

Sprinkler för personskydd

Christian Hansson

**Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden**

**Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet**

Report 5119, Lund 2003

Sprinkler för personskydd

Christian Hansson

Lund 2003

Sprinkler för personskydd

Christian Hansson

Report: 5119

ISSN:1402-3504

ISRN:LUTVDG/TVBB-5119-SE

Number of Pages: 78

Illustrations: Christian Hansson

Keywords

Residential sprinkler, literature, oxygen, carbon monoxide, carbon dioxide, fractional incapacitation dose, temperature, thermal radiation,

Abstract

The report puts together existing experiences about residential sprinkler on issues as its ability to save lives in a fire, its reliability in activation and reasons for failure of fulfilling these tasks. The project also conducts a series of tests with activation of sprinkler in a room with a fire in order to record and evaluate the environment in the room after the sprinkler activated and compare it with a fire with no sprinkler present. The evaluation included calculations of the amount of toxic gas and thermal radiation a person in the room would be exposed to.

© Copyright: Brandteknik; Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, 2003

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

brand@brand.lth.se

<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 – 222 73 60
Telefax: 046 – 222 46 12

Department of Fire Safety Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

brand@brand.lth.se

<http://www.brand.lth.se>

Telefon: +46 46 222 73 60
Fax: +46 46 222 46 12

Sammanfattning

Projektet redovisar erfarenheter som finns att tillgå i annan litteratur om sprinklers egenskaper att rädda liv. I projektet utförs även försök på anläggningen Brandorama vid Helsingborgs brandförsvär för att studera miljön i ett brandrum då en sprinkler aktiveras.

Litteraturstudierna företogs med syftet att redovisa erfarenheter som finns av sprinklerinstallationer. Studien söker svar på frågeställningar om hur bra sprinkler är för att skydda liv, samt hur tillförlitliga de är. Litteratur och statistik från främst USA rapporterar om ökat användande av boendesprinkler samtidigt som sänkta siffror på brandskador och framförallt dödsfall i bränder. Vid studie av sprinklers effektivitet vad gäller att begränsa eller släcka en brand uppnås goda resultat. Man tittade på utbredning av flampåverkan i sprinklade respektive osprinklade bränder och kom fram till att sprinklade bränder får en kraftigt minskad omfattning. Felfrekvensen för sprinkler är låg och i ungefär hälften av fallen kan man direkt härleda felet till ett mänskligt fel som till exempel att ha stängt av systemet.

Den praktiska delen utfördes på Helsingborgs brandförsvärs anläggning Brandorama där försök utfördes när en madrass av PUR-skum förbrändes. Fem försök mätte gassammansättning med avseende på syre, kolmonoxid och koldioxid samt temperaturen i rummet med hjälp av termoelement monterade på olika höjder. Fyra följande försök mätte viktminskningen då madrassen brann och därefter beräknades brandens effekt. Från mätningarna av gassammansättningen i rummet kunde ett värde för den exponerade dosen av toxiska gaser beräknas. Det gjordes genom framtagandet av ett så kallat FID-värde (Fractional Incapacitation Dose) vilket mäter hur långt gången man är mot att tappa medvetandet. I alla försök blev värdet lågt beroende på försökets ringa storlek och varaktighet men man kan ändå utläsa att de sprinklade försöken har ett lägre värde vilket är fördelaktigt. Även exponeringen av värmestrålningen beräknades och jämfördes försöken emellan och även där visade de sprinklade försöken bättre resultat genom minskad strålning. En person i rummet skulle alltså exponeras för både mindre mängd giftiga gaser och lägre nivå av värmestrålning om rummet var sprinklat. Försöken utfördes med växelvis boendesprinkler och med konventionell sprinkler där huvudskillnaden är att en boendesprinkler är känsligare, har lägre RTI-värde och aktiveras alltså tidigare i brandförloppet. Detta resulterade i bättre resultat för boendesprinklern både vad gällde exponeringen av toxiska gaser och värmestrålning.

Sammantaget dras slutsatsen att boendesprinkler är en mycket bra åtgärd för att höja brandsäkerheten. Det område där boendesprinkler borde vara mest aktuellt är hem för äldre, vissa former av vårdinrättningar och sjukhem eller andra platser där människor som själva saknar möjlighet att utrymma effektivt vistas. Boendesprinklerns fördel ligger här i att inte bara detektera en brand utan även ha kapacitet att i de flesta fall begränsa eller till och med släcka branden och skapa lindrigare miljö att vistas i under väntan på assistans för utrymning. Med underlag i litteratur och i de praktiska försöken dras även slutsatsen att sprinkler med fördel kompletteras med rökdetektor. Man bör alltså inte se sprinkler som en heltäckande lösning utan som en del i ett system av brandskyddsåtgärder.

Summary

This project puts together knowledge from literature on the subject of sprinkles ability to save lives. A series of tests is also conducted to study the environment in a room with a fire where sprinkler has activated.

The study of literature seeks to answer questions about how good sprinklers are on saving lives and how reliable they are. Literature and statistics, mostly from the United States, reports of an increase in the use of residential sprinklers at the same time as the cost of fire damage and more importantly, the number of people dying in fires, is decreasing. Good results are also achieved when studying the efficiency of sprinklers in terms of limiting or putting out a fire. Sprinkled fires have fire damage to the premises to a less extent compared to non-sprinkled fires. Failures in the performance of the sprinkler systems are uncommon and the reason for failure can in approximately half of the cases be derived to a human error as for example shutting off the system.

The tests were carried out in the Helsingborg Fire Department test facility “Brandorama”. A mattress of polyurethane foam was burnt and in five tests concentrations of carbon monoxide, carbon dioxide and oxygene was measured as well as the temperature at different heights in the room. In four following test, burning identical mattress, the mass loss of the mattress was measured in order to calculate the heat release rate. From the measurement of gas concentrations, a value could be calculated representing the dose of toxic gas a human in the room would be exposed to. This value is called FID (Fractional Incapacitation Dose) and indicates how far gone a human is towards being unconscious. In all of the tests the FID-value turned up very low because of low concentrations of toxic gases and a short duration of each exposure. The effect of sprinkler could still be noticed and in the sprinkled test the FID-value was even lower than in unsprinkled tests. The thermal radiation exposure to a human in the room was also calculated and compared between the tests and sprinkler activation resulted in less radiation exposure by putting out the fire. The tests were carried out with both conventional and residential sprinklers where the main difference is that the residential sprinkler has a lower RTI-value and activates quicker. This result in even lower exposure of toxic gas and thermal radiation compared to scenarios sprinkled with conventional sprinkler.

The conclusion is that residential sprinkler is a very good measure to improve fire safety. Residential sprinkler could especially be useful in places such as for example homes for elderly people, hospitals and different types of institutional care. People in these places are often unable to evacuate the building by themselves in case of a fire. The advantage of the sprinkler is not only to detect a fire but also limiting or even putting it out and creating a less dangerous environment for those who cannot get out on their own to wait in until help arrives. Based on literature and the tests, the conclusion is also drawn that sprinkler benefits greatly from being combined with smoke detectors. Sprinkler should not be seen as an exhaustive solution but as a part in a system of fire safety measures.

Förord

Arbetet med denna rapport har flera gånger till stor del varit underlättat av personer som tagit sig tid att hjälpa mig. Utan denna hjälp hade projektet aldrig kunnat genomföras. Till följande personer vill jag rikta ett stort och innerligt tack:

Håkan Frantzich
Sven-Ingvar Granemark
Avdelningen för Brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola

Gustav Larsson
Helsingborgs Brandförsvär, Brandorama

Ett speciellt tack för ekonomisk hjälp till experimenten samt för värdefull litteratur:
Bo Hjort
Sprinklerfrämjandet

Till sist vill jag tacka en mycket god vän. För att ha löst till synes oöverkomliga logistiska problem i samband med projektet och för att överhuvudtaget ha varit en livboj i ett stormigt hav:

Kimmy Nordqvist

Författaren svarar för innehållet i denna rapport.

Innehållsförteckning

| | |
|--|----|
| Sammanfattning | 5 |
| Summary | 7 |
| Förord..... | 9 |
| Innehållsförteckning | 11 |
| 1 Inledning | 13 |
| 1.1 Bakgrund..... | 13 |
| 1.2 Frågeställning och målsättning | 13 |
| 1.3 Metod, utförande..... | 14 |
| 1.4 Avgränsningar..... | 15 |
| 2 Erfarenheter..... | 17 |
| 2.1 Erfarenheter från USA av installation av boendesprinkler | 17 |
| 2.1.1 Historik | 17 |
| 2.1.2 Scottsdale, Arizona | 17 |
| 2.1.3 Vancouver, Kanada..... | 19 |
| 2.1.4 Övriga erfarenheter USA | 20 |
| 2.2 Att ta erfarenheterna från USA till Sverige | 21 |
| 2.3 Tillförlitlighet hos boendesprinkler | 22 |
| 2.3.1 Vad menas med tillförlitlighet? | 22 |
| 2.3.2 Effektivitet | 23 |
| 2.3.3 Pålitlighet | 26 |
| 2.4 Slutsatser | 28 |
| 3 De praktiska försöken, metod och utförande | 29 |
| 3.1 Utrustning | 30 |
| 3.2 Försöksprocedur..... | 34 |
| 3.3 Generella begränsningar i försöken | 35 |
| 4 Parametrar som beräknas | 37 |
| 4.1 Tänkt person i rummet | 37 |
| 4.2 Beräkning av FID-värde | 37 |
| 4.3 Brandens effekt | 38 |
| 4.4 Värmestrålning..... | 38 |
| 4.4.1 Värmestrålning från flamman | 39 |
| 4.4.2 Värmestrålning från brandgaslagret..... | 39 |
| 4.4.3 Total värmestrålning | 40 |
| 5 Utdata och resultat från försöken..... | 41 |
| 5.1 Försök 1-5 Temperatur och gaskoncentrationsmätningar..... | 41 |
| 5.2 Försök 6-9, Effektberäkning | 43 |
| 5.3 Simuleringar av osprinklade försök | 45 |
| 5.4 Resultat av beräkningar från försökens utdata..... | 46 |
| 5.4.1 FID – Exponering av toxiska gaser..... | 46 |
| 5.4.2 Exponering av värmestrålning | 47 |
| 5.5 Diskussion kring försöksresultat..... | 49 |
| 6 Slutsatser | 53 |
| Referenser | 55 |

| | |
|--|----|
| Bilaga A - Plungetest | 57 |
| Resultat från Plungetesten..... | 59 |
| Bilaga B - FID- värde | 61 |
| Bilaga C - Värmestrålning | 63 |
| Bilaga D - Gaskoncentrationer..... | 65 |
| O ₂ | 65 |
| CO ₂ | 66 |
| CO | 67 |
| Bilaga E - Temperaturer..... | 69 |
| Försök 1 | 69 |
| Försök 2 | 70 |
| Försök 3 | 71 |
| Försök 4 | 72 |
| Försök 5 | 73 |
| Simulering i FAST, användning ovanpå madrass | 74 |
| Simulering i FAST, användning baksida madrass..... | 74 |
| Bilaga F - Indatafiler till FAST..... | 75 |

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Konceptet med sprinkler är flitigt debatterat och ett hett föremål för undersökningar. Den traditionella användningen av sprinkler har varit som skydd för egendom och inte som personskydd. Inte minst i USA tänker man i andra banor och använder sedan ca 20 år tillbaka så kallade boendesprinkler i bostäderna i syftet att rädda liv. På vissa platser har detta blivit en utbredd företeelse. Anledningen till att man använder det så mycket i USA kan finnas i att man på 70-talet upptäckte att det omkommer procentuellt sett fler människor i USA än i andra länder samtidigt som brandskadekonstnaderna var högre /1/. Sverige verkar dock inte riktigt hakat på denna trend. Detta till trots att de allra flesta dödsfall i bränder i Sverige sker i våra bostäder /1/.

Det påstås i /2/ att Sverige ligger i topp i världen vad gäller installerade sprinkler per invånare men påståendet gäller sannolikt inte boendesprinkler utan konventionella sprinkler. Det finns dock projekt som till exempel det av VINNOVA finansierade ”Boendesprinkler AIS-7” som har som mål att ”skapa ett väl fungerande aktivt personskydd i bostäder till rimlig kostnad” /3/ och organisationer som till exempel Sprinklerfrämjandet som verkar för att sprida information om och öka användningen av boendesprinkler i Sverige /4/.

Detta projekt kommer att sammanställa befintliga erfarenheter och statistik kring installationer av sprinkler och speciellt boendesprinkler för att utröna om sprinkler är ett bra redskap för personskydd. Litteraturstudier och statistik kan eventuellt sägas besvara frågan *om* sprinkler verkar vara bra för att rädda liv. För att få svar på *hur* sprinkler eventuellt kan göra detta utförs även praktiska försök med sprinkleraktivering i ett brandrum.

Denna rapport utgör redovisning i kursen *Problembaserad brandteknisk riskhantering* (10 p) vid brandingenjörsutbildningen vid Lunds tekniska högskola.

1.2 Frågeställning och målsättning

Frågeställningar som ställs inom detta projekt är: hur bra är sprinkler på att rädda liv, hur pass tillförlitliga är de och vad finns det för erfarenheter av installationer av boendesprinkler? I projektet har en litteraturstudie av befintliga erfarenheter och kunskaper om sprinkler och speciellt boendesprinkler gjorts för att söka svar på frågeställningarna. Litteraturstudier och statistik ger en bild av reduceringen av dödsfall i bränder eller alternativt reducering av brandskador och dess kostnader per år. Den litteratur som undersökts har dock varit knapphändig i fråga om information om hur det faktiskt ser ut i ett brandrum där en sprinkler aktiverat. Vilka koncentrationer av giftiga

gaser och vilken värmestrålning kan man exponeras för och vilka följder kan det få för en människa i rummet? För att rent konkret få en uppfattning om hur miljön blir i ett brandrum där sprinkler aktiverat har praktiska försök utförts. Fokus i försöken har legat på att undersöka en tänkt människas situation. Försöken skall ge en uppfattning om vilka möjligheter denna tänkta människa har att klara sig i miljön som uppkommer vid en sprinklad brand gentemot en osprinklad samt om det kan utläsas någon skillnad i dessa möjligheter om sprinklern som aktiveras är en konventionell sprinkler eller av typen boendesprinkler.

1.3 Metod, utförande

Erfarenheter vad gäller sprinklerinstallationer tillgodogjordes genom litteraturstudier i ämnet. Företrädelsetvis inhämtades statistik från USA men även från England, Australien Nya Zeeland och Sverige.

I syftet att observera miljön i ett brandrum där sprinkler aktiverat, utfördes försök på testanläggningen Brandorama vid Helsingborgs brandförsvär. Mätdata samlades in för temperatur och gassammansättning med avseende på syre, kolmonoxid och koldioxid. Mätdata samlades även in för viktminskningen när madrasser brann och ur denna viktminskning beräknades sedan brandeffekt. De egna försöken kompletterades med simuleringar i datorprogrammet FAST då inte alla planerade försök kunde utföras av tidsskäl.

Att kunna genomföra en utrymning ur en brinnande lokal är grundläggande för att överleva branden om släckning inte är ett alternativ. Enligt /1/ är många som omkommer i bränder fysiskt eller psykiskt handikappade, även äldre verkar vara överrepresenterade i dödsstatistiken. Hinder att genomföra en utrymning kan alltså utgöras av ett fysiskt eller psykiskt handikapp men kan även utgöras av nedsatt rörlighet till följd av hög ålder. Utrymning kan också vara svår eller omöjlig att genomföra som följd av sjukdom eller påverkan av alkohol eller droger. Även personer i sovande tillstånd kan räknas in i denna kategori. I detta projekt undersöks en tänkt människas situation i brandrummet och denna tänkta människa kan också antas tillhöra den ovan nämnda kategorin med svårighet eller total oförmåga att själv genomföra en utrymning. I försöken modelleras ett bostadsrum med en säng med madrass i ett hörn i vilken brand startar. Den tänkta människan har befunnit sig i eller i anslutning till sängen och miljön studeras alltså med antagandet att personen befinner sig nära brandens ursprung vilket också stämmer överens med var de flesta dödsoffer i bränder hittas /1/.

Situationen för den tänkta människan i rummet undersöks på följande sätt. De uppmätta och beräknade värdena på temperatur, brandeffekt och koncentration av gaserna syre, koldioxid och kolmonoxid kombinerat med egna observationer ligger till grund för beräkningar av kvantitativa värden på exponering av värmestrålning och exponering av toxiska gaser som den tänkta människan i rummet utsätts för. Dessa värden jämförs mellan de osprinklade och sprinklade scenarios och ur dessa jämförelser skall slutsatser dras om sprinklernas påverkan på brandförloppet och förutsättningarna att överleva för den tänkta människan.

1.4 Avgränsningar

Detta projekt avser att studera sprinklers förmåga till att rädda människoliv. Litteraturstudierna har inriktat sig på befintlig kunskap och statistik om så kallade boendesprinkler, som är utformade med tanken att skydda just människor. Dock har litteraturundersökningen fått övergå till att studera erfarenheter och statistik för konventionella sprinkler när det inte funnits någon att tillgå för boendesprinkler. Litteraturundersökningen har, när valet har funnits, avgränsats till olika former av boende, då det ansetts korrespondera mot projektets huvudinriktning.

De praktiska försöken studerar miljön i ett brandrum där sprinkler aktiverat med avseende på parametrarna temperatur, exponering för toxiska gaser och värmestrålning. Begränsning i försöksutrustningen medför att de gaser som studerats är gaserna syre, kolmonoxid och koldioxid samt att koncentrationerna av nämnda gaser endast studeras vid en mätpunkt i rummet.

2 Erfarenheter

2.1 Erfarenheter från USA av installation av boendesprinkler

2.1.1 Historik

USA kan sägas vara föregångare i användandet av boendesprinkler. Där har man använt sprinkler för att skydda liv i ca tjugo år. Bakgrunden till det flitigare användandet kan sägas vara när man i USA på 70-talet upptäckte att det procentuellt sett omkommer fler människor i bränder i USA än i andra industrialiserade länder samt att brandskadekostnaderna dessutom var högre /1/. För att åtgärda detta bildades först och främst den statliga myndigheten USFA, United States Fire Administration, vilken skulle verka för att minska antalet omkomna vid brand. Man bedrev även mycket forskning inom området. Man kom fram till att man behövde ett sprinklerhuvud som aktiverade tidigare i brandförloppet än det traditionella och framförallt måste kostnaderna reduceras för att det skulle vara realistiskt för en husägare att överväga att installera ett sprinklersystem.

1975 gav NFPA ut den första utgåvan installationsanvisningar för boendesprinkler, NFPA 13D (där D står för "Dwelling") /5/. Minskade kostnader hade man uppnått bland annat genom att inte sprinkla delar bostaden där sannolikheten att någon ska omkomma till följd av en brand bedömdes vara låg, t.ex. källare, garage och badrum. Sprinklersystemet dimensionerades dessutom för endast två utlösta sprinkler och kunde anslutas till kallvattenservisen till byggnaden. Systemets varaktighet reducerades även till 10 minuter då man bedömde att huset var utrymt vid denna tid. NFPA 13D blev flitigt använt. Så flitigt att det snart tillämpades i flerbostadshus vilket den inte var avsedd för. NFPA utvecklade då NFPA 13R (där R står för "residential") /6/ vilken gäller för bostadshus upp till fyra våningar, hotell, motell och vissa vårdanläggningar. Största skillnaderna mellan 13D och 13R är att i 13R dimensioneras system för fyra utlösta sprinkler med en varaktighet på 30 minuter, listan för undantag är mer konservativ för 13R då den används i byggnaden förknippade med högre brandrisk. I 13R ställs även högre krav på ritningsunderlag, godkännandeprovning, hydraulisk dimensionering samt ingående komponenter t.ex. pumpar. Vanligt i USA är att sprinklersystem har anslutning för räddningstjänsten att ansluta sina egna pumpar till när de når platsen, därigenom kan de öka trycket och därmed flödet i systemet om behovet finns. Dessa anslutningar ställs även som krav i 13R. /1/, /2/

2.1.2 Scottsdale, Arizona

Scottsdale i Arizona, en förort till Phoenix, är en stad med ca 224 000 invånare (år 2000) och växer mycket snabbt. Här har man många erfarenheter av sprinkler då man i kommunen 1973 införde "Uniform Fire Code", ett byggregelverk som dessutom utökades med kravet att alla byggnader större än 700 m² eller med fler än tre våningsplan måste

sprinklas. Notera att detta var innan NFPA gav ut NFPA 13D. Scottsdale hade då bland de strängaste kraven i USA. /1/, /2/

Efter att ha utfört en serie fullskaleförsök med sprinkler 1982, var man i kommunen övertygad om sprinkler effektivitet vad gällde både person- och egendomsskydd. Då kommunen är mycket expansiv ville man ha en förordningstext skriven så att de hårda kraven inte skulle inverka negativt på denna expansion, installation av sprinkler skulle alltså inte ses som ett hinder. En viktig del i detta var att minska kostnaderna och detta uppnåddes genom att tillåta vissa tekniska byten. Ofta handlar sådana om att man tillåter större brandceller eller lägre brandklass på brandcellsgränser men det var t. ex. även så att handels- och industribyggnader kunde utföras med avsteg från kravet om full åtkomlighet från utsidan. Även kommunen kunde göra besparingar genom installation av sprinkler. Man kunde göra visst avkall på krav om tillgänglighet och framkörningstid för räddningsfordon och därför tillåta en minskad gatubredd, från 9,8 m till 8,5 m och längden på återvändsgränder som kunde ökas från 180 m till 600 m. På detta sätt har kommunen mer mark som kan bebyggas och säljas eller hyras ut samtidigt som man har mindre väg att bygga och underhålla. En annan besparing som gjordes var att större avstånd tilläts mellan gatubrandposter. /1/, /2/

I Scottsdale lyfte man alltså även fram andra aspekter än de livräddande, nämligen de besparingar i sin infrastruktur kommunen skulle kunna göra.

Förordningen kom tre år efter försöken, dvs. 1985. En månad efter det att förslaget till förordningen godtagits trädde förordning i kraft i vilken det krävdes sprinkler i alla handels- och industribyggnader och flerbostadshus i staden. 1986 krävde man sprinkler i alla typer av nya byggnader och då även bostäder som enfamiljshus. Detta krav kompletterades 1991 med krav på brandvarnare i samtliga bostäder, nya som gamla. Tack vare privata medel kunde man erbjuda gratis brandvarnare till hushåll som annars inte hade råd att själva införskaffa brandvarnare, därigenom kunde kravet efterlevas. /1/, /2/

Antal hus med sprinklerinstallation i Scottsdale, år 1996 och 2001. /1/

År 1996

| Husform | Antal sprinklerinstallationer | Procent |
|----------------|-------------------------------|---------|
| Enfamiljshus | 19 649 | 35 % |
| Flerfamiljshus | 13 938 | 49% |

Tabell 2.1 Antal hus med sprinklerinstallation, Scottsdale år 1996. /1/

År 2001

| Husform | Antal sprinklerinstallationer | Procent |
|----------------|-------------------------------|---------|
| Enfamiljshus | 39 258 | 51 % |
| Flerfamiljshus | 19 422 | 57% |

Tabell 2.2 Antal hus med sprinklerinstallation, Scottsdale år 2001. /1/

I Scottsdale inträffade 598 bostadsbränder mellan 1986 och 1995. I 44 fall av dessa aktiverades boendesprinkler vilket motsvarar 7,35 %. I 41 av de 44 fallen, alltså 93% kontrollerades branden av en eller två sprinkler. De övriga tre fallen innehöll två anlagda bränder där anstiftaren använde brandfarlig vätska och i ett av de anlagda fallen aktiverades så många som 13 sprinkler /2/. Ingen människa omkom i någon av de 44 bränderna enligt /2/. Dock anges det inte hur många människor som omkom i de

resterande 554 bostadsbränderna där sprinkler inte aktiverat eller hur många som omkom totalt i bränder under den aktuella perioden vilket gör det svårt att jämföra och få en uppfattning om vilken påverkan som sprinkler kan ha haft.

Andra erfarenheter från Scottsdale:

Den genomsnittliga totala vattenförbrukningen vid en sprinklad bostadsbrand uppskattas till 800 l vilket skall jämföras med den genomsnittliga totala vattenförbrukningen för manuell släckning av räddningstjänsten som uppskattas till 14 000 l /1/, /2/. Försäkringsbolag lämnar rabatter för sina försäkringspremier om man sprinklar sitt hus. Rabatten ligger mellan 5 och 45 % där den högre rabatten ges om man dessutom kompletterar sitt skydd med rökdetektorer, automatisk larmöverföring, handbrandsläckare mm. Den genomsnittliga rabatten ligger på ca 10 % . /1/, /2/.

Kommunalskatten för räddningstjänsten är för invånarna i Scottsdale 30-50 % lägre jämfört med grannkommunerna, ändå har räddningstjänsten 50 % fler anställda i Scottsdale än i grannkommunerna. I Scottsdale ägnar räddningstjänsten sig även i större utsträckning åt utbildning, brandorsaksutredning, brandsyn och förebyggande brandskydd /1/, /2/. Orsaken till denna för medborgarna fördelaktiga situation torde vara att kommunen kan spara in på den operativa organisationen av räddningstjänsten vilken är resurskrävande. I Scottsdale kunde man till exempel lägga ner planerna på tre nya brandstationer. /2/

2.1.3 Vancouver, Kanada

Vancouver utgör ekonomi- och handelscentrum i provinsen British Columbia i Kanada. 1970 hade staden ca 440 000 invånare och växte snabbt, dock var antalet dödsbränder högt och ökade dessutom snabbt. Anledningen till dessa dödsbränder var att staden anammat moderna byggnadsregler sent, en stor del av stadens byggnader var gamla byggnader samt att stora skaror arbetslösa drogs till staden och den bostadsbrist som uppstod bidrog till att flera äldre bostäder och hotell omvandlades till bostäder för dessa människor. Det fanns även många byggnader med dålig brandsäkerhet och som dessutom beboddes av människor som brukade tobak, alkohol och droger vilket kan vilket kan öka risken för brand respektive bidra till att personer i brinnande lokaler får svårare att utrymma. Antalet bränder och graden av allvarlighet i dess konsekvenser ökade alltså kraftigt i Vancouver tills antalet dödsbränder var tre gånger så vanligt i Vancouver som i övriga Kanada och Nordamerika /1/.

1973 tillsatte man en arbetsgrupp för att åtgärda problemet. Första åtgärderna var att lägga fram ett förslag som gällde uthyrningsrum, hotell samt sjukhus och vårdanläggningar som fanns i innerstaden. Förslaget behandlade installation av sprinkler och rökdetektorer samt förbättring av utrymningsvägar och lägenhetsdörrar med krav på dörrstängare. Tre år senare hade 90 % av de identifierade byggnaderna åtgärdats, vilket motsvarade 9000 bostadsrum. Under de fem år som följde minskade antalet dödsbränder från 25,8 till 15,2 per år /1/. Under slutet av 70 – talet utökades programmet därför att

även gälla stadens allmänna sjukhus och vårdhem. Över 700 byggnader hade i början av 80 – talet fått sitt brandskydd förbättrat. Antalet dödsbränder var nu nere på ca 8,8 per år vilket är en kraftig minskning från början av 70 – talet.

1990 infördes en föreskrift som säger att alla nya bostäder, inklusive en- och tvåfamiljshus skall vara sprinklade. Denna föreskrift tillsammans med de tidigare åtgärderna har bidragit till att öka brandsäkerheten ytterligare och 1998 omkom ingen människa i brand i staden vilket kan anses vara bra med tanke på dess storlek som då uppgick till 550 000 invånare. Sedan 1990 har man installerat sprinkler i ca 10 000 en – och tvåfamiljshus och mer än 42 000 flerfamiljshus, totalt sett har ca 70 000 bostäder installerat sprinkler vilket motsvarar ungefär 38 % av stadens bostäder. /1/

I Vancouver har man lyckats vända trenden med dödsbränder genom krav på olika åtgärder som sprinkler, rökdetektorer, utrymningsvägar och dörrar. Dock redogörs det inte någon undersökning om vilken åtgärd det egentligen är som haft störst genomslag i statistiken, vilken åtgärd har så att säga gjort ”mest nytta”?

Att man uppnått en stor förbättring med sin brandsäkerhet är klart men det är rimligt att anta att hela konceptet med brandskyddsåtgärder har spelat in i minskningen av dödsbränder i Vancouver. Det är alltså svårt att utläsa specifikt vilka fördelar det har medfört med just sprinklerinstallation utöver att det är en komponent i ett lyckat koncept.

2.1.4 Övriga erfarenheter USA

U.S Fire Administration, USFA, samlar in information via ett system de kallar ”National Fire Prevention Incident Reporting System”, NFIRS. Alla räddningstjänster i alla delstater inbjöds att på frivillig basis skicka insatsrapporter till ett delstatskontor för sammanställning och därefter vidarebefordring till NFIRS. 1975 startade detta projekt och numera deltar ca 25 000 räddningstjänster från 40 delstater.

Även NFPA samlar in statistik från landets räddningstjänster, dock i mer sammanställd form till skillnad från NFIRS som får in enskilda insatsrapporter. Mer än 3000 räddningstjänster bidrar med information till NFPA vilket alltså är en mindre siffra än den för NFIRS. Det finns dock skillnader i statistiken från NFIRS och i den från NFPA, och anledningen till detta är oklar. /2/

1994 fanns sprinkler i endast ca 2 % av alla bostäder i USA, här är nyare bostadshus och hotell undantaget där det är betydligt vanligare. Trenden är att installationen av sprinkler ökar men det är fortfarande mycket ovanligt. Som en jämförelse kan man jämföra år 1985 då det rapporterades att sprinkler var installerad vid 1 % av alla bostadsbränder. 1985 aktiverade sprinkler vid 0,3 % av alla bostadsbränder och för 1994 var motsvarande värde 0,7 %. Den främsta anledningen till att sprinkler inte aktiverat då det trots allt brann var att branden varit för liten. /2/

NFPA gjorde en analys baserad på statistik som insamlades mellan 1983 – 1992. Den visade att installation av sprinkler hade minskat det genomsnittliga antalet döda i bostadsbränder från 9,2 döda per 1000 bränder till ca 4 döda per 1000 bränder. Det innebär en minskning med 57 %. En senare analys baserad på åren 1985 – 1994 gav till

och med ett något bättre betyg åt sprinklerinstallationerna och angav en minskning från 9,44 döda till 3,89 döda per 1000 bränder, en minskning med 59 %./2/

2.2 Att ta erfarenheterna från USA till Sverige

Från USA och även andra länder verkar det vara mest positiva erfarenheter gällande boendesprinkler. Hur är det då ställt med boendesprinkler i Sverige?

Enligt /2/ är Sverige ett av de länder i världen där det installeras flest sprinkler per invånare räknat, dock avses med det uttalandet troligtvis inte boendesprinkler utan det är då vanligt att en risk sprinklas efter krav från försäkringsbolag /2/. 1997 utkom Svenska Brandförsvarsförbundet översättning av NFPA 13R (1996 års utgåva) vilken i översättningen heter "Svenska Brandförsvarsförbundet rekommendation Sprinklersystem i bostadshus med högst fyra våningar". Denna har från och med maj 2002 fått en ersättning i den nyare utgåvan "Installation av boendesprinkler"/7/. Konceptet Boendesprinkler finns alltså i Sverige men verkar inte ha fått samma genomslagskraft som till exempel USA. En anledning till att USA tagit till sig konceptet i större utsträckning kan vara upptäckten av det höga antalet döda i bränder per år man gjorde på 70-talet och som initierade bildandet av USFA och framtagandet av standarderna NFPA 13 D och NFPA 13R.

I /1/ står att läsa om Svenska Brandförsvarsförbundet studie över dödsbränder 1983-1994 vilken visade en stor brist på fungerande brandvarnare, det fanns i endast 6% av dödsbränderna. På senare år har det kommit krav på brandvarnare i bostäder vilket borde förbättra de siffrorna. Inställningen att risken för brand i den egna bostaden är liten, enligt /8/ är det så att "nära 90% anser att den är marginell". Om de som omkom i dödsbränderna i Svenska Brandförsvarsförbundet undersökning inte ens hade en fungerande brandvarnare som är en billig och enkel åtgärd är det sannolikt optimistiskt att tro att de varit villiga att installera ett system med boendesprinkler. Att ställa krav på boendesprinkler är inte heller aktuellt. Både /2/ och /8/ når slutsatsen att det är samhällsekonomiskt olönsamt. /8/ redovisar en mycket hög siffra för kostnaden per räddat liv vilken beror på "den förhållandevis låga brandfrekvensen i kombination med systemets krav på underhåll". Dock når /8/ slutsatsen att äldreboende skulle vara lönsamt att sprinkla. Anledningen till detta torde vara att äldres utsatthet vad gäller brand, till exempel är största antalet kvinnor som dör i bränder över 80 år /1/. Även /2/ har undantag som är lönsamma att sprinkla, exempel på sådana är vårdinrättningar om antalet vårdplatser är tillräckligt många, samt psykiatriska sjukhem på grund av ett stort antal bränder i dessa (baserat på norsk statistik). Om man även tar med egendomsskydd i lönsamhetsberäkningen i ovanstående resonemang kan man få en annan bild och det kan i så fall eventuellt anses lönsamt att installera sprinkler i fler lokaler.

För att öka användningen av boendesprinkler i Sverige föreslår /2/ åtgärder som att bättre anpassa NFPA 13D och 13R till svenska förhållanden, något som SBF får sägas ha gjort i och med utgivningen av "Installation av boendesprinkler". Andra åtgärder är certifiering av material, installatörer och besiktningsmän samt att utreda möjliga rabatter på

brandförsäkringspremier som kan erhålla genom installation av boendesprinkler. Slutligen rekommenderas i /2/ även fler kostnadsnyttoanalyser av sprinkler.

2.3 Tillförlitlighet hos boendesprinkler

2.3.1 Vad menas med tillförlitlighet?

När man använder ordet ”tillförlitlighet” är det viktigt att man definierar vad man egentligen menar med tillförlitlighet. Det finns tillförlitlighet i att sprinkler verkligen aktiverar och det finns tillförlitlighet i att sprinklern verkligen skyddar liv och egendom på det vis man förutsätter den skall göra när den väl aktiverar. I denna rapport kommer de olika beskrivningarna istället att definieras som följande:

Sprinkler aktiverar när det är tänkt att den skall aktivera = Pålitlighet.
Sprinkler skyddar vid aktivering på tillfredsställande sätt = Effektivitet.

”Tillförlitlighet” är således ett sammantaget värde på de båda faktorerna. Det ligger nära till hand att ansätta ”tillförlitlighet” som produkten av de båda faktorerna som var och en representeras av ett tal mellan 0 och 1 och på så sätt få fram ett numeriskt värde mellan 0 och 1 även för tillförlitligheten /9/. Svårighet kan dock finnas i att få fram ett kvantitativt värde på de ingående faktorerna. För att kunna studera faktorerna separat måste man ha tillgång till statistik som är detaljerad i fråga om hur sprinklersystemet presterat i branden, har branden släckts eller begränsats och i så fall var? Har systemet varit inblandat i förloppet överhuvudtaget?

Renodlad statistik som är sorterad enligt de ovan definierade faktorerna om effektivitet och pålitlighet har inte varit lätt att få tag på varför statistiken i de närmast följande kapitel redovisas under den faktor de bedöms ha mest samhörighet med.

Som det kommer att synas i tabellerna i kapitlen som följer är det svårt att få fram ett kvantitativt värde på effektivitet och pålitlighet på det vis som de redovisas i statistiken.

2.3.2 Effektivitet

Dödsfall i sprinklade och osprinklade lokaler

Nedan redovisas statistik över hur många dödsfall som inträffade i sprinklade respektive osprinklade lokaler i USA mellan 1988-1998 /10/.

| Lokal | Antal döda per tusen bränder | | | Genomsnittligt antal bränder per år | |
|------------------------|------------------------------|---------------|---------------|-------------------------------------|---------------|
| | Utan sprinkler | Med sprinkler | Reduktion (%) | Utan sprinkler | Med sprinkler |
| Publika lokaler | 0,8 | 0,0* | 100 | 10 000 | 3 000 |
| - Matinrättningar | 0,8 | 0,0* | 100 | 6 200 | 2 300 |
| Utbildningslokal | 0,0* | 0,0* | 100 | 4 200 | 1 200 |
| Hälsovårdsinrättning | 4,9 | 1,2 | 75 | 1 400 | 3 200 |
| - äldre vård | 7,1 | 1,7 | 76 | 700 | 1 800 |
| - sjukvård | 2,7 | 0,7 | 74 | 700 | 1 400 |
| Boende | 9,4 | 2,1 | 78 | 326 900 | 8 700 |
| - en och tvåfamiljshus | 9,7 | 4,7 | 51 | 248 600 | 1 700 |
| - lägenheter | 8,2 | 1,6* | 81 | 71 000 | 5 000 |
| - Hotell, motell | 9,1 | 0,8* | 91 | 2 600 | 1 300 |
| - Sovsalar, studenthem | 1,5 | 0,0* | 100 | 1 300 | 500 |
| Affärer, Kontor | 1,0 | 0,3* | 74 | 15 100 | 3 900 |
| - varuhus | 1,2 | 0,0* | 100 | 2 600 | 900 |
| - närlivs | 1,2* | 0,0* | 100 | 800 | 900 |
| - kontorshus | 0,6* | 0,0* | 100 | 3 300 | 1 100 |
| Industri | 1,1 | 0,0* | 100 | 2 800 | 400 |
| Tillverkningslokal | 2,0 | 0,8 | 60 | 5 000 | 5 000 |
| Lagringslokal | 1,0 | 0,0* | 100 | 29 300 | 900 |

* Baserat på färre än två dödsfall per år över hela tioårsperioden.

Tabell 2.3. Antal dödsfall, antal bränder samt reduktion av dödsfall i osprinklade och sprinklade lokaler i USA mellan 1988-1998. /10/

Det finns dock ett par anmärkningar med tabell 2.3.

I tabell 2.3 har man inte skiljt på vad för slags sprinklersystem som finns, enbart existensen därav eller inte. Då inkluderas sprinkler som är gamla, feldimensionerade, avstängda, inte underhållna och så vidare under kategorin ”Med sprinkler” /10/. I tabell 2.3 ingår även i den sprinklade kategorin sådana bränder där bara vissa lokaler varit

sprinklade och branden nått dessa lokaler sent varför sprinkler haft liten påverkan på branden. Detta är en av anledningarna till att tillförlitligheten som den definieras i kapitel 2.3.1 blir svår att beräkna.

En annan anmärkning med tabell 2.3 är att i byggnader med sprinkler tenderar man att ha lagt mer tanke och pengar åt brandskyddet varför det inte är säkert att den lägre siffran vad gäller antal döda i sprinklade byggnader verkligen är sprinklernas förtjänst. Det kan vara så att alla människor utrymt när de hört brandlarmet som även var installerat och när sprinklern aktiverade var alla ute ur byggnaden, därmed hade ingen människa omkommit om sprinkler ej varit installerat. Man bör ha detta i åtanke då det inte går att utläsa enbart ur statistiken.

Tabellen har inte bra statistiskt underlag överallt. Man kan inte utläsa mycket av värde ur till exempel utbildningslokaler, då det där är mycket lågt antal dödsfall redan utan sprinkler. Effekten i antal räddade liv kan knappt utläsas och enstaka händelser kan få stort genomslag i statistiken. Omvänt sett så kan man utläsa en positiv effekt hos till exempel motell och hotell. Denna kategori har en hög dödssiffra, den högsta med undantag från en- och tvåfamiljshus och man kan även se en klar sänkning i dödsantalet där sprinkler är befintligt.

Till sist måste det tilläggas att tabell 2.3 redovisar bränder som rapporterats till räddningstjänsten. Det är alltså ett antal bränder som därmed aldrig kommer till räddningstjänstens vetskap och därmed aldrig når sin väg in i statistiken. Detta kan både överskatta och underskatta sprinkler betydelse. Sprinkleranläggningar får antas kunna släcka många mindre bränder som därmed aldrig redovisas /10/. Om man fortsätter på denna linje innebär detta att effektiva system faktiskt får det att se ut i statistiken som att det dör fler människor per brand än vad det egentligen gör samt att sprinkler är sämre på att rädda liv än vad de egentligen är. Samtidigt bör man ha i åtanke att det kan finnas bränder som t.ex. upptäcks med hjälp av brandlarm och som kan släckas av de boende/närvarande. Dessa bränder blir sannolikt inte heller rapporterade vilket kan medföra att antalet osprinklade bränder som inte får någon allvarlig konsekvens i uträkningen till tabellen blir för litet. I förlängningen kan det innebära att andelen osprinklade bränder som får allvarliga konsekvenser blir större än vad den egentligen är.

Med hänsyn taget till ovanstående anmärkningar på tabellen är det ändå så att sprinklerinstallation verkar visa goda resultat vad gäller att minska antalet dödsfall per brand.

Brandspridning i sprinklade respektive osprinklade lokaler.

Ett annat sätt att mäta sprinkler effektivitet är att kontrollera i hur många fall sprinkler har begränsat branden till objektet i vilken branden startade, till rummet branden startade i och så vidare. Statistiska underlaget som redovisas i tabell 2.4-2.6 berör endast lokaler som detta projektet anses behandla, i detta fallet innebär det olika boendeformer där sprinkler främst skyddar liv och inte egendom.

Statistik från USA

| Flampåverkan begränsad till: | Med sprinkler | | Utan sprinkler | |
|---|---------------|-----------|----------------|----------|
| | Bränder | Andel (%) | Bränder | Andel(%) |
| Ursprungsobjekt | 3 450 | 69 | 32 830 | 46,2 |
| Närhet till ursprungsobjekt | 990 | 19,8 | 17 510 | 24,6 |
| Rummet | 310 | 6,2 | 7 970 | 11,2 |
| Brandteknisk avskiljning | 80 | 1,6 | 1 480 | 2,1 |
| Våning | 60 | 1,2 | 3 150 | 4,4 |
| Byggnad | 100 | 2 | 6 950 | 9,8 |
| <i>Brandpåverkan på annan byggnad</i> | 20 | 0,4 | 1 150 | 1,6 |

Tabell 2.4. Begränsning av brand i lägenheter, årligt genomsnitt av 1989-1998 års rapporterade bränder till räddningstjänsten i USA /10/.

| Flampåverkan begränsad till: | Med sprinkler | | Utan sprinkler | |
|---|---------------|-----------|----------------|----------|
| | Bränder | Andel (%) | Bränder | Andel(%) |
| Ursprungsobjekt | 5 780 | 66,1 | 129 130 | 39,5 |
| Närhet till ursprungsobjekt | 1 780 | 20,3 | 74 490 | 22,8 |
| Rummet | 580 | 6,6 | 34 610 | 10,6 |
| Brandteknisk avskiljning | 130 | 1,5 | 3 580 | 1,1 |
| Våning | 140 | 1,6 | 13 700 | 4,2 |
| Byggnad | 290 | 3,3 | 61 540 | 18,8 |
| <i>Brandpåverkan på annan byggnad</i> | 50 | 0,6 | 9 810 | 3,0 |

Tabell 2.5. Begränsning av brand i övriga boendeformer, årligt genomsnitt av 1989-1998 års rapporterade bränder till räddningstjänsten i USA /10/.

| Flampåverkan begränsad till: | Med sprinkler | | Utan sprinkler | |
|---|----------------------|------------------|-----------------------|-----------------|
| | Bränder | Andel (%) | Bränder | Andel(%) |
| Ursprungsobjekt | 900 | 53,3 | 93 230 | 37,5 |
| Närhet till ursprungsobjekt | 370 | 21,9 | 55 450 | 22,3 |
| Rummet | 140 | 8,3 | 25 810 | 10,4 |
| Brandteknisk avskiljning | 30 | 1,8 | 2 030 | 0,8 |
| Våning | 60 | 3,6 | 10 330 | 4,2 |
| Byggnad | 160 | 9,5 | 53 390 | 21,5 |
| <i>Brandpåverkan på annan byggnad</i> | 30 | 1,8 | 8 390 | 3,4 |

Tabell 2.6. Begränsning av brand i en- och tvåfamiljshus, årligt genomsnitt av 1989-1998 års rapporterade bränder till räddningstjänsten i USA /10/.

I de sprinklade fallen begränsas branden till ursprungsobjektet i 53 – 69 % av bränderna, motsvarande siffra för de osprinklade fallen är 37 – 45 %. Om man tittar på hur många bränder som sprids utanför rummet där den uppstod så är det i de sprinklade fallen 5-16.5 % mot de osprinklade fallen där 18– 29,8 % av bränderna spred sig utanför rummet. Enbart baserat på statistiken är sprinkler helt klart ett bra skydd även om man i detta fall bör gå djupare i situationen bakom statistiken på samma sätt som resonemanget i förra kapitlet. Det är inte säkert att de goda siffrorna är helt sprinklers förtjänst. I detta fallet där kriteriet är brandspridning kan det vara så att byggnader med sprinkler tenderar att vara byggnader där mer tanke lagts åt brandskyddet varför det kan vara den sammantagna effekten av brandskyddet i byggnaden som begränsar branden och inte enbart sprinklern. Detta är något man omöjligen kan utläsa från statistiken.

2.3.3 Pålitlighet

De högsta siffrorna på pålitlighet kommer från Australien och Nya Zeeland där de kan ligga så högt som på 98-99 %. Att de länderna har sådana höga siffror beror på att det där finns stränga krav på provning, underhåll och service av systemen som är högre än någon annan vilket har resulterat i mycket tillförlitliga system. /1/

Orsaker till att sprinkler inte aktiverar

Tabellen 2.7 nedan hämtas från NFPA i USA där statistik redovisad över anledningar till varför sprinkler inte fungerat som man förväntat sig /10/.

| Problemgrupp | % av fallen | Problem | % av fallen |
|--|--------------------|--|--------------------|
| A. Oförmögenhet att upprätthålla funktionalitet i systemet | 53,4 % | A1. Vatten avstängt | 35,4 |
| | | A2. Otillräckligt underhåll | 8,4 |
| | | A3. Förhindrad/Försvårad vattendistribution | 8,2 |
| | | A4. Fruset system | 1,4 |
| B. System ej anpassat efter aktuellt behov/risk | 21,6 | B.1 System ej anpassat efter rätt behov/risk | 13,5 |
| | | B2. System utformat för delskydd/punktskydd | 8,1 |
| C. Defekter som påverkar men inte involverar sprinklersystemet | 15,9 | C1. Otillräcklig tillgång till vatten | 9,9 |
| | | C2. Bristfällig byggnadskonstruktion | 6,0 |
| D. Otillräcklig prestation av själva sprinklersystemet | 5,6 | D1. Gammalt system | 2,1 |
| | | D2. Sen aktivering av sprinkler | 1,8 |
| | | D3. ”Defekt torrörsventil” | 1,7 |
| E. Annat | 3,6 | E1. ”Exposure fire” | 1,7 |
| | | E2. Annat eller okänt | 1,9 |
| Total | 100 | | 100 |

Tabell 2.7. Anledningar till ”otillfredsställande sprinklerprestation” ordnade i huvudgrupper. Statistik från NFPA, blandade kategorier av byggnader i USA mellan åren 1925-1969. Baserad på 3134 inrapporterade fall där sprinklersystemet av någon anledning bedömts prestera otillfredsställande. /10/.

I statistiken från USA i tabell 2.7 är grupp A den stora posten, drygt hälften av fallen, vilken innebär man inte kan upprätthålla funktionalitet i systemet vilket är ett tungt argument för att man regelbundet bör kontrollera och underhålla systemet. Den vanligaste anledningen till att funktionalitet inte upprätthålls är att systemet är avstängt. Den näst största posten utgörs av system som inte är rätt dimensionerade för den aktuella risken eller det aktuella behovet. Sprinklersystem är som allt annat brandskydd dimensionerat för en viss risknivå. Ändrar man riskbilden, till exempel genom ombyggnad eller verksamhetsförändring, måste man även ändra brandskyddet (om brandskyddet visar sig vara otillräckligt för den nya riskbilden) vilket kan vara något som försummas eller glöms bort. Man kan ställa sig frågande till problemet ”C1. Otillräcklig tillgång till vatten” och att det inte anses involvera sprinklersystemet men då tabellen inte anger

noggrannare vad som avses med otillräcklig tillgång till vatten går det inte att avgöra om de 9.9 % som hör till det problemet är något man kan åtgärda genom bättre projektering och därför borde tillhöra kategori B.

Home Office (HO) är ett departement i Storbritannien som handhar frågor som har att göra med att göra samhället "säkert, rättvist och tolerant". HO gjorde för åren 1982, 1985 och 1988 en analys om varför sprinkler kan fungera otillfredsställande och kom fram till resultat som påminner om de från NFPA enligt tab 2.7. HO kom fram till att avstängda system stod för i genomsnitt 54 % av de fallen där sprinkler inte fungerat /11/.

2.4 Slutsatser

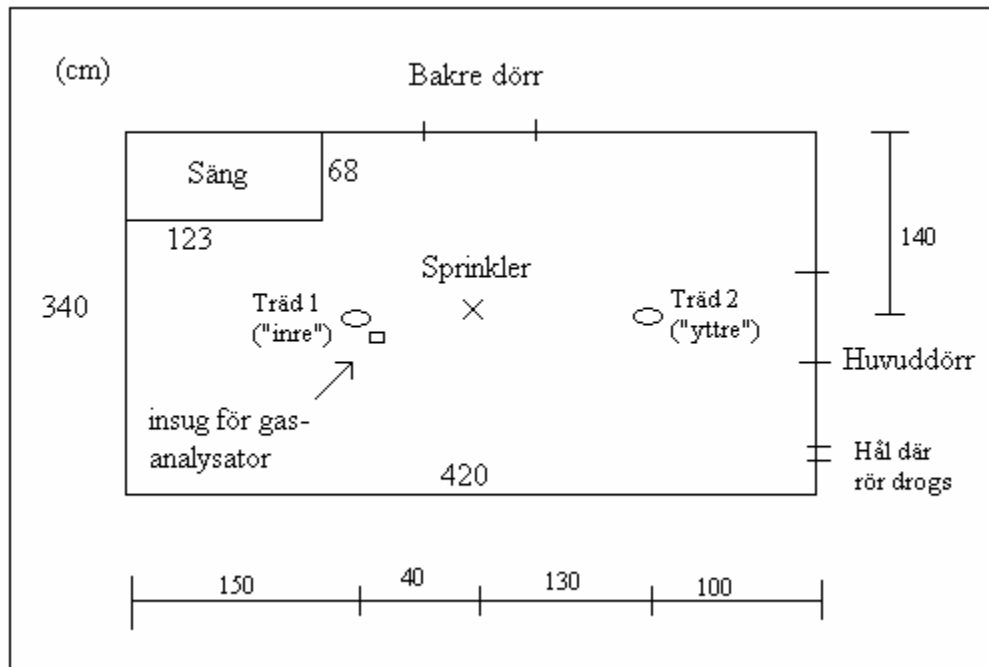
Från erfarenheterna från USA ser man att när sprinkler är installerat och aktiveras så har brandscenarierna i många fall blivit lindriga. Det finns förstås inget sätt att säga om just de specifika bränderna hade utvecklats till stora bränder eller hade förblivit lindriga även utan en sprinkleraktivering men jämförelsen med osprinklade bränder säger att det existerar en påtaglig genomsnittlig reduktion i skador vid sprinklade bränder. Sprinkler är, när de aktiveras, effektiva system för att hämma eller till och med släcka en brand.

De höga siffrorna på tillförlitlighet vad gäller aktivering vid brand säger att sprinkler dessutom är system som går att lita på. Finns de installerade är det hög sannolikhet att de kommer att aktivera om en brand skulle uppstå. En viktig faktor i sammanhanget är att systemet underhålls och ges erforderlig service.

3 De praktiska försöken, metod och utförande

Försöken utfördes på Helsingborgs brandförsvars testanläggning Brandorama. Brandrummet hade dimensionerna 4,2 x 3,4 x 2,55 m³. Brand anlades i en sängmadrass av PUR-skum som tillhandahölls på platsen och som låg på en sänggram av metall som stod i ett hörn av rummet. Madrassen befann sig på ca 7 dm höjd över golvet. Sprinklerhuvudet monterades i befintligt rör i taket, sprinklerbulben befann sig ca 1 dm under taknivå. Två träd med vardera sju termoelement fasttejpade i olika höjder placerades på olika avstånd från sängen och på var sin sida om sprinklerhuvudet enligt figuren 3.1 nedan. Ett rör som sög in luft för analys av gassammansättningen monterades vid det termoelementträd som stod närmast sängen. Luften sögs genom röret som drogs ut genom ett hål i väggen till apparatur utanför brandrummet där själva analysen av gaserna gjordes. För att kunna mäta massförlust av madrassen när den brann upp monterades lastceller mellan en topp- och en bottenplatta och placerades under sängen. Genom kännedom om massförlusten av den brinnande madrassen kunde effekten beräknas. Alla mätdata från mätinstrument gick via en signalbehandlingsenhet, en så kallad "POD" och vidare till en dator för registrering.

En översikt av rummet ges i figur 1 nedan.



Figur 3.1. Översikt av rummet som försöken utfördes i.

3.1 Utrustning

Mätning av gassammansättning

Vid försöket sögs luft från brandrummet ut och analyserades på innehåll av syre, koldioxid och kolmonoxid. Luften sögs ut från brandrummet genom ett kopparrör som ledde ut genom ett isolerat hål vid sidan av dörren och analyserades utanför. Mynningen till kopparröret inne i brandrummet där luften sögs in var böjt svagt nedåt för att undvika att vatten från sprinklern skulle komma in i röret och kunna störa mätningen. Gas sögs ut från höjden 1 m från marken. Gasen som sögs ut från brandrummet gick först genom ett rörparti format som en spiral och som var doppat i ett isbad för att kyla gasen. Därefter leddes gasen genom en grovfiltrering med glasull för att rena gaserna från grova partiklar, därefter leddes gasen genom finfiltrering och torkning innan den gick till själva analysatorn för bestämning av gassammansättningen. Analysatorn var sedan i sin tur kopplad till signalbehandlingsenheten och därifrån vidare till datorn som registrerade alla mätdata.

Data från mätningen av gassammansättningen ligger sedan till grund för beräkningar av så kallat FID-värde (se kapitel 4.2 för beskrivning) och bedömningar om hur stor chans en människa har att överleva i rummet.

Mätning av temperatur

Två metallstativ med termoelement monterade i olika höjder utgjorde de ”träd” som refereras till i denna rapport. Höjderna för termoelementen var samma i de båda träden. Då intresset låg i att undersöka förhållandena för människor var termoelementen monterade i höjderna 30, 60, 90, 120, 150, 180 samt 210 cm ovan golv. Rummets totala höjd var 255 cm.



Figur 3.2. Foto på ett helt termoelementträd

För att skydda termoelementen från vattnet från sprinklern monterades en skyddskåpa av aluminiumfolie ovanför vart och ett termoelement. Kåporna utformades med avseende att skydda termoelementen från vatten kommandes ovanifrån men samtidigt tillåta luftomströmning. Tråden med termoelement placerades med kåporna pekandes mot sprinklerns position.

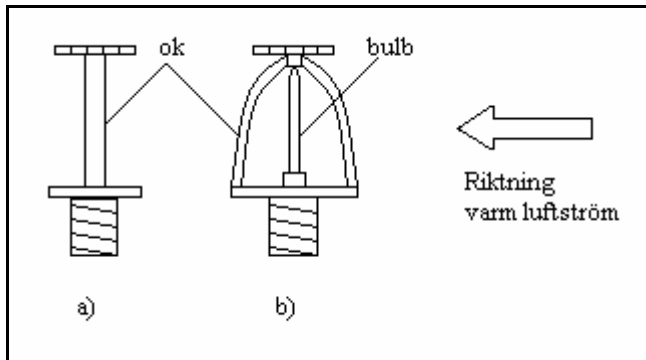


Figur 3.3. Närbild på termoelement med kåpa.

Sprinklerhuvud

Sprinklerhuvudet monterades i taket ca en decimeter under taknivå. Boendesprinklers tillhandahölls till detta projekt direkt från en tillverkare och konventionella sprinklers tillhandahölls på plats från Brandorama och därmed erhöles en jämförelse mellan typ av sprinklerhuvud. Huvudskillnaderna mellan typerna är två. Dels att boendesprinklerna är snabbare i sin aktivering, det vill säga de har ett lägre RTI-värde. Den andra huvudsakliga skillnaden är vattnets spridningsbild. I fallet med boendesprinkler så sprids vattnet i större grad i en vidare vinkel jämfört med en konventionell sprinkler där tonvikten i vattenspridning i högre grad är nedåt. Boendesprinklernas utformning att sprida mer vatten ut i sidorna är avsedd att täcka in t.ex. bränder som fått fäste i gardiner eller väggbeklädnad. Vattenledningen var kopplad mot det kommunala ledningsnätet. Ett så kallat plungetest (se bilaga A) utfördes för att utröna sprinklerhuvudernas RTI-värden. Vid ett plungetest monteras ett sprinklerhuvud i en tunnel med en varm luftström av känd temperatur och man mäter tiden till dess att sprinklerhuvudet aktiveras. Två försök görs för varje sprinklertyp, ett med luftströmmen parallell med oket på sprinklern vilket innebär att oket skuggar själva bulben från luftströmmen och tiden till aktivering blir därför längre. Det andra försöket utförs med oket vinkelrätt mot luftströmmen som

alltså innebär en snabbare tid till aktivering (se figur 3.4). Man erhåller två värden för sprinklerhuvudets RTI-värde.



Figur 3.4. Sprinklerhuvud med ok vinkelrätt mot luftströmmen i a), vilket ger snabbare aktivering, och med ok parallellt med luftströmmen i b) vilket ger längre tid till aktivering då oket skuggar bulben från luftströmmen.

Enligt dokumentationen för boendesprinkler så var dess K-faktor 5,5. Vad gäller de sprinklerhuvud som erhöles från Brandorama så var det sprinklerhuvud som varit monterade ute i lokaler hos företag i Helsingborg och vid byte hade de överlåtits till Brandorama för testverksamhet. Uppgift om K-faktor stod ej att få tag i för dessa sprinklerhuvud. Vid försöken visade dock båda sprinklertyperna sig snabbt släcka branden, påford vattenmängd var mer än tillräcklig i båda fallen. K-faktorns eventuella påverkan på scenariot kommer utöver detta konstaterande inte att behandlas. RTI-värdena från plungetesten redovisas i tabell 3.1.

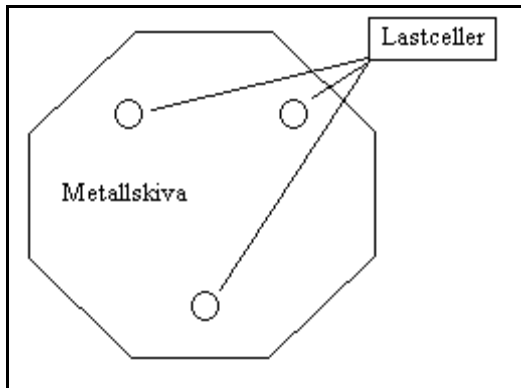
| Sprinklerhuvud | ok vinkelrätt med luftström | ok parallellt med luftström |
|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Konventionell sprinkler | 43 m ^{1/2} s ^{1/2} | 390 m ^{1/2} s ^{1/2} |
| Boendesprinkler | 35 m ^{1/2} s ^{1/2} | 135 m ^{1/2} s ^{1/2} |

Tabell 3.1. RTI-värden för sprinklerhuvudena.

Mätning av massförlust

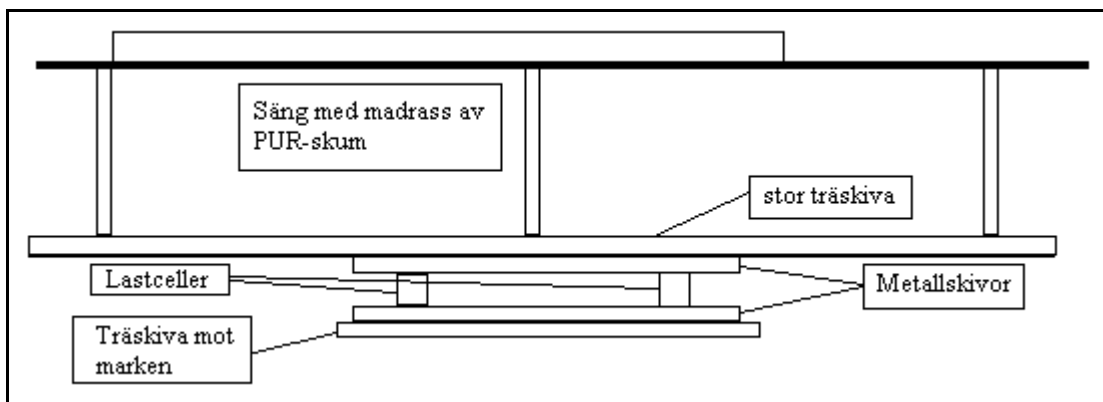
På Brandorama där försöken utfördes används den mekaniska ventilationen för att mäta brandeffekt. Det befarades emellertid att ventilationen skulle kunna störa sprinklerns aktivering genom att minska mängden heta brandgaser i takhöjd. Det är oklart om så verkligen skulle ha skett men då misstanke om detta förelåg utfördes försök där endast viktminskningen när en madrass brann upp mättes. Ur denna viktminskning räknades brandeffekten fram.

Tre lastceller användes för att mäta viktminskningen hos madrassen när den brann. Lastcellerna fixerades genom att skruvas fast i en metallskiva på vardera sida, alla lastcellerna fixerades i samma två skivor (se figur 3.5 för vy ovanifrån).



Figur 3.5. Vy från ovan av metallskivan med de tre lastcellerna fastskruvade i en triangel.

Konstruktionen placerades på en botten-skiva av trä och ovanpå lades en stor träskiva på vilken sedan sängen med PUR-madrassen ställdes (se figur 3.6).



Figur 3.6. Försöksuppställning i försöksserie 2, "Brandeffekt".

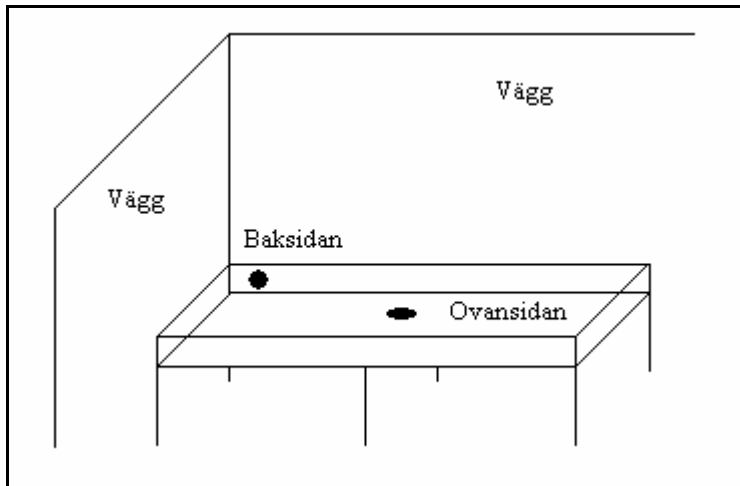
Hela uppställningen isolerades sedan kraftigt med mineralull för att skydda lastcellerna från värmepåverkan. Även sladdarna som ledde från respektive lastcell och ut till mätdata isolerades med mineralull.

Ur mätningarna av massförlusten beräknades effektutvecklingen för försöken med antändning på ovansidan och baksidan (se kapitel 4.3). Effektvecklingarna användes sedan för att beräkna den värmestrålning från flaman som träffar den tänkta människan i rummet samt för att ligga till grund för datorsimuleringar av brandförloppet.

3.2 Försöksprocedur

Antändningsställe

Två olika antändningsställen på madrassen valdes för försöken, antändning mitt på ovansidan samt antändning vid kanten av baksidan som vette in mot väggen. Se figur 3.7.



Figur 3.7 Antändningsställe på madrassen.

Antändning i samtliga försök skedde genom att ett litet hål gröptes i madrassen var en antänd tändsticka lades.

Totalt nio försök utfördes. I de fem första gjordes mätningar av gaskoncentrationer och temperaturer men inte av massförlust. I de resterande fyra uppmättes tvärtom endast viktminskningen och inte gaskoncentration eller temperaturer. En sammanställning av försöken ges i tabell 3.2.

| Försök | Sprinkler | Antändning | Uppmätta värden | | |
|--------|-----------------|------------|------------------|------------|-------------|
| | | | Gaskoncentration | Temperatur | Massförlust |
| 1 | - | Ovansidan | Ja | Ja | Nej |
| 2 | Konventionell | Ovansidan | Ja | Ja | Nej |
| 3 | Boendesprinkler | Ovansidan | Ja | Ja | Nej |
| 4 | Konventionell | Baksidan | Ja | Ja | Nej |
| 5 | Boendesprinkler | Baksidan | Ja | Ja | Nej |
| 6 | - | Ovansidan | Nej | Nej | Ja |
| 7 | - | Ovansidan | Nej | Nej | Ja |
| 8 | - | Baksidan | Nej | Nej | Ja |
| 9 | - | Baksidan | Nej | Nej | Ja |

Tabell 3.2. Översikt över de nio försöken.

Fotografi togs av resterna av madrassen i försök 2-5 (de försök där det fanns rester från madrassen överhuvudtaget) för att försöka få en synbar jämförelse mellan sprinklernas effektivitet.

Det företogs inget osprinklat försök med antändning på baksidan på grund av tidsbrist. Istället utförs simuleringar i datorprogrammet FAST för de båda antändningssätten med förhoppning om att kunna likna brandförloppet och ge en approximation om hur en osprinklad brand med antändning bakom skulle kunna se ut.

3.3 Generella begränsningar i försöken

I försöken har ej vattenmängden som når olika delar golvet mätts då det inte ansetts höra till projektets inriktning att undersöka detta. Den hänsyn som tagits till vattenspridningen ligger i att konventionellt sprinklerhuvuds verkan jämförts med den av en boendesprinkler.

Tidmätningen medför en inexacthet i försöken. Till exempel är det så att gasen sugts genom renings- och kylningsutrustning innan den analyseras. Detta innebär att när det i digrammet anger att vid tiden 2 min så är det en viss koncentration av de olika gaserna så rådde den koncentrationen något tidigare. Det blir alltså en viss fördröjning i gasmätningen.

4 Parametrar som beräknas

4.1 Tänkt person i rummet

Den tänkta personen i rummet antas befinna sig i eller i anslutning till sängen när branden startar för att lyckas ta sig en kort sträcka mot huvuddörren när branden utvecklas. Personens position förenklas så att denne antas befinna sig ca en meter från branden och med huvudet på ca en meters höjd över golvet. I beräkningarna om värmestrålning från brandgaslagret har personens position i rummet förenklats så tillvida att den antas befinna sig mitt i rummet (värsta fallet för värmestrålning från brandgaslagret) under hela förloppet.

De parametrar som beskrivs i detta avsnitt används för att jämföra den tänkta personens situation och miljö i brandrummet mellan de olika försöken

4.2 Beräkning av FID-värde

I en brandmiljö kommer människor utan skydd att utsättas för giftiga gaser med varierande koncentration. För att beräkna påverkan som dessa gifter har på människokroppen kan man använda sig av en fraktionsdosmodell (FED, Fractional Effective Dose). Om man har kännedom om koncentrationen av giftig gas över tiden under ett scenario kan man dela in detta i tidsintervall och beräkna vilken dos av den giftiga gasen man exponeras för inom varje intervall. Den erhållna dosen jämförs i varje intervall med ett gränsvärde som till exempel kan vara dos för att bli medvetslös eller för att avlida.

Förenklat kan man säga att uträkningen för varje tidsintervall går till som följer:

$$FID = \text{DOS}_{\text{exponerad}} / \text{DOS}_{\text{kriterie}}$$

där

$\text{DOS}_{\text{exponerad}}$ = den dos individen exponerats för

$\text{DOS}_{\text{kriterie}}$ = den dos man jämför med, t.ex. dos för att tappa medvetandet

När man dividerar erhållna dosen med gränsvärdet erhålls ett värde mellan 0 och 1 om gränsvärdet inte uppnåtts. Om värdet av divisionen blir lika med eller överstiger 1 har gränsvärdet uppnåtts.

Detta görs för alla intervall som sedan adderas samman vilket ger ett ackumulerat värde på förgiftning. Detta kan även göras för flera olika gaser och deras verkan kan räknas samman. Man kan alltså beräkna den sammantagna effekten för alla de gaserna man mätt för att bestämma till exempel när en människa i rummet tappar medvetandet eller avlider som följd av exponering av giftig gas.

Den variant av FED-värdet som skall beräknas i denna rapport är FID, Fractional Incapacitation Dose vilket kan översättas med dos för medvetslöshet.

För närmare beskrivning av beräkningarna hänvisas till bilaga B.

De gaser som tas med i beräkningarna i denna rapport är kolmonoxid, koldioxid samt syre.

FID-värden beror på koncentrationen man exponeras för samt under hur lång tid exponeringen varar. I beräkningarna har det antagits att den tänkta personen vistas inne i rummet tills ca en minut efter sprinkleraktivering. Detta kan tänkas motsvara att personen själv lyckas ta sig ut när elden väl är släckt och man kyls av vattnet alternativt att utomstående människa, till exempel anhörig eller vårdpersonal, tar sig in i rummet för att hjälpa personen ut när elden väl är släckt av sprinklern. Vad gäller det osprinklade försöket och simuleringarna är deras längd så länge som det finns mätdata att tillgå vilket innebär den tidsrymd det tog tills brandgaslagret påtagligt börjat dämpa branden genom att uppfylla hela rummet. Detta ger en försökslängd som ligger runt 4 minuter och är av ungefär samma längd som övriga försök.

4.3 Brandens effekt

I försök 6-9 mättes viktminskningen när en madrass brann. Från mätdata om viktminskningen beräknades brandens effekt från formeln:

$$\text{Effekt} = \Delta H_c * \dot{m} * \chi \text{ [kW]} \quad /12/$$

där

ΔH_c = förbränningsenergi för PUR-skum [kJ/g]

\dot{m} = Massförlusten per sekund [g/s]

χ = förbränningskoefficient

Mätdata erhöles för varje sekund av brandförloppet och följaktligen kan effekten räknas ut för varje sekund.

4.4 Värmestrålning

Värmestrålning kan vid olyckliga omständigheter orsaka dödsfall hos en människa som befinner sig i brandrummet och detta långt innan livshotande koncentrationer av giftiga gaser uppkommit. Även med fullt fungerande aktiva system, såsom sprinkler som testats här, kan det vara mycket svårt att rädda en person som vistas i eller i omedelbar anslutning till det objekt i vilken branden startade även om branden i sig förblir begränsad till detta objekt.

Värmestrålning erhålls både från flaman samt från det varma brandgaslagret. I denna rapport beräknas värmestrålningen från båda källor och adderas till varandra.

Värmestrålning från flamman beräknas från brandeffekten och strålningen från brandgaslagret beräknas från termoelementens uppmätta temperatur.

4.4.1 Värmestrålning från flamman

Efter att effekten för branden bestämts kan värmestrålningen från flamman beräknas.

Värmestrålningen ges av

$$\text{Emottagen värmestrålning} = \frac{\chi_r * \dot{Q}}{4\pi * R^2} \quad [\text{kW/m}^2] \quad /13/$$

där

χ_r = fraktion av den totala effekten som strålar ut

\dot{Q} = Brandens effekt [kW]

R = Avståndet till bestrålat objekt [m]

4.4.2 Värmestrålning från brandgaslagret

Värmestrålning från brandgaslagret påverkar en person som vistas i brandrummet. I beräkningar av värmestrålningen från brandgaslagret i denna rapport har det antagits att personen vistas mitt i rummet (värsta fallet) under tiden för exponering.

Värmestrålningen ökar ju längre in i brandförloppet man kommer dels för att det ansamlas mer heta gaser och temperaturen i brandgaslagret stiger allteftersom branden fortgår samt även eftersom brandgaslagret sprider sig nedåt i rummet, det vill säga närmre personen. En medeltemperatur beräknas från mätvärdena från termoelementen som befinner sig i det varma brandgaslagret och denna temperatur står i direkt relation till värmestrålningen.

$$\text{Emottagen värmestrålning} = F * \sigma * T^4 \quad [\text{kW/m}^2] \quad /14/$$

där

F = Vinkelkoefficienten för strålande yta mot bestrålad yta

$\sigma = 5,67 * 10^{-8}$ (Stefan-Boltzmanns konstant) [W/m²K⁻⁴]

T = temperaturen [K]

Se även bilaga C för utförligare beskrivning.

4.4.3 Total värmestrålning

Både temperaturmätningarna och massförlustmätningarna ger mätdata så gott som varje sekund av brandförloppen. Då det är dessa två mätningarna som ligger till grund för beräkningen av värmestrålning ger detta att även strålningen från flamman och brandgaslagret kan bestämmas för så gott som varje sekund. Den totala värmestrålningen som en tänkt person i brandrummet skulle ha utsatts för kan alltså erhållas genom att för varje sekund addera strålningen från flamman och strålningen från brandgaslagret.

5 Utdata och resultat från försöken

I detta kapitel redovisas de erhållna data och resultat från mätningarna i försöken. Diagram över gaskoncentrationer och temperaturer återges i sin helhet i bilagorna D-E.

Tabellen som visar sammanställningen av försöken återges här för att underlätta läsningen.

| Försök | Sprinkler | Antändning | Uppmätta värden | | |
|--------|-----------------|------------|------------------|------------|-------------|
| | | | Gaskoncentration | Temperatur | massförlust |
| 1 | - | Ovansidan | Ja | Ja | Nej |
| 2 | Konventionell | Ovansidan | Ja | Ja | Nej |
| 3 | Boendesprinkler | Ovansidan | Ja | Ja | Nej |
| 4 | Konventionell | Baksidan | Ja | Ja | Nej |
| 5 | Boendesprinkler | Baksidan | Ja | Ja | Nej |
| 6 | - | Ovansidan | Nej | Nej | Ja |
| 7 | - | Ovansidan | Nej | Nej | Ja |
| 8 | - | Baksidan | Nej | Nej | Ja |
| 9 | - | Baksidan | Nej | Nej | Ja |

Tabell 5.1. Översikt över försökens uppställning.

5.1 Försök 1-5 Temperatur och gaskoncentrationsmätningar

De första fem försöken utfördes för att samla mätdata om gaskoncentrationer och temperaturer i brandrummet för osprinklad och sprinklade bränder enligt uppställningen i bild 5.1. Diagram med koncentrationerna och temperaturerna återges i bilagorna D-E.

Försöken skiljde sig lite vad gällde observationer möjliga med blotta ögat. I alla försöken med sprinkler släcktes branden mycket snabbt och aktiveringen orsakade en omblandning i rummet som gjorde det i princip omöjligt att se sängen. I det osprinklade fallet uppnåddes också samma siktproblem när rummet var helt rökfyllt. Skillnaden är att sprinkleraktivering skedde innan rummet hann rökfyllas varför man alltså på låg nivå i rummet hade bättre sikt under längre tid i det osprinklade försöket än i de sprinklade, dock kylde sprinkleraktivering ner rummet avsevärt och man fick totalt sett lägre gaskoncentrationer i samtliga sprinklade fall. Man bör vara försiktig med slutsatser om sikten då det fanns mycket lite belysning in till rummet och samtliga ytor inne i rummet var svarta.

Vid antändning ovanpå madrassen aktiverade den konventionella sprinklern ungefär vid tiden 2 min och 30 sekunder och boendesprinklern efter ca 2 min. Motsvarande tider för antändning baktill på madrassen var ca 4 min och 30 sekunder för den konventionella sprinklern och ca 3 min för boendesprinklern.

Ur mätningarna av gaskoncentrationer och temperaturer beräknades värden för exponering av giftiga gaser och värmestrålning enligt kapitel 4. Resultaten återges i kapitel 5.4.

Fotografierna från madrassresterna i de sprinklade försöken återges för jämförelse nedan. Någon möjlighet att väga madrasserna på plats fanns tyvärr inte.



Figur 5.1. Rest av madrass, försök 2



Figur 5.2. Rest av madrass, försök 3

Vid jämförelse mellan madrasserna vid antändning ovanpå i försök 2 (konventionell sprinkler) och 3 (boendesprinkler) syns att i försök 2 har elden brunnit genom madrassens botten till skillnad mot försök 3. Något som observerades på platsen men inte framgår tydligt på dessa bilder är att hela "urgröpningen" som branden gjort i madrassen är påtagligt mindre i försök 3 än i försök 2.



Figur 5.3. Rest av madrass, försök 4



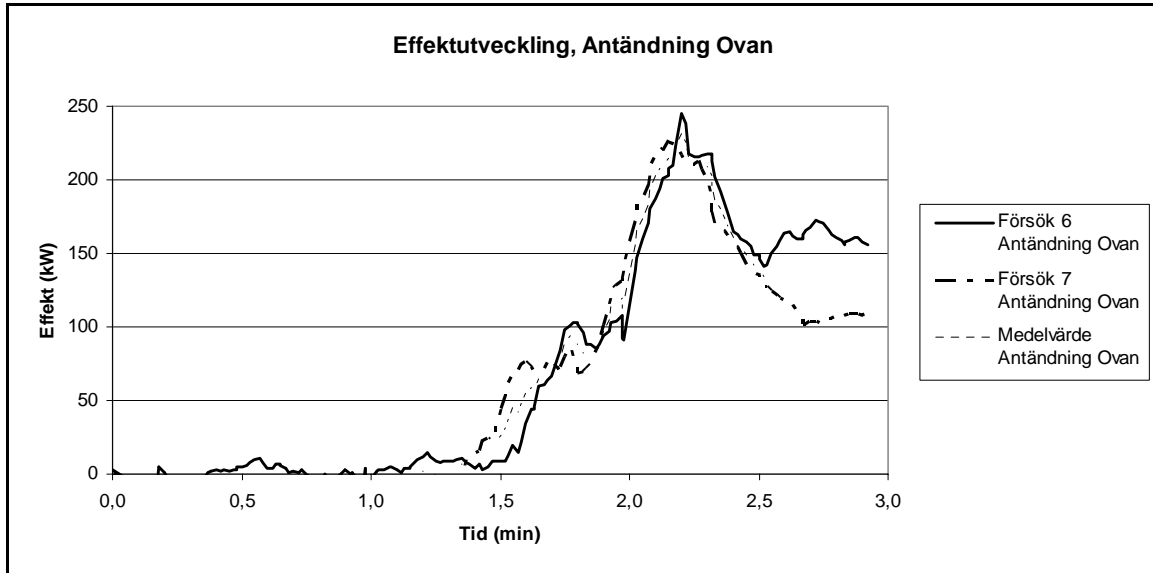
Figur 5.4. Rest av madrass, försök 5

På samma sätt som vid jämförelsen av madrasserna där antändningen skett på ovasidan kan man här se att försök 5 (boendesprinkler) har mindre mängde avbrunnen madrass än försök 4 (konventionell sprinkler)

5.2 Försök 6-9, Effektberäkning

I försök 6-9 mättes endast massförlusten hos madrasserna när de brann i syftet att få fram en kurva för effektutvecklingen för antändning ovanpå samt baktill på madrassen. Två försök utfördes per antändningsställe. I figur 5.5 redovisas de båda kurvorna för varje antändningsställe samt en kurva som är medelvärdet av de båda andra och som ligger till grund för beräkning av värmestrålning från flamman samt simuleringarna av brandförloppet.

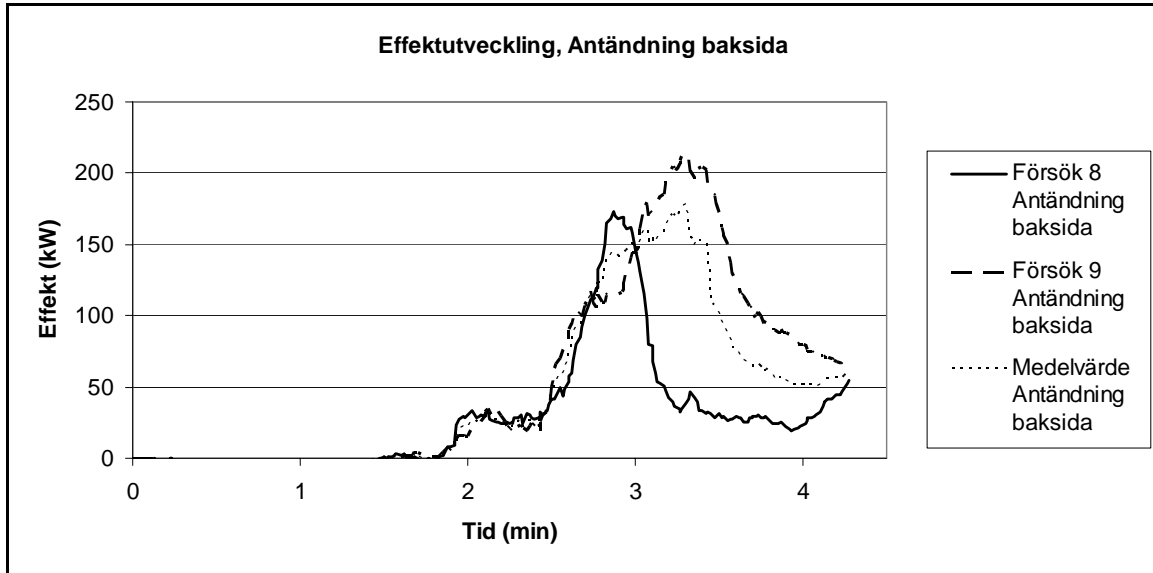
Antändning ovasida:



Figur 5.5. Effektutvecklingarna från försöken med antändning ovanpå madrassen.

I figur 5.5 ovan erhålles som synes en god samstämmighet mellan kurvorna. I de sprinklade försöken med antändning på ovasidan av madrassen aktiverade den konventionella sprinklern ungefär vid tiden 2 min och 30 sekunder och boendesprinklern efter ca 2 min. Om man studerar effektkurvan i figur 5.5 ovan så skulle det motsvara att boendesprinklern aktiverar medan branden är tilltagande och konventionella sprinklern är något långsammare och aktiverar först precis efter branden nått sitt max i effekt.

Antändning baksida:



Figur 5.6. Effektutvecklingarna från försöken med antändning baktill på madrassen.

I figur 5.6 har kurvorna bra samstämmighet till en början men sedan händer något i försök 8 som gör att effekten minskar snabbt. Vid studie av den videofilm av försöket som gjordes så kan ingen sänkning i brandens intensitet observeras varför det får antas vara något problem med mätutrustningen som gör att kurvan uppvisar sådan sänkning i effekten i försök 8. Av denna anledning får försök 9 anses vara den mer rimliga kurvan i den fasen av brandförloppet vilket avspeglas i medelvärdeskurvan.

Vid antändning baktill på madrassen så aktiverade den konventionella sprinklern ungefär vid tiden 4 min och 30 sekunder och boendesprinklern efter ca 3 min.

5.3 Simuleringar av osprinklade försök

Brandförloppen simulerades i datorprogrammet FAST. Två simuleringar gjordes som grundade sig i de medelvärdeskurvor som erhöles för antändning ovanpå och baktill på madrassen i kapitel 5.2.

Det utfördes inte ett osprinklat försök med antändning baktill på madrassen där temperatur och gassammansättning mättes. Om en simulering av försök 1, osprinklad brand med antändning ovanpå madrassen, baserad på effektutvecklingskurvorna från kapitel 5.2 liknar utdatan från försök 1 borde man kunna använda en simulering för att approximera det osprinklade fallet med antändning baktill som inte utfördes på grund av tidsbrist.

Kurvor över gaskoncentrationer och temperaturer från simuleringarna redovisas på samma sätt i bilaga D-E som kurvorna från försöken 1-5. Även från simuleringarna

beräknas FID-värde och värmestrålning från ”flamman” (effektutvecklingen) samt ”brandgaslagret” (temperaturen i den övre zonen) och simuleringarna jämförs därför med de övriga försöken som om även de var praktiskt utförda försök.

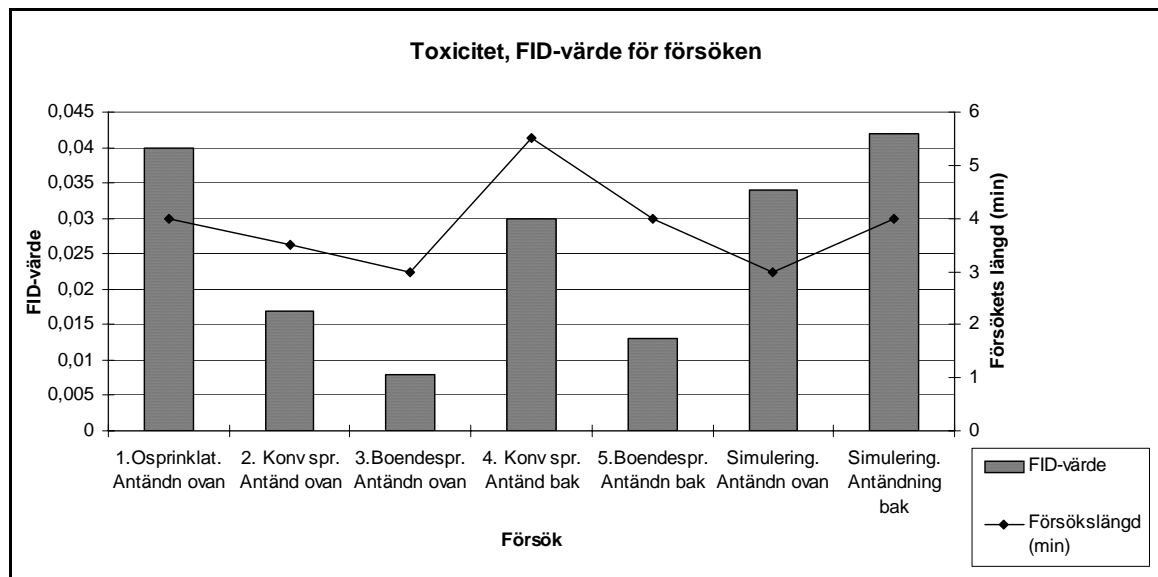
Indatafiler till FAST återges i bilaga F

5.4 Resultat av beräkningar från försökens utdata

Här redovisas resultaten av beräkningarna på FID-värde och värmestrålning baserade på mätdata från försöken och simuleringarna. Dessa resultat beskriver miljön som den tänkta personen i brandrummet exponeras för i de olika försöken.

5.4.1 FID – Exponering av toxiska gaser

De FID-värden som erhöles i de olika försöken tillsammans med försökens varaktighet redovisas sammantaget nedan i diagram 5.7

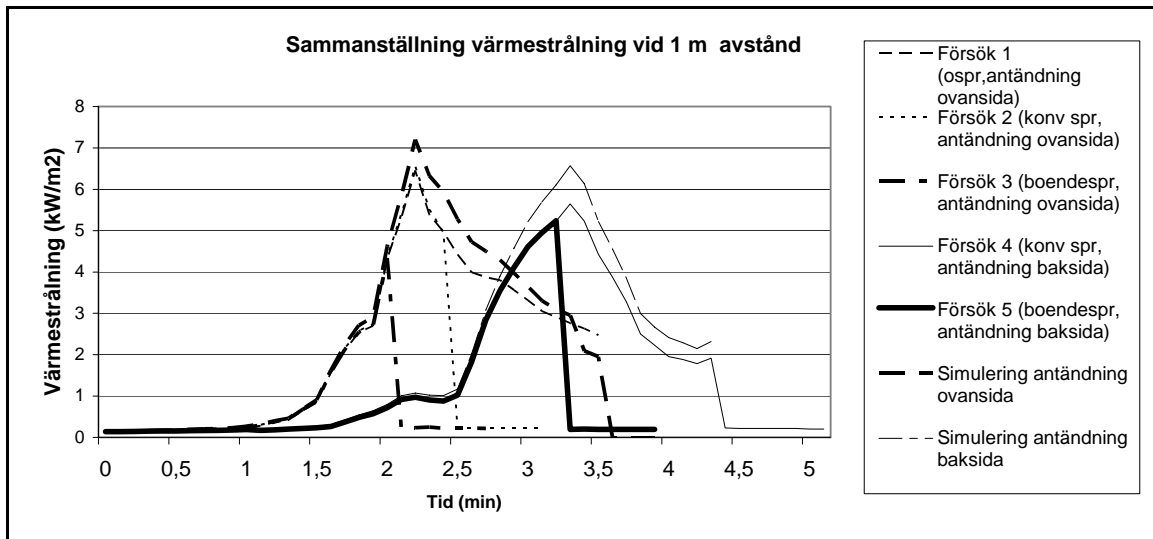


Figur 5.7. FID-värde och försökens längd för de olika försöken.

Med hjälp av uträkning av FID-värdet (se kapitel 4.2) kan man dra slutsatsen om den toxiska verkan som exponeringen av de olika gaserna skulle ha haft på en person som vistats i rummet. Här ses att de sprinklade försöken har lägre värde på förgiftning. Försök 4, konventionell sprinkler med antändning bakom, sticker ut med ett högt värde vilket beror på att den långa tiden till aktivering i det försöket. Något osprinklat försök med antändning på baksidan finns inte att jämföra med men både i jämförelsen med det osprinklade fallet med antändning ovanpå madrassen och de simulerade försöken så har försök 4, trots lång tid till aktivering, fortfarande bättre FID-värde.

5.4.2 Exponering av värmestrålning

Från effektutvecklingskurvorna och temperaturen i brandgaslagret beräknades en värmestrålning som den tänkta personen i rummet exponeras för (se kapitel 4.4). Nedan i figur 5.8 visas diagram över den sammanlagda strålningen på 1 meters avstånd från branden.



Figur 5.8. Sammanställning av värmestrålningen som når ett mål på 1m avstånd från centrum av branden

I figur 5.8 ovan ser man även hur strålningskurvorna dalar nedåt vid tiden för de olika sprinkleraktiveringarna vilket är väntat då branden släcktes snabbt och temperaturen i rummet snabbt sjönk då sprinklern aktiverade.

Det uppmäts i brandrummet blygsamma temperaturer i brandgaslagret. Med dessa uppmätta temperaturer bli följaktligen även värmestrålningen från brandgaslagret inte så kraftig. Den uppgår till ca 10 %, i undantagsfall upp till 15 % (de simulerade fallen där temperaturen i övre zonen är högre), av strålningen från flammorna på avståndet 1 m och påverkar alltså inte i någon större utsträckning. Eftersom strålningen från flammorna beräknas genom effekten på branden, närmare bestämt genom de medelvärdeseffekterna för de båda antändningsformerna, blir strålningskurvorna väldigt lika för de försöken med samma antändningssätt. Det erhålles i princip två kurvor för värmestrålningen som är starkt beroende av effekten och med inbördes små skillnader för strålningen som kommer från de olika temperaturerna som uppmättes i de olika försöken.

En bedömning av hur farlig värmestrålning är ges i tabell 5.2 /12/.

| Strålning (kW/m ²) | Observerad verkan |
|--------------------------------|--|
| 0,67 | Solsken sommartid, (Storbritannien) |
| 1 | Maximal strålningsnivå för obestämd varaktighet |
| 6,4 | Smärta efter 8 sekunders exponering av hud |
| 10,4 | Smärta efter 3 sekunders exponering av hud |
| 16 | Blåsbildning på hud efter 5 sekunders exponering |
| 29 | Trä antänds efter långvarig exponering |

Tabell 5.2. Effekter av värmestrålning. /12/

Ett annat sätt att jämföra scenarierna är med ståndpunkt i Boverkets byggregler (BBR) /15/ där det anges att kritiska förhållanden för utrymning uppnås när strålningsenergin överskrider 60 kJ/m² utöver energin från en strålningsintensitet på 1 kW/m². Genom att beräkna hur lång tid det tar tills kravet på strålningsenergin överskrids (vilket görs genom areaberäkning i figur 5.8) kan man jämföra de olika scenarierna.

| Försök/simulering | Tid till kritisk strålningsenergi uppnås |
|---|--|
| 1. Osprinklad, antändning ovansida | Ca 2 min |
| 2. Konv sprinkler, antändning ovansida | Ca 2 min |
| 3. Boendesprinkler, antändning ovansida | Kritisk nivå uppnås ej |
| 4. Konv sprinkler, antändning baksida | Ca 3 min |
| 5. Boendesprinkler, antändning baksida | Ca 3 min |
| 6. Simulering, antändning ovansida | Ca 2 min |
| 7. Simulering, antändning baksida | Ca 3 min |

Tabell 5.3. Tid tills kritiska förhållande gällande strålningsenergi om 60 kJ/m² (utöver en strålningsintensitet på 1 kW/m²) uppnås. Observera att för boendesprinkler med antändning ovansida uppnås inte 60 kJ/m².

Då kurvorna över värmestrålning är tämligen likartade för respektive antändningsställe följer det naturligt att även tiden till kritisk strålningsnivå är likartad för scenario som har samma antändningsställe. Man bör notera att i scenariot med antändning på ovansidan aktiverar boendesprinklern tillräckligt snabbt för att inte kritiska förhållande med avseende på värmestrålning enligt BBR skall uppnås men den klarar inte detsamma vid antändning på baksidan.

5.5 Diskussion kring försöksresultat

Situation i brandrummet

Från resultaten från försöken kan det konstateras att det utan sprinkler uppnås en högre nivå av giftiga gaser. Med sprinkler bryts denna produktion. Visserligen innebär sprinklernas aktivering att röken blandas i hela rummet, även i det undre lagret som dittills får antas varit relativt harmlöst ur den aspekten. Det hade dock inte förblivit så under så värst mycket långre tid. Mellan 35-60 sekunder efter sprinklern aktiverat (beroende på vilket försök man jämför med) och blandat om röken i rummet, är koncentrationerna av de giftiga gaserna ändå lika hög vid den nivå mätningen sker (1 m) och utan sprinkler skulle den koncentrationen ha ökat än mer samtidigt som andra positiva effekter av sprinkleraktiveringen som till exempel sänkningen av temperaturen, släckning av branden och därmed elimination av värmestrålningen också uteblivit. Den konventionella sprinklern aktiveras senare än boendesprinklern och därmed finns det mer brandgaser som blandas om i rummet, därav de ogynnsammare koncentrationerna i fallen med konventionella sprinkler.

Syrenivån för de sprinklade försöken är mycket lika varandra. Nivån sänks lite och torde i sig inte utgöra något hot mot människor. Det osprinklade försöket uppvisar en större sänkning i syrenivå. I det försöket nås en nivå på ca 17% syre vilket ändå är högre än de simulerade fallen där nivåer på 16,6 % erhöles. Vad gäller de simulerade fallen bör man dock vara medveten om att det gäller koncentrationerna i det övre lagret och inte sammantaget i hela rummet. I de egna försöken inträffar samtliga högsta koncentrationerna efter sprinkleraktivering (innan dess är insuget för gas under brandgaslagret i de flesta fallen) och med tanke på sprinklernas omrörande effekt i rummet medför det att det är koncentrationen i hela rummet (om man förutsätter att gaserna blandar sig jämnt vilket erhålles i /16/). I simuleringarna finns ingen sprinkler och ingen omrörande effekt och alltså anges inte koncentrationerna för hela rummet utan bara övre lagret.

Temperaturer

Man kan även konstatera att temperaturerna som uppmätts i de olika försöken inte varit höga, speciellt i vissa av de sprinklade försöken. En möjlig orsak kan vara att vatten från föregående sprinkleraktivering finns kvar i rummet eller rentav finns på termoelementet och därmed sänker den uppmätta temperaturen. Man kan dock utläsa ett klar temperatursänkning i samband med sprinkleraktivering. Man bör även ha i åtanke att termoelementen inte är placerade ända upp i taket där de varmaste gaserna finns. Det högsta termoelementet befinner sig på höjden 210 cm medan rummet är 255 cm högt. Högre temperaturer uppnås i de simulerade fallen. Detta kan dels bero på avsaknad av en eventuell påverkan av vatten på termoelementen som diskuteras ovan men även på osäkerheter i FAST's beräkningsmodell.

Toxicitet och värmestrålning

Man kan ur figur 5.7 (översikt över försökens FID-värden) utläsa att sprinkler förbättrar miljön i brandrummet med avseende på toxicitet. Med hjälp av figur 5.8 (strålningssintensitet på meters avstånd från branden) och tabell 5.3 (tid till strålningsenergin 60 kJ/m^2 uppnås) kan man dra samma slutsats om sprinkler med avseende på värmestrålning om antändningsstället och sprinklertypen är gynnsamma. Fördelaktigast är det i denna undersökning om man har en boendesprinkler med en antändningskälla ovanpå madrassen. I verkligheten motsvarar det att branden utvecklas på ett sådant sätt att det blir tillräcklig effektutveckling för att aktivera sprinklern fort. En långsammare effektutveckling som efterliknas med antändning baktill på madrassen kan komma att producera mer giftiga ämnen och även utsätta en person i närheten av branden för mer värmestrålning innan sprinklern reagerar även om sprinklern är av en typ som är tänkt att aktivera snabbt. Detta ser man i försök 5 (boendesprinkler och antändning på baksidan) där kritisk nivå av värmestrålning uppnås efter ca 3 minuter även fast försöket skedde med boendesprinkler som är tänkt att aktivera snabbt. En slutsats man kan dra av detta är att det är mycket svårt att rädda en människa som befinner sig nära branden även med en mycket snabb sprinkler, även andra omständigheter som till exempel brandens tillväxthastighet behöver vara gynnsamma.

Låga FID-värden

I alla försök i denna rapport är exponeringen för giftiga gaser låg, det blir alltså låga FID-värden för samtliga försök som är långt från att innebära medvetslöshet. En anledning är att det uppmäts låga koncentrationer av brandgaserna koldioxid och kolmonoxid. Den ursprungliga tanken var att brandrummet i försöken i detta projekt skulle vara tätt varvid man kunde ha förväntat sig högre koncentrationer av de skadliga gaserna. Vid jämförelse med andra liknande försök i /16/ och /17/ som varit ventilerade bränder, erhålles liknande koncentrationer av brandgaserna som i denna rapport. Det finns därför anledning att misstänka att brandrummet som användes i detta projekt haft någon form av ventilation bortom författarens kännedom som påverkat brandgasernas koncentration. Ventilationen tycks ha varit förekommande i alla försöken vilket innebär att de har samma förutsättningar och därmed ändå kan jämföras med varandra. Försöksresultaten bör dock inte användas för att dra slutsatser om brand i ett slutet rum då det inte verkar ha varit fallet här.

En annan anledning till att FID-värdena blev låga är att tiden för exponering har varit mycket kort och för så korta exponeringstider har man kunnat klara sig i brandrummet oavsett om det varit sprinklat eller inte. Vid en verklig brand är det sannolikt att man, om man inte själv kan utrymma, kommer att exponeras för brandgaser under en betydligt längre tidsrymd jämfört med hur länge försöken pågått i denna rapport. En frisk människa tar sig antagligen ut från rummet enkelt medan det framförallt är de som inte kan utrymma som tjänar på att ha en sprinkler som dämpar eller släcker en växande brand och förlänger den tid man kan vistas i rummet i väntan på utrymning utan att löpa risk för skador.

Exempel från verkligheten

Ett exempel på ett typiskt användningsområde för sprinkler gavs denna sommar (2003) i Växjö där det inträffade en dödsbrand på ett sjukhus som även fungerade som fängelse. Flera av de intagna var dömda till rättspsykiatrisk vård, några för mordbrand. Just denna brand var anlagd i en av de intagnas rum. Skötare lyckades ta ut den som anlade branden men stängde inte dörren till rummet och branden rökfylld den 60 meter långa korridor som fanns utanför ända ner till golvet. Två människor dog då de inte kunde utrymma till synes på grund av låst utrymningsväg och att räddningstjänsten inte kunde ta sig in genom okrossbara fönster. En sprinklerinstallation i rummet där branden började hade troligtvis gett ett helt annat scenario där en sprinkleraktivering hade dämpat eller till och med släckt branden och hejdat eller fördröjt förloppet. Efter branden har man även från räddningsverket börjat förorda krav på sprinkler i alla nybyggen av detta slag /20/.

6 Slutsatser

I samtliga försök har sprinkleraktivering medfört bättre miljö i brandrummet, både med avseende på giftiga gaser, temperatur och värmestrålning, i jämförelse med de osprinklade försöken och simuleringarna. Det fall där en sprinkleraktivering kan tänkas var oönskad kan vara där man lyckas hålla sig i det undre lagret under utrymning och kan genomföra denna innan brandgaslagret når ner till den nivå man befinner sig. Detta gäller förstås under förutsättning att man kan genomföra utrymning överhuvudtaget. I de fall då person i rummet på något sätt är hindrad från att genomföra utrymning, vilket är fallet som diskuterats mest i denna rapport, ger sprinkler i dessa försök en bättre miljö att vistas i tills man kan få assistans med utrymningen. För personer som själv inte kan utrymma är det således klart gynnsammare att ha en sprinkler som aktiverar i rummet i händelse av brand. Det bör dock påpekas att det är svårt att förhindra att kritiska förhållanden - med avseende på värmestrålning som de definieras i Boverkets byggregler - skall uppstå för en människa som befinner sig nära branden även om man installerar en snabbt aktiverande sprinkler.

Även litteraturstudien bidrar till slutsatsen att sprinkler är ett mycket bra verktyg för att öka chanserna att överleva vistelsen i ett rum där brand bryter ut. Dock bör man inte blint lita på sprinkler utan även ägna tanke åt övrigt brandskydd. Långsam effektutveckling är ett problem för sprinkler, det kan utvecklas sådan mängd giftiga gaser att en person löper allvarlig risk för sin hälsa eller till och med sitt liv innan sprinklern aktiverar. Som åtgärd för detta bör sprinkler kombineras med rökdetektor då en sådan upptäcker och larmar vid dessa långsamma bränder som är sprinklernas svaga sida. Enligt /2/ är även utrymningslarm aktiverat av rökdetektor en del av konceptet med boendesprinkler.

Referenser

- [1] Östman B, Arvidson M, Nystedt F ”Boendesprinkler räddar liv”, Träteknik 2002
- [2] Arvidsson M, ”Boendesprinkler en sammanställning av erfarenheter från USA”, Räddningstjänstavdelningen, Rapport P21-252/98, Räddningsverket Karlstad 1998.
- [3] Nystedt F, ”Bostadsbränder och sprinkler, en koppling till brandteknisk dimensionering” Rapport 3108, Brandteknik, Lunds tekniska högskola Lund 2001
- [4] Sprinklerfrämjandets hemsida, www.sprinklerframjandet.se (2003-10-29)
- [5] NFPA 13 D “Standard for the installation of sprinkler systems in one- and twofamily dwellings and manufactured homes”, National Fire Protection Association, One Batterymarch Park, Quincy MA, 1999.
- [6] NFPA 13 R “Standard for installation of sprinkler systems in residential occupancies up to and including four stories in height”, National Fire Protection Association, Quincy 1999.
- [7] Svenska Brandförsvarsförningens hemsida, www.svbf.se (2003-10-04).
- [8] Nystedt F, ”Deaths in residential fires” Rapport 1026, Brandteknik, Lunds tekniska högskola Lund 2003
- [9] Bennets D, Poh K W, Poon S L, Thomas I R, Lee A C, Beever P F, Ramsey G C, Timms G R, “Fire safety in shopping centres”, Fire Code Reform Research Program, 1998
- [10] Rohr K. “U.S experience with residential sprinkler”. Fire Analysis and Research Division, NFPA, Quincy 2001
- [11] ”Sprinkler focus”, artikel i tidskriften ”Fire Prevention” nr 257, 1993.
- [12] Drysdale D, ”An introduction to Fire Dynamics, second edition” J Wiley & Sons Ltd, Chichester 1999
- [13] Karlsson B & Quintiere J G, “Enclosure Fire Dynamics” CRC Press LLC, 2000
- [14] Fischer S, Forsén r, Hertxberg O, Jacobsson A, Koch B, Runn P, Thaning L, Winter S, “Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor” tredje reviderade upplagan, FOA-R-9700490-990-SE, , FOA 1998
- [15] Fallqvist K, Klippberg A, Wallin A, Boverkets byggregler, Svenska Brandförsvarsförningen, Stockholm 2002.

[16] Schönberg S, "Fullskaleförsök av brand i ett rum med boendesprinkler", Rapport 5061, Brandteknik, Lunds tekniska högskola Lund 2003

[17] Andersson B, Davie F, Holmstedt G, Kenéz A, Särqvist S, "Combustion of chemical substances and the impact on the environment of the fire products", Avdelningen för brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund 1994.

[18] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, second edition, SFPE, Quincy 1995

[19] Bergqvist A, Frantzich H, Hasselrot K, Ingason H; "Räddningsinsatser vid tunnelbränder" Räddningstjänstavdelningen, rapport P21-391, Räddningsverket Karlstad 2001.

[20] Artikel "Frågetecken kring dödsbranden i Växjö", Erlandsson U, Räddningsverkets hemsida www.srv.se (2003-12-17)

Bilaga A - Plungetest

Vid ett plungetest monteras ett sprinklerhuvud i en tunnel med en varm luftström av känd temperatur och man mäter tiden till dess att sprinklerhuvudet aktiverar. Två försök görs för varje sprinklertyp, ett med luftströmmen parallell med oket på sprinklern vilket innebär att oket skuggar själva bulben från luftströmmen och tiden till aktivering därför blir längre. Det andra försöket utförs med oket vinkelrätt mot luftströmmen som alltså innebär en snabbare tid till aktivering. Man erhåller alltså två värden för ett sprinklerhuvuds RTI-värde.

Plungetesten i denna rapport utfördes i Lund vid Brandtekniks laboratorium.

Denna form för beräkning baseras på en värmebalans mellan sprinklerbulben och den varma luftströmmen. All värme antas transporteras till bulben, kylning genom sprinklerhuvudet och energi som går åt för att splittra bulben försummas. Formler hämtas från /18/.

Värmeeffektökningen från luftströmmen antas alltså vara lika med värmeeffektökningen i sprinklerbulben vilket innebär att:

$$\dot{q}_{\text{luftström}} = \dot{q}_{\text{bulb}} \quad [\text{A.1}]$$

Då

$$\dot{q}_{\text{luftström}} = h * A * (T_g - T_d) \quad [\text{A.2}]$$

där

h = Konvektivt värmeövergångstal till sprinklerbulben [$\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$]

A = Sprinklerbulbens area [m^2]

T_g = Temperatur hos den varma luftströmmen [$^\circ\text{C}$]

T_d = Temperatur hos sprinklerbulben [$^\circ\text{C}$]

står för värmetransporten till sprinklerbulben

och

$$\dot{q}_{\text{bulb}} = m * c * \frac{dT_d}{dt} \quad [\text{A.3}]$$

där

m = Massan hos sprinklerbulben [kg]

c = Värmekapacitet hos sprinklerbulben [$\text{kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$]

T_d = Temperatur hos sprinklerbulben [$^\circ\text{C}$]

står för temperaturändringen hos sprinklerbulben, kan man skriva

$$m * c * \frac{dT_d}{dt} = h * A * (T_g - T_d) \quad [\text{A.4}]$$

Man inför en tidskonstant, τ

$$\tau = \frac{m * c}{h * A} \quad [\text{A.5}]$$

som kan sättas in i uttrycket A.1 vilket ger

$$\frac{dT_d}{dt} = \frac{(T_g - T_d)}{\tau} \quad [\text{A.6}]$$

Ekvationen löses /18/ och skrivs om

$$T_d - T_a = (T_g - T_a)[1 - e^{-t/\tau}] \quad [\text{A.6}]$$

där

T_a = Sprinklerbulbens starttemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

T = tid [s]

Om h antas vara proportionell mot $u^{1/2}$ kan RTI-värdet skrivas som

$$RTI = \tau * u^{1/2} \quad [\text{m}^{1/2}\text{s}^{1/2}] \quad [\text{A.7}]$$

där

u = Den varma luftströmmens hastighet = 2 m/s

RTI-värdet beräknas

$$RTI = \frac{-t_r * u^{1/2}}{\ln \frac{T_g - T_a}{T_g - T_r}} \quad [\text{A.8}]$$

där

t_r = tiden tills sprinklerbulben spricker

u = Den varma luftströmmens hastighet = 2 m/s

T_a = Sprinklerbulbens starttemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

T_g = Temperatur hos den varma luftströmmen [$^{\circ}\text{C}$]

T_r = Aktiveringstemperatur hos sprinklerbulben

Resultat från Plungetesten

Konventionella sprinklerhuvudet

Först testades den konventionella sprinklern med oket vinkelrätt med luftströmmen. Sprinklerhuvudet hade en temperatur på 19,5 °C och vattnet ovanför sprinklerhuvudet hade en temperatur på 20,2 °C. Temperaturen hos den varma luftströmmen var 184 °C och sprinklerbulben sprack efter 11 sekunder. Detta ger tidskonstanten till:

$$\tau = \frac{t}{\ln \frac{T_g - T_a}{T_g - T_r}} = \frac{11}{\ln \frac{184 - 20}{184 - 68}} = 31$$

RTI-värdet blir:

$$\text{RTI} = \tau * u^{1/2} = 31 * 2^{1/2} = 45 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$$

Därefter testades den konventionella sprinklern med oket parallellt med luftströmmen. Sprinklerhuvudet hade en temperatur på 22,2 °C och vattnet ovanför sprinklerhuvudet hade en temperatur på 18,2 °C. Temperaturen hos den varma luftströmmen var 186 °C och sprinklerbulben sprack efter 94 sekunder. Detta ger tidskonstanten till:

$$\tau = \frac{t}{\ln \frac{T_g - T_a}{T_g - T_r}} = \frac{94}{\ln \frac{186 - 20}{186 - 68}} = 275 \text{ s}$$

RTI-värdet blir:

$$\text{RTI} = \tau * u^{1/2} = 275 * 2^{1/2} = 390 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$$

Boendesprinklern

Först testades boendesprinklern med oket vinkelrätt med luftströmmen. Sprinklerhuvudet hade en temperatur på 19 °C och vattnet ovanför sprinklerhuvudet hade en temperatur på 17,6 °C. Temperaturen hos den varma luftströmmen var 187 °C och sprinklerbulben sprack efter 9 sekunder. Detta ger tidskonstanten till:

$$\tau = \frac{t}{\ln \frac{T_g - T_a}{T_g - T_r}} = \frac{9}{\ln \frac{187-18}{187-68}} = 25$$

RTI-värdet blir:

$$RTI = \tau * u^{1/2} = 25 * 2^{1/2} = 36 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$$

Därefter testades boendesprinklern med öket parallellt med luftströmmen. Sprinklerhuvudet hade en temperatur på 19,6 °C och vattnet ovanför sprinklerhuvudet hade en temperatur på 18,8 °C. Temperaturen hos den varma luftströmmen var 190 °C och sprinklerbulben sprack efter 32 sekunder. Detta ger tidskonstanten till:

$$\tau = \frac{t}{\ln \frac{T_g - T_a}{T_g - T_r}} = \frac{32}{\ln \frac{190-19}{190-68}} = 94 \text{ s}$$

RTI-värdet blir:

$$RTI = \tau * u^{1/2} = 94 * 2^{1/2} = 134 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$$

Bilaga B - FID- värde

Referens: /19/

Kolmonoxid.

Kolmonoxid är giftigt för människor då den blockerar syrets syreupptagande förmåga och istället för att ta upp O₂ så bildas det i blodet karboxylhemoglobin, COHb. Det är halten av COHb i blodet som är avgörande, 30% används som värde för medvetslöshet och 50% som gräns för när en människa avlider. Då kunskap finnes om koncentrationen av CO i luften omräknas denna till halt COHb i blodet på en tänkt människa som ska befinna sig i brandrummet och på denna halt görs jämförelsen med ett gränsvärde (til exempel 30% eller 50%). Denna omräkning beror på människans andningsvolym, det vill säga hur mycket luft människan andas in (och ut) i l/min. Vid mild aktivitet som det har antagits i denna rapport är den minutvolymen ca 25 l/min vilket ger formeln följande utseende:

$$\text{Fraktionsdos kolmonoxid; } F_{CO} = \frac{K(\text{koncCO}^{1,036})}{30} t$$

där

t = tiden i minuter

$$K = 8,2925 \cdot 10^{-4}$$

Koldioxid

Koldioxid är en giftig gas även den, dock har den som en annan i sammanhanget mycket viktig egenskap att den ökar andningsfrekvensen, den gör att man andas snabbare. På så sätt kan den göra att man andas mer av andra giftiga gaser till exempel kolmonoxid.

$$\text{Fraktionsdos koldioxid; } F_{CO_2} = \frac{1}{e^{(6,1623-0,5189\text{koncCO}_2)}} t$$

där

t = tiden i minuter

Koldioxidens effekt där andningsfrekvensen ökar gör att man får beräkna en korrigeringsfaktor som sedan skall multipliceras med fraktionsdosen för alla andra ämnen som upptas genom andning (vilket i denna rapporten endast blir kolmonoxiden). Denna faktor betecknas VCO₂.

Korrigeringsfaktor för andningsfrekvens koldioxid;

$$V_{CO_2} = \frac{e^{(2,0004+0,1903\text{koncCO}_2)}}{7,1}$$

Syre

En låg koncentration av syre i lokalen kan också ge bidrag till att man tappar medvetandet. Detta bidrag till den totala dosen beräknas på liknande sätt som de andra gaserna.

$$\text{Fraktionsdos syre: } F_{O_2} = \frac{1}{e^{(8,13-0,54(20,9-\text{konc}O_2))}} t$$

där

t = tiden i minuter

Totalt värde på förgiftning

När alla dessa fraktionsdoser och korrigeringsfaktorn är kända kan man beräkna den totala dosen för det aktuella tidsintervallet. I denna rapport beräknas dosen till gränsvärdet medvetlöshet, alltså FID-värdet.

$$FID = V_{CO_2} * F_{CO} + F_{O_2} + F_{CO_2}$$

Detta är bidraget till FID-värdet från ett tidsintervall, summan av denna uträkning från alla tidsintervallen

Bilaga C - Värmestrålning

Flamman

Värmestrålningen från flamman beräknas genom kännedom om brandens effekt.

$$\text{Emottagen värmestrålning } q = \frac{\chi_r * \dot{Q}}{4\pi * R^2} \quad [\text{kW/m}^2] \quad /13/$$

där

χ_r = fraktion av den totala effekten som strålar ut

\dot{Q} = Brandens effekt [kW]

R = Avståndet till bestrålat objekt [m]

Brandgaslagret

Värmestrålningen från brandgaslagret beräknas som

$$\text{Emottagen värmestrålning} = F * \sigma * T^4 \quad [\text{kW/m}^2] \quad /14/$$

där

F = Vinkelkoefficienten för strålände yta mot bestrålad yta

$\sigma = 5,67 * 10^{-8}$ (Stefan-Boltzmanns konstant) [$\text{W/m}^2\text{K}^{-4}$]

T = temperaturen [K]

Vinkelkoefficienten beräknas med hjälp av metod från /12/

Brandgaslagret ansamlas vid taket och fyller hela takets area. Lagret delas in i fyra lika stora delar som synes i den vänstra illustrationen i bild D.1. För varje ruta är faktorerna L1 och L2 konstanta (hälften av rummets längd och bredd). Genom studier av när termoelementen uppmäter temperaturstigning approximeras brandgaslagrets höjd i rummet och därigenom erhålles även parametern D som den betecknas i den högra illustrationen i bild D.1.

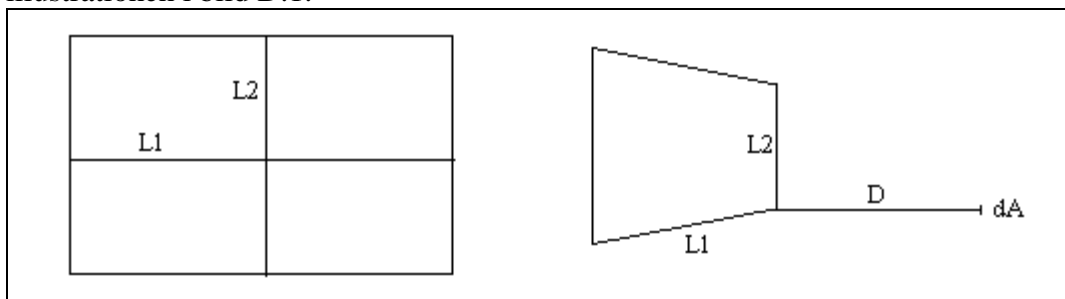


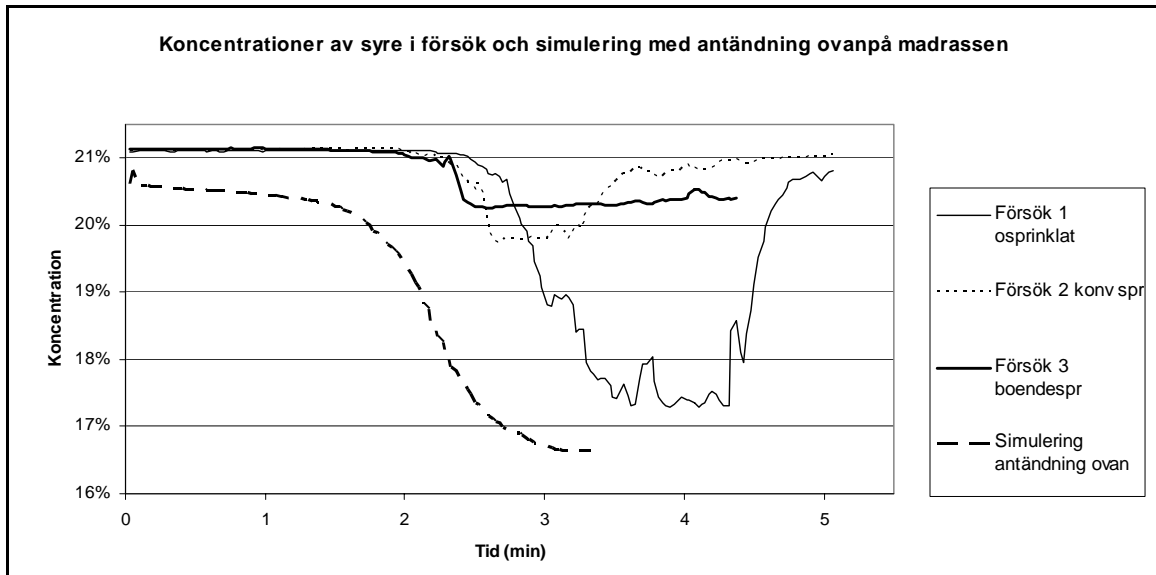
Bild D.1. Uppdelning av brandgaslagret i fyra lika stora rutor (vänstra illustrationen) samt parametrarna för varje ruta (högra illustrationen).

En tänkt person som befinner sig i rummet antas befinna sig mitt i rummet och antas även befinna sig där genom hela försöket. Det innebär att den enda parametern som ändras vad gäller vinkelkoefficienten är avståndet till brandgaslagret (parameter D i bild D.1, högra illustrationen) som sänks allteftersom brandförloppet fortskrider. Då alla parametrarna, L1, L2 och D är kända återstår endast att ur tabell utläsa vilken vinkelkoefficient som erhålles för en av de fyra rutorna samt sedan multiplicera denna med fyra för att erhålla vinkelkoefficienten för hela brandgaslagret /12/.

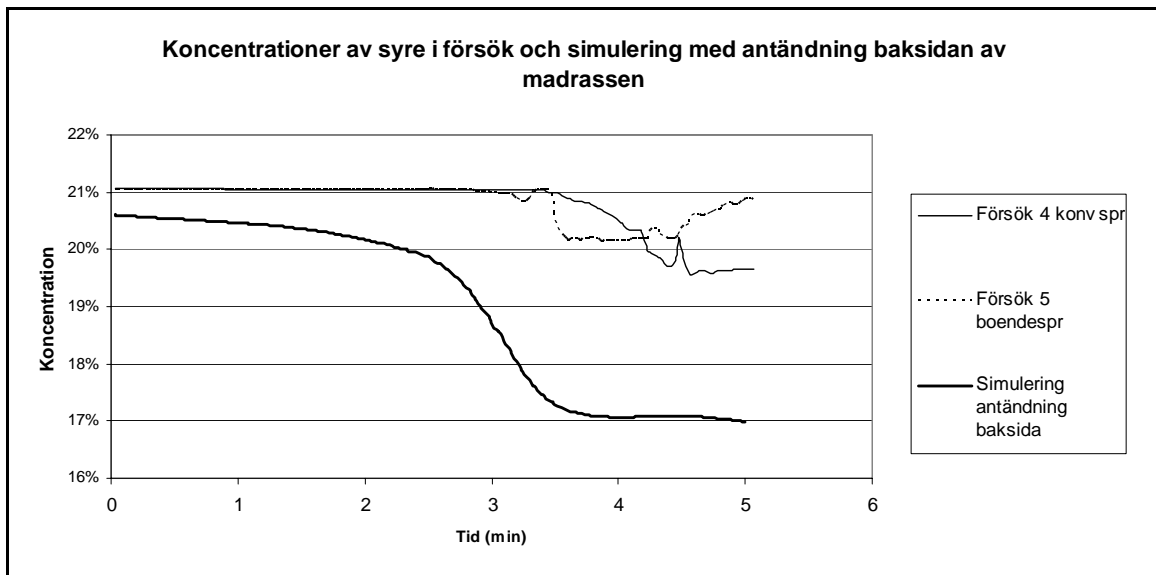
Bilaga D - Gaskoncentrationer

Nedan redovisas diagram för koncentrationer av O₂, CO₂ och CO i försöken samt simuleringarna i FAST

O₂

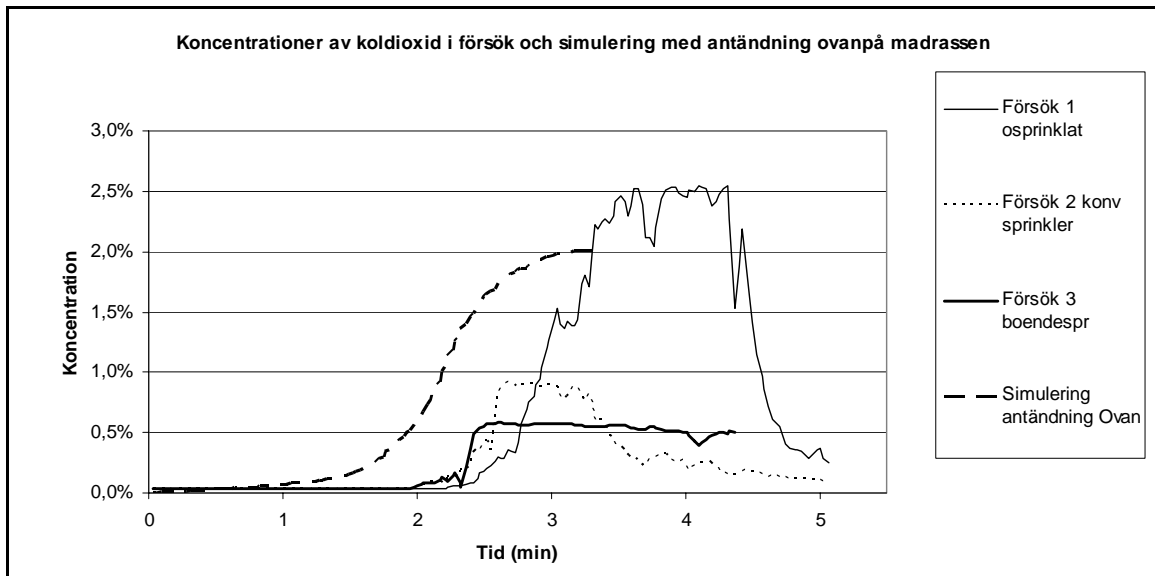


Figur D.1. Koncentration av syre i försök 1-3 samt simulering av antändning ovanpå madrass.

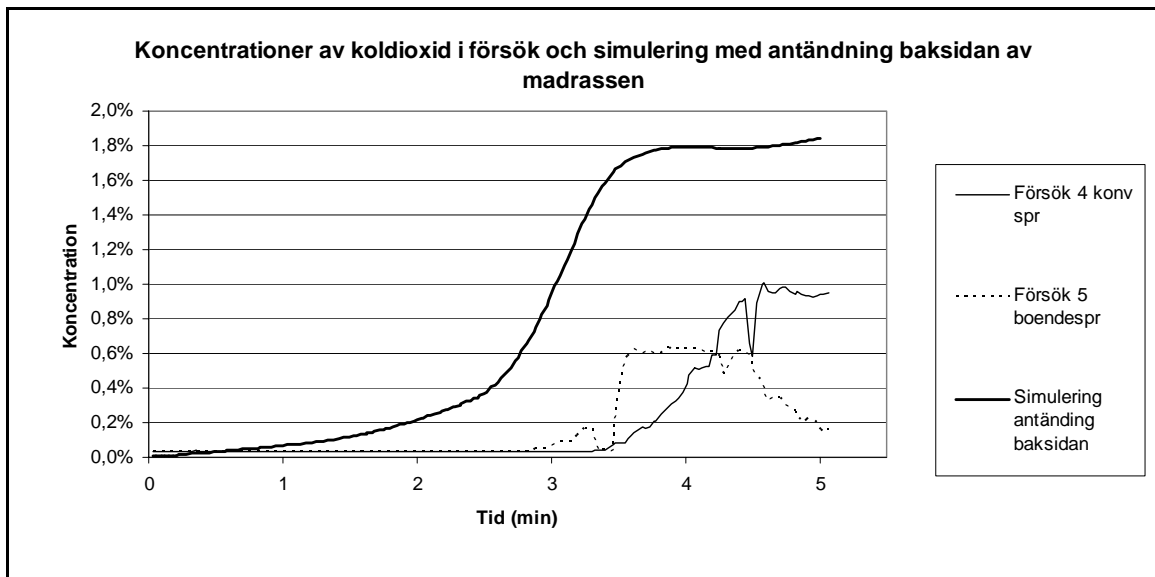


Figur D.2. Koncentration av syre i försök 4-5 samt simulering av antändning baksida madrass.

CO₂

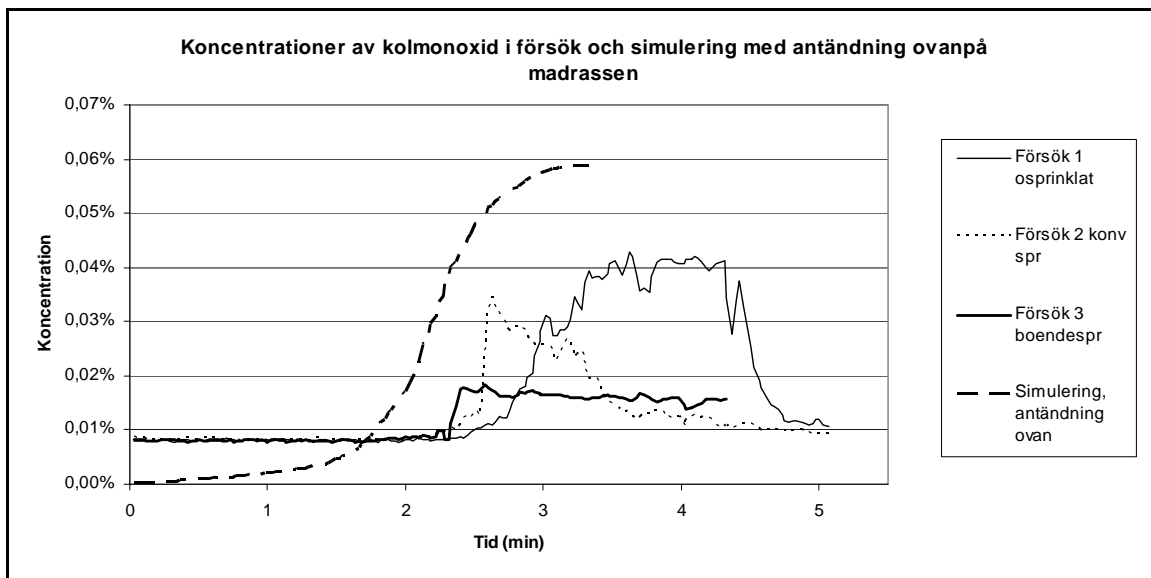


Figur D.3. Koncentration av koldioxid i försök 1-3 samt simulering av antändning ovanpå madrass.

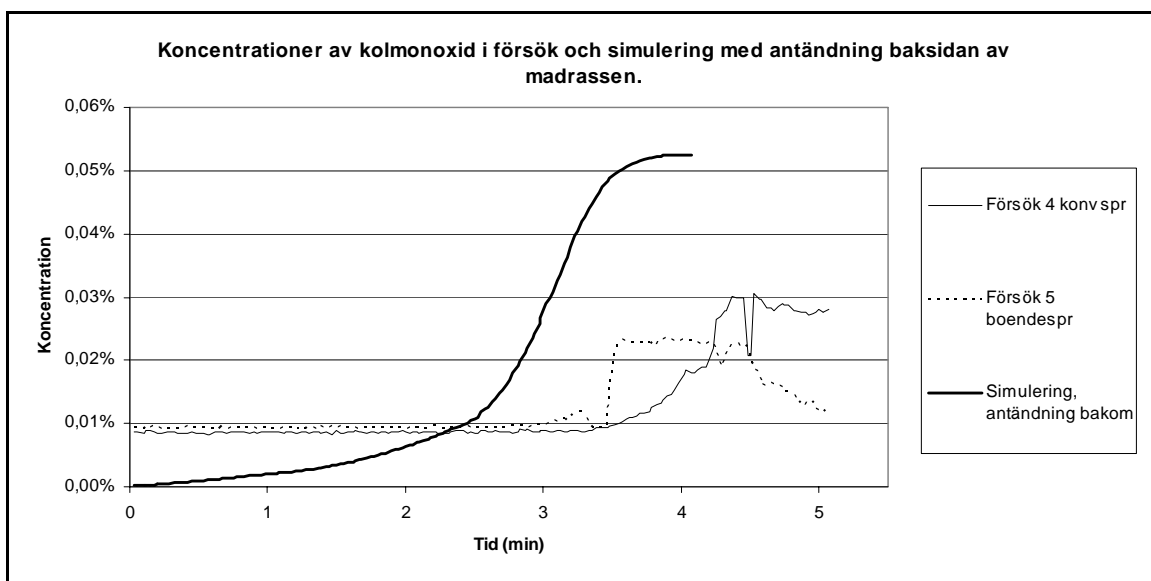


Figur D.4. Koncentration av koldioxid i försök 4-5 samt simulering av antändning ovanpå madrass.

CO



Figur D.5. Koncentration av kolmonoxid i försök 1-3 samt simulering av antändning ovanpå madrass.

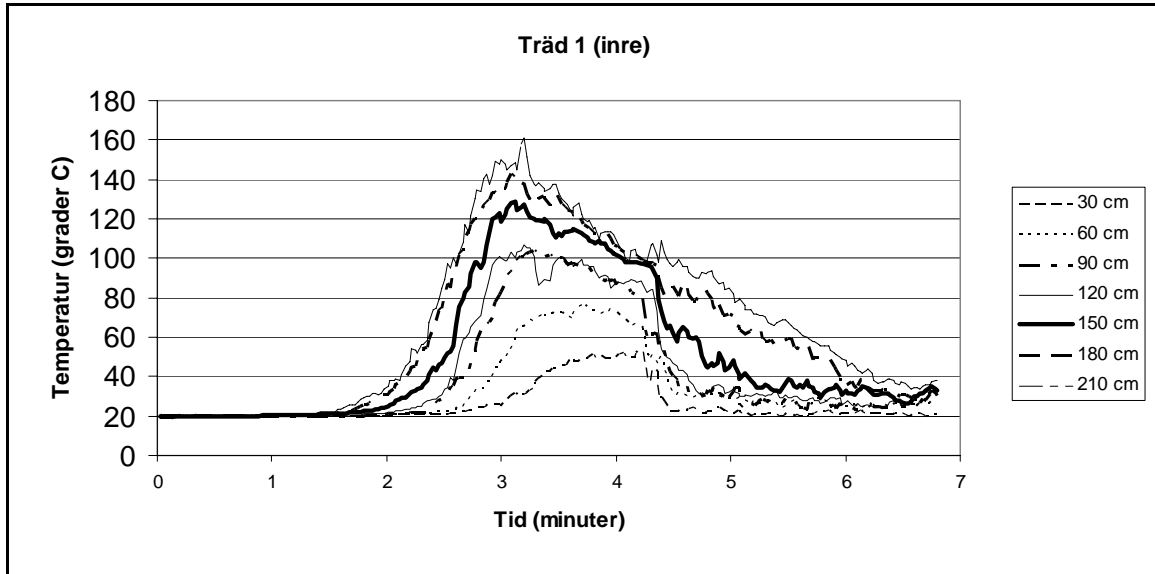


Figur D.6. Koncentration av kolmonoxid i försök 4-5 samt simulering av antändning ovanpå madrass.

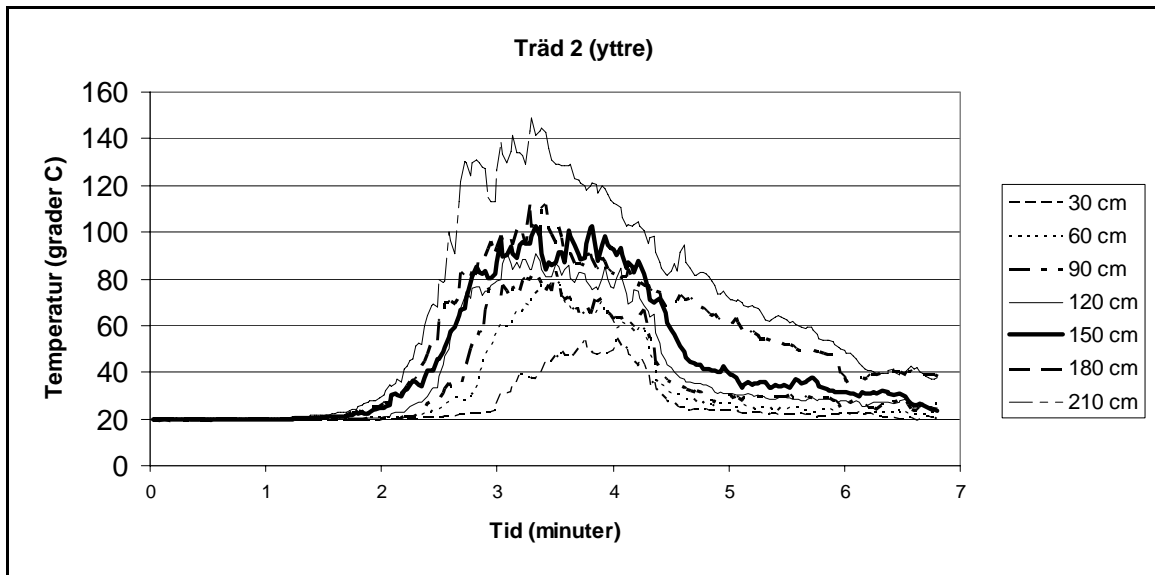
Bilaga E - Temperaturer

Nedan visas temperaturkurvorna för respektive försök.

Försök 1

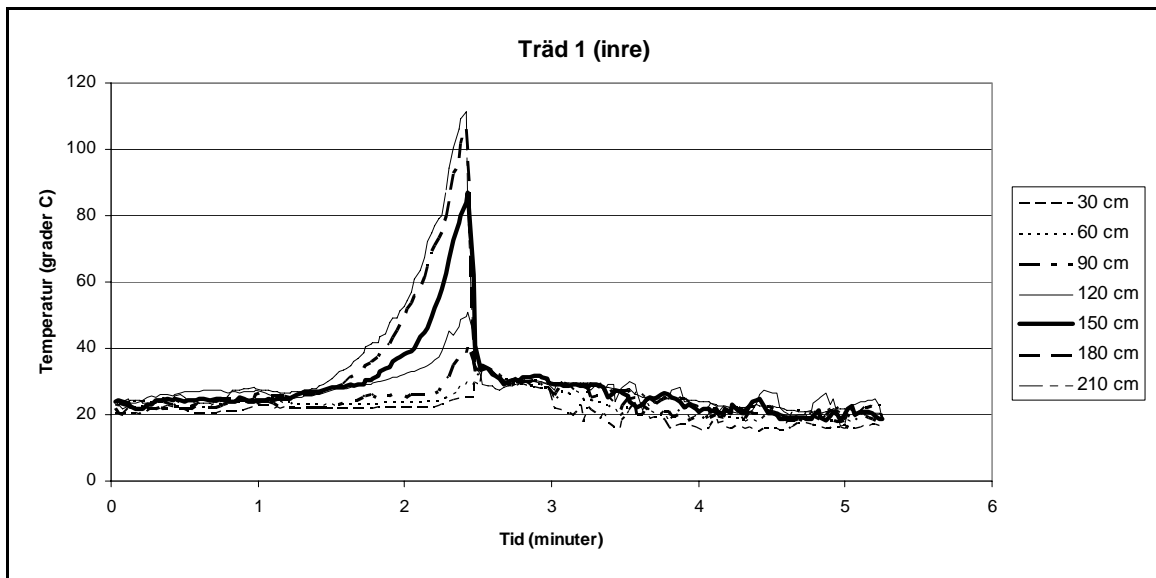


Figur E.1. Temperaturer från Träd 1 (inre trädet) i försök 1 (osprinklat).

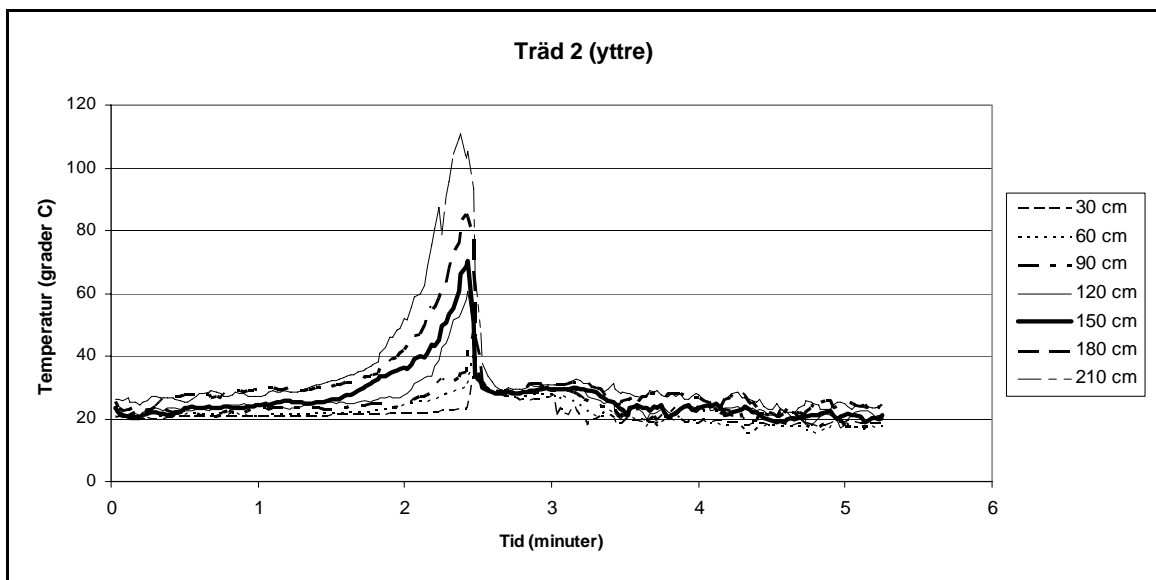


Figur E.2. Temperaturer från Träd 2 (yttre trädet) i försök 1 (osprinklat).

Försök 2

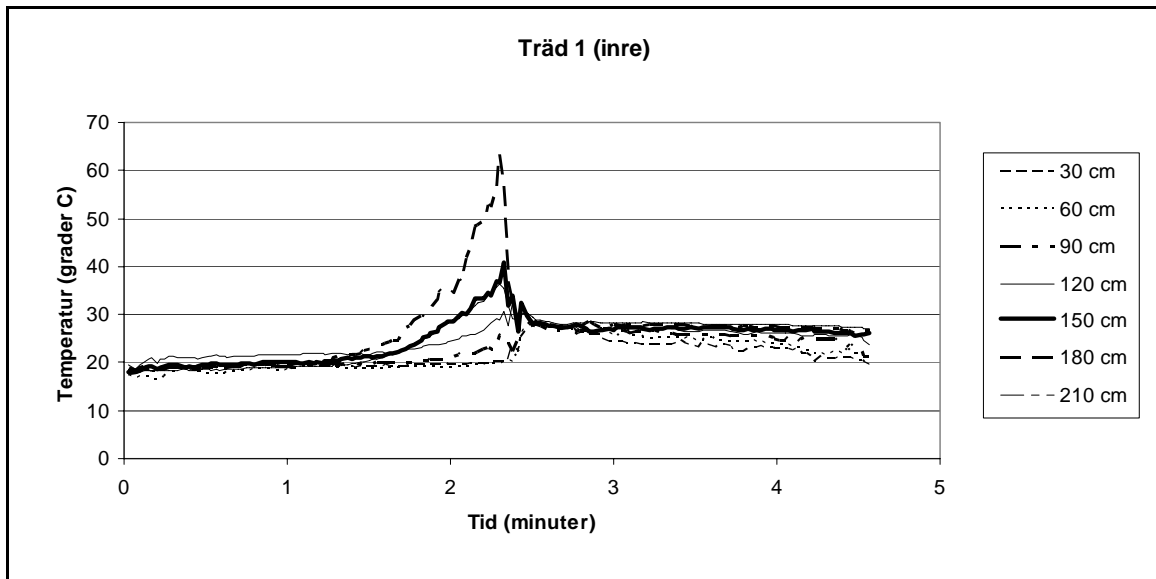


Figur E.3. Temperaturer från Träd 1 (inre trädet) i försök 2.

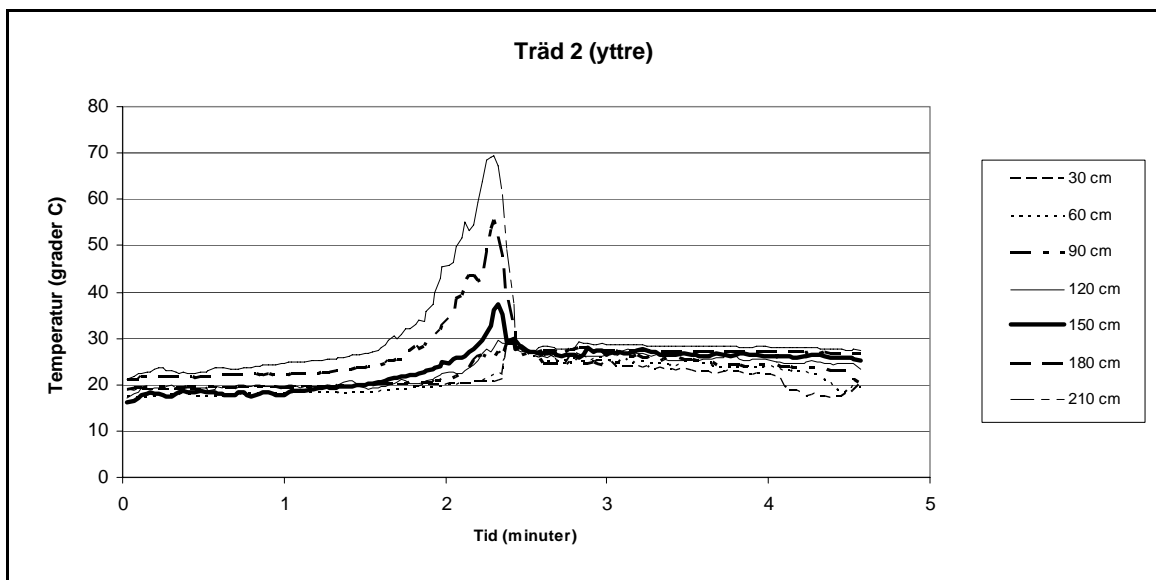


Figur E.4. Temperaturer från Träd 2 (yttre trädet) i försök 2.

Försök 3

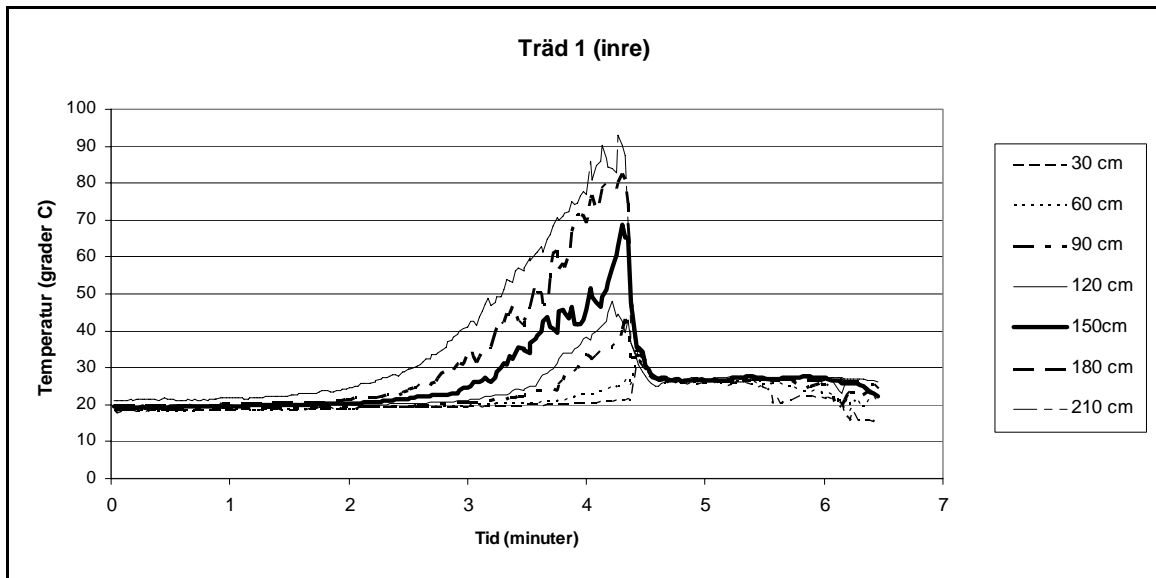


Figur E.5 Temperaturer från Träd 1 (inre trädet) i försök 3.

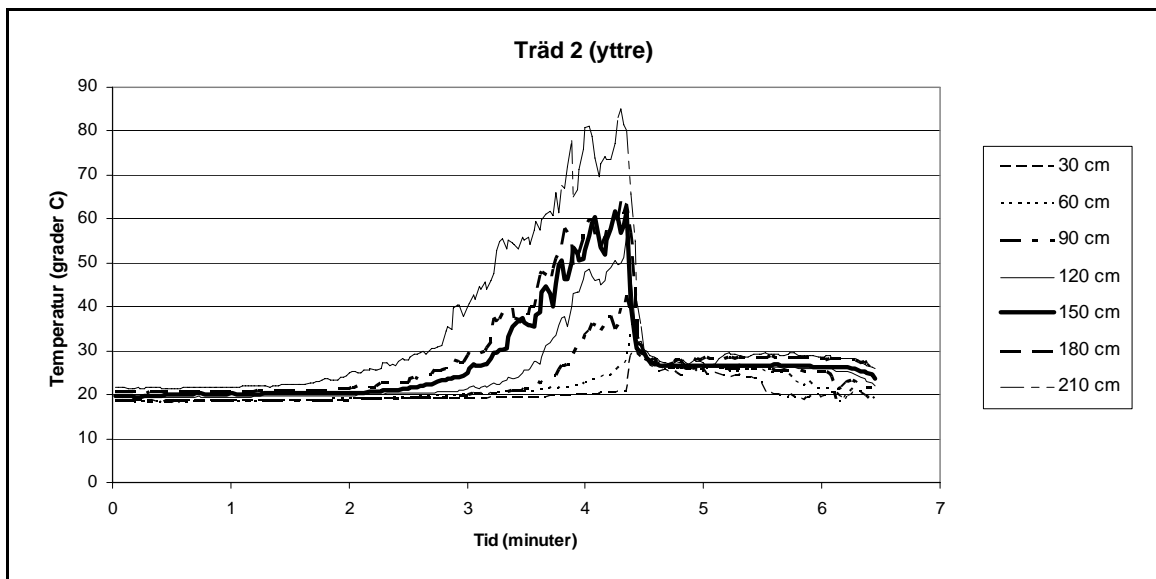


Figur E.6. Temperaturer från Träd 2 (yttre trädet) i försök 3.

Försök 4

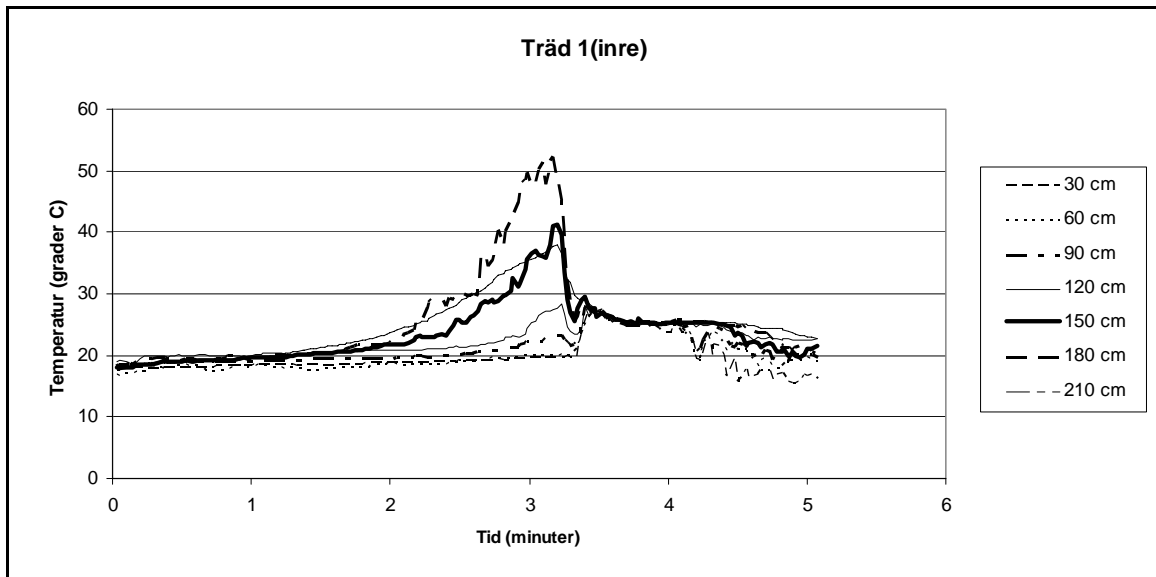


Figur E.7. Temperaturer från Träd 1 (inre trädet) i försök 4.

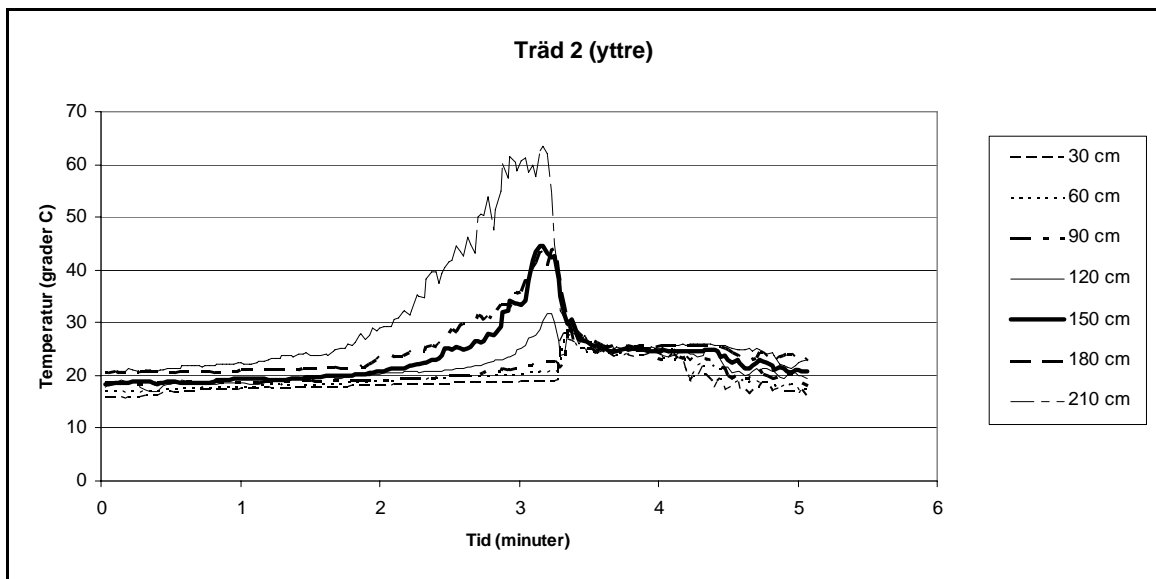


Figur E.8 Temperaturer från Träd 2 (yttre trädet) i försök 4.

Försök 5

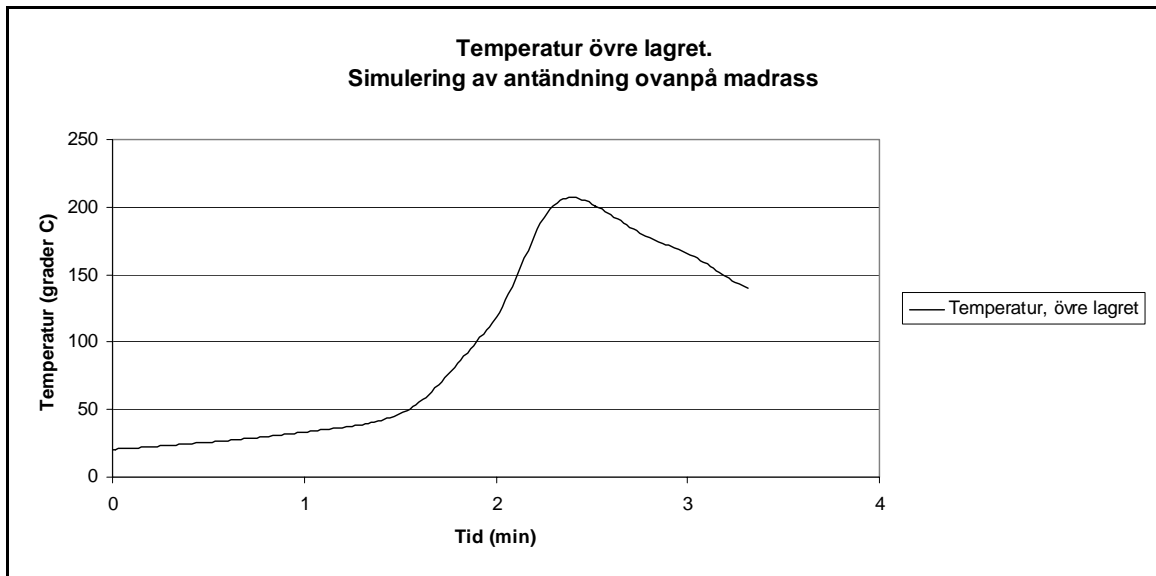


Figur E.9 Temperaturer från Träd 1 (inre trädet) från försök 5.



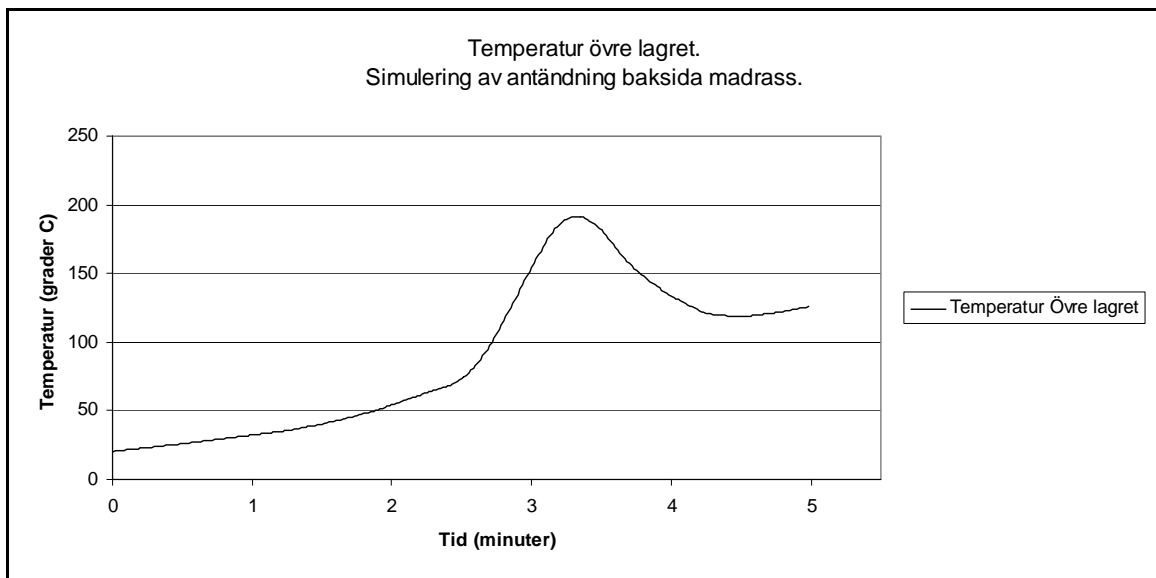
Figur E.10. Temperaturer från Träd 2 (yttre trädet) från försök 5.

Simulering i FAST, antändning ovanpå madrass



Figur E.11. Temperatur från simulering av fallet antändning ovanpå madrass.

Simulering i FAST, antändning baksida madrass



Figur E.12. Temperatur från simulering av fallet antändning baksida madrass.

Bilaga F - Indatafiler till FAST

Antändning ovensida:

```
VERSN 3One Compartment Base Case
#VERSN 3 One Compartment Base Case
TIMES 200 2 1 2 0
ADUMP PBROVAN4.RES NS
TAMB 293.150 101300.000000
EAMB 293.150 101300.000000
HI/F 0.000000
WIDTH 3.40000
DEPTH 4.20000
HEIGH 2.55000
CEILI CONCRETE
WALLS CONCRETE
FLOOR CONCRETE
#CEILI CONCRETE
#WALLS CONCRETE
#FLOOR CONCRETE
HVENT 1 2 1 0.050000 2.10000 0.100000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 1 2 1 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
HVENT 1 2 2 0.050000 2.10000 0.100000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 1 2 2 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
HVENT 1 2 3 0.050000 2.10000 0.100000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 1 2 3 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
HVENT 1 2 4 0.050000 2.10000 0.100000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 1 2 4 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
CHEMI 16.0000 50.0000 10.0000 2.50000E+007 293.150 493.150 0.300000
LFBO 1
LFBT 2
CJET OFF
FPOS 0.400000 0.500000 1.00000
FTIME 26.0000 55.0000 77.0000 90.0000 105.000 117.000
125.000 132.000 144.000 150.000 162.000 174.000 180.000
186.000 192.000
```

```

FMASS  0.000000  0.000120000  0.000280000  0.000400000  0.00100000
0.00300000  0.00400000  0.00736000  0.00896000  0.00676000  0.00588000
0.00476000  0.00448000  0.00400000  0.00320000  0.00280000
FQDOT  0.000000    3000.00    7000.00   10000.0   25000.0   75000.0
100000.  184000.  224000.  169000.  147000.  119000.  112000.
100000.  80000.0  70000.0
HCR    0.142700  0.142700  0.142700  0.142700  0.142700  0.142700
0.142700  0.142700  0.142700  0.142700  0.142700  0.142700  0.142700
0.142700  0.142700  0.142700
O2     0.213000  0.213000  0.213000  0.213000  0.213000  0.213000
0.213000  0.213000  0.213000  0.213000  0.213000  0.213000  0.213000
0.213000  0.213000  0.213000
OD     0.129300  0.129300  0.129300  0.129300  0.129300  0.129300
0.129300  0.129300  0.129300  0.129300  0.129300  0.129300  0.129300
0.129300  0.129300  0.129300
CO     0.0186700  0.0186700  0.0186700  0.0186700  0.0186700  0.0186700
0.0186700  0.0186700  0.0186700  0.0186700  0.0186700  0.0186700
0.0186700  0.0186700  0.0186700  0.0186700
SELECT 1 0 0
#GRAPHICS ON
DEVICE 1
WINDOW 0. 0. -100. 1280. 1024. 1100.
LABEL 1 970. 960. 0. 1231. 1005. 10. 15 00:00:00 0.00 0.00
GRAPH 1 100. 50. 0. 600. 475. 10. 3 TIME HEIGHT
GRAPH 2 100. 550. 0. 600. 940. 10. 3 TIME CELSIUS
GRAPH 3 720. 50. 0. 1250. 475. 10. 3 TIME FIRE_SIZE(kW)
GRAPH 4 720. 550. 0. 1250. 940. 10. 3 TIME O|D2|O()
HEAT 0 0 0 0 3 1 U
TEMPE 0 0 0 0 2 1 U
INTER 0 0 0 0 1 1 U
O2 0 0 0 0 4 1 U

```

Antändning baksida:

VERSN 3One Compartment Base Case
#VERSN 3 One Compartment Base Case
TIMES 300 2 1 2 0
ADUMP PBRBAK2.RES NS
TAMB 293.150 101300.0.000000
EAMB 293.150 101300.0.000000
HI/F 0.000000
WIDTH 3.40000
DEPTH 4.20000
HEIGH 2.55000
CEILI CONCRETE
WALLS CONCRETE
FLOOR CONCRETE
#CEILI CONCRETE
#WALLS CONCRETE
#FLOOR CONCRETE
HVENT 1 2 1 0.0500000 2.10000 0.100000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 1 2 1 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000
HVENT 1 2 2 0.0500000 2.10000 0.100000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 1 2 2 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000
HVENT 1 2 3 0.0500000 2.10000 0.100000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 1 2 3 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000
HVENT 1 2 4 0.0500000 2.10000 0.100000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 1 2 4 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000
CHEMI 16.0000 50.0000 10.0000 2.50000E+007 293.150 493.150 0.300000
LFBO 1
LFBT 2
CJET OFF
FPOS 0.400000 0.500000 1.00000
FTIME 33.0000 69.0000 104.000 121.000 145.000 154.000
174.000 188.000 200.000 216.000 240.000 252.000 258.000
270.000 276.000 282.000 288.000 294.000 300.000

```

FMASS  0.000000  0.000160000  0.000280000  0.000600000  0.000880000
0.00112000  0.00240000  0.00560000  0.00700000  0.00600000  0.00320000
0.00240000  0.00212000  0.00240000  0.00252000  0.00268000  0.00276000
0.00288000  0.00296000  0.00304000
FQDOT  0.000000  4000.00  7000.00  15000.0  22000.0  28000.0
60000.0  140000.  175000.  150000.  80000.0  60000.0  53000.0
60000.0  63000.0  67000.0  69000.0  72000.0  74000.0  76000.0
HCR    0.142700  0.142700  0.142700  0.142700  0.142700  0.142700  0.142700
0.142700  0.142700  0.142700  0.142700  0.142700  0.142700  0.142700
0.142700  0.142700  0.142700  0.142700  0.142700  0.142700  0.142700
O2     0.213000  0.213000  0.213000  0.213000  0.213000  0.213000  0.213000
0.213000  0.213000  0.213000  0.213000  0.213000  0.213000  0.213000
0.213000  0.213000  0.213000  0.213000  0.213000  0.213000  0.213000
OD     0.129300  0.129300  0.129300  0.129300  0.129300  0.129300  0.129300
0.129300  0.129300  0.129300  0.129300  0.129300  0.129300  0.129300
0.129300  0.129300  0.129300  0.129300  0.129300  0.129300  0.129300
CO     0.0186700  0.0186700  0.0186700  0.0186700  0.0186700  0.0186700  0.0186700
0.0186700  0.0186700  0.0186700  0.0186700  0.0186700  0.0186700  0.0186700
0.0186700  0.0186700  0.0186700  0.0186700  0.0186700  0.0186700  0.0186700
0.0186700  0.0186700
SELECT 1 0 0
#GRAPHICS ON
DEVICE 1
WINDOW 0. 0. -100. 1280. 1024. 1100.
LABEL 1 970. 960. 0. 1231. 1005. 10. 15 00:00:00 0.00 0.00
GRAPH 1 100. 50. 0. 600. 475. 10. 3 TIME HEIGHT
GRAPH 2 100. 550. 0. 600. 940. 10. 3 TIME CELSIUS
GRAPH 3 720. 50. 0. 1250. 475. 10. 3 TIME FIRE_SIZE(kW)
GRAPH 4 720. 550. 0. 1250. 940. 10. 3 TIME O|D2|O()
HEAT 0 0 0 0 3 1 U
TEMPE 0 0 0 0 2 1 U
INTER 0 0 0 0 1 1 U
O2 0 0 0 0 4 1 U

```