$$

$$t_1 - t_0 = 404 \text{ s}$$

$$\left[\frac{y_0 - y_1}{t_1 - t_0} \right] \cdot 1000 = 8,8 \text{ g/s}$$

$$\dot{Q} = 8,8 \cdot 0,7 \cdot 43,6 \cdot 10^3 = 268,6 \text{ kW}$$

Försök 1b**Första fasen:**

$$y = -0,0034t + 108,55$$

$$y_0 = 108,14 \text{ kg} \quad y_1 = 106,11 \text{ kg} \quad \text{då}$$

$$t_0 = 120 \text{ s} \quad t_1 = 720 \text{ s}$$

$$y_0 - y_1 = 2,04 \text{ kg}$$

$$t_1 - t_0 = 600 \text{ s}$$

$$\left[\frac{y_0 - y_1}{t_1 - t_0} \right] \cdot 1000 = 3,4 \text{ g/s}$$

$$\dot{Q} = 3,4 \cdot 0,7 \cdot 43,6 \cdot 10^3 = 103,8 \text{ kW}$$

Andra fasen:

$$y = -0,0244t + 123,92$$

$$y_0 = 106,35 \text{ kg} \quad y_1 = 97,32 \text{ kg} \quad \text{då}$$

$$t_0 = 721 \text{ s} \quad t_1 = 1090 \text{ s}$$

$$y_0 - y_1 = 9,03 \text{ kg}$$

$$t_1 - t_0 = 369 \text{ s}$$

$$\left[\frac{y_0 - y_1}{t_1 - t_0} \right] \cdot 1000 = 24,4 \text{ g/s}$$

$$\dot{Q} = 24,4 \cdot 0,7 \cdot 43,6 \cdot 10^3 = 744,7 \text{ kW}$$

Försök 1c**Första fasen:**

$$y = -0,0022t + 302,59$$

$$y_0 = 302,37 \text{ kg} \quad y_1 = 300,57 \text{ kg} \quad \text{då}$$

$$t_0 = 100 \text{ s} \quad t_1 = 920 \text{ s}$$

$$y_0 - y_1 = 1,81 \text{ kg}$$

$$t_1 - t_0 = 820 \text{ s}$$

$$\left[\frac{y_0 - y_1}{t_1 - t_0} \right] \cdot 1000 = 2,2 \text{ g/s}$$

$$\dot{Q} = 2,2 \cdot 0,7 \cdot 43,6 \cdot 10^3 = 67,1 \text{ kW}$$

Andra fasen:

$$y = -0,7963t + 1032,3$$

$$y_0 = 323,78 \text{ kg} \quad y_1 = 229,91 \text{ kg} \quad \text{då}$$

$$t_0 = 921 \text{ s} \quad t_1 = 1043 \text{ s}$$

$$y_0 - y_1 = 93,86 \text{ kg}$$

$$t_1 - t_0 = 122 \text{ s}$$

$$\left[\frac{y_0 - y_1}{t_1 - t_0} \right] \cdot 1000 = 769,3 \text{ g/s}$$

$$\dot{Q} = 769,3 \cdot 0,7 \cdot 43,6 \cdot 10^3 = 23479,1 \text{ kW}$$

Försök 1d**Första fasen:**

$$y = -0,0186t + 317,82$$

$$y_0 = 315,27 \text{ kg} \quad y_1 = 302,38 \text{ kg} \quad d\dot{a}$$

$$t_0 = 137 \text{ s} \quad t_1 = 830 \text{ s}$$

$$y_0 - y_1 = 12,89 \text{ kg}$$

$$t_1 - t_0 = 693 \text{ s}$$

$$\left[\frac{y_0 - y_1}{t_1 - t_0} \right] \cdot 1000 = 18,6 \text{ g/s}$$

$$\dot{Q} = 18,6 \cdot 0,7 \cdot 43,6 \cdot 10^3 = 567,6 \text{ kW}$$

Andra fasen:

$$y = -0,0429t + 332,33$$

$$y_0 = 296,68 \text{ kg} \quad y_1 = 276,26 \text{ kg} \quad d\dot{a}$$

$$t_0 = 831 \text{ s} \quad t_1 = 1307 \text{ s}$$

$$y_0 - y_1 = 20,42 \text{ kg}$$

$$t_1 - t_0 = 476 \text{ s}$$

$$\left[\frac{y_0 - y_1}{t_1 - t_0} \right] \cdot 1000 = 42,9 \text{ g/s}$$

$$\dot{Q} = 42,9 \cdot 0,7 \cdot 43,6 \cdot 10^3 = 1309 \text{ kW}$$

Försök 2a

$$y = -0,0026t + 274,5$$

$$y_0 = 274,01 \text{ kg} \quad y_1 = 267,48 \text{ kg} \quad \text{då}$$

$$t_0 = 190 \text{ s} \quad t_1 = 2700 \text{ s}$$

$$y_0 - y_1 = 6,53 \text{ kg}$$

$$t_1 - t_0 = 2510 \text{ s}$$

$$\left[\frac{y_0 - y_1}{t_1 - t_0} \right] \cdot 1000 = 2,6 \text{ g/s}$$

$$\dot{Q} = 2,6 \cdot 0,7 \cdot 43,6 \cdot 10^3 = 79,4 \text{ kW}$$

Försök 2b**Första fasen:**

$$y = -0,0191t + 311,03$$

$$y_0 = 307,97 \text{ kg} \quad y_1 = 279,57 \text{ kg} \quad \text{då}$$

$$t_0 = 160 \text{ s} \quad t_1 = 1647 \text{ s}$$

$$y_0 - y_1 = 28,4 \text{ kg}$$

$$t_1 - t_0 = 1487 \text{ s}$$

$$\left[\frac{y_0 - y_1}{t_1 - t_0} \right] \cdot 1000 = 19,1 \text{ g/s}$$

$$\dot{Q} = 19,1 \cdot 0,7 \cdot 43,6 \cdot 10^3 = 582,9 \text{ kW}$$

Andra fasen:

$$y = -0,5997t + 1272,4$$

$$y_0 = 282,91 \text{ kg} \quad y_1 = 164,75 \text{ kg} \quad \text{då}$$

$$t_0 = 1650 \text{ s} \quad t_1 = 1847 \text{ s}$$

$$y_0 - y_1 = 118,2 \text{ kg}$$

$$t_1 - t_0 = 197 \text{ s}$$

$$\left[\frac{y_0 - y_1}{t_1 - t_0} \right] \cdot 1000 = 599,7 \text{ g/s}$$

$$\dot{Q} = 599,7 \cdot 0,7 \cdot 43,6 \cdot 10^3 = 18300 \text{ kW}$$

Försök 3a

$$y = -0,003t + 102,12$$

$$y_0 = 101,91kg \quad y_1 = 101,43kg \quad d\ddot{a}$$

$$t_0 = 70s \quad t_1 = 230s$$

$$y_0 - y_1 = 0,48kg$$

$$t_1 - t_0 = 160s$$

$$\left[\frac{y_0 - y_1}{t_1 - t_0} \right] \cdot 1000 = 3, g/s$$

$$\dot{Q} = 3,0 \cdot 0,7 \cdot 43,6 \cdot 10^3 = 91,56k W$$

Försök 3b

$$y = -0,0041t + 72,416$$

$$y_0 = 72,252kg \quad y_1 = 71,637kg \quad d\ddot{a}$$

$$t_0 = 40s \quad t_1 = 190s$$

$$y_0 - y_1 = 0,615kg$$

$$t_1 - t_0 = 150s$$

$$\left[\frac{y_0 - y_1}{t_1 - t_0} \right] \cdot 1000 = 4,1 g/s$$

Bilaga 3

En eventuell brand i backhallen kommer inledningsvis att vara bränslekontrollerad, eftersom inte allt brännbart material i lokalen är involverade i branden initieellt. Den befintliga luften i det relativt stora rummet tillåter en hög energiutveckling innan det krävs inströmmande luft från de öppningarna för att branden ska kunna fortlöpa. Denna effektutveckling beräknas enligt följande.

$$Q_{\max} = \Delta H_{c,\text{syre}} \cdot 0,23 \cdot V_{\text{rum}} \cdot \rho_{\text{luft}} \quad (\text{Karlsson, Quintiere, 2000})$$

$$Q_{\max} = 13,1 \cdot 0,23 \cdot 2500 \cdot 1,2 = 9039 \text{ MJ}$$

Q_{\max} = Maximal mängd energi utvecklad innan branden blir ventilationskontrollerad (MJ)
 $\Delta H_{c,\text{syre}}$ = Utvecklad energi från luft per viktenhet (MJ/kg)
 V_{rum} = Rumsvolym (m^3)
 ρ_{luft} = Densiteten för luft (kg/m^3)

Energien integreras sedan i en αt^2 -kurva. Denna antas vara ultrafast, dels då försöken visat på en snabb tillväxt på branden och dels då detta värde är konservativt.

$$9039 \text{ MJ} = \frac{0,19 \cdot t^3}{3} \Rightarrow t = 523 \text{ s} \quad (\text{Karlsson, Quintiere, 2000})$$

Tiden sätts sedan in i αt^2 -kurvan och den ungefärliga maximala effektutvecklingen beräknas.

$$\dot{Q} = 0,19 \cdot 523^2 = 51,97 \text{ MW} \quad (\text{Karlsson, Quintiere, 2000})$$

Det finns således tillräckligt med luft i lokalen för att få en effektutveckling på cirka 52 MW. Därefter kommer branden att bli ventilationskontrollerad, vilket beräknas med hjälp av formeln:

$$m'_a = 0,5 \cdot A_{\delta} \cdot \sqrt{H_{\delta}} \quad (\text{Karlsson, Quintiere, 2000})$$

$$m'_a = 0,5 \cdot 6,6 \cdot \sqrt{3,3} + 0,5 \cdot 8,4 \cdot \sqrt{2,8} = 13,02 \text{ kg/s}$$

m'_a = luftflöde in i brandrummet (kg/s)

A_{δ} = Öppningens area (m^2)

H_{δ} = Öppningens höjd (m)

$$\dot{Q}_{\max} = \Delta H_{c,\text{syre}} \cdot 0,23 \cdot m'_a \quad (\text{Brandskyddshandboken, 2005})$$

$$\dot{Q}_{\max} = 13,1 \cdot 0,23 \cdot 13,02 = 39,24 \text{ MW}$$

Detta betyder att nuvarande öppningar kan förse en eventuell brand med så mycket syre att branden kan utvecklas till cirka 40MW innan den blir ventilationskontrollerad.