

Strålningsrespons hos brandhjälm

Fredrik Borgström

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

Brandteknik och Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 5316, Lund 2009

Strålningsrespons hos brandhjälm

Fredrik Borgström

Lund 2009

Titel – Strålningsrespons hos brandhjälm
Title – Fire helmet's response to thermal radiation

Author: Fredrik Borgström

Report 5316

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5316--SE

Number of pages: 76

Illustrations: Fredrik Borgström (unless otherwise stated)

Keywords

EN 443:2008, Firefighter's helmet, protective gear, thermal radiation.

Sökord

EN 443:2008, brandhjälm, skyddsutrustning, termisk strålning.

Abstract

Fire fighters in Sweden claimed that helmets used as protective gear during exercises melted because of the thermal heat exposure. According to European certification methods helmets are tested towards thermal radiation to ensure that the protective gear still meets the regulations. This report has evaluated if the certification methods are adequate for a Swedish fire fighter's environment and which kind of affect thermal radiation has to helmets. The study shows that methods providing helmets with certification are appropriate from a Swedish perspective and that it's not the helmet that limits the fire fighter due to its protective ability; it's himself.

© Copyright: Brandteknik och Riskhantering, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet,
Lund 2009.

Författaren svarar för innehållet i rapporten

Brandteknik och Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

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

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

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

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

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

Sammanfattning

Incidenter med brandhjälm låg till grund för påståendet att temperatur- och strålningspåverkan i övningssituationer vid somliga tillfällen orsakade så pass omfattande skador att hjälmarna omgående borde kasseras. Rapporten har utrett om brandhjälm på marknaden är undermåliga.

Marknaden idag utgörs till stor del av två olika sorters brandhjälm. Dels finns det komposithjälmen, även mer känd som glasfiberhjälmen, dels finns det termoplasthjälmen. Komposithjälmen är en sammanslagning av två material där det ena materialet, oftast glasfiber, fungerar som armering och det andra materialet, ofta hårdplast, fungerar som bindemedel. Armeringen ger komposithjälmen styrka och stabilitet på bekostnad av termiska egenskaper. Termoplasthjälmen har däremot bättre egenskaper mot heta miljöer men kan ej uppvisa samma styrka som den armerade komposithjälmen.

Ansvar för att lagstiftningen kring arbetsmiljöer efterföljs ligger hos Arbetsmiljöverket som genom sina föreskrifter och allmänna råd publicerar det som skall och bör följas för att inte bryta mot lagen. Direktiven som tas upp i föreskriften om personlig skyddsutrustning är i många fall generella och oprecisa. För att förtydliga vilka krav som skall uppfyllas med föreskrifterna finns det vedertagna standarder. Om utrustningen uppfyller de krav som finns i standarden innebär det att den även uppfyller de föreskrifter ur vilka standarderna har kommit. Uppdraget att ta fram olika standarder för personlig skyddsutrustning har delegerats till två europeiska standardiseringsorgan, CEN samt CENELEC. Den senaste europastandarden för brand- och räddningshjälm, EN 443:2008, gäller som svensk standard och har fått därmed beteckningen SS-EN 443:2008. Den amerikanska motsvarigheten till EN 443 är NFPA 1971.

Strålkällorna vid en lägenhetsbrand kan sammanfattas med:

- Vertikala flammor ovanför brandhärden
- Heta ytor i lokalens övre regioner
- Horisontella flammor under taket
- Brandgaserna som ansamlas under taket

Empiriska mätningar vid Myndigheten för Samhällskydd och Beredskap (MSB) i Revinge visade på storheter av strålning vid lägenhetsbränder som överensstämde med de teoretiskt redovisade motsvarigheterna vilka ligger kring 20 kW/m². Mätningarna från uppställningen vid MSB utfördes under mycket korta tidsintervaller, 10-16 sekunder, men tiden var ändå tillräcklig för att märkbart påverka den fysiska person som utsattes för denna strålningsnivå. Tidsaspekten vid strålförarcontainern gav en indikation på hur länge fullt utrustad personal klarar av att vistas i denna termiska påfrestning, en aspekt som i sammanhanget bör beaktas.

En försöksuppställning, där möjligheter att exponera brandhjälm mot termisk strålning under kontrollerade förhållanden, arrangerades vid Brandtekniks laboratorium vid LTH. Sex olika hjälm från marknaden exponerades för olika strålningsintensiteter under förbestämda tidsintervaller. Resultatet från försöksuppställningen visar på att det krävs relativt höga strålningsnivåer innan brandhjälm uppvisar synlig påverkan; något som bör ställas mot vilka nivåer en fysisk person klarar av.

Rapporten har renderat i följande slutsatser:

- Standardens krav på 14 kW/m² under 8 minuter anses vara mer än tillräcklig
- Brandhjälm tar skada av termisk strålning, dock krävs strålningsnivåer som långt överskrider vad brukaren klarar av
- Med största sannolikhet existerar ett tröskelvärde mellan 5 och 10 kW/m² där skadorna radikalt förändras
- Missfärgning är den första indikationen på att degradering av materialet börjar ske
- Brukaren bör vara väl införstådd i de instruktioner som bifogas produkten för optimering av hjälmens kvalité och livslängd
- Konsumenten bör av leverantören erbjudas fackmansk kontroll av brandhjälms status för att avgöra huruvida kraven på skyddsnivån uppfylls eller ej

Det skall härmed understrykas att brandhjälm är en skyddsutrustning. Om den har tappat sin skyddsförmåga har detta förhoppningsvis skett när den skyddade brukaren; därigenom har hjälmen uppfyllt sitt ändamål.

Summary

Incidents with fire helmets were the origin of the claim that high temperature and thermal radiation in fire exercises at some occasions caused damages so severe that the protective gear immediately should be replaced. This report has investigated if helmets on the market are substandard.

Today's market is dominated by two kinds of fire helmets. First there is the composite helmet, also known as the fiberglass helmet; secondly there is the thermoplastic helmet. The composite helmet is an amalgamation of two materials where one material, commonly fiberglass, serves as reinforcement, and the other material, usually thermosetting plastic, acts as a binder. The reinforcement gives strength and stability to the composite helmet at the expense of thermal properties. The thermoplastic helmet, on the other hand, has better properties in hot environments, but can not exhibit the same strength as the reinforced composite helmet.

Responsibility for the following of legislations at working places lies with the Swedish Work Environment Authority, Arbetsmiljöverket, which by its provisions and guidelines publishes what must and should be followed in order not to violate the law. The directives included in the provision of personal protective equipment are often general and imprecise. In order to clarify the requirements to be complied with the regulations, there are accepted standards. If the equipment meets the requirements of the standard it also complies with the provision from which the standard has been created. The task of producing different standards for personal protective equipment has been delegated two European standardization units, CEN and CENELEC. The latest European standard for fire and rescue helmets, EN 443:2008, is valid as Swedish standard under the designation SS-EN 443:2008. The American equivalent of EN 443 is NFPA 1971.

Sources in a compartment fire that produces thermal radiation can be summarized with:

- Vertical flames above the fire
- Hot areas in the upper part of the compartment
- Horizontal flames under the ceiling
- Combustion gases collected under the ceiling

Empirical measurements at the Swedish authority MSB in Revinge revealed quantities of radiation in the compartment fire that concurred with the theoretical reported quantities, which approximately are 20 kW/m². The measurements at MSB was collected during relatively short time intervals, 10-16 seconds, but was still sufficient to significantly affect the individual who was exposed to the radiation level. The time aspect gave an indication of how long the fully equipped personnel are capable of staying in this type of habitat, an aspect that should be considered in context.

An experimental setup, where fire helmets could be exposed to thermal radiation under controlled conditions, was arranged at Brandteknik's laboratory, LTH. Six different helmets from the market were exposed to different levels of thermal radiation during predetermined time intervals. Results from the arranged setup shows that quite high levels of radiation is needed before the helmets exhibit visible damage, these levels should be compared to those who a fully equipped person can handle.

The report has rendered the following conclusions:

- The standards requirement of 14 kW/m² for 8 minutes is considered to be more than sufficient
- Fire helmets will be damaged by thermal radiation, however requires radiation levels that by far exceeds what the user is tolerant against
- Most likely exist a threshold between 5 and 10 kW/m² in which damage radically change
- Discoloration is the first indication that degradation of the material begins
- The user should be well understood in the instructions that accompanies the product for the optimization of the helmets quality and durability
- Consumers should be offered professional inspection of the fire helmet's status for determination whether the requirements for protection are met or not

It should hereby be noted that the fire helmet is a protective gear. If it has lost its protective capacity, this has hopefully been done during protection of the user. Thereby the helmet has served its purpose.

Förord

Under höstens gång har flertalet personer bidragit med attiraljer och synpunkter som alla möjliggjort denna rapports författande. Ett stort tack riktas till Dräger, Brissmans Brandredskap, Brinab AB samt Sala Brand som alla skänkt fler eller färre antal nya brandhjälmars till rapporten. Ett extra tack riktas också till Hans Höglin, Dräger, som även delgivit många värdefulla synpunkter inom ämnesområdet. Per Rosén, sekreterare i Brandhistoriska Sällskapet, skall också nämnas för sitt dokument gällande brandhjälmars historia.

Jag vill även passa på att uppmärksamma Stefan Svensson, Tekn. Dr. vid MSB, som inte bara bidragit med uppslaget utan även fungerat som handledare och bollplank. Dina åsikter, värderingar och råd har alla med fördel flankerat rapporten och dess innehåll.

Slutligen vill jag även tacka Mats Sundbom, initial autodidakt mentor och i ett senare skede även opponent.

Lund, december 2009

Fredrik Borgström

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Frågeställning	2
1.4 Metod	2
1.5 Målgrupp	3
1.6 Avgränsningar	3
1.7 Disposition och läsanvisning.....	3
2. Brandhjälmen	6
2.1 Historik	6
2.2 Dagens skyddshjälmor	6
2.2.1 Komposithjälmen	7
2.2.1.3 Glasfiber	7
2.2.2 Plasthjelmen	7
3. Kriterier och provmetoder	8
3.1 Arbetsmiljöverkets författningssamling	8
3.2 SS-EN 443:2008	10
3.2.1 Slagseghet.....	10
3.2.2 Penetrationsresistens.....	11
3.2.3 Horisontell deformation	11
3.2.4 Strålningsvärme.....	12
3.2.5 Skydd mot smält metall.....	12
3.2.6 Värmeresistens.....	12
3.2.7 Resistens mot flammor	12
3.2.8 Elektriska egenskaper.....	13
3.2.9 Synfält.....	13
3.3 EN 443:1997	13
3.4 NFPA 1971	13
4. Strålning.....	15
4.1 Utsänd strålning	15
4.2 Infallande strålning.....	16
5. Insats- och övningssituationer.....	19
5.1 Brand i byggnad.....	19

5.2 Brand ej i byggnad	20
5.3 Temperatur och strålning	20
6 Empirisk undersökning	22
6.1 Utrustning och material	22
6.1.1 Strålningsalstrare.....	22
6.1.2 Strålningsmätare	22
6.1.3 Termoelement.....	24
6.1.4 Kalibreringsugn.....	24
6.1.5 Hjälmor	24
6.2 Uppmätt temperatur och strålning, Revinge	25
6.2.1 Förevisningscontainer	25
6.2.2 Strålförarcontainern	27
6.2.3 Brandövningshuset.....	30
6.2.4 Summering av resultat, Revinge.....	31
6.3 Mätningar vid Brandteknik, LTH.....	31
6.3.1 Försökupställning.....	31
6.3.2 Temperaturkontroll av strålningspanel.....	32
6.3.3 Visuell påverkan	33
6.3.4 Temperaturnivåer.....	35
7. Diskussion.....	37
8. Slutsats	41
9. Förslag till fortsatt forskning	42
10. Ordlista	43
11. Nomenklatur.....	44
12. Referenser	45
Appendix A - Beräkningar.....	47
Appendix B – Temperaturprofiler, brandgaser	51
6.1 Förevisningscontainer	51
6.2 Brandövningshuset.....	54
Appendix C – Temperaturprofiler, brandhjälmor.....	58
Appendix D – hjälmmodeller	62
Appendix E – Kalibrering	63
Appendix F – Bilder från påverkade brandhjälmor	65

1. Inledning

”Nya brandhjälmen smälter vid hetta”

Den oroväckande nyheten att det fanns brandhjälmor som förstördes i samband med övning publicerades i en artikel av Brodin (2007) i Dalarnas Tidningar under oktober 2007. Trots att skyddsutrustningen uppfyllde EU-direktiven och därmed de krav som ställs på brandhjälmor i Sverige, orsakade temperatur- och strålningspåverkan i övningssituationer vid somliga tillfällen så pass omfattande skador att hjälmarna omgående borde kasseras. Händelsen som låg till grund för artikeln i Dalarnas Tidning är dock inte den enda incidenten av denna karaktär. Tillsammans har de initierat intresset av att djupare undersöka ämnet.

Rapporten har initierats av Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB) som delvis har bidragit med ekonomiskt stöd för att möjliggöra arbetet.

1.1 Bakgrund

För att leva upp till de föreskrifter som gäller för personsäkerheten vid arbetsområden inom räddningstjänsten erhåller anställda inom brandförsvaret personlig skyddsutrustning vid rekryteringen. Utrustningen har vid tillverkning testats med gällande certifieringsmetoder för att försäkra konsumenten om kvalitén på produkten som levererats. Den arbetsmiljö som personal inom svensk räddningstjänst vistas i under övning och insats ger dock upphov till slitage på utrustningen och därmed även en sänkning av skyddsnivån. Om inte en personlig skyddsutrustning klarar av de krav som ställs bör den bytas ut. Det finns dock exempel inom räddningstjänsten på utrustning som tenderar att följa arbetstagaren under hela anställningen utan fortlöpande kontroller på dess prestanda.

Hur brandhjälmor påverkas av strålningsexponering är i dagsläget ett ämnesområde som det ej finns så mycket publicerat om i offentliga dokument. De studier som är gjorda om strålning i brandsammanhang behandlar uteslutande hur användaren påverkas av de termiska påfrestningarna, inte vilka reaktioner skyddsmaterialet uppvisar. Vad som däremot är känt gällande skyddshjälmor i allmänhet är att de material som ingår i uppbyggnaden har en tendens till att degraderas under inverkan av strålning. En större studie som utfördes i Nya Zeeland under 90-talet undersökte hur skyddshjälmor inom skogsindustrin reagerade på utomhusklimat under en längre period. Genom hela serien testades hjälmarnas stöt- och slagseghet med jämna intervall och resultaten påvisade en livslängd motsvarande en tredjedel av vad tillverkaren angivit (Kirk, 1999).

Tillverkarna av brandhjälmor på marknaden utför givetvis tester för att kvalitetssäkra sin produkt och dessutom se till att den uppfyller de krav som idag ställs på skyddsutrustningen. Som konsument bör det vara fullständigt tillräckligt att produkten som används är godkänd enligt ackrediterade metoder för att säkerställa skyddsnivån.

Standarden som idag förser brandhjälmor med CE-märkning, symbolen för godkännande enligt EG-direktiv, är allmänt vedertagen inom hela den Europeiska Unionen (EU); den beskrivs närmare i avsnitt 3.2. För att medlemsnationer, producenter och övriga inblandade skulle komma överens renderade standarden i en sorts kompromiss. Eftersom arbetssättet i olika länder och kulturer kan

skilja sig från varandra, vilket utvecklas senare i rapporten, har standarden inneburit krav på brandhjälmen som kanske inte återspeglar arbetssituationen. I vissa kulturer kan det ha medfört att testerna på hjälmarna är för hårda medan det i andra kulturer kan ha resulterat i att testerna är undermåliga sett till hotbilden. (MSA Nordic, personlig kommunikation, 3 september, 2009)

Brandhjälms livskvalitet påverkas inte enbart av värmebelastningen under insatser och övningar. Faktorer som mekanisk påverkan, brist på rengöring, underhåll, förvaring och en allmänt smutsig miljö är alla bidragande mekanismer som förkortar livslängden och prestandan hos brandmännens skyddshjälm. Rapporten är dock avgränsad från denna påverkan av livslängd hos brandhjälm även om vetenskapen angående dessa faktorerers inverkan är nog så viktig.

1.2 Syfte

Det primära syftet med rapporten har varit att undersöka om det visuellt går att fastställa när en brandhjälm har tappat sin, enligt regelverket, minimala skyddsnivå. Till detta läggs undersökningar angående temperaturförhållanden. Rapporten har vidare haft som avsikt att jämföra provningsmetoder för certifiering mot den strålningspåverkan som kan infinna sig i det svenska arbets- och övningsklimatet.

Rapporten har ej haft som syfte att undersöka huruvida hjälmarna överensstämmer med standarderna, detta görs av certifierade organ och samtlig försöksmateriel som har använts under arbetet är godkänd.

1.3 Frågeställning

Frågor som har belysts i projektarbetet listas nedan:

- Hur är en brandhjälm uppbyggd för att klara kravnivåerna?
- Vad säger dagens normer om hjälmar samt hur testas de för att uppnå kraven?
- Vilka temperaturer motsvarar testnivåerna?
- Är strålningsnivåerna i standarden relevanta för den svenska arbetsmetodiken?
- Vilka visuella skador uppvisar brandhjälm efter exponering mot strålning?
- Finns det en strålningsnivå vid vilken degradering initieras?
- Hur vet användaren när hjälmen tappat sin, enligt standarden, skyddsförmåga?
- Hur bör användaren hantera sin skyddsutrustning för att maximera dess livslängd?

1.4 Metod

Efter inledande kommunikation mellan initiativtagare och undertecknad grundlades en primär angreppsteori mot frågeställningen. Därefter genomfördes en litteraturstudie som inleddes med att kartlägga brandhjälmarnas historik samt utveckling till dagens produktutseende. Sedermera gjordes en grov genomgång av de material som används vid framställningen av nutidens typ av brandhjälm, deras kemiska sammansättning och termiska egenskaper. Litteraturstudien fortsatte med en inventering av de krav som ligger till grund för godkännande av brandhjälm; vilka föreskrifter som gäller i Sverige samt även vilka krav som ställs på brandhjälm utanför EU. En summering av provningsmetoden som ligger till grund för godkännande har gjorts. Förarbetet avslutades med en beskrivning av strålning från brandgaser och flammor som kan förväntas vid brand, vilka temperaturer som kan alstra en strålning som motsvarar den nivå som finns i testet samt vilka övningsituationer som kan förekomma inom svensk räddningstjänst.

Den empiriska delen av arbetet inleddes med att inventera vilka strålningsnivåer som kan uppstå under övningsituationer. Vid tre olika scenarion noterades storheter för infallande strålning. Arbetet fortsattes med exponering av brandhjälmars mot olika strålningsnivåer, där tillhörande temperaturmätningar och visuella iakttagelser gjordes. Resultaten sammanställdes och behandlades med utgångspunkt ur rapportens syfte och frågeställning.

1.5 Målgrupp

Rapporten vänder sig främst till kunder som investerar i denna typ av skyddsutrustning men sekundärt även till leverantörer och producenter som härigenom kan utnyttja materialet i sin försäljningsverksamhet alternativt få en indikation om att deras produkt kan vara i behov av granskning då det gäller att möta de svenska kvalitetsbehoven.

1.6 Avgränsningar

Arbetet behandlar främst visuell påverkan på brandhjälmars. Detta medförde att inga tester gällande penetrationsresistens och slagseghet beaktades. Inte heller utvärderades intermolekylära förändringar, som radikalt kan ändra skyddsskalets egenskaper, om de inte gav upphov till synliga skador.

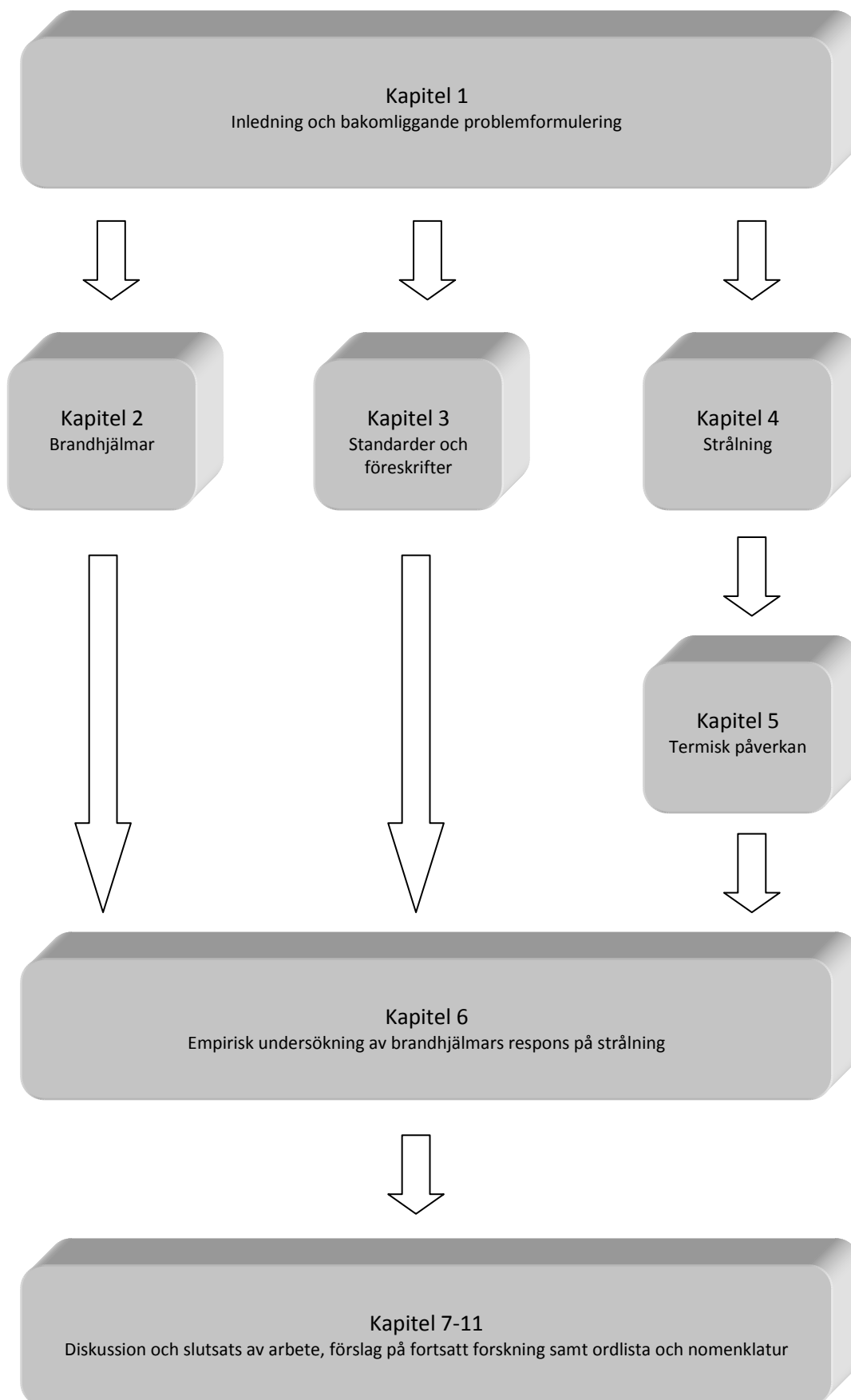
Testmetoderna begränsades av antalet produkter som av leverantörer och tillverkare donerades till projektet. Ett större antal hjälmar leder givetvis till utförligare och mer tillförlitliga resultat.

1.7 Disposition och läsanvisning

Rapporten är upplagd enligt följande:

- Kapitel 2. Innehållet i kapitlet har som syfte att göra läsaren bekant med brandhjälms historia och utveckling till den produktmodell som idag används på marknaden. I detta avsnitt ges även en kortare presentation av de hjälmtyper som utgör dagens marknad.
- Kapitel 3. För att brandhjälmars skall förses med märkning för gällande testmetoder finns det vissa krav på deras beskaffenhet som måste uppfyllas. Detta kapitel sammanfattar de regler och krav som ställs på godkända brandhjälmars och beskriver kortfattat provningsmetoden för brandhjälmars.
- Kapitel 4. Termisk strålning orsakar ett åldrande av brandhjälmars som på sikt sänker kvalitén hos skyddsutrustningen. Avsnittet presenterar de bakomliggande orsakerna till termisk strålning från flammor, brandgaser och heta ytor, men även en kort beskrivning av vilka skador som kan uppstå på vissa material vid olika strålningsintensiteter.
- Kapitel 5. För att relatera de europeiska testmetoderna till det svenska arbetsklimatet för räddningstjänsten är det av stor vikt att inventera vilka temperatur- och strålningsnivåer som kan förekomma under skarpa insatser och övningar. Detta stycke har som avsikt att identifiera dessa storheter.
- Kapitel 6. Den empiriska delen av rapporten. En beskrivning ges av den utrustning som använts vid försöken samt en utförlig redogörelse av försöksuppställningarna återges här. Vidare presenteras de resultat som registrerats vid försöken.
- Kapitel 7. En diskussion kring resultaten sammanvävd med personliga värderingar och upplevelser från rapporten delges läsaren.
- Kapitel 8. Rapportens tidigare avsnitt summeras i ett antal olika slutsatser.

- Kapitel 9. I detta kapitel diskuteras kort framtida forskning inom området. Förslag på aktuella och intressanta områden återges.
- Kapitel 10. En förklaring av vissa facktermer.
- Kapitel 11. Nomenklatur över använda storheter.



Figur 1 Flödesschema som grafiskt framställer rapportens disposition samt hur arbetet har framskridit.

2. Brandhjälmen

Innehållet i följande kapitel har som syfte att bekanta läsaren med brandhjälmens historia och utveckling till den produktmodell som idag används på marknaden. I detta avsnitt ges även en djupare presentation av de material som utgör beståndsdelarna i dagens skyddshjälmars tillsammans med en generell genomgång av deras termiska samt kemiska egenskaper.

2.1 Historik

Användningen av brandhjälmars har kunnat spåras tillbaka till antikens Grekland. På illustrationer och teckningar ses hur brandbekämpande män pryder huvudet med hjälmar. Primärsyftet med utrustningen under antiken var först och främst inte som huvudskydd utan hjälmen fungerade mer som identifikation för rang och befattning, gärna utsmyckade med både tuppkam och emblem. Under historiens gång har brandhjälmen alltid varit nära besläktad med krigshjälmen både när det gäller material och design. Under den tidiga medeltiden utformades krigshjälmars med en längsgående rygg med avsikt att avleda föremål från ovan, en design som avspeglade sig på brandhjälmen flera århundraden senare. (Kaier, 2008)

Likt medeltiden bidrog inte Sverige nämnvärt till utvecklingen av brandhjälmars. Istället var det mellaneuropiska länder, framförallt Frankrike och Tyskland, som drev utvecklingen framåt. I mitten av 1700-talet utrustades ett franskt regemente med en mässingstillverkad hjälm, en produkt som vid Franska revolutionen kompletterades med både ögon- och nackskydd. Födelsen av Paris brandkårs hjälm var ett faktum och den blev en förebild för brandhjälmars världen över. (Kaier, 2008)

I samband med att brandslangen uppfanns tillkom även alternativa brandbekämpningstaktiker. Det tidigare arbetssättet hade inte ställt några vidare höga krav på brandmännen, men med möjlighet till invändig släckning ändrades också syftet med brandhjälmen; behovet av skyddande förmåga ökade. Material som används för hjälmar var varierande under denna epok, vanligast var mässings- och läderhjälmar, som ansågs ha samma skyddande förmåga, men det förekom även filt, koppar, tenn och stål som material. (Kaier, 2008)

Aluminiumhjälmen introducerades i Amerika under 1920-talet och spred sig även till Europa. Materialet gav hjälmen en låg vikt som gjorde att den var enkel att bära. Aluminiumhjälmen var dock ej optimal sett ur brandbekämpningsperspektiv, främst genom sin elektriskt ledande förmåga. Under 80-talet framställdes de första armerade plasthjälmar som idag dominerar marknaden. Även om grundkonceptet är det samma idag som för 25 år sedan sker ständigt utveckling av ingående material (MSAFire I).

2.2 Dagens skyddshjälmars

Brandhjälmar på marknaden runt om i världen domineras i dagsläget av två kategorier; dels finns det komposithjälmar, mer kända som glasfiberhjälmar, dels finns det termoplasthjälmar (Bullard I). Skillnaden i materialet som ingår i hjälmskalet ger upphov till olika termiska egenskaper hos hjälmar. Vilka styrkor och svagheter medför de olika materialen och är det ena bättre än det andra? Den svenska marknaden utbud totaldomineras av kompositprodukter där det ofta används ett material för armering och ett material som bindemedel. Utbudet innehåller dock, om än väldigt begränsat, exempel på termoplasthjälmar om brukaren skulle vara intresserad av denna typ.

2.2.1 Komposithjälmen

Komposithjälmen är en produkt som har tillverkats genom en sammanslagning av material. Inom gruppen brandhjälm är kompositprodukten oftast ett resultat av två material där det ena fungerar som armering medan det andra fungerar som bindmedel. Den mest förekommande armeringen är glasfiber och som bindmedel används i regel en härdplast. Anledningen till att härdplast kombineras med armering är av den enkla orsaken att härdplasterna i sig inte kan visa upp en tillräcklig egenstyrka utan är i behov av förstärkning från glasfiber (Nicholson, 1991). Denna kombination ger en produkt som vid måttliga temperaturer kan uppvisa såväl styrka som värmetålighet, även om komposithjälmens kännetecken historiskt sett varit dess kemikalieresistens. Härdplasterna degraderas dock mer och mer för varje gång de exponeras för strålning och anses därför vara känsliga för denna typ av påfrestning. Utmaningen vid tillverkning av komposithjälm är den vikt som produkten påverkar användaren med. Ju mer armering som appliceras vid konstruktion desto tyngre och mer obekvämt blir hjälmen. För lite armering ger upphov till en lättare hjälm men på bekostnad av styrkan i produkten. I dagens tillverkning ligger de flesta hjälmar med en andel armering kring 50 %. (Bullard I)

2.2.1.3 Glasfiber

Glasfiber är en samlingsterm på olika material som bearbetas till fibrer. Exempel på material som efter bearbetning kvalificeras som glasfiber är olika bergarter och mineraler såsom kvarts, diabas och kalksten. Storleken på fibrerna som bildas varierar mellan 0,001 till 0,1 mm (Nationalencyklopedin [NE] I). För att öka ett materials, ofta plasters, styrka används glasfiber som armering. Det är tack vare fibrernas styvhet som eftersökta materialegenskaper tillförs plasterna. Resultatet av en glasfiberarmerad plast kallas för kompositmaterial. Vilken typ av glasfiber som används beror mycket på den plast som skall armeras, det som främst kan varieras är fibrernas diameterstorlek samt deras orientering.

2.2.2 Plasthjälm

Om termoplast används istället för härdplast och armering tillverkas det som kallas för plasthjälm. Termoplasternas egenskaper är framförallt att de kan omformas vid upphettning, detta för att bindingarna som finns i polymeren mjuknar vid värmepåverkan utan att brytas sönder (Nicholson, 1991). Resultatet blir en hjälm som kan prestera vid betydligt högre temperaturer än vad komposithjälmen klarar av. Svagheter med plasthjälmarna är att de inte kan uppvisa samma styrka som den armerade hjälmen, termoplast är även känsliga mot vissa kemiska lösningsmedel. (Bullard I)

3. Kriterier och provmetoder

För att få lanseras som brandhjälm på marknaden krävs det att produkten uppfyller vissa krav enligt gällande standard. Vilka krav ställs då på en brandhjälm? Detta kapitel sammanfattar de regler och krav som ställs på godkända brandhjälm.

3.1 Arbetsmiljöverkets författningssamling

Ansvar för arbetarskyddsfrågorna har tidigare legat hos den dåvarande ansvariga myndigheten Arbetarskyddsstyrelsen. Genom en sammanslagning med Yrkesinspektionen, som svarade för den lokala tillsynen av arbetarskyddsfrågorna, bildades år 2001 Arbetsmiljöverket (AV); en myndighet som idag har ansvaret för att arbetsmiljölagstiftningen efterföljs. Arbetsmiljölagen (AML) är en ramlag till vilken det finns mer detaljerade föreskrifter inom olika områden. I Arbetsmiljöverkets författningssamling (AFS) publiceras de föreskrifter och allmänna råd som skall/bör efterföljas för att leva upp till lagstiftningen (Arbetsmiljöverket I).

Då Sverige är medlemsnation i EU har landet en skyldighet följa de lagar som gäller inom unionen. Det medför att Arbetsmiljöverket skall överföra direktiv gällande arbetarskydd upprättade inom EG, benämning av EU fram till 1993, till svenska föreskrifter; tre direktiv innefattas av detta. De grundläggande reglerna för säkerhet och hälsa på arbetsplatser anges i ett ramdirektiv. Detta ramdirektiv kompletteras med ett antal särdirektiv, vilka specificerar de minimikrav som ej får understigas i något av EU:s medlemsländer gällande olika kategorier av personlig skyddsutrustning. Ytterligare ett särdirektiv upprättades för att ange de krav som ställs på användarens utrustning (Arbetsmiljöverkets författningssamling [AFS], 2001:3).

Genom sin publikation AFS 1993:11 införlivade dåvarande Arbetarskyddsstyrelsen direktiven om utförandet av den personliga skyddsutrustningen i Sverige; föreskriften har dock ersatts med AFS 1996:7 efter att de grundläggande EG-direktiven genomgått förändringar.

1 § Dessa föreskrifter gäller personlig skyddsutrustning. Härmed avses varje utrustning som är avsedd att bäras eller hållas av en person till skydd mot en eller flera hälso- eller säkerhetsrisker (AFS, 1996:7).

Definitionen på vilken utrustning som berörs av lagstiftningen kring personlig skyddsutrustning återfinns i första paragrafen hos föreskriften. Allt innehåll i AFS 1996:7 berör dock inte brandhjälm. Följande axplock kan ses som ett sammandrag av de mest relevanta paragraferna.

När det gäller de krav som ställs på hjälmens konstruktion så skall den tillhandahålla ett tillfredsställande skydd mot alla risker som kan tänkas förekomma. Det innebär att hjälmen skall vara tillräckligt stötabsoberande för fallande och flygande föremål, det skall finnas en rimlig värmeisoleringsförmåga och mekanisk styrka gentemot förutsägbara förhållanden, utformningen skall ske så att hjälmen förhindrar elektrisk, elektrostatisk eller genom slag alstrande gnista eller ljusbåge. Det skall finnas en tillfredsställande termisk kapacitet som möjliggör en lagring av energi vid exponering för smält material, detta tills brukaren hunnit sätta sig i säkerhet. Vidare skall hjälmen besitta en grad av svårantändlighet som överensstämmer med den riskklass som är förenlig med de förutsägbara användningsförhållandena; den får ej smälta eller medverka till flamspridning vid exponering av flammor. Utöver de mekaniska kraven som ställs på hjälmen finns det även ergonomiska miniminivåer som skall efterföljas. Hjälms utformning får inte på något sätt skada

användaren, varken genom direkt eller indirekt påverkan. Vidare får designen ej leda till ett försvårande av arbetet, hjälmen skall kunna justeras efter brukaren för optimal passform och kontaktytan mellan parterna skall vara tillfredsställande. Funktioner, antingen genom ventilering eller genom absorbering, skall motverka svettning, vikten skall reduceras till den lägsta tänkbara utan att tappa styrka och effektivitet, slutligen skall designen gynna snabb och smidig applicering (AFS 1996:7).

Vidare i AFS (1996:7) finns de krav som ställs på producenter och leverantörer av brandhjälm. Tillverkaren måste innan påbörjande av serietillverkning lämna utrustning för typkontroll enligt gällande provningsmetoder. Därefter skall en skriftlig försäkran upprättas som intygar att den personliga skyddsutrustningen överensstämmer med föreskrifterna. Produkten skall etiketteras med gällande CE-märkning, som intygar överensstämmelse med EG-direktiv, och eventuella visir skall förses med information om aktuell täthetsgrad. Med produkten skall det följa nödvändig information om förvaring, användning, rengöring, underhåll samt service, lämpliga tillbehör med aktuell prestanda och egenskaper, noterad prestanda i samband med fastställande av skyddsnivåer, betydelse av märkning och nödvändiga kontaktuppgifter till organet som utfärdar typkontrollen. Om det är känt att den personliga skyddsutrustningens prestanda minskar med åldrande av produkten skall tillverkningsdatum och vid möjlighet kasseringsdatum anges. Om producenten inte kan ange kasseringsdatum skall anvisningar ge all nödvändig information så att brukaren kan fastställa kasseringsdatum sett till kvalitén. Bruksanvisning som medföljer utrustning avsedd för bruk i höga temperaturer skall ge all behövlig information om den maximalt tillåtna exponeringen för värme som överförs genom utrustningen när den använts för avsett ändamål.

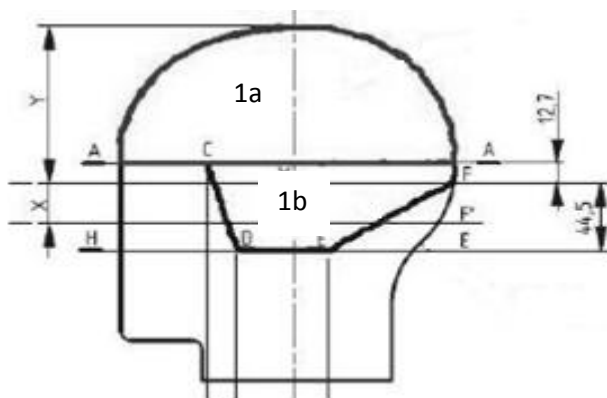
Arbetsmiljöverket har även publicerat föreskrifter och allmänna råd vad det gäller användningen av personlig skyddsutrustning; detta i AFS 2001:3. Arbetsgivaren är skyldig att, utan kostnad för arbetstagaren, tillhandahålla lämplig personlig utrustning som behövs för att utträta för verksamheten avsedda arbetsuppgifter. Arbetsgivaren är vidare skyldig att informera nyttjaren om vilka hot den aktuella skyddsutrustningen verkar mot samt övrig adekvat upplysning om utrustningen. Det är även arbetsgivarens ansvar att ombesörja reparation, underhåll, kontroll och andra lämpliga åtgärder för att upprätthålla skyddseffekten. Den personliga skyddsutrustningen får endast användas om den uppfyller de krav på dess beskaffenheter och på information om användningen enligt föreskrifterna. Arbetstagaren är skyldig att följa de av arbetsgivaren givna instruktionerna (AFS, 2001:3).

Direktiven som tas upp i föreskriften om personlig skyddsutrustning är i många fall generella och oprecisa. För att förtydliga vilka krav som skall uppfyllas med föreskrifterna finns det vedertagna standarder. Om utrustningen uppfyller de krav som finns i standarden innebär det att den även uppfyller de föreskrifter ur vilka standarderna har kommit. Uppdraget att ta fram olika standarder för personlig skyddsutrustning har delegerats till två europeiska standardiseringsorgan, CEN samt CENELEC. Standardiseringskommissionen i Sverige (SIS) har som uppgift att göra om de europeiska standarderna till svenska varpå standarderna får beteckningen SS-EN (AFS 1996:7). Den senaste europastandarden för brand- och räddningshjälm, EN 443:2008, gäller som svensk standard och ersätter den tidigare SS-EN 443, utgåva 1 (Standardiseringskommissionen i Sverige [SIS], 2008).

3.2 SS-EN 443:2008

CEN är förkortningen för den franska benämningen på *European Committee for Standardization* vilket är det organ som utarbetat Europastandarden för brandhjälm. Den nuvarande gällande standarden har beteckningen EN 443:2008 och ersätter tidigare utgåva från 1997. Brandhjälmstandardens godkändes för bruk i slutet av 2007 och senast i augusti 2008 skulle den ha implementerats i gällande länder. EN 443:2008 står över lokala konfronterande standarder och är vedertagen i 30 europeiska nationer. (SIS, 2008)

EN 443:2008 är i mångt och mycket en gemensam standard för två typer av hjälmar. Brandhjälm, vilken främst är avsedd att användas till insatser och övningar vid stor termisk påfrestning, är av typ helhjälm och skall klara av att skydda stora delar av huvudet. Räddningshjälm är till skillnad från brandhjälm betydligt mindre men också lättare. Räddningshjälm skall främst användas vid arbetsförhållanden med relativt små temperaturbelastningar såsom eftersläckning och sanering. Valet av hjälmtyp är upp till brukaren att göra och bör ske med hänsyn till de riskkällor som är förenliga med arbetsuppgifterna. Figur 2 visar upptagningsområdena för de två typerna. Område 1a motsvarar täckningsgraden för räddningshjälm medan brandhjälm även täcker område 1b. Skriften innehåller de krav som huvudskydden minst skall klara av men framhäver även att brukarna bör vara instruerade i såväl användning som skötsel.



Figur 2 Uptagningsytor för de olika hjälmtyperna, 1a respektive 1b, i EN 443:2008 (Dräger, privat bild).

Nedan återges de testmetoder som används för att kvalitetssäkra en brandhjälm och därmed intygar att den uppfyller gällande krav i aktuell föreskrift. Informationen är hämtad från SIS (2008).

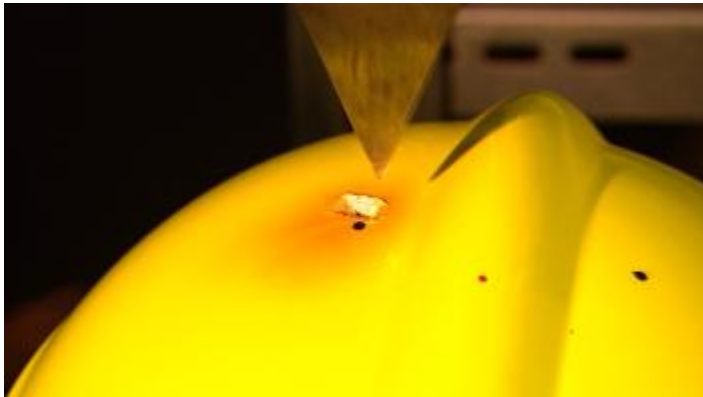
3.2.1 Slagseghet

Slagsegheten är en beskrivning av ett materials förmåga att motstå en hastigt pålagd belastning. I zon 1a träffas hjälmarna i provmetoden av en $5,0 \pm 0,05$ kg halvsfärisk tyngd där kollisionens energi skall uppgå till 123 ± 3 J. Hjälmar skall belastas fem gånger från olika riktningar. Kraften som överförs till huvudet på brukaren får ej överstiga 15 kN för att testet skall passeras.

Hjälmar skall vidare beskötas av en stålkula med hastigheten 120 ± 3 m/s. För brandhjälmarna kan träffytan befinna sig i såväl zon 1a som zon 1b. Varje testprodukt kan beskötas upprepade gånger, dock skall det minst vara 15 mm mellan träffpunkterna. För ett godkänt testresultat får projektilerna ej passera genom hjälmskalet, dessutom får det inte lossna något material från insidan av skyddet.

3.2.2 Penetrationsresistens

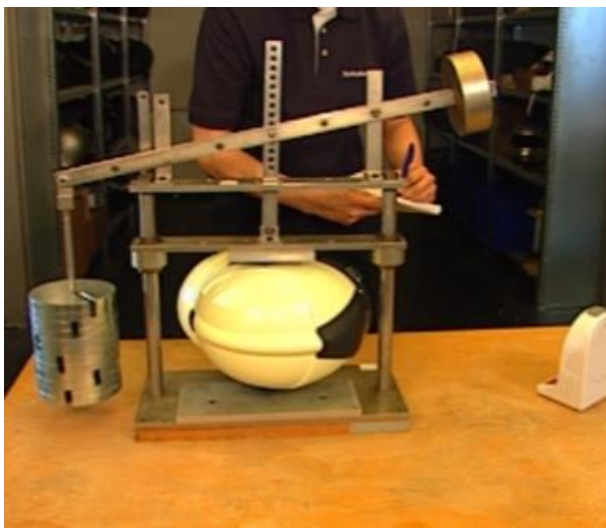
Penetrationsresistens beskriver förmågan att motstå att föremål tränger igenom materialet. För att klara av genomtränglighetstestet skall det ej uppstå kontakt mellan föremålet som används som testredskap och brukaren. Till testet används en vikt på 1000 ± 15 g och varje hjälm som testas utsätt för tre belastningar med vikten. En sammanstötning skall ske uppe på kronan av hjälmen där kollisionseenergin skall motsvara $24,5 \pm 1$ J, övriga två skall ske från sidan med minst 40 mm avstånd från varandra där kollisionseenergin skall uppgå till $19,5 \pm 1$ J. Figur 3 visar penetrationstest mot en hjälms ovansida.



Figur 3 Penetrationstest enligt EN 443:2008 (Dräger).

3.2.3 Horisontell deformation

Hjälmen placeras mellan två plattor motsvarandes ett skruvstöd som visas i Figur 4. Från sidorna belastas hjälmen med en kraft av 30 N som är konstant under 30 s varpå deformationen mäts. Kraften ökas därefter med 100 N/min upp till 630 N varpå nya 30 s fortskrider. Avståndet mellan plattorna mäts återigen innan kraften sänks till 25 N för att momentant höjas till 30 N, hållas i 30 s innan den avslutande mätningen görs. För att klara deltestet får varken de tvär- eller längsgående deformationerna överstiga 40 mm. Övriga förändringar som kan tänkas uppstå, exempelvis på hjälmens utbytbara delar, får inte överstiga 15 mm.



Figur 4 Skyddshjälm som testas mot horisontell deformation (Dräger).

3.2.4 Strålningsvärme

Hjälmarna skall utsättas för en strålningsintensitet motsvarande 14 kW/m^2 under $480 \pm 5 \text{ s}$. Testerna skall utföras på två hjälmar där den ena efterföljs av slagseghetstestet, den andra av penetrationstestet. Båda de efterföljande testerna skall utföras inom 60 s efter avslutad strålningsexponering. Förutom gällande prestationskriterier för de tidigare nämnda provmetoderna får temperaturen på ytan hos brukarens huvud ej öka med mer än 25 °C över den normala laborietemperaturen ($20 \pm 2 \text{ °C}$). Materialet i hjälmskalet får inte heller antändas eller smälta till den grad att innanmätet kommer i kontakt med brukaren.

3.2.5 Skydd mot smält metall

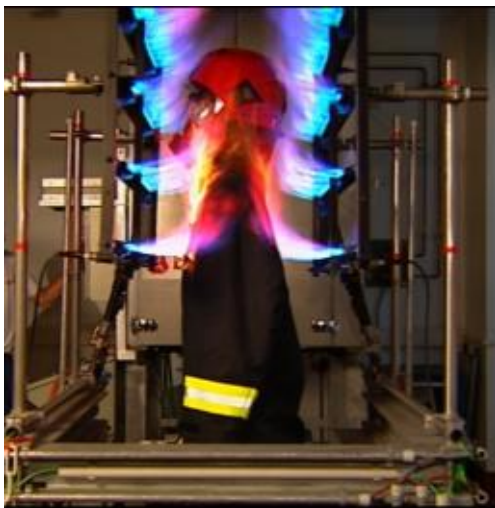
Hjälmtyperna skall belastas med smält metall i form av järn, detaljerad beskrivning av ämnessammansättningen finns specificerad, med en vikt av $150 \pm 10 \text{ g}$. Den flytande massan skall appliceras inom en radie av 50 mm från hjälmens krona. Hjälmen får inte genomborras av den smälta metallen, inte heller uppvisa något slag av deformation större än 10 mm eller uppvisa en förbränning med flamma 5 s efter det att appliceringen upphört.

3.2.6 Värmeresistens

Efter att ha utsatts för $90 \pm 5 \text{ °C}$ under 20 minuter skall hjälmen inte uppvisa kontakt mellan brukare och någon del av innanmätet som ej fanns före exponeringen. Hjälmen får vidare inte smälta eller droppa från någon del av skalet eller övriga partier, den får heller inte antändas. Alla lösa och utbytbara delar som finns skall fungera normalt efter exponeringen. Dessutom får produktens märkning ej lossna eller på annat sätt göras oläslig.

3.2.7 Resistens mot flammor

När hjälmen testas mot flammor sker detta tillsammans med både larmställ och andningsmask som visas i Figur 5. Grupperingen av skyddsutrustning upphettas först enligt metoden vid värmeresistens för att därefter följas av 10 s flambelastning. För att klara testet får hjälmen inte uppvisa en synlig flamma eller glöd 5 s efter påfrestningen, det får inte heller droppa från hjälmen under testet.



Figur 5 Brandhjälm som flamtestas (Dräger).

3.2.8 Elektriska egenskaper

För att passera testerna gällande elektrisk konduktivitet får hjälmens innanmäte ej visa på en strömstyrka som överstiger 1,2 mA. Hjälmen testas genom att sänkas ned i en behållare med vatten som sedan belastas med 1200 V.

3.2.9 Synfält

Brukaren skall vid användning av hjälmen ha ett horisontellt fritt synfält motsvarande minst 105° i varje riktning, vertikalt uppåt minst 7° samt vertikalt nedåt minst 45°.

3.3 EN 443:1997

Standarden med version 2008 skiljer sig givetvis från den tidigare utgåvan, EN 443:1997, som tidigare ställde kraven på brandmäns skyddshjälm. Kraven har generellt blivit hårdare på hjälmarna även om vissa fortfarande är oförändrade. Kraven på strålningsexponering har ökat kraftigt med den nya utgåvan. Tidigare exponerades hjälmarna för 7 kW/m² under 180 s, där nu båda parametrarna har genomgått en markant stegring. Vikten vid penetrationstestet har ökat från 400 g till 1000 g samtidigt som avstånden mellan testpunkterna har minskat; den nya standarden anger även tydligt vilken kollisionenergi som skall uppnås vid provningen. Kraven på de elektriska egenskaperna har blivit förtydligade. Tidigare testades enbart skalet med en demonterad inredning samtidigt som skruvhål i skalet tätades med vax. Metoden kunde i och med detta inte garantera att oönskade strömstyrkor ej infann sig innanför hjälmskalet. I övrigt är provmetoderna generellt sett betydligt mer detaljerade vilket har renderat i en mer enhetlig standard än tidigare. (Hans Höglin, personlig kommunikation, 24 september, 2009)

3.4 NFPA 1971

National Fire Protection Association (NFPA) är ansvarig för publiceringen av den amerikanska standarden NFPA 1971, vilken anger de riktlinjer en amerikansk brandhjälm bör klara av. Standarden behandlar även övrig adekvat personlig skyddsutrustning för brandmän. Den första upplagan av standarden togs i bruk 1975 och har sedan dess genomgått ett antal både större och mindre genomarbetningar. Den senaste versionen av NFPA 1971 är den sjunde i ordningen och antogs i slutet av 2006. (NFPA, 2007)

NFPA 1971 omfattar två typer av brandhjälm. Den ena kategorin är hjälm som är framtagna för bränder med hög strålningsvärme såväl konvektiv som konduktiv värmeöverföring ingår. Insatser av denna typ sker oftast utomhus och omfattar bland annat pöl-, gas- och metallbränder. Den andra typen av hjälm är framtagen och testad för insatser som sker inom byggnader, fordon och andra tänkbara scenarion. Testmetoderna är i mångt och mycket lika för de olika hjälmkategorierna men avsteg finns givetvis inom standarden. NFPA 1971 statuerar de minimala krav som ställs på en amerikansk brandhjälm när det gäller design, prestation, testmetoder och certifiering. Alla produkter som är märkta med standarden skall minst möta dessa krav. (NFPA, 2007)

EN 443:2008 och NFPA 1971 är båda godkända metoder som är anpassade till den risknivå som brukaren utsätts för i de länder där respektive standard används. Eftersom arbetet skiljer sig åt mellan världsdelar på samma sätt som mellan länder inom EU finns det skillnader i provmetoder standarderna emellan, dock utan att utesluta deras överensstämmelser. I artikeln *EN 443 vs NFPA 1971* (2008) diskuteras de olika metoderna. Stora likheter finns vid penetrationstestet, där NFPA 1971 också använder sig av en vikt motsvarande 1000 g. Visserligen är testmodulen inte utformad som en halvsfär utan istället som en kon med noggrant angivna dimensioner. Den potentiella energin

är samma som i den europeiska standarden, nämligen 24,5 J. NFPA 1971 omfattar, precis som EN 443:2008, även en försäkran om att det inte uppstår någon kontakt mellan modulen och hjässan hos brukaren, dock med tillägget att elektrisk kontakt inte heller uppstår; ett tillägg som saknas hos den europeiska standarden. I och med att EN 443:2008 markant höjde sina krav för strålningsexponeringen passerades den amerikanska modellen som innebär en exponering mot motsvarande 10 kW/m^2 under endast tre minuter. Efter strålningsexponering utförs rådande slagseghets- och penetrationskontroller. Vid flamtestet nöjer sig den amerikanska standarden med att använda sig av en enkel bunsenbrännare som från olika positioner appliceras rakt på hjälmskalet istället för ett test med en kombination av hjälm, andningsmask och larmställ.

4. Strålning

Värme kan förutom genom konvektion och konduktion överföras mellan två kroppar genom elektromagnetisk strålning (EMS). Den del av EMS som är intressant vid värmeöverföring benämns termisk strålning och bör frångöras från annan EMS såsom röntgen- och gammastrålning samt mikro-, tv- och radiostrålning. Den termiska strålningen alstras från alla kroppar, vätskor och gaser som har en temperatur över absoluta nollpunkten, EMS är dessutom ej i behov av ett medium som transporterar energin (Çengel och Turner, 2001).

Termisk strålning uppkommer när molekyler, atomer och elektroner ändrar sitt energiinnehåll och sänder ut EMS med våglängder från 0,1 till 100 μm . Strålning med dessa våglängder innefattar det infraröda (IR), synliga samt en del av det ultravioletta (UV) spektrumet. En kropp som sänder ut EMS vid rumstemperatur gör det inom IR-regionen. Vid en ökad temperatur hos strålkällan ökar intensiteten hos strålningen och våglängderna blir mindre och mindre. Vid cirka 550 °C börjar strålningen närma sig den visuella delen av det elektromagnetiska spektrumet och ögat kan registrera detta fenomen. Om våglängden hos EMS blir mindre än 0,40 μm passerar den synliga delen och strålningen sker nu i den ultravioletta delen av spektrumet (Drysdale, 1998).

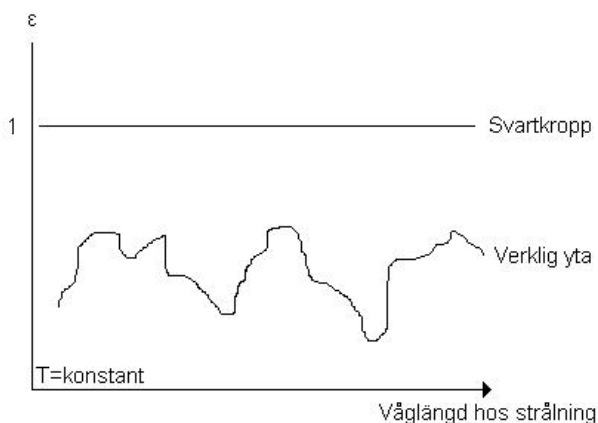
4.1 Utsänd strålning

Som referensram för emitterad strålning används svartkroppar. En svartkropp är definierad som en perfekt givare samt mottagare för EMS; alla andra kroppar, vätskor och gaser är mindre kapabla att både avge och mottaga strålning. Drysdale (1998) skriver att storleken på den emitterade strålningen för en svartkropp bestäms med hjälp av kroppens temperatur, T , samt Stefan-Boltzmanns konstant, σ , enligt sambandet

$$E_b(T) = \sigma T^4$$

För alla reella kroppar, vätskor och gaser sker alltså strålningen inte perfekt. Beroende på ytan hos den strålande kroppen reduceras den emitterande delen. Hur stor reduktionen blir beror på strålkällans emissivitet, ε . Värdet på faktorn hos en reell kropp är ytterst individuell och beror bland annat på temperaturen hos kroppen och våglängden hos strålningen. Den generella ekvationen för en kropp som utsänder termisk EMS blir

$$E_b(T) = \varepsilon \sigma T^4 \quad 0 \leq \varepsilon \leq 1$$



Figur 6 Exempel på hur emissiviteten hos en strålkälla kan variera med våglängden vid konstant temperatur. Notera att skalorna ej är angivna.

Tabell 1 Emissivitet vid 0 °C för olika material (Fluke I)

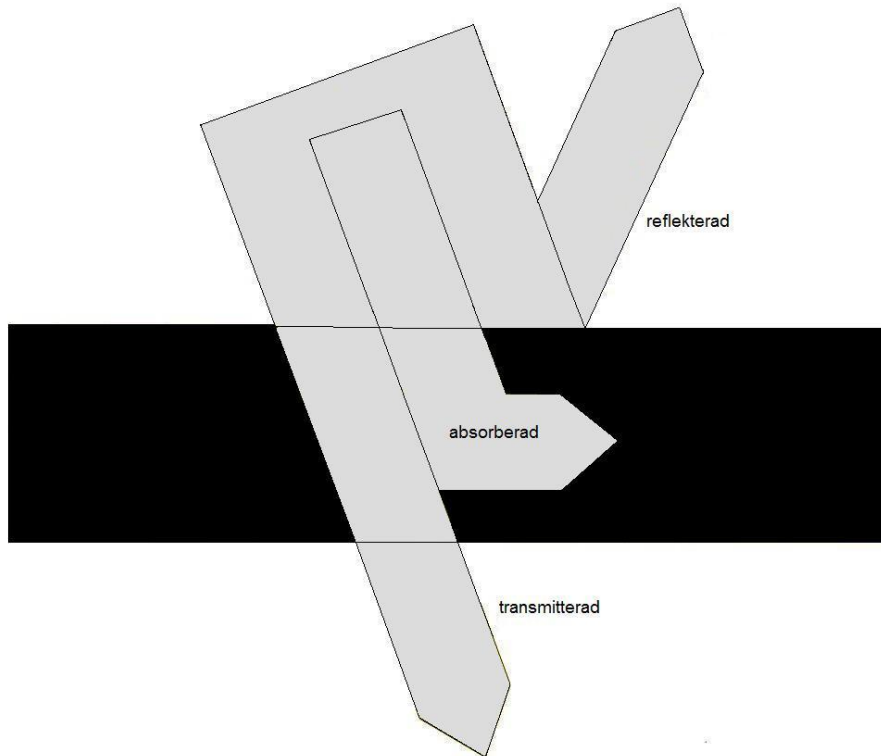
Material	Emissivitet
Betong	0,54
Bly	0,08
Glas	0,92
Is	0,97
Snö	0,80
Vatten	0,98

När en förbränning sker bildas fria radikaler, en benämning på atomer och molekyler som har oparade elektroner i sitt yttersta elektronskal. Det som kännetecknar fria radikaler är att de har en benägenhet att vara extremt reaktiva, det vill säga att de gärna gör sig av med eller tar upp elektroner för att få ett jämnt yttre elektronskal. Det är när dessa radikaler avger eller tar upp elektroner som de ändrar sitt energiinnehåll och ger upphov till termisk strålning. Att intensiteten på strålning från en flamma är hög beror generellt på den höga temperaturen i vilken förbränningen sker. Den djupare förklaringen står att finna i reaktionskinetiken, läran om hur kemiska reaktioner sker. Reaktionshastigheten är beroende av temperaturen och en högre sådan medför en snabbare kinetik som i sin tur leder till att fler atomer och molekyler ändrar sitt energiinnehåll; kontentan blir den att strålningsintensiteten ökar (Jan-Olle Malm, föreläsningssanteckningar Allmän kemi, våren 2007).

Från de varma brandgaserna alstras likaså termisk strålning. Till skillnad från de fria radikaler som bildas vid förbränning och som har en relativ kort livstid består brandgaser mer av stabila föreningar som inte är reaktiva. Typiska produkter vid förbränning är framförallt koldioxid och vatten, en annan alltid förekommande förening är kvävgas som utgör en stor del av luften men oftast inte deltar i förbränningen. Övriga kemiska föreningar som bildas vid förbränning är starkt beroende av bränslet och syretillförseln hos branden. Som exempel kan en brand med kolväten som är underventilerad alstra stora mängder sot som genererar mörka brandgaser medan alkoholer som förbränns avger väldigt ljusa brandgaser. Temperaturen på de stabila, icke-reaktiva föreningarna avgör deras energiinnehåll. Ju varmare dessa molekyler är desto större internt energiinnehåll har de. Eftersom molekylerna inte ändrar sitt energiinnehåll genom avgivning och upptagning av elektroner alstrar de istället elektromagnetisk strålning genom vibrationer hos molekylerna. Ett större energiinnehåll orsakar intensivare vibrationer som alstrar strålning med högre intensitet (Siegel och Howell, 2002).

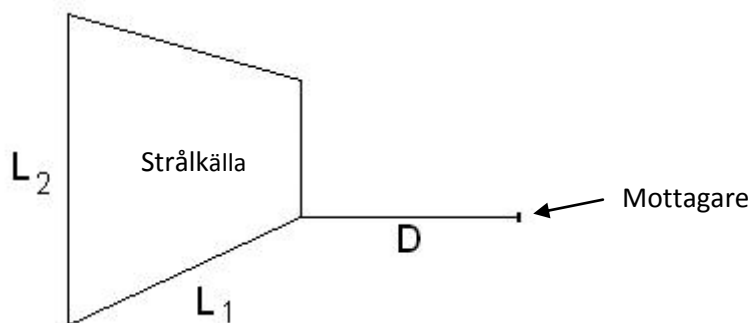
4.2 Infallande strålning

EMS som infaller mot en kropp delas upp i två eller tre komponenter beroende på vilket material den träffar. En del av strålningen kommer omedelbart att reflekteras vid kontakt med kroppen vilket utgör första komponenten. Resterande del av EMS går vidare in i materialet och utgör således den andra komponenten. Hur stor del av den infallande strålningen som reflekteras beror, precis som för emittansen hos en strålände kropp, på mottagarens yta och dess material. Den andra komponenten kan antingen absorberas i materialet eller transporteras vidare genom kroppen och avges på andra sidan, detta är beroende på huruvida det utsatta materialet är transparent eller ej (Çengel och Turner, 2001). I Figur 7 visas hur absorption, reflektion och transmission alla utgör en del av den infallande strålningen.



Figur 7 Reflektion, absorption och transmission av inkommande strålning hos en mottagare med semitransparant material.

Tidigare har det redogjorts för hur strålkällan som tillsammans med dess temperatur och emissivitet är avgörande för intensiteten hos källan. Hur stor andel av den emitterande strålningen som träffar mottagaren anges med synfaktorn, ϕ . Synfaktorn, som alltid antar ett värde mellan 0 och 1, fastställs på olika sätt beroende på kropparnas utformning samt deras positionering i förhållande till varandra. En generell förklaring av synfaktorn är den att ju större strålkällans yta är, L_1 samt L_2 i Figur 8, desto större blir synfaktorn. Omvänt gäller för avståndet, sträcka D , till mottagaren; ju mindre avståndet är mellan strålkälla och mottagare desto större blir synfaktorn. Värdet på synfaktorn hämtas från tabeller i facklitteratur med, i detta exempel, hjälp av storheterna L_1 , L_2 och D .



Figur 8 Generell bild över synfaktorn som anger hur stor del av utsänd strålning som träffar en viss mottagare.

Drysdale (1998) anger den slutliga ekvationen för infallande strålning genom införandet av synfaktorn och får då följande utseende:

$$\dot{q}'' = \phi \varepsilon \sigma T^4 \quad 0 \leq \phi \leq 1 \quad [1]$$

Det skall i detta avsnitt understrykas att strålning i samband med bränder inte är entydig. Med tanke på de kemiska reaktioner som sker vid förbränning av alstras EMS vid olika temperaturer och i olika våglängder, detta bland annat beroende på vilket slags molekyler, atomer och elektroner som ändrar sina energinivåer. Eftersom varje okontrollerad diffusionsförbränning är unik utgör det enbart spekulationer att försöka delge den exakta fördelningen av strålningens olika våglängder. Likaså hör det till spekulationer att försöka återge exakta värden för strålkällors emissivitet och storlek samt mottagares absorption; dock skulle det kunna återges ett approximativt värde vilket är experimentellt framtaget.

För den oinvigde lekmannen kan det kännas abstrakt att relatera storleken på olika strålningsnivåer till verkligheten. Tabell 2 ger en övergripande summering av vad strålning kan orsaka på människa och natur.

Tabell 2 Olika strålningsnivåers påverkan på människa och natur

Strålningsnivå [kW/m ²]	Observerad effekt	Källa
0,67	Sommarsol i Storbritannien	Drysdale, 1998
1,0	Maximal nivå för oskyddad hud	Drysdale, 1998
6,4	Smärta efter 8 s hudexponering	Drysdale, 1998
7	Insatspersonal klädd i RB90 klarar 3-7 minuters exponering	Statens Räddningsverk [SRV], 2000
10,4	Smärta efter 3 sekunders hudexponering	Drysdale, 1998
12,5	Pyrolys av trämaterial, antändning med pilotlåga	Drysdale, 1998
15	Efter 30 minuter får en exponerad cisternmantel en temperatur över 300 °C för cisternplåt ovanför vätskeytan	SRV, 2000
16	Blåsor uppstår på oskyddad hud efter 5 sekunder	Drysdale, 1998
20	Insatspersonal klädd i RB90 klarar 2 minuter exponering	Persson och Persson 1996
29	Trä antänds spontant utan pilotlåga	Drysdale, 1998
52	Träfiberskiva antänds spontant inom 5 sekunder	Drysdale, 1998

5. Insats- och övningsituationer

För att relatera de europeiska testmetoderna till det svenska arbetsklimatet för räddningstjänsten är det av stor vikt att inventera vilka temperatur- och strålningsnivåer som kan förekomma under övningar och skarpa insatser. Brandrelaterade insatser som görs av räddningstjänsten delas in i kategorierna *Brand i byggnad* samt *Brand ej i byggnad*. De olika typerna av insats ger upphov till olika termiska påfrestningar på personalen. Följande avsnitt har som avsikt att förklara de olika situationerna samt att identifiera vilka storheter som kan uppstå när det gäller temperatur och strålning.

5.1 Brand i byggnad

En brand som innesluts i en lägenhet eller annan typ av lokal relateras till som *Brand i byggnad*. Hädanefter innefattas denna typ av scenario i den här rapporten ej av stora lagerlokaler och byggnader utan är mer tänkt att motsvara lägenheter och enfamiljshus. Denna typ av brandförlopp kännetecknas av tre faser där den första fasen utgörs av antändning och tillväxt av branden. Själva förloppet fortskrider med att branden tilltar i storlek och styrka och under denna fas bildas det en tydlig skiktning i brandrummet mellan varma brandgaser och den kallare luften. De varma brandgaserna värmer upp taket samt övre delar av väggar och tillsammans alstrar de en strålning mot golvet i rummet. När branden når övertändning, vilket är den tidpunkt då brandförloppet går från det initiala skedet till den fullt utvecklade branden, deltar allt brännbart material i förbränningen och lågor slår ofta ut genom lokalens öppningar; detta är den andra fasen av brandförloppet. Lägenhetsbranden är under full utveckling oftast ventilationskontrollerad och tillförseln av syre begränsar brandens storlek. Den fullt utvecklade branden följs av en regressionsperiod där effekten på branden avtar efterhand som mängden brännbart material minskar, under denna fas går förloppet från ventilationskontrollerat tillbaka till bränslekontrollerat (Drysdale, 1998). Observera att denna beskrivning är starkt förenklad och baseras bland annat på antagandet att branden inte sprider sig utanför den brandcell där den uppstår.

Räddningstjänstens insatser med personal som vistas inuti den lokal där branden fortgår sker normalt under brandens första fas. Efter att branden når övertändning sker brandbekämpande insatser utifrån tills förhållandena möjliggör inträngning i lokalen. När en lägenhetsbrand når övertändning går inte att ange med exakta värden men flera riktlinjer finns. Waterman (1968) studerade ett utrymme med måtten $3,64 \times 3,64 \times 2,43 \text{ m}^3$ (lxbxh) och vid vilken strålningsintensitet som ett pappersark självantände när det låg på golvet. Med definitionen om att övertändning inträffade när pappret antändes fann han att strålningsintensiteten låg kring 20 kW/m^2 . Waterman ansåg vidare att den absolut största delen av denna strålning kom från det varma taket och de varma brandgaserna istället för ifrån flamman. Dock är Drysdale (1998) tydlig med att påpeka att denna strålningsintensitet ej skulle självantända tjockare trämaterial och annat brännbart möblemang. Efter Watermans kriterium på 20 kW/m^2 har flertalet andra studier publicerats som behandlar en likartad frågeställning. Studierna (Hägglund, Jansson & Onnermark, 1974; Fang, 1975) tyder på takytor med en temperatur kring 600 °C för att övertändning skall inträffa. Drysdale (1998) sammanfattar strålkällorna vid en lägenhetsbrand till:

- Vertikala flammor ovanför brandhärden
- Heta ytor i lokalens övre regioner
- Horisontella flammor under taket
- Brandgaserna som ansamlas under taket

Även om det inte exakt går att beskriva ett verkligt brandförlopp eller jämföra den termiska belastningen mellan olika övnings- och insatssituationer är lägenhetsbränder (eller motsvarande) likartade i Sverige som för övriga delar av världen. Hur den lokala räddningstjänsten väljer att utforma sina övningar och insatser är dessutom mycket komplext då det är upp till var och en att avgöra vad som är adekvat, bland annat i förhållande till den utrustning som finns tillgänglig. Dock kan det, utan något egentligt vetenskapligt belägg, hävdas att svensk räddningstjänstpersonal är tämligen välutbildade och därigenom besitter en förmåga att på ett bra sätt kunna avgöra och bedöma händelseförloppet i förhållande till sin kapacitet. Dessa beslut kan därmed leda till situationer där personal kan vistas i en lokal under en längre tid av brandförloppet och därmed utsättas för större termisk påfrestning.

5.2 Brand ej i byggnad

Bränder som inte innesluts av en lokal ger inte upphov till samma förhållanden som lägenhetsbranden. Själva brandförloppet är i det stora hela detsamma; en antändning följs av en tillväxtperiod innan branden når full styrka. Då förloppet sker utomhus begränsas branden inte av syretillförseln utan av mängden brännbart material. Slutligen sker en avsvalningsfas. Till denna kategori inkluderas bilbränder, gräsbränder, pölbränder med mera.

Vid bränder utomhus ansamlas inte de varma brandgaserna utan de diffunderar ut i atmosfären. För en brandman som skall eliminera brandhärden har två av de ovan nämnda fyra strålkällorna försvunnit; horisontella flammor samt de heta ytorna. Strålningen mot brandmannen utgörs till största del av de vertikala flammorna från brandhärden. De stigande brandgaserna utgör även de en strålkälla men på grund av att avståndet till mottagaren är större än för flamman samt att temperaturen är lägre blir denna del av den infallande strålningen inte av samma magnitud.

Temperaturen hos en flamma är starkt beroende av vilket ämne som förbränns och samt hur ren förbränningen är. En förbränning som inte har tillräckligt med syre måste med sin energi värma upp molekyler som inte deltar i förbränningen och blir därigenom mindre effektiv. Ett sätt att generalisera är att räkna ut den adiabatiska flamtemperaturen. Med detta menas den temperatur vid vilken optimal förbränning sker utan värmeförluster till omgivningen. Uträkningen baseras på ämnet som brinner och dess energiinnehåll. Resultatet med den adiabatiska flamtemperaturen är rent fiktiv och förekommer aldrig i verkligheten; dock kan den visa att förbränning i normal luft inte får en temperatur högre än denna. Drysdale (1998) anger att den adiabatiska flamtemperaturen för ett flertal kolväten ligger i ett relativt smalt band mellan 1200 °C till 1400 °C.

5.3 Temperatur och strålning

Enligt ovan redovisade undersökningar förekommer strålningsnivåer upp till 20 kW/m² innan en lägenhetsbrand blir övertänd och därmed omöjliggör en invändig insats. Standarden använder sig av det något lägre värdet testvärdet 14 kW/m². För att provmetoden skall vara relevant bör fokus riktas mot vilka förhållanden som räddningstjänstens personal kan arbeta i. I detta avsnitt avses att teoretiskt kontrollera vilka temperaturer som kan alstra en motsvarande intensitet.

Beräkningarna i avsnitt 5.3, som mer utförligt finns redovisade i Appendix A – Beräkningar, bygger på strålning inuti *Brand i byggnad*. Detta val är gjort på grund av de begränsningar som medförs av en insats i en lokal där personal begränsas till vissa rörelsemönster. Vid utomhusbränder behöver den termiska strålningspåfrestningen inte vara lika stor, detta då avståndet till strålkällan relativt enkelt

kan justeras tack vare räckvidden på den materiel som används vid brandbekämpning samt avsaknaden av innestängande väggar och golv.

Intensiteten beror på, vilket mer ingående kan läsas i kapitel 4, strålkällans storlek, temperatur, emissivitet samt avståndet till mottagaren. I en lägenhetsbrand kan brandpersonal inte påverka yttre faktorer såsom avstånd till och temperatur på strålkällan då majoriteten av strålningen kommer vertikalt från taket. Vid bränder utomhus finns det en möjlighet att påverka intensiteten genom att justera avståndet mellan strålkällan och mottagaren.

Strålningsberäkningarna är utförda enligt följande ekvation:

$$\dot{q}'' = \phi \varepsilon \sigma T^4 \quad [1]$$

För beräkning av vilka temperaturer som har kapacitet att generera en strålning på 14 kW/m² har variablerna ϕ och ε använts i olika kombinationer. Valet av emissivitet spelar stor roll för resultatet; dock är det svårt att generalisera med en godtycklig storlek. Eftersom strålningen kommer från fyra olika strålkällor, se kapitel 5.1, som alla har olika emissivitet sinsemellan men även olika emissivitet vid olika våglängder och temperaturer skulle en fördjupning av denna variabel leda till en omotiverad stor arbetsbelastning och har därför förbisetts. Synfaktorn har kommit ur godtyckliga antaganden för att ge en uppfattning om i vilken storleksordning värdena ligger. I Tabell 3 återges resultatet från beräkningarna. Detaljerad beräkningsgång återfinns i Appendix A – Beräkningar.

Tabell 3 Temperaturer (°C) som i kombination med emissivitet och synfaktor alstrar en strålningsintensitet motsvarande 14 kW/m², beräkningar enligt ekvation 1

synfaktor	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6
emissivitet					
0,1	1303	1257	1218	1183	1151
0,2	1052	1014	981	951	925
0,3	925	890	860	833	809
0,4	842	809	781	756	734
0,5	781	751	724	700	679
0,6	734	705	679	657	637
0,7	696	668	643	622	603
0,8	664	637	613	593	574
0,9	637	611	588	567	549
1	613	588	565	546	528

Uppenbart är att strålningsintensiteten starkt påverkas av både synfaktor och emissivitet. Det Tabell 3 anger är att en temperatur kring 1300 °C tillsammans med en viss emissivitet och synfaktor kan alstra en strålningsintensitet på 14 kW/m². Om avståndet mellan strålkällan och mottagaren skulle minska ökar följaktligen synfaktorn; med en ökad synfaktor krävs det således en lägre temperatur för att alstra strålning med samma intensitet. Samma resonemang kan föras kring emissiviteten. Ju lägre emissiviteten är desto mindre andel strålning emitteras från strålkällan och träffar mottagaren. Om emissiviteten och synfaktorn båda är höga krävs det alltså betydligt lägre temperaturer för att alstra strålning med intensiteten 14 kW/m².

6 Empirisk undersökning

I detta avsnitt presenteras den materiel och de material som använts vid de olika försöksupställningarna tillsammans med de resultat som erhållits vid temperatur- och strålningsmätningar dels vid MSB i Revinge, dels vid Brandtekniks laboratorium på LTH.

6.1 Utrustning och material

Avsnittet som följer ger en övergripande beskrivning av den materiel samt material som har använts vid mätserierna.

6.1.1 Strålningsalstrare

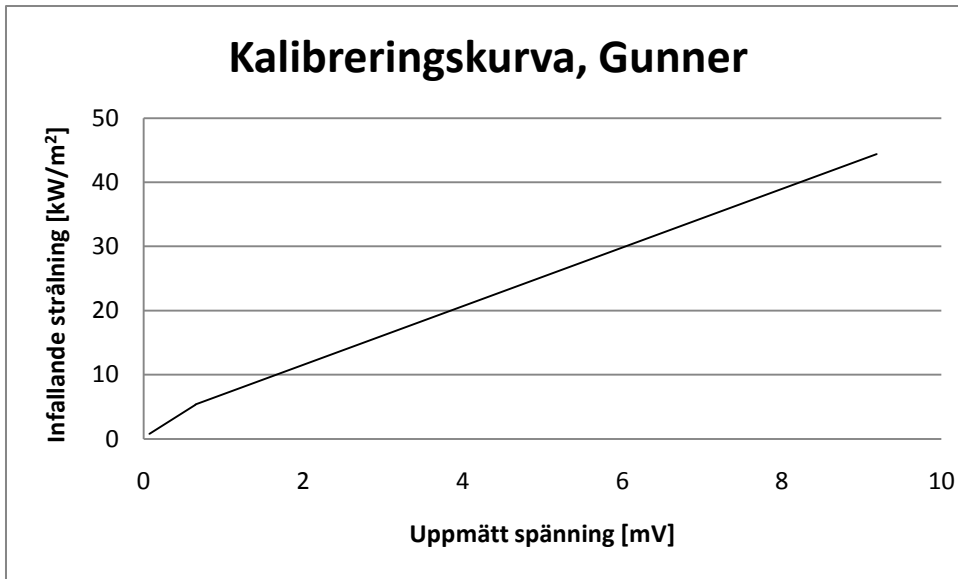
För att alstra strålning och undvika konvektiv samt konduktiv värmeöverföring användes en gasdriven strålningspanel från Brandtekniks laboratorium, LTH. Gasol matade strålningsalstrarens tredelade panel som var 40 cm bred och 48 cm hög. Vid panelens yta skedde förbränningen och tillsammans med den uppvärmda metallen alstrades strålning. Andelen gasol som matades till apparaturen kunde visserligen begränsas med ett justerbart vred och därigenom påverka strålningsintensiteten men vanligtvis öppnades kranen helt och intensiteten ställdes istället in med hjälp av avståndet till strålningsalstraren. Utrustningen visas i Figur 9.



Figur 9 Strålningsalstrarens tredelade panel.

6.1.2 Strålningsmätare

För registrering av infallande strålning användes dels en Gunnersmätare, dels en Medtherm. Gunnersmätaren registrerade infallande strålning i form av strömstyrka genom en termostapel. Mätaren hade på insidan en metallbelagd ellipsoid som reflekterade all infallande strålning. I brännpunkten, dit den infallande strålningen reflekterades, satt termostapeln (Karlsson och Kronqvist, 2009). Strömstyrkan från Gunnersmätaren registrerades i en dator, antingen stationär eller mobil beroende på var mätningen skedde. Med hjälp av en kalibreringskurva, som återges i Figur 10, omvandlades den uppmätta strömmen till en strålningsintensitet.



Figur 10 Kalibreringskurva för Gunnersmätaren, utslag i spänning omvandlas till infallande strålning.

Gunnersmätaren användes dels vid försöksuppställningen i Brandtekniks laboratorium, dels vid de fullskaliga mätningarna för strålningsintensitet vid MSB i Revinge.

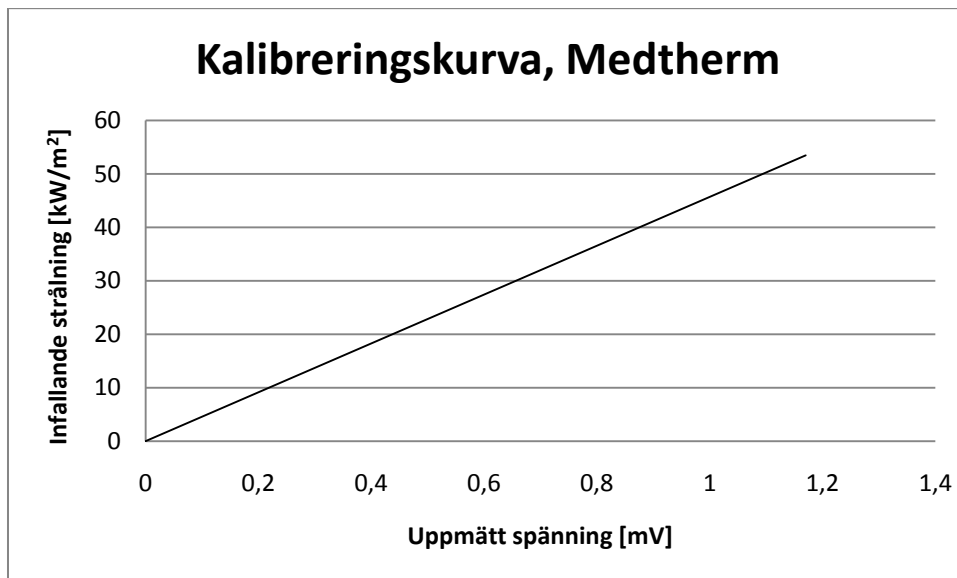


Figur 11 Gunnersmätaren vid användning i Brandtekniks laboratorium.

Medtherm var benämningen på den andra apparaturen som fanns vid laboriet på LTH för att mäta olika sorters infallande strålning och är en amerikansk tillverkad produkt. Medthermen har enligt Göran Holmstedt (personlig kontakt, 4 november, 2009) en mer linjär kalibreringskurva än Gunnersmätaren vid låga intensiteter och ger därmed ett resultat med högre noggrannhet. Medthermen användes vid samma tillfällen som Gunnersmätaren för att ge bättre validitet till uppmätt strålningsintensitet.



Figur 12 Medtherm för mätning av infallande strålning upp till 50 kW/m^2 .



Figur 13 Kalibreringskurva för Medtherm, utslag i spänning omvandlas till infallande strålning.

6.1.3 Termoelement

För temperaturmätningar användes termoelement som tillhandahölls av Brandteknik. Termoelement i fungerande tillstånd uppvisade en noggrannhet inom ett par grader; icke fungerande mätutrustning uppvisade ett kraftigt fluktuerande resultat vilket gjorde dem enkla att identifiera och ersätta.

6.1.4 Kalibreringsugn

För att säkerställa att strålningsmätarnas utslag gav rätt värden i kalibreringskurvan användes Brandtekniks kalibreringsugn. För att kalibrera instrumenten värmdes ugnen upp till förinställda temperaturer som validerades med ett inuti monterat termoelement. När ugnen uppnått den förinställda temperaturen applicerades strålningsmätaren från ett hål i botten av ugnen. Utslagen som angavs i spänning kunde sedermera kontrollberäknas mot termoelementets utslag och därigenom bildades en omvandlingskurva. Termoelementet som satt inuti kalibreringsugnen var utformat med en platinabeläggning motsvarande 10 %, vilket gav det en extra temperaturresistens (Sven-Ingvar Granemark, personlig kommunikation, 31 oktober 2009).

6.1.5 Hjälm

Fyra olika leverantörer har bidragit med de hjälmar som har ingått i studien och på vilka tester har utförts. För att möjliggöra en utökad försöksserie sågades hjälmarna upp till mindre delar, detta med syftet att eliminera strålningspåverkan på de delar som ej åsyftades. Exakt vilka material och förhållandena mellan dem som ingick i de olika produkterna har inte varit möjligt att klargöra då denna information klassificerades som företagshemligheter. Uppgifterna som presenteras i Tabell 4 är hämtade från respektive produkts informationsblad.

Tabell 4 Översikt gällande materialinnehåll i testade brandhjälm

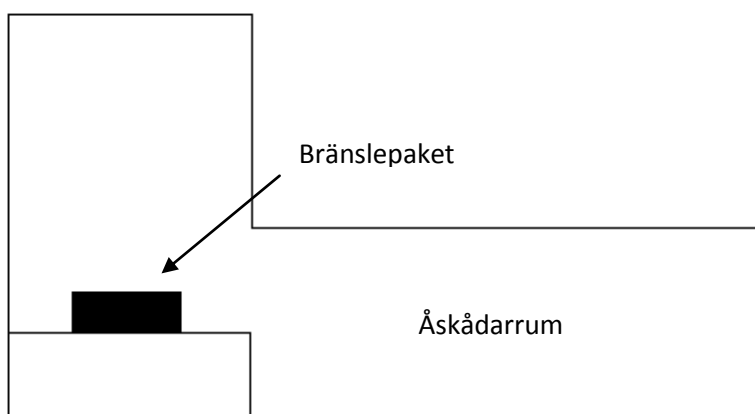
Märke	Plastkomponent	Armering	Färg(er)	Lackerad	Angiven Livslängd
A	Duroplast	Glasfiber	Svart, röd	Ja	Max 15
B	Polyester	Glasfiber	Gul	Nej	Ingen uppgift
C	Polyamid	Glasfiber	Vit	Nej	Kontroll 5 år
D	Härdplast	Glasfiber	Vit	Ja	Max 15
E	Polyamid	Glasfiber	Vit	Ja	8-12

6.2 Uppmätt temperatur och strålning, Revinge

Uppgifter i kapitel 5 om vilken strålningsnivå samt vilka temperaturer som kan förekomma i övnings- och insatssituationer baseras på litteratursökning och handberäkningar. För att få en referensram till vilka temperatur- samt strålningsnivåer som förekommer i verkligheten, vilket delvis visserligen redovisas ovan, har MSB tillhandahållit lokaler för fullskaliga mätningar. Mätningarna har utförts i tre av de lokaler som används vid utbildning och instruktion av elever i kurser som tillhandahålls av myndigheten. Det skall även här påpekas att temperaturdata var registrerad innan denna rapport författande och det medförde att endast strålningsnivåer registrerades under denna sektion. Mängd, typ och placering av brännbart material var dock likartad som då temperaturmätningarna genomfördes.

6.2.1 Förevisningscontainern

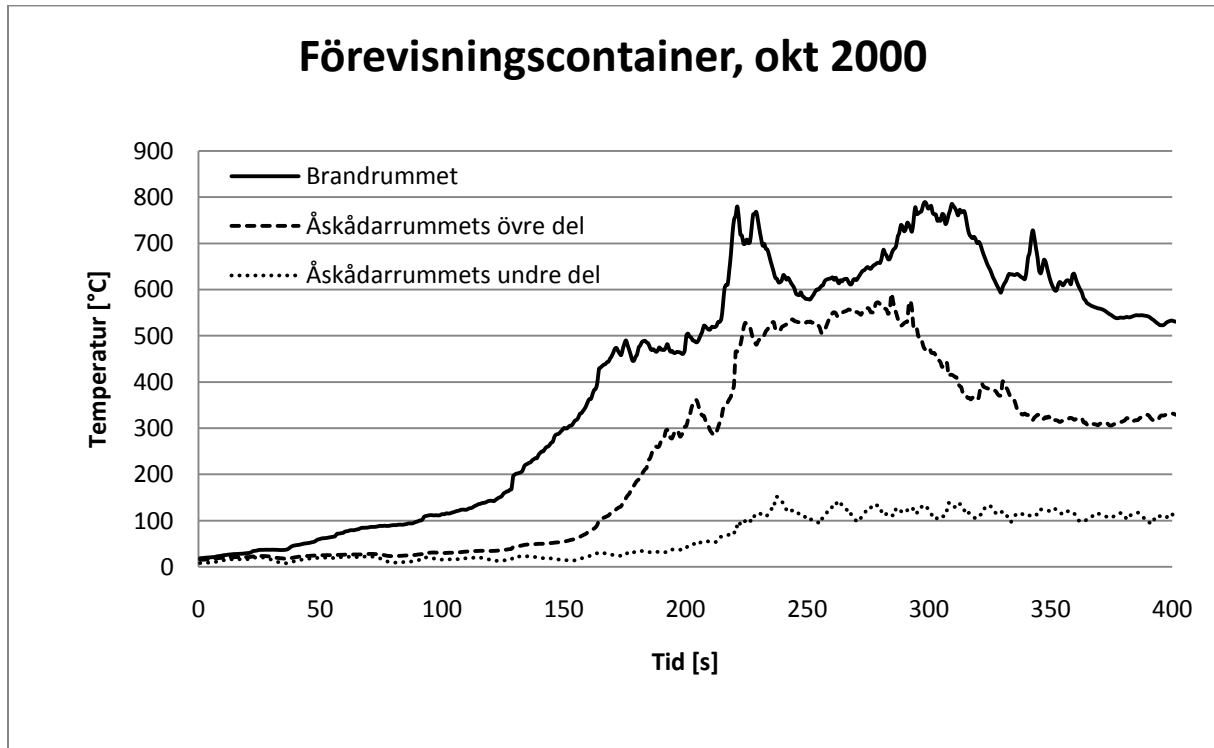
Den första av utbildningsanordningarna var en container utformad enligt Figur 14. Den yttre och låga delen av lokalen gav plats för åskådare medan den inre delen, där tak- och golvnivå var förskjutet uppåt, gav utrymme för bränslepaket och ansamling av brandgaser. Försöksuppställningen i förevisningscontainern orsakade en hög strålningsbelastning mot åskådarna, detta främst på grund av att åskådarna i den nedre delen av rummet träffades av EMS emitterad från flammorna i den övre delen. Utöver strålning från flaman påverkades även åskådarna av strålning från brandgaser och heta ytor inuti containern.



Figur 14 Situationsbild av förevisningscontainer, sett från sidan.

Temperaturprofilen från förevisningscontainern togs från mätningar under oktober 2000 medan strålningsprofilen togs i samband med rapportens författande i november 2009. Vid de båda serierna har bränsleladdningen i containern varit densamma, något som har föranlett två förbränningsförlopp med likartad karaktär. Tack vare likheten i karaktären möjliggjordes en matchning mellan de två mätserierna. Tidsintervallen för strålningsmätningarna har därför marginellt justerats för att

mätresultaten skall sammanfalla med serien för temperaturmätningar. Det skall noteras att termoelementen som registrerade temperatur kan ha påverkats av strålning från flammen så att mätvärden kan ha överskattat brandgasernas temperatur. Fler temperaturprofiler än vad som redovisas här återfinns i Appendix B – Temperaturprofiler, brandgaser.

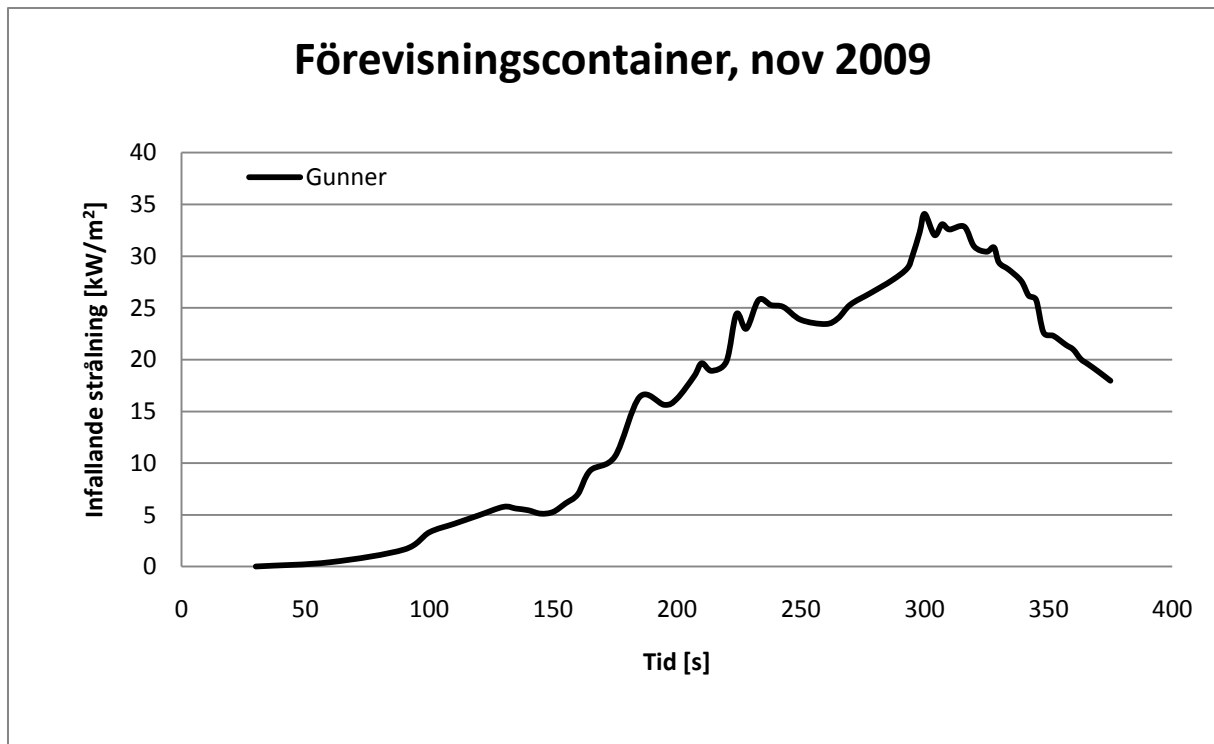


Figur 15 Temperaturkurvor från förevisningscontainer, data registrerad under oktober 2000.

Vid strålningsmätningar i förevisningscontainern användes Gunnarsmätaren tillsammans med en handenhet. Gunnarsmätaren isolerades väl och monterades i höjd med det inre rummets golvnivå i drygt 60° vinkel mot golvet, vilket visas i Figur 16. Mätdata registrerades manuellt från utsidan, resultatet visas i Figur 17.



Figur 16 Gunnarsmätaren vid försöksupställning i förevisningscontainern.



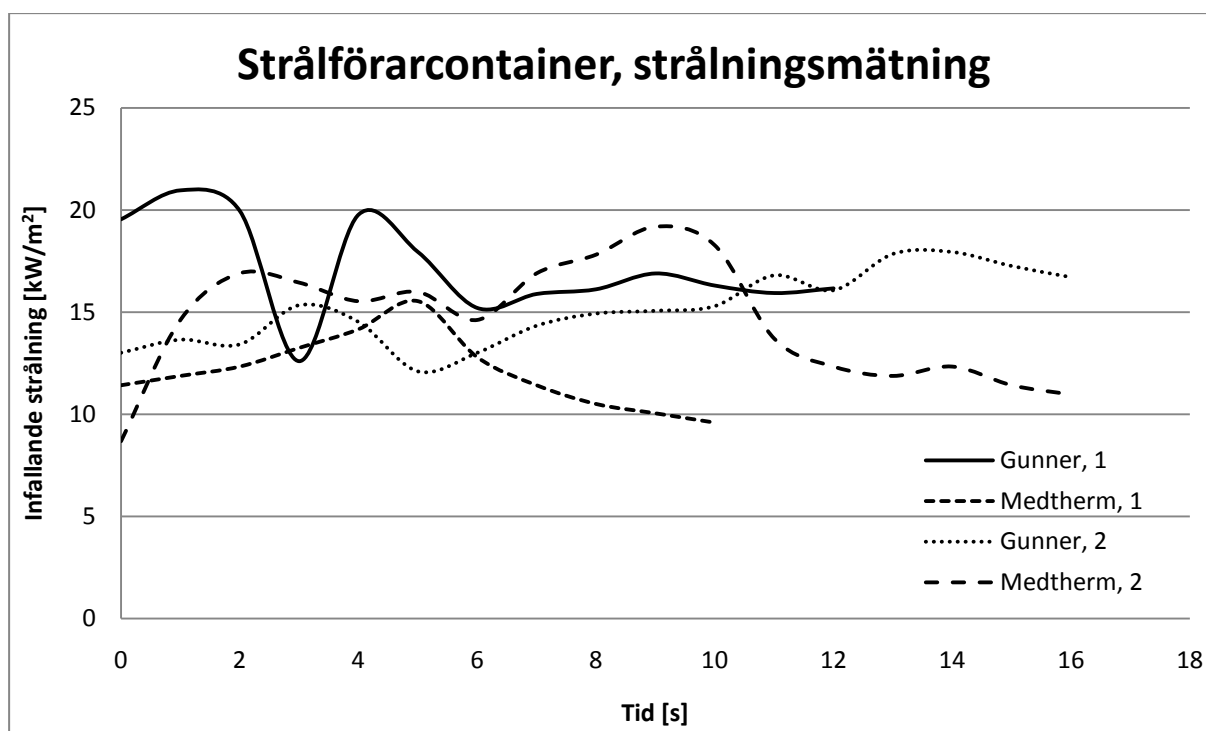
Figur 17 Resultat från strålningsmätningen vid förevisningscontainer.

6.2.2 Strålförarcontainern

Den andra lokalen där strålningsmätningar utfördes var strålförarcontainern, en anordning avsedd för övning och träning av släckteknik samt för kylning av brandgaser. Genom en fjärrkontroll applicerades gas till den inre delen av rummet varpå gasmassan antändes och utvidgades vidare i containern. Strålningsmätningar gjordes med både Gunnarsmätaren och Medtherm, dessutom i två olika uppställningar. Den första mätningen gjordes med instrumentens mynning placerad vid golvnivå av strålförarcontainern och med mätutrustningen riktad in mot taket. Vid den andra mätserien hade instrumenten lyfts upp cirka en meter över golvet, fortfarande riktade snett framåt. Figur 18 återger de två uppställningarna. Till strålförarcontainern saknades sedan tidigare temperaturmätningar. Under arbetets gång kompletterades det heller inte med mätningar av temperaturen, varpå en jämförelse ej har varit möjlig mellan strålning och temperatur vid strålförarcontainern.



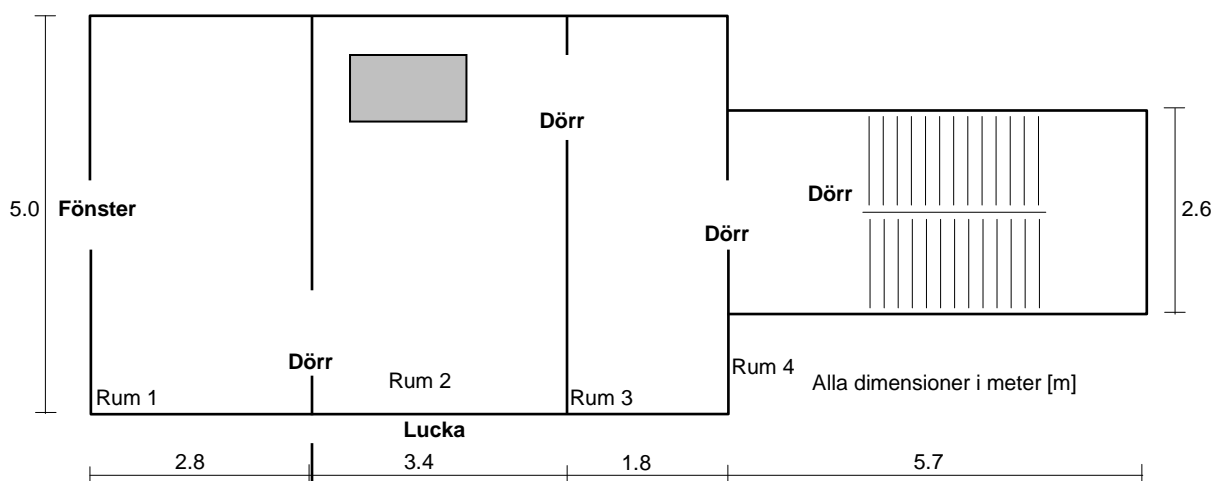
Figur 18 Försöksuppställningar vid strålförarcontainern.



Figur 19 Resultat från strålförarcontainern visar på nivåer mellan 10 och 20 kW/m².

6.2.3 Brandövningshuset

Den tredje och sista lokalen där strålningsmätningar utfördes var i en av lägenheterna i Brandövningshuset. Lägenheten utgjordes av tre rum av vilka det ena rummet hade en dörröppning till trapphuset, Figur 20. Bränsle i form av trä placerades i det mittersta rummet och branden fick fortlöpa tills stabila förhållanden hade bildats i lägenheten, med andra ord tills det tidsmässigt inte skedde några kraftiga förändringar av förhållandena i lägenheten.



Figur 20 Översiktlig bild av Brandövningshuset.

Till den använda uppställningen saknades gällande temperaturmätningar motsvarande fallet med förevisningscontainern och detta möjliggjorde därmed en jämförelse mellan temperatur och

strålning. Temperaturmätningar från Brandövningshuset med annan försöksuppställning, där bränslepaketet och öppningar var annorlunda, redovisas i Appendix B – Temperaturprofiler, brandgaser.

Försöksuppställningen föranledde en ansamling av mörka brandgaser inuti lägenheten, något som bidrog till att strålningen från flammen reducerades radikalt samtidigt som den största delen av infallande strålning utgjordes av de varma brandgaserna. Vid strålningsmätningar användes både Gunnersmätaren och Medtherm. Instrumenten placerades inuti det mittersta rummet och riktades mot tre olika mål: rakt mot flammen, snett uppåt ovanför flammen och rakt upp mot taket. Strålningsintensiteten som uppmättes av Gunnersmätaren återges i Tabell 5. På grund av den låga intensiteten i uppställningen blev utslaget på Medtherm så lågt att det inte gick att registrera.

Tabell 5 Utslag från Gunnersmätaren, Brandövningshuset

Riktning på instrument	Uppmätt spänning [mV]	Strålningsintensitet [kW/m ²]
Rakt mot flamma	0,10-0,11	0,82-0,91
45°, ovanför flamma	0,07-0,09	0,58-0,74
Rakt upp mot tak	0,05-0,06	0,41-0,49

6.2.4 Summering av resultat, Revinge

Resultaten från mätningarna i Revinge visade på storheter av strålning som överensstämde med de teoretiskt redovisade motsvarigheterna. Förevisningscontainern uppvisade dock väldigt höga strålningsnivåer som långt överskred övertändningskriterierna Waterman (1968) fastslog. Det skall dock inte försummas att brandförloppet i förevisningscontainern, med den sedvanliga bränsleladdningen, inte brukar betraktas av åskådarna från deras initiala position; de väljer oftast att retirera på grund av den termiska påfrestningen. Instruktören, som normalt befinner sig närmast branden och i höjd med mätpositionen, kan utsättas för höga strålningsnivåer. Strålförarcontainern uppvisade mer rimliga nivåer av vilken strålning som kan uppvisas under en övning. Mätningarna från den uppställningen utfördes under mycket korta tidsintervaller, 10-16 sekunder, men de var ändå tillräckliga för att handledare Stefan Svenssons svettkörtlar skulle aktiveras ordentligt. Tidsaspekten vid strålförarcontainern gav en indikation på hur länge fullt utrustad personal klarar av att vistas i denna termiska påfrestning. Till intensiteten som uppmättes i Brandövningshuset är kontrasterna stora. Trots att brandgaser låg tätt i lägenheten var strålningen näst intill obefintlig. Mätresultatet från den sista försöksuppställningen blev eventuellt lite i underkant men kan mycket väl representera en statistiskt normal lägenhetsbrand där branden är begränsad till ett eller ett fåtal enskilda föremål.

6.3 Mätningar vid Brandteknik, LTH

För att exponera brandhjälmars för termisk strålning användes Brandtekniks laboratorium, LTH. Detta avsnitt återger försöksuppställning, genomförande och resultat.

6.3.1 Försöksuppställning

För att utföra mätningar förknippade med strålningsexponering mot brandhjälmars byggdes en försöksuppställning upp. Strålningsalstrarens ställning monterades enligt det enda möjliga sättet och panelen sattes i en position där underkanten mätte 78 centimeter från golvet och med en lutning av 7° mot det vertikala planet. Ett podium, på vilket hjälmarna placerades, konstruerades med hjälp av lecablock samt isolering och mätte 80 centimeter från golvet. Termoelement placerades därefter på samtliga hjälmar som användes i försöken. Ett element placerades mellan hjälmskalet och den

invändiga isoleringen, det andra elementet placerades på insidan av isoleringen. För att justera strålningsintensiteten varierades avståndet mellan panelen och podiet där hjälmarna placerades. Tabell 6 återger de avstånd som användes vid försöken.



Figur 21 Försöksupställningen med strålningsalstrare, podium och itusågad brandhjälm.

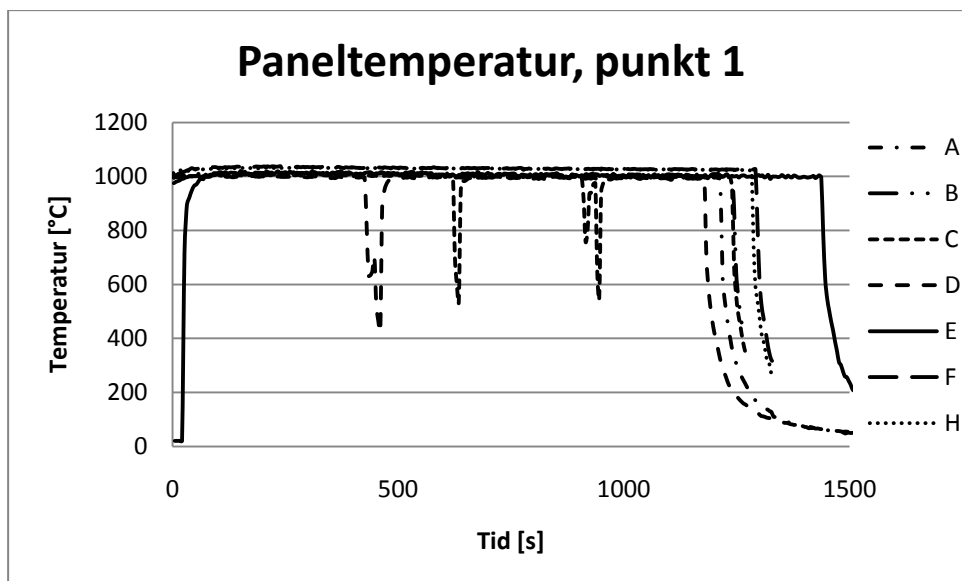
Tabell 6 Avstånd och strålningsnivåer som använts vid försöken

Avstånd mellan panel och hjälm [cm]	Gunners [mV]	Gunners [kW/m ²]	Medtherm [mV]	Medtherm [kW/m ²]
120	1,0	6,98	0,12	5,03
83	2,0	11,55	0,24	10,97
63	3,0	16,12	0,33	15,08
50	4,0	20,69	0,43	19,65

Vid inställningarna för avstånden mellan panelen och hjälmarna användes först Gunnersmätaren under vattenkyllning. Sett till den tidigare kalibreringskurvan skulle utslagen på Gunnersmätaren i Tabell 6 orsaka strålningsnivåer på 5, 10, 15 och 20 kW/m². Den nya kalibreringskurvan, som ej fanns tillgänglig vid försöksupställningens konstruerande, visade att de initiala nivåerna inte var hundra procentiga. För att kontrollera intensiteten vid de olika markeringarna användes Medtherm-instrumentet. Siffrorna från mätningarna visade på att strålningsnivåerna som användes vid försöken inte garanterat var exakta, utan fluktuationer kan ha förekommit.

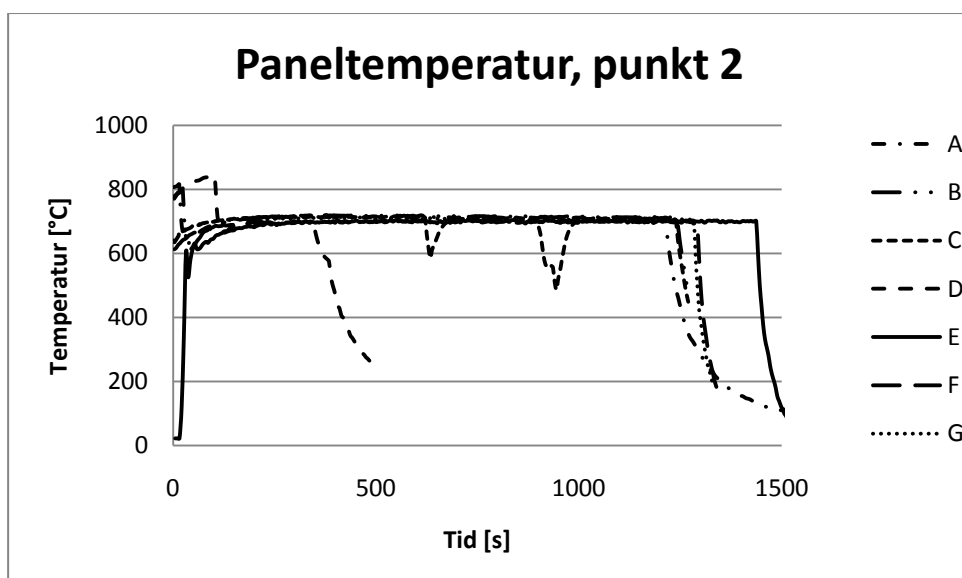
6.3.2 Temperaturkontroll av strålningspanel

För att validera strålningspanelens temperatur under försöksserien användes två termoelement som fästes vid panelens yta, deras placering kan vagt skönjas i Figur 9. Godtyckliga serier från panelens temperaturmätningar återges i Figur 22 och Figur 23.



Figur 22 Temperatur vid panelens yta under försöksserien, punkt 1.

Paneltemperaturerna avvek från varandra i de två mätpunkterna. Positioneringen av termoelementet i punkt 1 var dock mer centrerat än punkt 2 som då låg närmare panelens kant och det kan ha varit förklaringen till den differens som uppvisades. Dock var inte utslagen på termoelementen de intressanta ur den aspekten, utan vad som eftersöktes var en för varje punkt homogen temperatur under försöken, vilket kontrollmätningen verifierade.



Figur 23 Temperatur vid panelens yta under försöksserien, punkt 2.

6.3.3 Visuell påverkan

"Nya brandhjälmen smälter vid hetta" löd citatet som inledde rapporten. Samtliga hjälmar har testats mot samma strålningspåverkan och de skador som visuellt gick att uppfatta sammanfattas i detta avsnitt.

Tabell 7 innehåller nödvändig teckenförklaring som senare används i Tabell 8 till Tabell 11. Teckenförklaring är giltig för samtliga tabeller.

Tabell 7 Teckenförklaring för Tabell 8 till Tabell 11

Teckenförklaring	
1	Ytskiktet börjar deformeras, bubblor bildas på skalet, liten omfattning
2	Omfattande ändring av ytskikt, bubblor täcker stora delar av hjälmskal, isolering och reflexband intakt
3	Omfattande ändring av ytskikt, skal kraftigt missfärgat, isolering och reflex intakta
4	Omfattande deformationer på utsidan. Isolering samt reflexband intakta
5	Rök avges från hjälm alt isolering
6	Svag missfärgning på skal, övrigt oskadd
7	Isolering kraftigt degraderad, hjälmskal börjar att missfärgas
8	Isolering smält, omfattande sprickbildning i den påverkade zonen
9	Isolering påverkad, svag missfärgning insida, kraftig missfärgning utsida
10	Ytskikt svedjat, insida av skal vagt missfärgat, isolering svagt missfärgad
11	Ytskikt sönderbränt och delvis smält
12	Isolering märkbart påverkad, insida missfärgad, exteriörtotalförstörd
13	Reflexband på exteriör bubblar
14	Vag missfärgning på hjälmskal, kraftig på isolering, reflexband påverkat

Tabell 8 Visuell påverkan av hjälmar vid exponering mot cirka 5 -7 kW/m²

Avstånd 120 cm, strålningsintensitet cirka 5 – 7 kW/m ²						
	A _{röd}	A _{svart}	B	C	D	E
20 min	-	-	-	-	-	-
40 min	-	-	-	-	-	-
60 min	-	-	-	-	-	-
80 min	-	-	-	-	-	-

De visuella resultaten från den lägsta strålningsnivån gav inte några anmärkningsvärda eller synliga effekter. Totalt exponerades samtliga hjälmar under 80 minuter för den aktuella strålningsnivån. Två av hjälmarna fick fyra doser av 20 minuter, A_{svart} samt B, två hjälmar fick en dos med 80 minuter, C samt E. För hjälm A_{röd} och D tog gasolen slut efter drygt 25 minuter vilket gav upphov till ett ofrivilligt stopp. Försöket fortsattes dock från den punkten även om strålningsintensiteten ej uppnått samma nivå hela tiden. Både exteriören och interiören, i dessa fall den isolering som varje hjälm hade på insidan, uppvisade varken missfärgningar eller deformationer efter denna strålningspåverkan.

Tabell 9 Visuell påverkan av hjälmar vid exponering mot cirka 10,5 -12 kW/m²

Avstånd 83 cm, strålningsintensitet cirka 10,5 – 12 kW/m ²						
	A _{röd}	A _{svart}	B	C	D	E
4 min	-	1	5	-	-	-
6 min	-	-	-	-	-	13
8 min	1	2	-	-	-	-
12,5 min	-	2 (slut)	-	-	-	-
14 min	2	-	6	-	-	14
20 min	2	-	7	6	6	-

Vid exponeringar för strålningsnivåer kring 10 kW/m^2 exponerades hjälm A_{svart} för 12,5 minuter medan övriga försök pågick under 20 minuter.

Tabell 10 Visuell påverkan av hjälmar vid exponering mot cirka $15 - 16 \text{ kW/m}^2$

Avstånd 63 cm, strålningsintensitet cirka $15 - 16 \text{ kW/m}^2$						
	$A_{\text{röd}}$	A_{svart}	B	C	D	E
2 min	-	1	5	-	-	13
3 min	-	-	-	-	-	1
4 min	1	-	-	-	-	-
5 min	2	4 (slut)	7	6	6	6
8 min	3	-	-	-	-	-
12 min	3 (slut)	-	-	-	-	-
20 min	-	-	8	9	10	14

Vid strålningsintensiteten $15-16 \text{ kW/m}^2$ avbröts exponeringen mot hjälm $A_{\text{röd}}$ och hjälm A_{svart} efter tolv respektive fem minuter, detta då påverkan på hjälmarna ansågs vara tillräckliga för undersökningens syfte. Övrigt material utsattes för strålningsnivån under 20 minuter. Liknande förklaring kan även användas till Tabell 11.

Tabell 11 Visuell påverkan av hjälmar vid exponering mot cirka $19,5 - 21 \text{ kW/m}^2$

Avstånd 50 cm, strålningsintensitet cirka $19,5 - 21 \text{ kW/m}^2$						
	$A_{\text{röd}}$	A_{svart}	B	C	D	E
1.5 min	-	1	-	-	-	13
2 min	1	2	-	6	-	6
3 min	2	3 (slut)	7	-	-	2
4 min	-	-	-	1	6	-
5 min	-	-	-	-	-	12
6 min	-	-	-	-	-	-
7 min	-	-	-	11	-	-
10 min	3 (slut)	-	-	-	-	-
20 min	-	-	8	12	6	12

6.3.4 Temperaturnivåer

Till varje strålningsexponering noterades temperaturerna på hjälmskalens och isoleringarnas insidor. Utförligare grafer till samtliga tabeller återfinns i Appendix C – Temperaturprofiler, brandhjälm. I Tabell 12 visas temperaturerna från exponeringen mot 5 kW/m^2 . Till tabellen saknas mätdata för två av hjälmarna, A_{svart} samt B, på insidan av isoleringen, detta på grund av att det vid aktuellt tillfälle inte fanns tillräckligt med termoelement.

Tabell 12 Temperaturdata, 5 kW/m^2

5 kW/m^2	Exponeringstid	Innanför hjälmskal		Innanför isolering	
		Max	Medel	Max	Medel
$A_{\text{röd}}$	(27+53 min)	128,1	115,7	68,5	58,1
A_{svart}	(4x20 min)	130,7	111,3	-	-
B	(4x20 min)	124,4	106,0	-	-
C	(80 min)	115,4	107,8	70,3	63,3
D	(27+53 min)	127,2	110,9	49,2	44,0
E	(80 min)	126,1	116,2	66,9	59,7

När strålningsintensiteten uppgick till 10 kW/m^2 , Tabell 13, var exponeringstiden kortare för hjälm A_{svart} , de synliga skadorna vid denna tidpunkt var så pass omfattande att försöket avbröts. Nämnas bör även att termoelementet innanför skalet slutade att fungera efter cirka 15 minuter för hjälm B, vilket renderade i en felaktig temperaturmätning som påverkade medelvärdet så att det fick en lägre siffra.

Tabell 13 Temperaturdata, 10 kW/m^2

10 kW/m^2		Innanför hjälmskal		Innanför isolering	
	Exponeringstid	Max	Medel	Max	Medel
A_{röd}	(20 min)	151,0	122,5	65,4	49,8
A_{svart}	(12,5 min)	94,4	72,1	88,5	65,4
B	(20 min)	193,5	118,1	96,3	67,1
C	(20 min)	160,9	126,2	91,6	72,6
D	(20 min)	201,0	161,8	76,8	59,8
E	(20 min)	195,7	161,1	97,2	68,8

Vid 15 kW/m^2 avbröts exponeringen efter fem minuter mot hjälm A_{svart} och efter tolv minuter mot $A_{\text{röd}}$ då de visuella skadorna ansågs tillräckliga för undersökningens syfte. Vidare saknades termoelement för mätningar på insidan av hjälmskalet för A_{svart} .

Tabell 14 Temperaturdata, 15 kW/m^2

15 kW/m^2		Innanför hjälmskal		Innanför isolering	
	Exponeringstid	Max	Medel	Max	Medel
A_{röd}	(12 min)	162,3	129,1	61,3	49,1
A_{svart}	(5 min)	-	-	62,9	45,8
B	(20 min)	224,6	146,3	213,7	177,9
C	(20 min)	187,8	156,8	123,0	88,5
D	(20 min)	264,9	223,6	80,2	59,8
E	(20 min)	239,4	198,8	117,4	88,7

Med samma resonemang som ovan finnes förklaringen till att exponeringstiden skiljer sig för de två A-hjälmarna gentemot övriga vid 20 kW/m^2 . Mätdata från temperaturen hos hjälm B kan vara missvisande då isoleringen smälte och omslöt termoelementet.

Tabell 15 Temperaturdata, 20 kW/m^2

20 kW/m^2		Innanför hjälmskal		Innanför isolering	
	Exponeringstid	Max	Medel	Max	Medel
A_{röd}	(10 min)	186,6	139,7	60,9	48,6
A_{svart}	(3 min)	-	-	63,0	42,1
B	(20 min)	292,3	223,0	276,4	184,9
C	(20 min)	215,4	177,5	126,8	93,2
D	(20 min)	258,1	211,3	88,6	67,6
E	(20 min)	297,9	252,5	147,8	108,9

7. Diskussion

De nydanande plasterna tågade slutligen även in på marknaden för brandhjälmarna och gav dem många av de egenskaper som länge eftertraktats. Tidigare problem med otympliga och tunga material blev genom komposithjälmen ett minne blott. Men plastrhjälmarna har inte bara introducerat en bättre produkt, de har även i stor utsträckning försvårat kontrollen av densamma. Tack vare den kraftiga utveckling som skett inom plaster, och för den delen som även sker idag, finns det en uppsjö av olika kemiska föreningar som alla bildar plaster med olika egenskaper. En parallell kan dras till järn och aluminium, vilka båda är en metall fast med helt olika densitet. Jag kan spontant anse att tillverkarna av brandhjälmarna gör livet enkelt för sig genom att i sin produktbeskrivning ange att tillverkningsmaterialet är "plast", istället för att mer ingående komplettera den uppgiften med exakt vilken(vilka) plast(er) som används. Å andra sidan bör det kanske beaktas hur många som egentligen efterfrågar denna typ av information, förmodligen är det en ytterst begränsad skara.

Arbetsmiljöverket är givetvis ett bra organ för kontroll av arbetsplatser runt om i Sverige. Tyvärr är deras information ofta implicit, en utformning jag tror stävjar arbetsgivarnas tillämpning. Exakta krav på vad en personlig skyddsutrustning skall klara av finns inte specificerade i författningssamlingarna, information om detta hittas istället i standarderna, vilka oftast är dyra och därmed otillgängliga dokument. Att arbetsgivarna inte förses med tillräcklig information leder direkt till att de inte kan föra den vidare; upplysning om beskaffenhet, hotbild och annan adekvat information når inte hela vägen. Det är givetvis att generalisera med ett påstående av denna karaktär, som dessutom inte har andra värderingar än rent personliga, och undantag finns alltid. Men just det att informationen inte når ut i hela kedjan ger ett resultat av okunskap, en okunskap som mycket väl kan övertyga användaren om att just den personliga skyddsutrustningen alltid uppfyller sina krav. Trots det att standarderna i många avseenden är lika varandra och kraven på hjälmarna därmed går hand i hand är det värt att notera att hjälmarnas utseende kan variera kraftigt mellan olika kulturer. Detta har förmodligen sin förklaring i tradition och historia snarare än i deras förmåga att leva upp till standardernas krav.

Standarden gentemot vilken brandhjälmarna testas är givetvis inte tagen ur luften utan har säkerligen vuxit fram med hjälp av erfarenhet, rutin och revideringar. Min generella uppfattning om standarden är definitivt inget expertutlåtande utan begränsas väldigt mycket till just strålning vilket vi får anledning att återkomma till senare. Att den europeiska versionen för brandhjälmarna i mångt och mycket är väldigt lik den amerikanska, som säkerligen fungerar som mall även i många andra länder, är förmodligen ingen tillfällighet. Antingen har skaparna tittat väldigt mycket på varandra eller så är det ett rent faktum att arbetsmiljöerna ur många aspekter är väldigt lika och att standarderna blir lika. Oavsett vilket så borde resultatet av två lika testmetoder bli det att sannolikheten för att deras innehåll återspeglar verkligheten är hög.

När den nya standarden, SS-EN 443:2008, togs i bruk infördes förändringen av testmetoden för strålningspåverkan. Den nivån som idag används, 14 kW/m², är inte bara dubbelt så hög som i tidigare utgåva av standarden; tiden som hjälmarna exponeras har också ökat markant. Är det motiverat att ha denna nivå? Hur andra europeiska länder ställer sig till denna fråga är svårt att ange, undertecknads uppfattning efter denna rapport är dock den att nuvarande nivå inte är i underkant sett ur svensk synvinkel. Jag har svårt att se vilken nytta en ytterligare höjning av testet i dagsläget skulle ge då nivån anses vara kraftigt tilltagen sett till vilka nivåer som infinner sig under

övningssituationer. Dock skall inte en framtida materialutveckling utesluta en höjning av provmetoden, då detta kan leda till en produkt med en ökad felmarginal.

Målet med försöksuppställningen har varit att återskapa så lika förhållanden som möjligt för testerna. Utrustning, i form av strålningsmätare, har för ändamålet kalibrerats och använts i dubbel uppsättning för att någorlunda validera storheten av mätta variabler. Uppställningen i Brandlabbet möjliggjorde mer kontrollerade förhållanden som minskade felmarginalen. Visst kunde strålningsmätaren placeras någon centimeter framåt eller bakåt i något av försöken, likaså hjälmarna, dock utan att ge några signifikanta skillnader. Underförstått har inte precis alla försök skett med exakt samma strålningsintensitet, dock borde de ha varit väldigt lika varandra. Hand i hand med strålningsmätningarna går givetvis också kalibreringsförsöken; är enheterna fel kalibrerade blir resultaten missvisande. Felkällor vid kalibreringen ligger främst i resultaten från det termoelement som är placerat inuti kalibreringsugnen. Gentemot ugnens förinställda temperaturer visar termoelementet i storleksordning rätt, det skall dock reserveras för mindre fluktuationer. Validiteten på strålningspanelen blir genom temperaturmätningarna genomgående hög, däremot är kanske resultaten från Revinge mer diskutabla. Strålningsnivåerna som är redovisade i denna rapport är inte huggna i sten, två eller tre mätningar avslöjar inte hela verkligheten. Dock skall det poängteras att arbetets tyngdpunkt ej ligger kring denna del då det litteraturmässigt finns mycket information att inhämta. Det som kan urskönjas från dessa resultat är att strålningen varierar otroligt mycket vid en förbränning. Fokus bör istället kanske riktas mot vad en människa klarar av att hantera?

Hjälmarna som har testats i denna rapport utgör inte samtliga produkter som finns på marknaden. Vad kan då utläsas av resultaten som framkommit? Vid den lägsta nivån, cirka 5 kW/m^2 , uppvisas inga visuella skador på någon av produkterna. Efter 80 minuters exponering har också temperaturerna stabiliserats; det har uppnåtts ett jämviktsläge. Mycket tyder på att det finns ett tröskelvärde som exponeringen måste överstiga för att skada skall ske omgående; dubbla intensiteten med halva tiden ger inte samma resultat i något fall. Det skall här poängteras att ett definitivt tröskelvärde troligen inte existerar. Med tröskelvärde menas en nivå som materialen kan exponeras för i all evighet utan att degraderas. Vid vilken exakt nivå som akut degradering initieras är fortfarande okänt. Vad som kan urskönjas ur rapporten är det att den ligger mellan dryga 5 till dryga 10 kW/m^2 .

Vid ökade nivåer av strålning kommer även de synliga skadorna. Hos vissa hjälmar kommer de tidigare, andra senare. Intrycket som ges från resultaten är att det är svårt att dra konkreta slutsatser ur försöken. Två olika producenter som uppgivit samma plastkomponent i komposithjälmen uppvisar inte samma resultat. Den första slutsatsen som kan dras ur försöken är dock den att de första visuella skadorna som uppkommer sker på de brandhjälmarna som är klarlackade för att ge ett bättre intryck. Om lacket utvidgas på grund av dess temperatur eller om luft mellan lack och hjälm expanderar orsakar de bubblor som bildas kan jag inte svara på, inte heller om hjälmen tappat sin skyddsförmåga. Skulle den bytas ut? Ja, med största sannolikhet hade brukaren av en hjälm med sådant utseende bett om en ny.

De hjälmar som rent visuellt uppvisar de bästa resultaten, med andra ord ser minst påverkade ut, vid strålningsexponering är inte helt oväntat de två dyraste och mest respektingivande konstruktionerna. Bra komfort och fräck design är förutom priset det som skiljer dem mest från övriga testade hjälmar. Men även om de visuella resultaten är desamma skiljer temperaturdata dem åt radikalt. Den ena

hjälmens uppvisar genomgående betydligt lägre temperaturer, både innanför hjälmskalet som innanför isoleringen, än vad den andra gör. Resultaten bör kunna förklaras med att den ena hjälmen har en ytbeläggning som är starkt reflekterande, medan den andra har en mer transparent konstruktion som gör att den termiska strålningen leds genom materialet. Den förstnämnda bör vara mer fördelaktig.

Färgspektret på hjälmarna i denna rapport är undermåligt och att dra större slutsatser på färgvalets inverkan känns som en gissning. Det resultat som finns stärker dock teorier om att olika färgscheman absorberar olika mycket av termisk strålning. Min uppfattning är den att färgen inte spelar den största rollen vid denna typ av frågor, utan att valet av ytskikt är avgörande för utfallet.

Även om hjälmarnas inredning exkluderades ur försöken behölls isoleringen. Det generella resultatet är det att isoleringen oftast klarar sig väldigt bra i förhållande till hjälmskalet men det finns ändå en möjlighet till att inredningen tar skada före exteriören. Därför bör inte endast hjälmskalet inspekteras efter synliga skador utan så även också inredningen. Den sistnämnda är dessutom ofta utbytbar.

I sina produktblad skriver producenterna att hjälmarna skall kontrolleras så att inte sprickbildning har skett, om så är fallet skall de bytas ut omgående. Synliga sprickor förekom under rapportens gång inte i stor utsträckning, men de fanns ändå där. Det som kan sägas om synliga sprickor är de förekommer efter missfärgning av materialet. Att hjälmarna skiftar färgnyanser är alltså en indikation på att plastmaterialet degraderas och att sprickbildning har initierats/kommer initieras.

En viktig aspekt att ha med sig är det faktum att det i Sverige alltid används en luva på larmstället som är till för att täcka hjälmen. Dessutom kan skyddet kompletteras med ytterligare en hätta för att minska strålningspåverkan, vilket kanske är vanligast vid övningar. I denna rapport har hjälmarna exponerats för nivåer utan skydd av beklädnad, nivåer som skall motsvara de som uppstår i verkligheten. Till detta skall det beaktas hur länge som insatspersonal klarar av att vistas i olika situationer. Toleransnivån för personer är givetvis individuell men min absoluta uppfattning är den att en människa, fullt utrustad efter konstens alla regler, inte klarar av att vistas i en situation längre än vad en oskyddad brandhjälm gör utan att ta skada. För att återknyta till rapportens inledande citat: Ja, en brandhjälm kan förstöras av hetta, men då lever inte personen som använt den längre.

När brandhjälmarna tappat delar av sin skyddande förmåga och därmed inte uppfyller kraven från Arbetsmiljöverket är väldigt svårt att avgöra. Visst, det finns alltid en gräns där alla kan identifiera en icke-godkänd hjälm men troligen har den minimala skyddsnivån redan passerats med råge. Hur löses då problemen med kontrollen av skyddsutrustning i allmänhet och hjälmar i synnerhet? Efter att ha ägnat stora delar av terminen åt just brandhjälmarna kan jag tycka att det som lekman är väldigt svårt att avgöra när denna gräns nås. Än svårare bör det vara för brukaren att avgöra om han inte förses med vettig utbildning och information. Leverantörer har som skyldighet att delge brukaren lämplig information kring fastställandet av brandhjälmens livstid. Generellt kan denna information gärna förtydligas för att underlätta denna bedömning. Huvudansvaret för att skyddsutrustningen kontrolleras så att de uppfyller kraven ligger dock inte hos leverantörerna utan hos arbetsgivaren. Det är även här svårt att avgöra hur arbetsgivare runt om i landet lever upp till denna skyldighet men känslan är att den ofta förpassas till arbetstagarna. Alternativ som säkerligen brukas i kommuner är att utse någon ansvarig för just denna del av den personliga skyddsutrustningen och låta den personen ombesörja reparationer och kontroller. Dock avser sig leverantörer ibland allt ansvar vad

det gäller brandhjälmarna om inte reparationen utförs av en fackman. Efter att själv ha modifierat hjälmarna anser jag att det praktiska arbetet med att byta ut delar inte kan jämföras med svårigheten att avgöra hjälmens skick. Om fackmannen skall ombesörja reparationer bör han även, som faktiskt någon leverantör hävdar, sköta kontrollen av hjälmarna. Vilka tidsintervaller dessa kontroller skall ske inom låter jag vara osagt, men jag är övertygad om att denna lösning är den absolut bästa.

Det är även av yttersta vikt att ytterligare en gång poängtera att brandhjälmarna är en skyddsutrustning. Även om den har tappat sin förmåga har detta förhoppningsvis skett när den skyddade brukaren och därigenom har hjälmen uppfyllt sitt ändamål.

Plasthjälmarna kommer med största sannolikhet att dominera marknaden ett bra tag framöver. Genom att lösa de största problemen, där förutom vikten även den elektriska ledningsförmågan samt stötresistansen ingår, tror jag att tillverkarna köpt sig lite tid till sin produktutveckling. Introduktionen av aluminiumhjälmarna på marknaden löste problemet med vikten, dock var den elektriskt ledande; något som inte var acceptabelt. Dagens komposithjälm klarar av väldigt mycket. Det största problemet idag, vilket egentligen inte är ett problem, är dess livslängd. Folk i allmänhet har förväntningar om att hjälmarna skall hålla en hel anställning vilket inte är rimligt. Leverantörerna förser kunderna med utförlig information om hur produkten skall hanteras och omhändertas för att maximera dess livslängd, ofta finns även förslag på lämpliga rengöringsmedel som med fördel kan användas. Även om jag inte kan underbygga det med ren fakta är det min fulla övertygelse att i stort sett alla missöden med brandhjälmarna beror på att användaren inte följt rekommendationerna. Skulle detta göras kan hjälmarna säkerligen användas i flertalet år.

8. Slutsats

Från rapporten kan följande slutsatser dras:

- Standardens krav på 14 kW/m^2 under 8 minuter anses vara mer än tillräcklig
- Brandhjälm tar skada av termisk strålning, dock krävs strålningsnivåer som långt överskrider vad brukaren klarar av
- Med största sannolikhet existerar ett tröskelvärde mellan 5 och 10 kW/m^2 där skadorna radikalt förändras
- Missfärgning är den första indikationen på att degradering av materialet börjar ske
- Brukaren bör vara väl införstådd i de instruktioner som bifogas produkten för optimering av hjälmens kvalitet och livslängd
- Konsumenten bör av leverantören erbjudas fackmansk kontroll av brandhjälms status för att avgöra huruvida kraven på skyddsnivån uppfylls eller ej

9. Förslag till fortsatt forskning

Det jag efter denna rapport ser ett behov av att undersöka är hur de olika ytbehandlingsmaterialen reagerar på termisk strålning utan att de är applicerade på olika hjälmar. Framförallt för producenterna finns här en möjlighet att utvärdera vilka ytskikt som lämpar sig bäst för brandhjälmarna och därigenom skapa en ännu mer optimerad produkt. Att de klarlackerade hjälmarna, som var de där synliga skador först uppkom, finns att tillgå på marknaden i framtiden har jag svårt att se.

Vad som även är av intresse att undersöka djupare är hur färgvalet reagerar på strålning. Färgen har oftast ett funktionellt syfte i att särskilja befattningen på arbetsplatsen. Det kan möjligtvis påvisas att en befattning med mindre termisk påfrestning lämpar sig bättre för ett färgval som är inte är lika reflekterande som färgvalet hos insatspersonalen.

Hjälmen är endast en del av den skyddsutrustning som används av brandmän och har just som syfte av skydda brukaren. Eftersom det ur rapporten har framkommit att värmeledningen genom materialet kan skilja sig markant mellan olika hjälmar kan det vara intressant att vidare undersöka hur mycket värmeenergi som överförs till huvudet på användaren. Härmed skulle de olika isoleringsmaterialen kunna utvecklas och optimeras. Understrykas bör även att tester av denna karaktär bör utformas tillsammans med övrig adekvat utrustning, här med tillhörande larmställ och dess huva.

Det största ansvaret av forskning kring brandhjälmarna ligger givetvis hos producenterna och jag är övertygad om att det är en viktig fråga för att följa med i utvecklingen. En producent som inte kan tillgodose kunden med konkurrenskraftigt material till rimliga priser kommer naturligt att raderas från marknaden.

10. Ordlista

Amidgrupp	Kemisk förening av kväve, väte, kol samt syre
Armering	Material med förstärkande egenskaper
Aromatisk	Föreningen som har en cyklisk formation
Brandcell	Byggnadsdel från vilken brand ej sprids under viss föreskriven tid
Bränslekontrollerad	Förbränning som kontrolleras av mängden bränsle
Bunsenbrännare	Gasdriven brännare ofta avsedd för småskaligt bruk
Diffusionsförbränning	Förlopp där syre och bränsle blandas i förbränningszonen
Duroplast	Fackterm för en hård och hållbar plast (NE II)
Hotbild	Aktuella faror förenade med en viss situation
Härdplast	Ett plastmaterial som inte kan omformas under en temperaturhöjning. Karaktäriseras som en stabil produkt vid värme- och kemikalieresistens
Intermolekylär	Samlingsnamn för ting inom en kemisk förening
Komposit	Produkt sammansatt av olika material
Konduktivitet	Värmetransport genom ledning i ett material
Konvektion	Värmetransport genom en fluid, exempelvis luft
Medium	Transportör av energi
Pilotlåga	Kan aktivera en förbränning, exempelvis tändsticka
Polyamid	En polymer med amidgrupper som ger extra stark intermolekylär kraft (NE III)
Polyester	Polymer som finns i en mängd olika varianter med olika kemiska egenskaper. Finns både som härdplast och termoplast (NE IV)
Polymer	Kemisk förening som bygger upp material, exempelvis plast (NE V)
Pyrolys	Termisk nedbrytning av ämnen
RB90	Arbetskläder för räddningstjänst
Spektrum	Färgskala
Ventilationskontrollerad	Förbränning som kontrolleras av tillgång till syre

11. Nomenklatur

D	Avstånd mellan strålkälla och beräkningspunkt [m]
$E_b(T)$	Emitterad strålning [kW/m ²]
L_1	Strålkällans bredd [m]
L_2	Strålkällans längd [m]
S	L_1/L_2 [-]
T	Temperatur [K]
\dot{q}''	Infallande strålning [kW/m ²]
α	$L_1 \cdot L_2/D^2$ [-]
ε	Emissivitet [-]
ϕ	Synfaktor [-]
σ	Stefan-Boltzmanns konstant, $5,67 \cdot 10^{-8}$ [kW/(m ² *K)]

12. Referenser

- Arbetsmiljöverket I. *Om oss*. (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://www.av.se/omoss>> hämtad: 25 september 2009
- Arbetsmiljöverkets författningssamling 2001:3*. Användning av personlig skyddsutrustning. Stockholm: Arbetsmiljöverket
- Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling 1996:7*. Utförande av personlig skyddsutrustning. Stockholm: Arbetarskyddsstyrelsen
- Bullard I. *Choosing a fire helmet*. (Elektronisk) Tillgänglig: <http://www.bullard.com/V3/products/fire_service/choosing_a_helmet.php#composition> hämtad 22 september 2009
- Çengel, Yunus A. & Turner, Robert H. (2001). *Fundamentals of thermal-fluid sciences*. McGraw-Hill. Boston.
- Brodin, Jerry (2007, 15 oktober). Nya brandhjälmen smälter vid hetta. *Dalarnas Tidningar*. (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://www.dt.se/nyheter/borlange/article240873.ece>> Hämtad: 1 september 2009
- Drysdale, Dougal (1998). *An introduction to fire dynamics*. Wiley. 2nd ed. Chichester.
- EN443 vs NFPA 1971 (2008, 11 april). *Industrial Fire Journal*. (Elektronisk) Tillgänglig: <http://www.hemmingfire.com/news/fullstory.php/aid/146/EN443_vs_NFPA_1971.html> hämtad: 2 oktober 2009
- Fang, J.B. (1975). *Measurement of the behavior of incidental fires in compartment*. National Bureau of Standards. Gaithersburg. NBSIR 75-679.
- Fluke I. *Emissivitetvärden för vanliga material*. (Elektronisk) Tillgänglig: <http://www.fluke.se/comx/show_product.aspx?locale=sesv&pid=37822> hämtad: 19 november 2009
- Hägglund, B., Jansson, R. & Onnermark, B. (1974). "Fire development in residential rooms after ignition from nuclear explosions". Stockholm. Försvarets forskningsanstalt. *FOA Rapport C 20016-D6 (A3)*
- Kaier, Arnold (2008). *Entwicklung des Kopfschutzes für den Feuerwehrmann*. Opublicerat manuskript.
- Karlsson, J. & Kronqvist, U. (2009). *Lättskum som skydd av egendom vid brand i byggnad*. Examensarbete (rapport 5294). Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, LTH, Lund.
- Kirk, Patrick (1999). "Effect of outdoor weathering on the effective life of forest industry safety helmets". *International Journal of Industrial Ergonomics*. 25, 51-58
- MSAFire I. *Cairns History*. (Elektronisk) Tillgänglig: <http://www.msafire.com/cairns_history.html> hämtad: 11 november 2009
- Nationalencyklopedin I. *Glasfiber*. (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://ne.se.ludwig.lub.lu.se/lang/glasfiber>> hämtad: 16 september 2009
- Nationalencyklopedin II. *Duroplast*. (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://ne.se.ludwig.lub.lu.se/lang/duroplast>> hämtad: 16 september 2009

Nationalencyklopedin III. *Polyamid*. (Elektronisk) Tillgänglig:
<<http://ne.se.ludwig.lub.lu.se/lang/polyamid>> hämtad: 16 september 2009

Nationalencyklopedin IV. *Polyester*. (Elektronisk) Tillgänglig:
<<http://ne.se.ludwig.lub.lu.se/lang/polyester>> hämtad: 16 september 2009

Nationalencyklopedin V. *Polymer*. (Elektronisk) Tillgänglig:
<<http://ne.se.ludwig.lub.lu.se/lang/polymer>> hämtad: 16 september 2009

NFPA (2007). *NFPA 1971 - Standard on Protective Ensembles for Structural Fire Fighting and Proximity Fire Fighting, 2007 Edition*. National Fire Protection Association. Quincy.

Nicholson, John W. (1991). *The chemistry of polymers*. Royal Society of Chemistry. Cambridge.

Persson, Henry & Persson, Bror (1996). *Påverkan från värmestrålning vid brand i cisternlager*. SP Rapport 1996:06

Siegel, Robert & Howell, John R. (2002). *Thermal radiation heat transfer*. Taylor & Francis.. 4th ed. New York

Standardiseringskommissionen i Sverige (2008). *Skyddshjälmarna för brandmän vid brandsläckning i byggnader och andra konstruktioner*. SIS Förlag AB. Stockholm.

Statens Räddningsverk (2000). *Brandskydd I oljedepå, rekommendationer*. Statens Räddningsverk. Karlstad.

Waterman, T.E. (1968). "Room flashover – criteria and synthesis". *Fire Technology*. 4, 25-31

Personlig kommunikation

Göran Holmstedt. Professor. Brandteknik. 4 november 2009

Hans Höglin. Marknadsansvarig. Dräger Safety. 24 september 2009.

Jan-Olle Malm. Professor. Kemiska Institutionen, LTH. Föreläsninganteckningar Allmänkemi, Kinetik, våren 2007.

MSA Nordic. Representant vid Brandskyddsdagen i Revinge. 3 september 2009.

Sven-Ingvar Granemark. Forskningsingenjör. Brandteknik. 31 oktober 2009

Appendix A - Beräkningar

I detta appendix redovisas den beräkningsgång som använts vid uträkning av de temperaturer som i kombination med emissivitet och synfaktor kan generera en strålningsintensitet på 14 kW/m². Beräkningarna har skett med utgångspunkt i *Brand i byggnad*. De avståndsangivelser som är givna i denna bilaga är valda helt godtyckligt. De förhållanden som hade kunnat uppstå vid insatser vid *Brand ej i byggnad* har således ej beaktats.

Drysdale (1998) har angivit den modell som ligger till grund för strålningsberäkningar

$$\dot{q}'' = \phi \varepsilon \sigma T^4 \quad [1]$$

$\dot{q}'' =$ Infallande strålning [W/m²]

$\phi =$ Synfaktor [-]

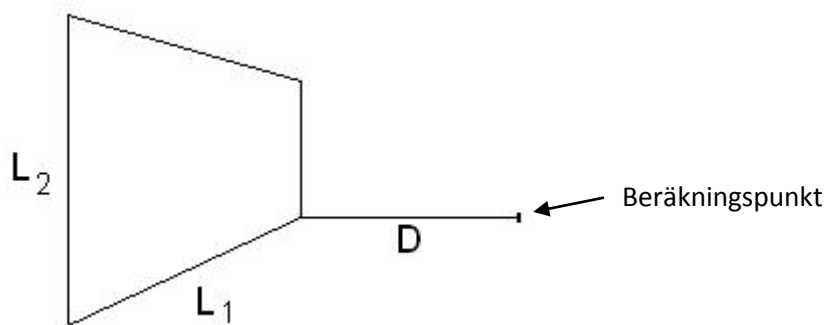
$\varepsilon =$ Emissivitet [-]

$\sigma =$ Stefan – Boltzmanns konstant, $5,67 \times 10^{-8}$ [W/(m² × K⁴)]

$T =$ Temperatur [K]

Två av parametrarna i ekvationen är konstanter; detta i form av strålningsintensiteten, \dot{q}'' , som är satt till 14 kW/m² samt Stefan-Boltzmanns konstant, σ .

Synfaktorn, ϕ , är den andel av emitterad strålning från strålkällan som träffar den yta på mottagaren som beräknas. Synfaktorn är en variabel och beror dels av strålkällans storlek, dels på avståndet mellan källan och mottagaren. Strålkällan, som kan vara varma brandgaser, flammor, heta ytor i en lokal eller en kombination av dessa, gestaltas som en rektangel sett från beräkningspunkten.



Figur 24 Grafisk framställning av strålkällans förhållande gentemot mottagaren.

$L_1 =$ Bredden av den strålande ytan [m]

$L_2 =$ Höjden (alt längden) av den strålande ytan [m]

$D =$ Avståndet mellan strålkällan och mottagaren [m]

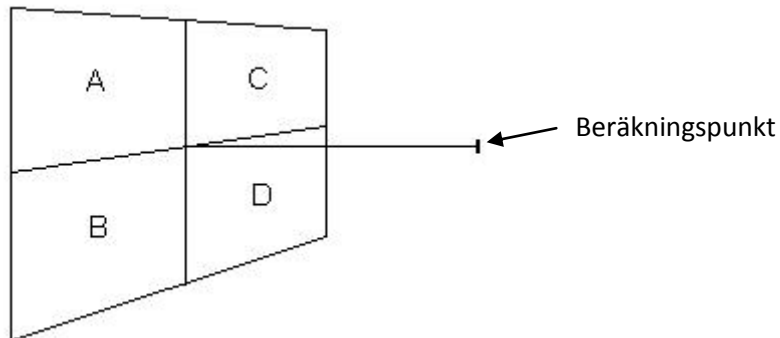
För att få fram synfaktorn för den rektangel beräkningen gäller avläses värdet i en gällande tabell (Drysdale, 1998). För att kunna läsa tabellen för synfaktorn behövs storleken på ytterligare två

variabler, S och α , som båda är direkt beroende av sträckorna i Figur 24. Relationerna återges nedan i ekvation [2] och [3].

$$S = L_1/L_2 \quad 0 \leq S \leq 1 \quad [2]$$

$$\alpha = (L_1 \times L_2)/D^2 \quad [3]$$

Med S och α givna erhålls värdet på synfaktorn för den rektangel beräkningarna gäller. Skulle en strålkälla delas in i flera rektanglar för en beräkningspunkt, som visas i Figur 25, adderas varje bidrag till den totala synfaktorn.



Figur 25 Indelning av strålkällan i mindre segment där alla bidrar till synfaktorn.

$$\phi_{tot} = \phi_A + \phi_B + \phi_C + \phi_D \quad [4]$$

Att i beräkningarna använda sig av ett fixt scenario där det används fasta mått på lokalens dimensioner, avstånd mellan mottagare och strålningskälla, emissivitet och strålkällans temperatur är enligt undertecknad en allt för hög grad av generalisering. Därför har 13 olika värden för var och en av sträckorna L_1 , L_2 , och D använts i beräkningarna, de återges i Tabell 16. I samtliga fall har beräkningspunkten befunnit sig centrerat under strålkällan vilket ger fyra ekvivalenta bidrag till den totala synfaktorn.

Tabell 16 Värden för variablerna L_1 , L_2 och D vid beräkning av synfaktor

L_1	L_2	D
0,5	2,5	1
0,75	2,75	1,2
1	3	1,4
1,25	3,25	1,6
1,5	3,5	1,8
1,75	3,75	2
2	4	2,2
2,25	4,25	2,4
2,5	4,5	2,6
2,75	4,75	2,8
3	5	3
3,25	5,25	3,2
3,5	5,5	3,4

En systematisk matchning mellan de olika värdena gjordes för att undvika eventuella korrelationer när det gäller beräkning av variabeln α . Kombinationen av de olika värdena på L1, L2 och D gjordes enligt Tabell 17.

Tabell 17 Matchningen av sträckorna som används vid beräkning av synfaktorn gjordes enligt denna sortering

	L _{2,1}	L _{2,2}	..	L _{2,13}
L _{1,1}	D ₁	D ₁	D ₁	D ₁
L _{1,2}	D ₂	D ₂	D ₂	D ₂
:	:	:	:	:
L _{1,13}	D ₁₃	D ₁₃	D ₁₃	D ₁₃

Beräkning av värden på variabeln α gav resultatet som återfinns i Tabell 18.

Tabell 18 Resultat av beräkning för variabeln α enligt ekvation [3]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1,25	1,38	1,50	1,63	1,75	1,88	2,00	2,13	2,25	2,38	2,50	2,63	2,75
2	1,30	1,43	1,56	1,69	1,82	1,95	2,08	2,21	2,34	2,47	2,60	2,73	2,86
3	1,28	1,40	1,53	1,66	1,79	1,91	2,04	2,17	2,30	2,42	2,55	2,68	2,81
4	1,22	1,34	1,46	1,59	1,71	1,83	1,95	2,08	2,20	2,32	2,44	2,56	2,69
5	1,16	1,27	1,39	1,50	1,62	1,74	1,85	1,97	2,08	2,20	2,31	2,43	2,55
6	1,09	1,20	1,31	1,42	1,53	1,64	1,75	1,86	1,97	2,08	2,19	2,30	2,41
7	1,03	1,14	1,24	1,34	1,45	1,55	1,65	1,76	1,86	1,96	2,07	2,17	2,27
8	0,98	1,07	1,17	1,27	1,37	1,46	1,56	1,66	1,76	1,86	1,95	2,05	2,15
9	0,92	1,02	1,11	1,20	1,29	1,39	1,48	1,57	1,66	1,76	1,85	1,94	2,03
10	0,88	0,96	1,05	1,14	1,23	1,32	1,40	1,49	1,58	1,67	1,75	1,84	1,93
11	0,83	0,92	1,00	1,08	1,17	1,25	1,33	1,42	1,50	1,58	1,67	1,75	1,83
12	0,79	0,87	0,95	1,03	1,11	1,19	1,27	1,35	1,43	1,51	1,59	1,67	1,75
13	0,76	0,83	0,91	0,98	1,06	1,14	1,21	1,29	1,36	1,44	1,51	1,59	1,67

Beräkning av värden på variabeln S gav resultatet som återfinns i Tabell 19. Eftersom $L1/L2 \leq 1$ försvann vissa kombinationer i tabellen.

Tabell 19 Resultat av beräkning för variabeln S enligt ekvation [2]

L2	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50
L1													
0,5	0,20	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09
0,75	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14
1	0,40	0,36	0,33	0,31	0,29	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18
1,25	0,50	0,45	0,42	0,38	0,36	0,33	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24	0,23
1,5	0,60	0,55	0,50	0,46	0,43	0,40	0,38	0,35	0,33	0,32	0,30	0,29	0,27
1,75	0,70	0,64	0,58	0,54	0,50	0,47	0,44	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33	0,32
2	0,80	0,73	0,67	0,62	0,57	0,53	0,50	0,47	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36
2,25	0,90	0,82	0,75	0,69	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50	0,47	0,45	0,43	0,41
2,5	1,00	0,91	0,83	0,77	0,71	0,67	0,63	0,59	0,56	0,53	0,50	0,48	0,45
2,75	-	1,00	0,92	0,85	0,79	0,73	0,69	0,65	0,61	0,58	0,55	0,52	0,50
3	-	-	1,00	0,92	0,86	0,80	0,75	0,71	0,67	0,63	0,60	0,57	0,55
3,25	-	-	-	1,00	0,93	0,87	0,81	0,76	0,72	0,68	0,65	0,62	0,59
3,5	-	-	-	-	1,00	0,93	0,88	0,82	0,78	0,74	0,70	0,67	0,64

De framtagna tänkbara värdena på S och α kombinerades med varandra enligt tabellen som Drysdale (1998) angivit och renderade i en synfaktor inom intervallet $0,10 \leq \phi \leq 0,155$. Då detta är synfaktorn för en fjärdedel av strålkällan blir intervallet för den totala faktorn $0,40 \leq \phi \leq 0,62$. När synfaktorn väl var beräknad ansattes strålkällans emissivitet medvetet till ett värde med vida intervall, detta för att belysa osäkerheten.

Tabell 20 Beräknade temperaturer (°C) enligt ekvation [1] som i kombination med synfaktor och emissivitet kan alstra strålning med 14 kW/m² mot beräkningspunkten

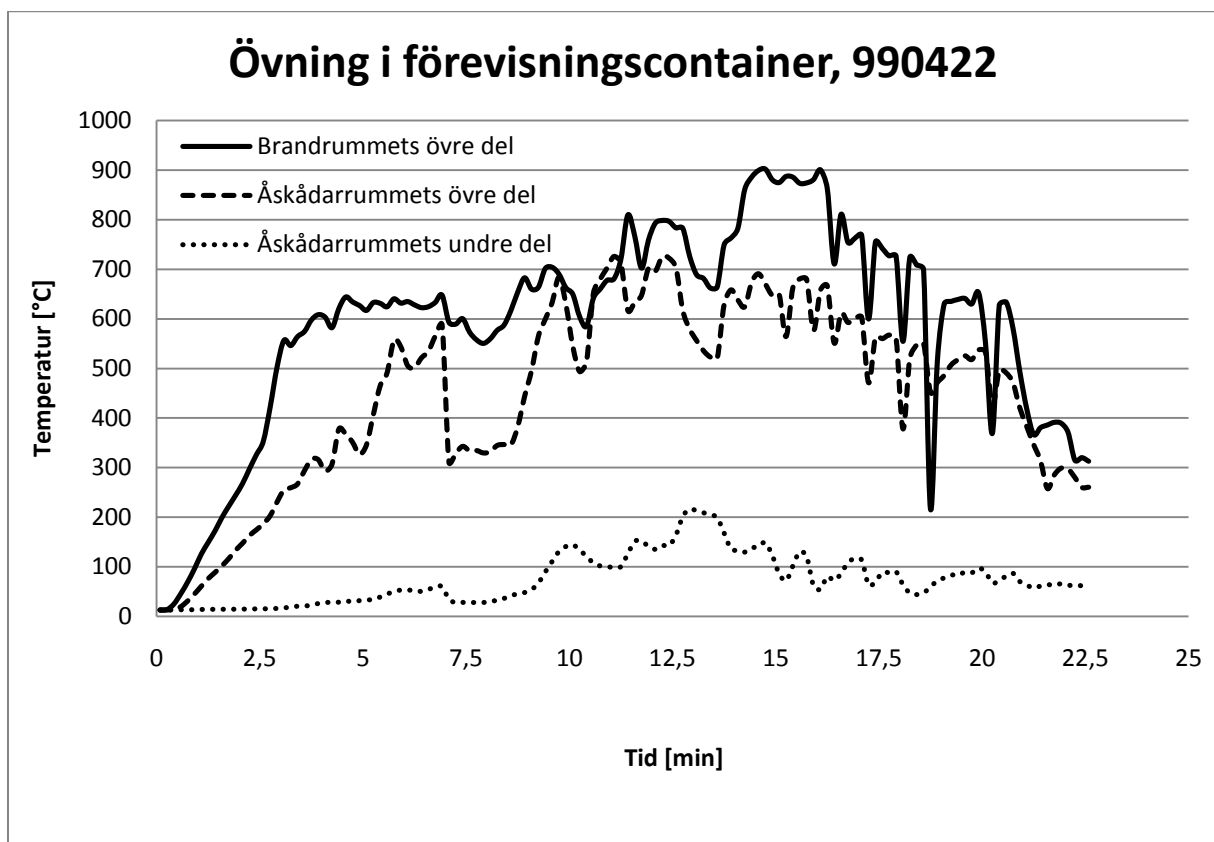
Φ	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,62
ϵ						
0,1	1303	1257	1218	1183	1151	1140
0,2	1052	1014	981	951	925	915
0,3	925	890	860	833	809	800
0,4	842	809	781	756	734	726
0,5	781	751	724	700	679	672
0,6	734	705	679	657	637	630
0,7	696	668	643	622	603	595
0,8	664	637	613	593	574	567
0,9	637	611	588	567	549	543
1	613	588	565	546	528	521

Appendix B – Temperaturprofiler, brandgaser

I detta appendix redovisas figurer från fler mätserier än vad som har valts att inkluderas i rapportens huvuddel.

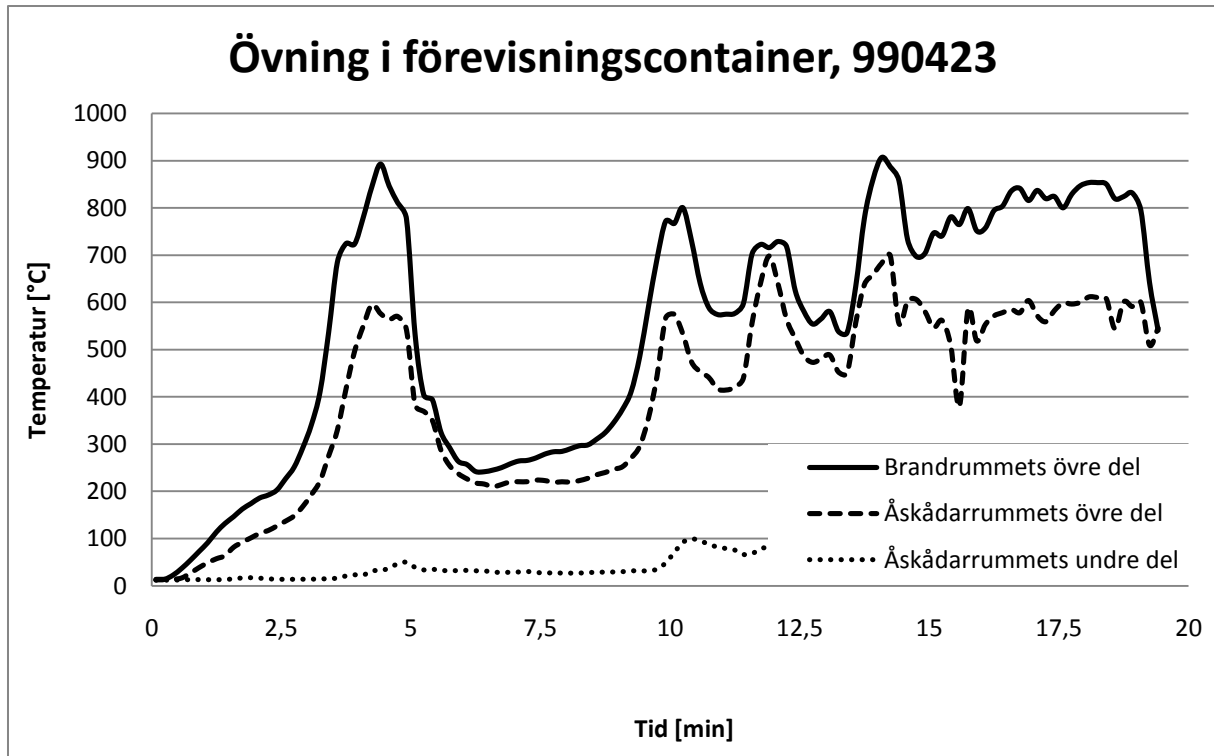
B.1 Förevisningscontainer

Vissa av mätresultaten i förevisningscontainern är tagna från mätningar utförda innan denna rapport författande och har gjorts utan strålningsmätningar. Dessa temperaturresultat tillät därför ej en komparation med strålningsintensitet men redovisas för att ge en uppfattning om vilka nivåer som brandgaserna uppnår. Det skall noteras att termoelementen som registrerar temperaturer kan påverkas av strålning från flaman i dessa resultat varpå mätvärden kan överskatta brandgasernas temperatur. För att bortse från mindre fluktuationer i figurerna har mätdata tagen varje sekund generaliserats till tiosekundersintervaller.



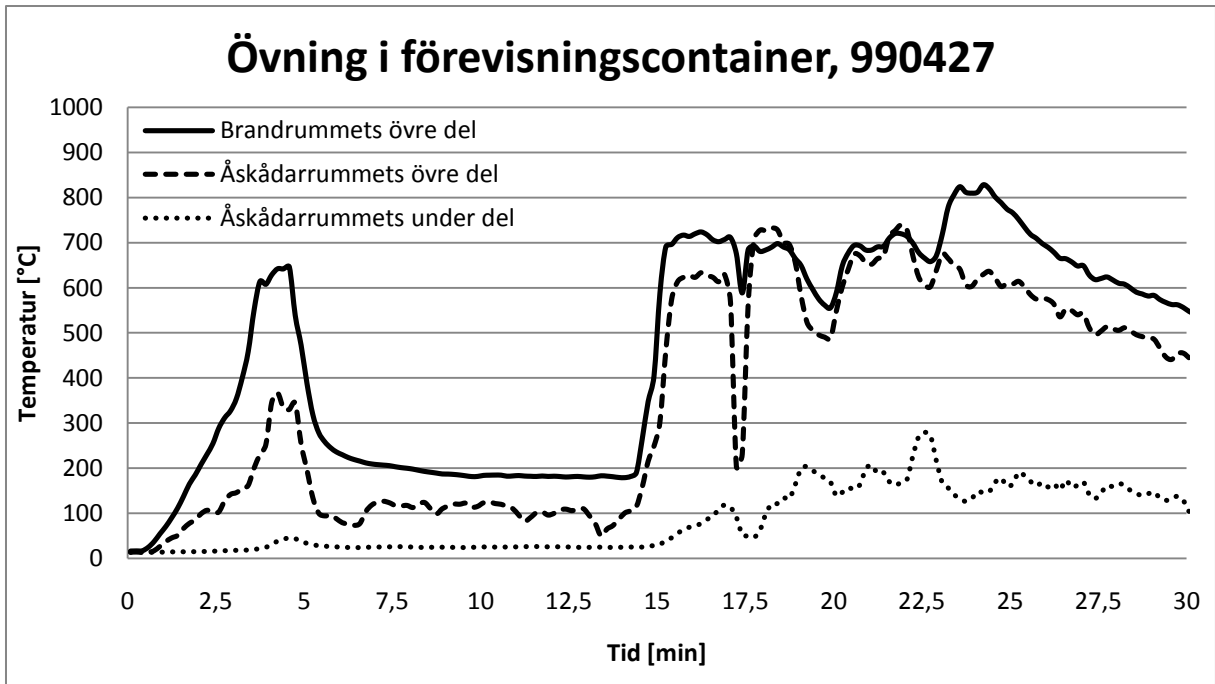
Figur 26 Temperaturmätningar från förevisningscontainer, 990422.

I Figur 26 visas mätresultaten från förevisningscontainern tagna 990422. I figuren urskönjs det relativt hastiga temperaturdifferenser som vid vissa tillfällen uppgår till flera hundra grader, detta främst i de övre mätpunkterna. Differenserna har sin förklaring i den port som finns vid ingången till förevisningscontainern. Under mätserien varierades dörren mellan att vara öppen och stängd, en åtgärd som kontrollerade tillförseln av syre till brandhärden och därmed också effektutvecklingen av densamma. Minskad effektutveckling orsakade lägre temperatur på brandgaserna samt lägre strålning som emitterades mot termoelementen.



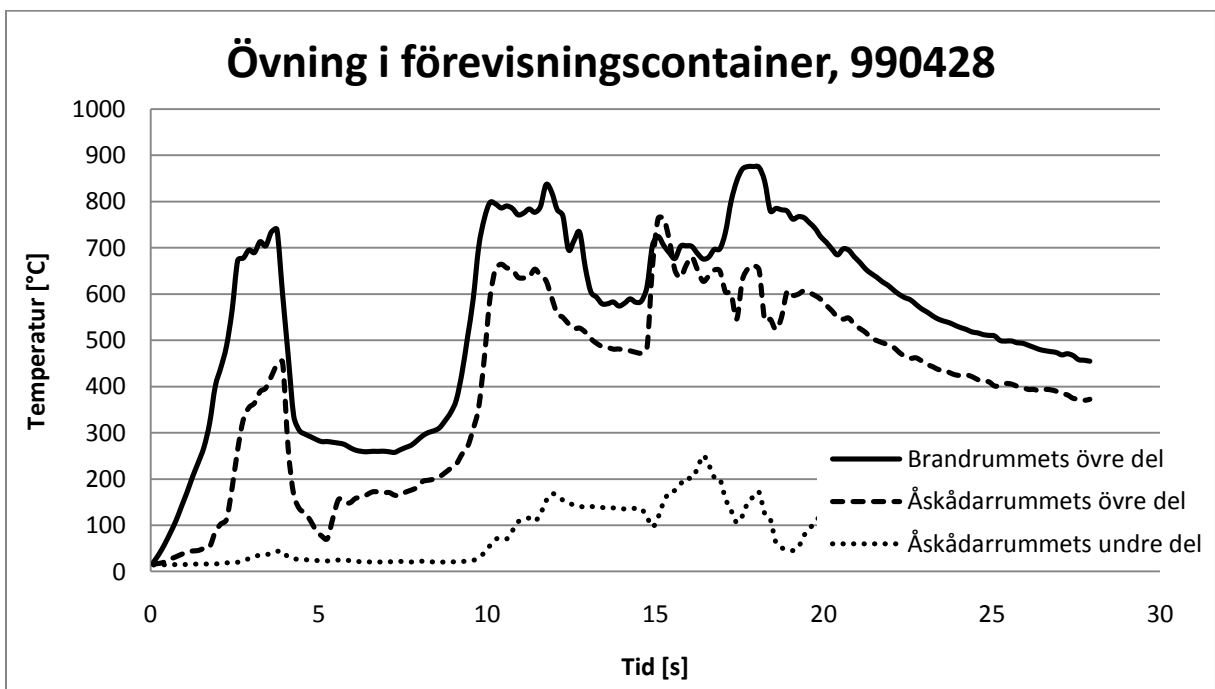
Figur 27 Temperaturmätningar från förevisningscontainer, 990423.

Mätningarna i Figur 27 är tagna från 990423 och visar på en kraftig regression hos de övre termoelementen efter cirka fem minuter. Brandhärden belastades här med drygt en liter vatten och behövde en tillväxtperiod innan brandgaserna återigen uppnådde högre temperaturer. De differenser som uppvisas senare i mätserien har sin förklaring containerns port som även i detta försök varierar mellan att vara öppen och stängd.



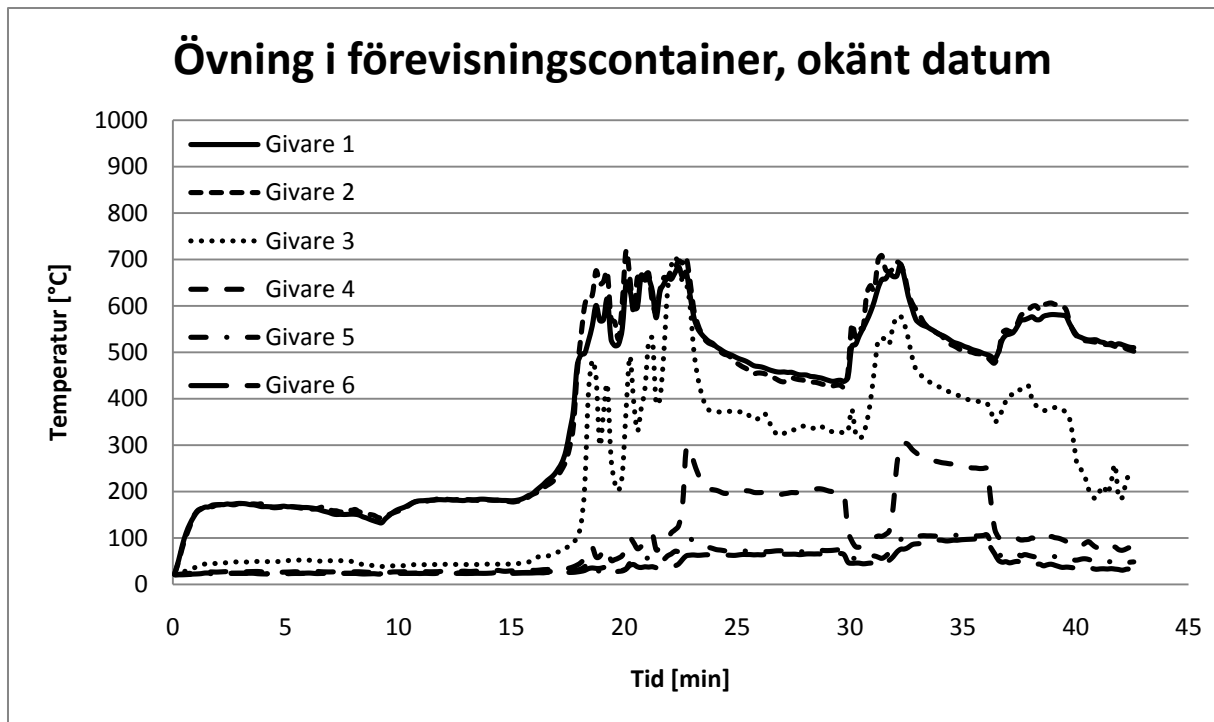
Figur 28 Temperaturmätningar från förevisningscontainer, 990427.

Även i mätserien som presenteras i Figur 28 belastades branden tidigt med vatten, denna gång var mängden drygt tre liter. Den kraftiga ökningen vid 14 minuter berodde på att brandhärden tillfördes extra bränsle för att få igång förloppet. Den korta men väldiga regressionen strax efter ökningen därefter har sin orsak i ett mindre slagbrott inuti containern som ledde till att vatten läckte ut. De mindre fluktuationer som följer därefter berodde på portens öppningsgrad.



Figur 29 Temperaturmätningar från förevisningscontainer, 990428.

Brandförloppet i Figur 29 har samma förklaring som förloppet i Figur 27.

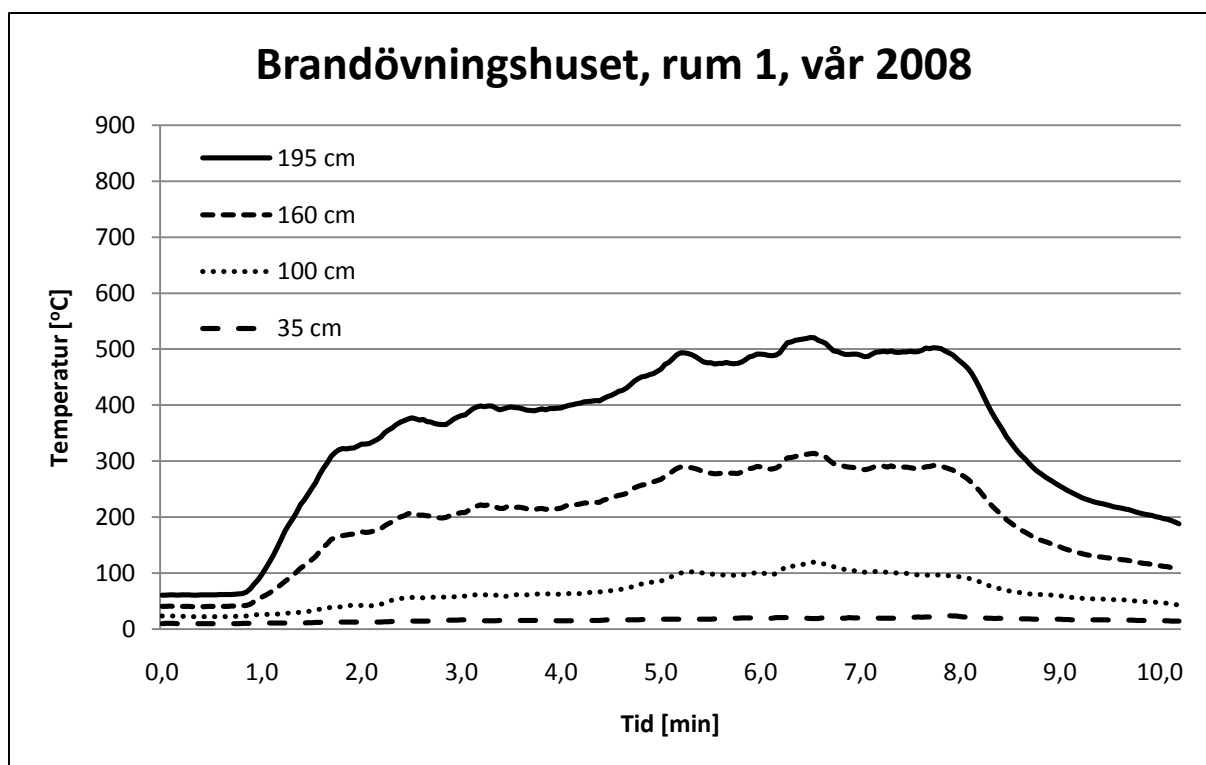


Figur 30 Temperaturmätning från förevisningscontainer, datum okänt.

I Figur 30 presenteras mätdata från en serie i förevisningscontainer, datum för mätning är okänt. Vid denna uppställning fanns det sex termoelement placerade inuti lokalen där numreringen börjar vid taket och slutar vid golvet. Efter cirka 17 minuter började en period där släckmedel i omgångar applicerades på branden vilket gav upphov till temperaturdifferenser. Släckförsöken pågick i cirka sju minuter. Därefter stängdes porten till containern varpå branden avtog i styrka under ett par minuter. Återigen öppnades porten och brandförloppet fortskred.

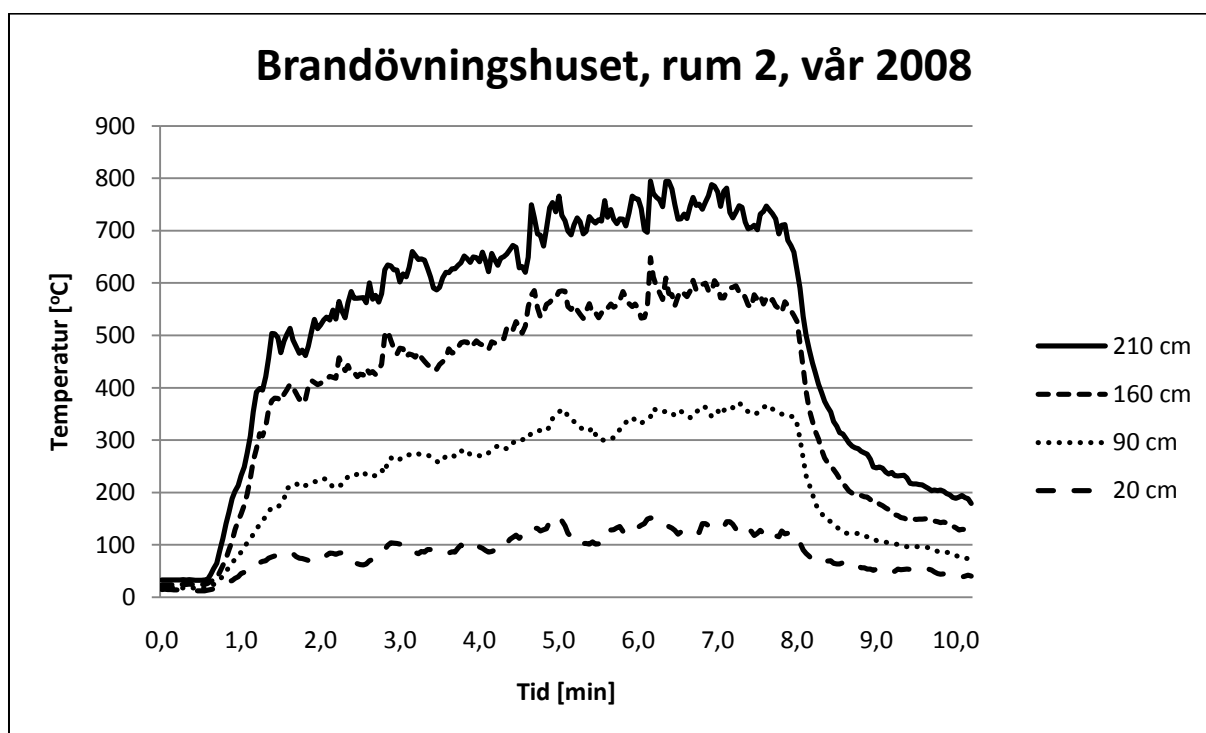
B.2 Brandövningshuset

Den första mätserien som redovisas här är tagen under våren 2008 och undertecknads laborationstillfälle i kursen Branddynamik. Till mätserien finns ingen strålningsintensitet registrerad. I mätresultaten, som redovisas i Figur 31, Figur 32 och Figur 33, fanns tilluftsöppningar i form av ett fönster i rum 1 samt en dörr i rum 2. I varje rum fanns det fyra termoelement som placerades på olika höjd över golvet.



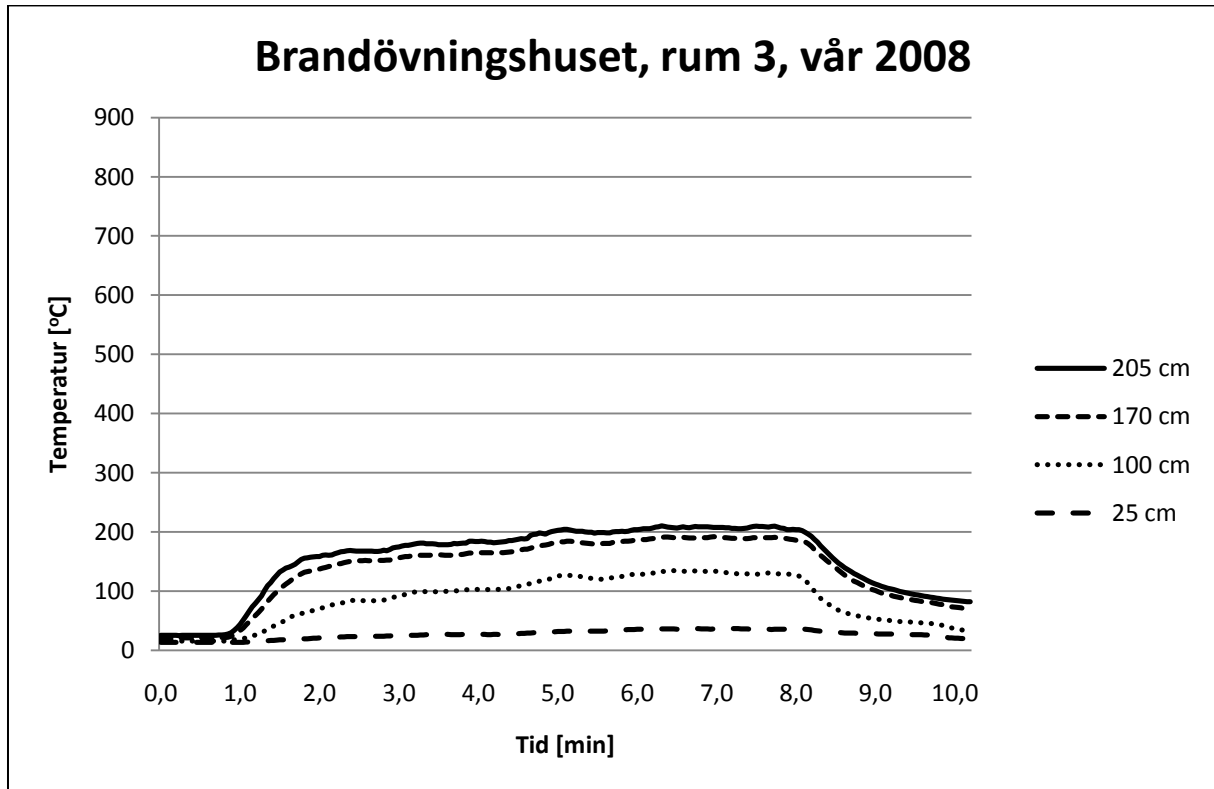
Figur 31 Temperaturmätningar i brandövningshuset, rum 1, vår 2008.

I Figur 31 visas mätningar från rum 1 i Brandövningshuset genomförda våren 2008. Termoelementen i detta rum var avskilda från flammans strålning vilket medför att data om brandgasernas temperatur har en högre grad av ackuratess.



Figur 32 Temperaturmätningar i brandövningshuset, rum 2, vår 2008.

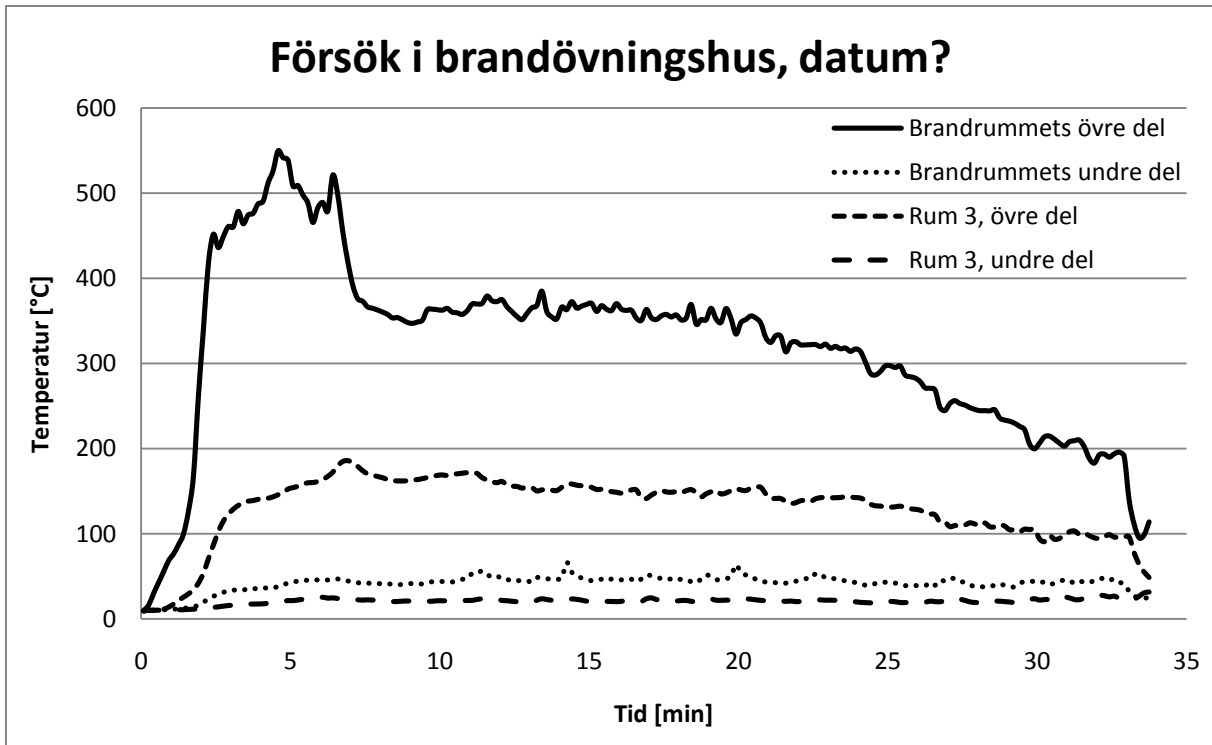
Eftersom termoelementen i rum 2 ej kunde avskiljas från strålningen som alstrades av brandhärden går det inte att utesluta att resultaten presenterade i Figur 32 ej är påverkade av termisk EMS från flaman. Brandgastemperaturen i brandrummets övre del är storleksordningen av vad som visas upp förevisningscontainerns åskådarrum.



Figur 33 Temperaturmätningar i brandövningshuset, rum 3, vår 2008.

Mätningarna från rum 3 visar på en betydligt lägre temperatur än vad som uppmättes i det andra intilliggande rummet, rum 1. Variationerna till dessa differenser kan ha sin förklaring i den tilluftsöppning som fanns mellan brandrummet och omgivningen strax intill öppningen mellan rum 2 och rum 3. Denna öppning orsakade att stor mängd varma brandgaser leddes ut från lokalen istället för in till rum 3 och de termoelement som fanns placerade där.

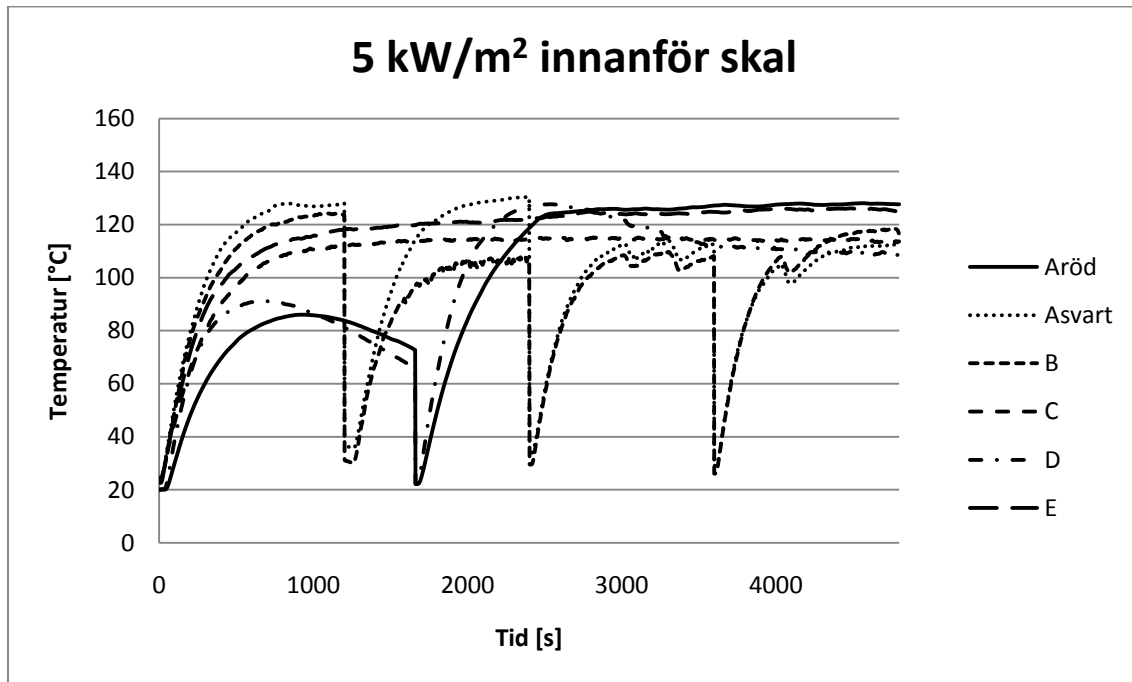
Ytterligare en mätserie som har noterats i lägenheten inuti Brandövningshuset återges i Figur 34. Datum för utförande är dessvärre inte känt, inte heller hur försöksuppställningens öppningar var formerade. Vad som är känt från mätserien är dock det att brandrummet endast stod i kontakt med ett av de yttre rummen till vilket brandgaser kunde diffundera. Tendenserna i denna mätserie är desamma som den från våren 2008, med en betydligt högre temperatur i brandrummet än vad som uppvisas i övriga utrymmen.



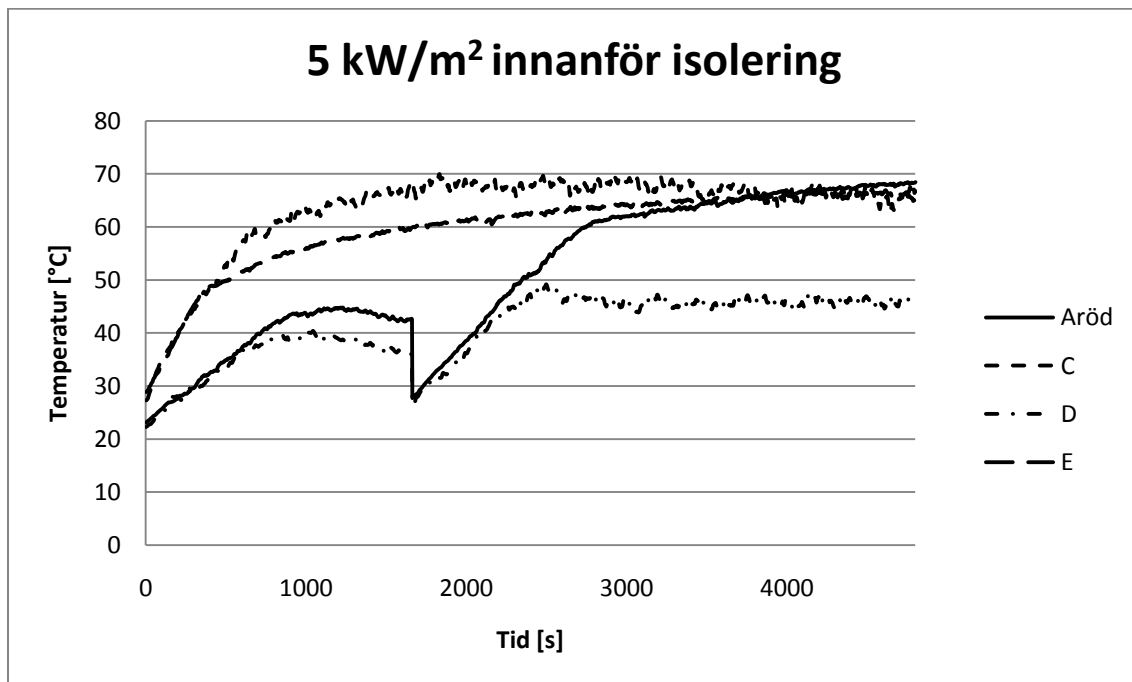
Figur 34 Temperaturmätningar från brandövningshuset, datum okänt.

Appendix C – Temperaturprofiler, brandhjälm

I detta avsnitt redovisas de temperaturprofiler som framkommit i samband med strålningsexponering mot brandhjälm.

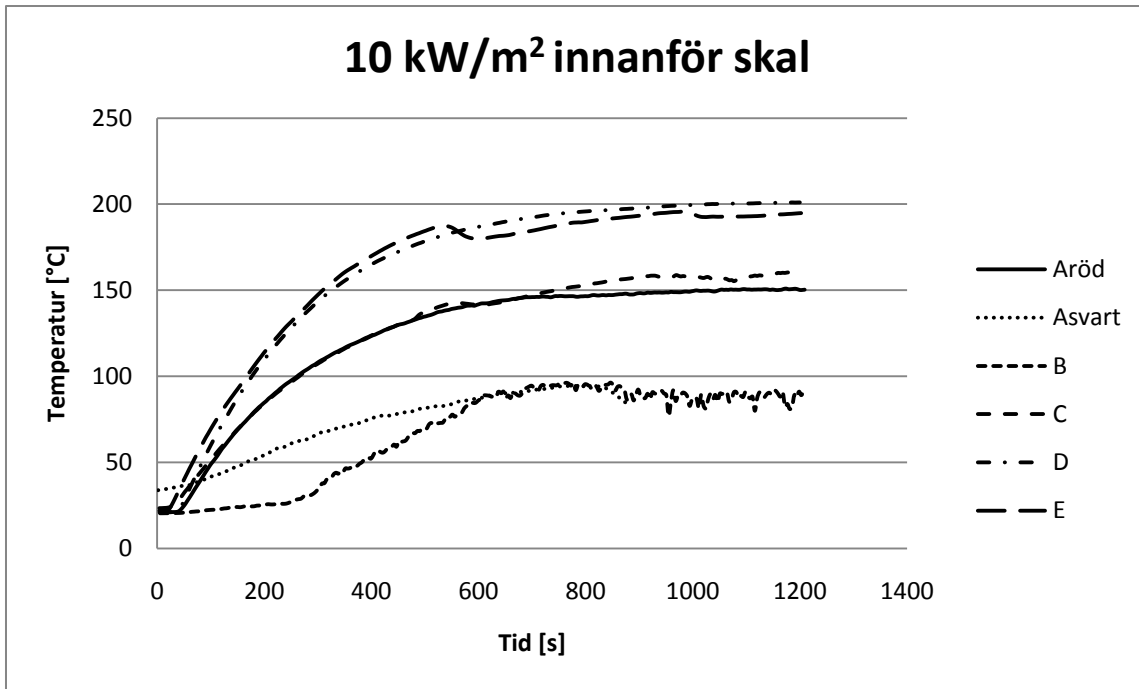


Figur 35 Temperaturkurvor från brandhjälmarna vid exponering av 5 kW/m², mätpunkt innanför hjälmskal.

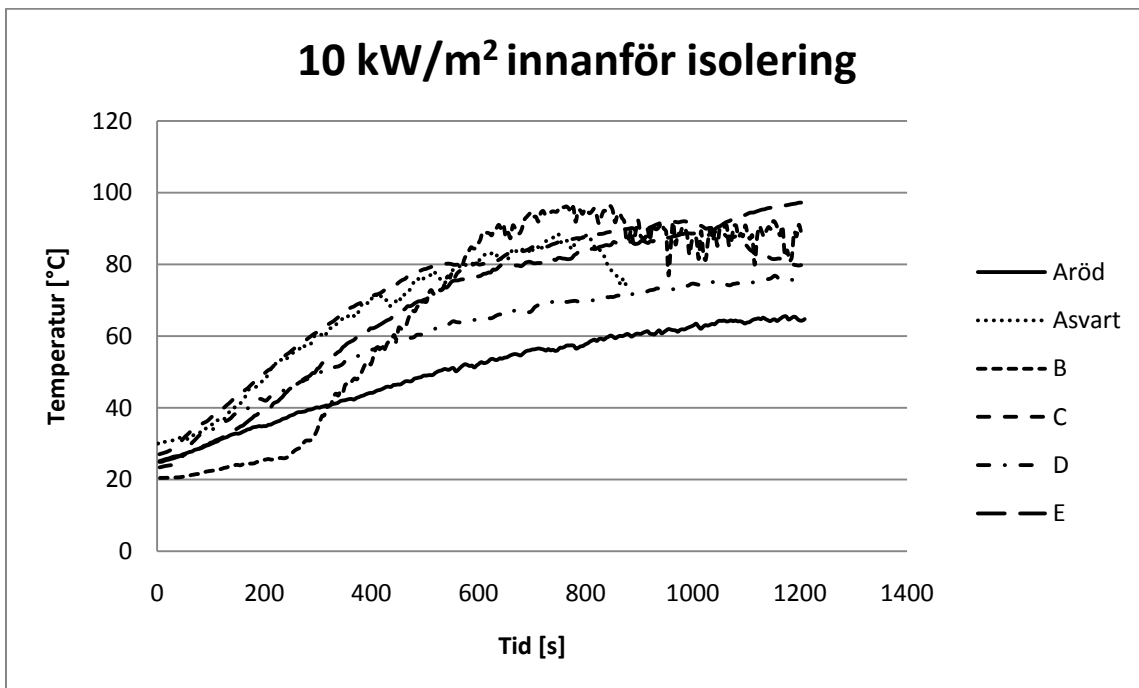


Figur 36 Temperaturkurvor från brandhjälmarna vid exponering av 5 kW/m², mätpunkt innanför isolering.

De två temperaturgraferna ovan är från exponering mot 5 kW/m². I såväl Figur 35 som Figur 36 ses tydligt då gasolen till strålningspanelen sinade när hjälm A_{röd} och D exponerades. Från mätningen mellan hjälm skalet och isoleringen ses också hur hjälm A_{svart} samt B utsattes för fyra stycken doser a' 20 minuter.

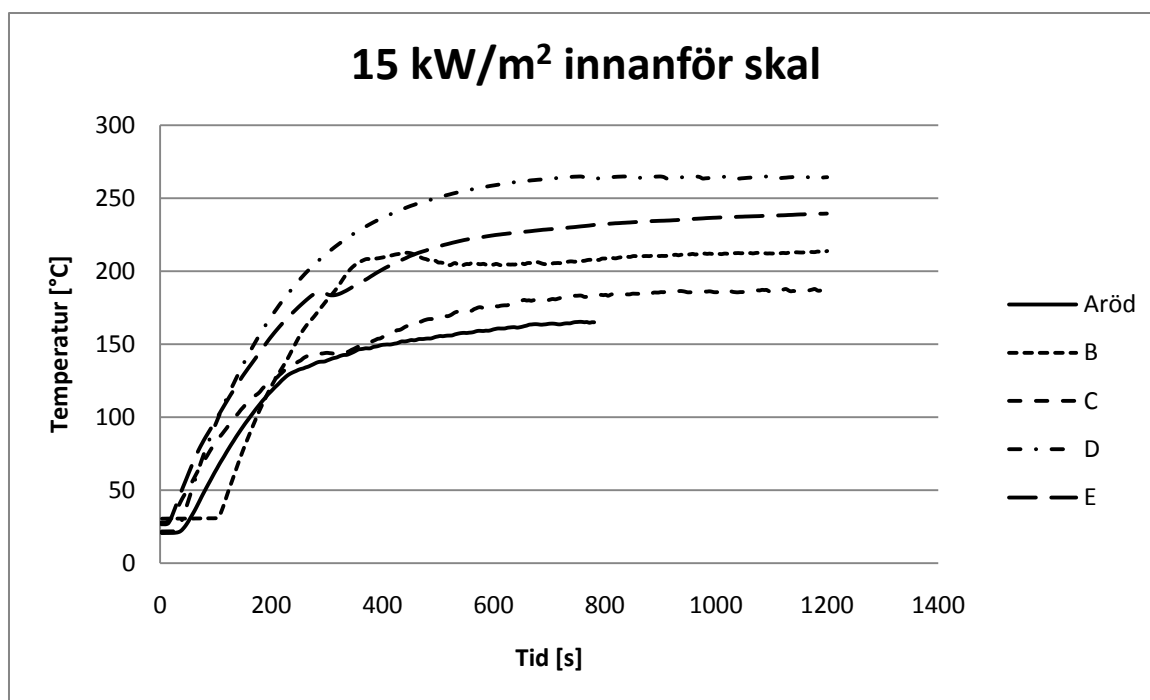


Figur 37 Temperaturkurvor från brandhjälmarna vid exponering av 10 kW/m², mätpunkt innanför hjälmskal.

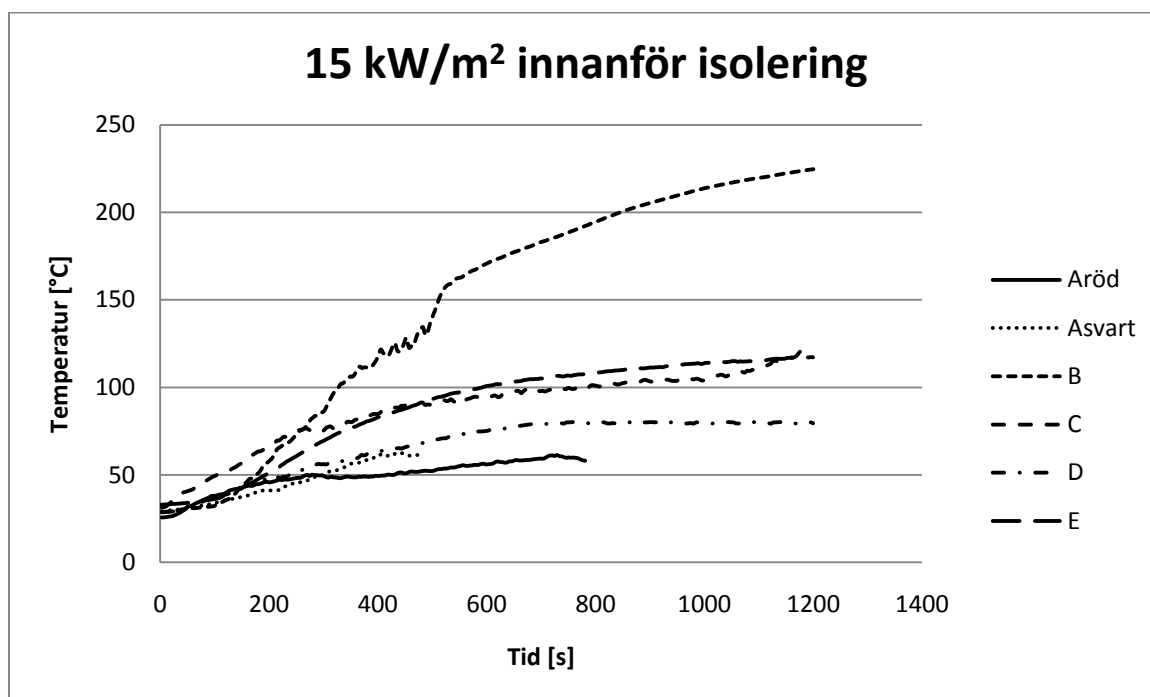


Figur 38 Temperaturkurvor från brandhjälmarna vid exponering av 10 kW/m², mätpunkt innanför isolering.

Från mätningen vid 10 kW/m² följer de flesta mätserier en logisk utveckling. De data som kan väcka extra uppmärksamhet är serien från hjälm B. Som påpekats tidigare i rapportens huvuddel har denna hjälms isolering uppvisat mer eller mindre påverkan vid de olika serierna, något som med största sannolikhet förklarar mätvärdena.

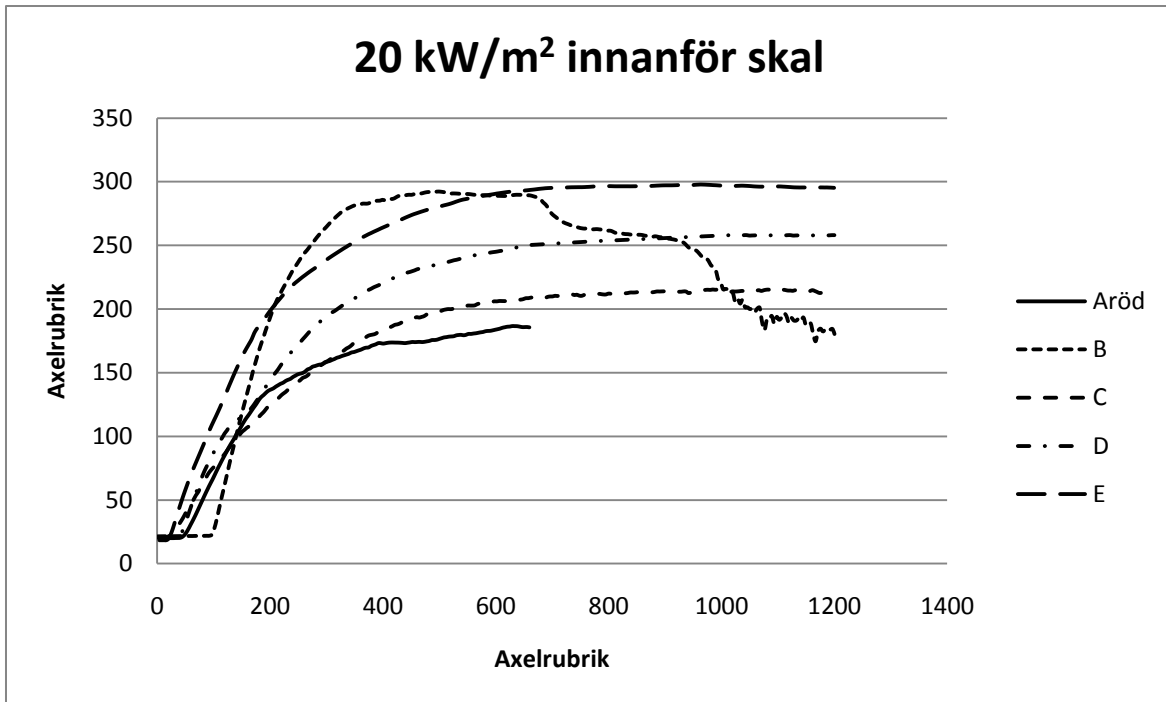


Figur 39 Temperaturkurvor från brandhjälmar vid exponering av 15 kW/m², mätpunkt innanför hjälmskal.

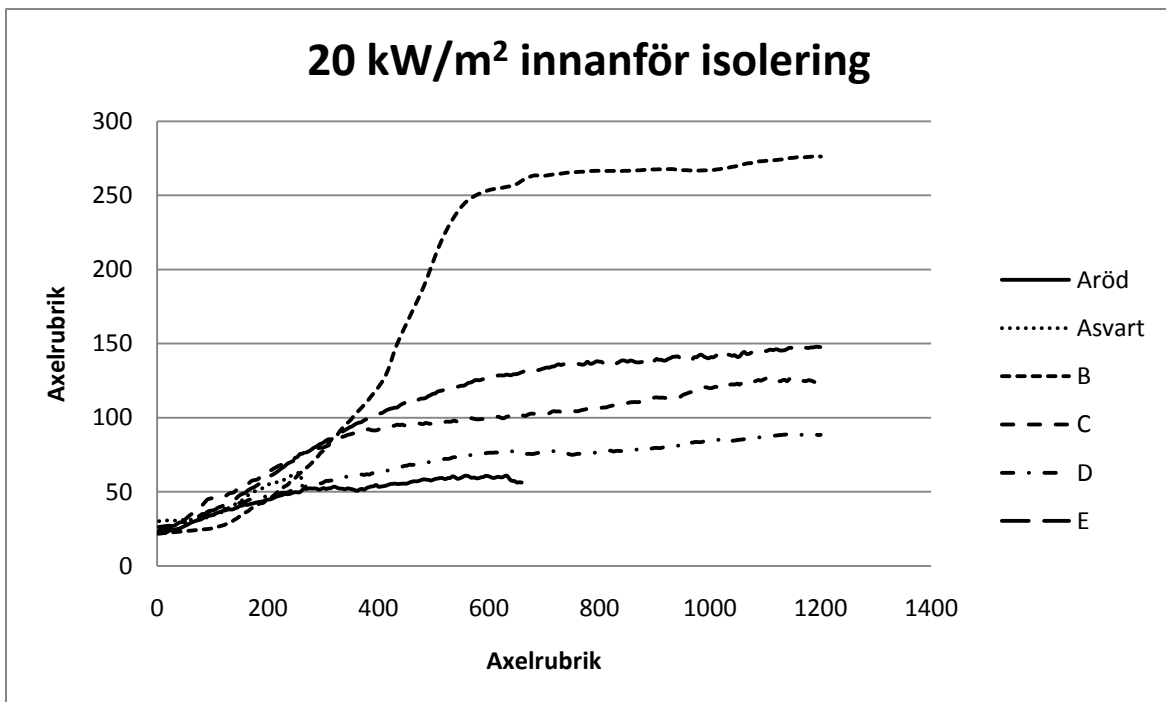


Figur 40 Temperaturkurvor från brandhjälmar vid exponering av 15 kW/m², mätpunkt innanför isolering.

Precis som tidigare är det även här hjälm B som sticker ut från mängden när det gäller temperaturnivåer innanför isolering. Jämfört med tidigare är skillnaden ännu mer påtaglig, vilket förklaras med den ökade intensiteten i samband med en ökad degradation av isoleringen. Samma mönster kan även urskiljas ur mätserierna nedan, vilka är från intensiteten 20 kW/m².



Figur 41 Temperaturkurvor från brandhjälmarna vid exponering av 20 kW/m², mätpunkt innanför hjälmskal.



Figur 42 Temperaturkurvor från brandhjälmarna vid exponering av 20 kW/m², mätpunkt innanför isolering.

Appendix D – hjälmmodeller

Nedan listas de hjälmtyper och modeller tillsammans med tillverkare som har använts i den empiriska delen av rapporten i bokstavsordning. Det skall härmed understrykas att ordningen i detta appendix ej är korrelerad med den i Tabell 4.

- Brissman - Brissman
- Casco – PF 112 extreme
- Dräger - HPS 4100
- Dräger - HPS 6100
- Rosenbauer – Heroes RAL 9016

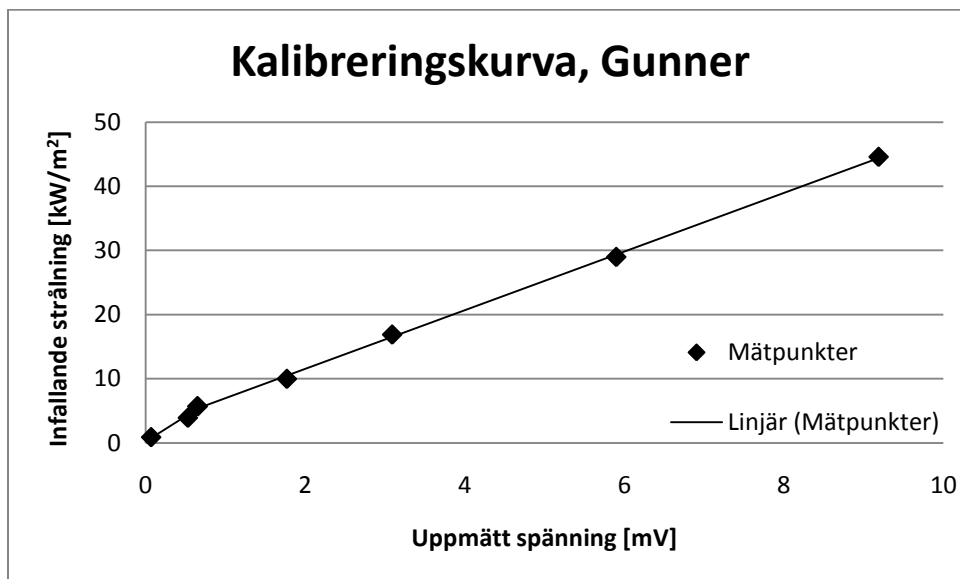
Appendix E – Kalibrering

I detta avsnitt redovisas de resultat som framkom ur kalibreringsmätningarna.

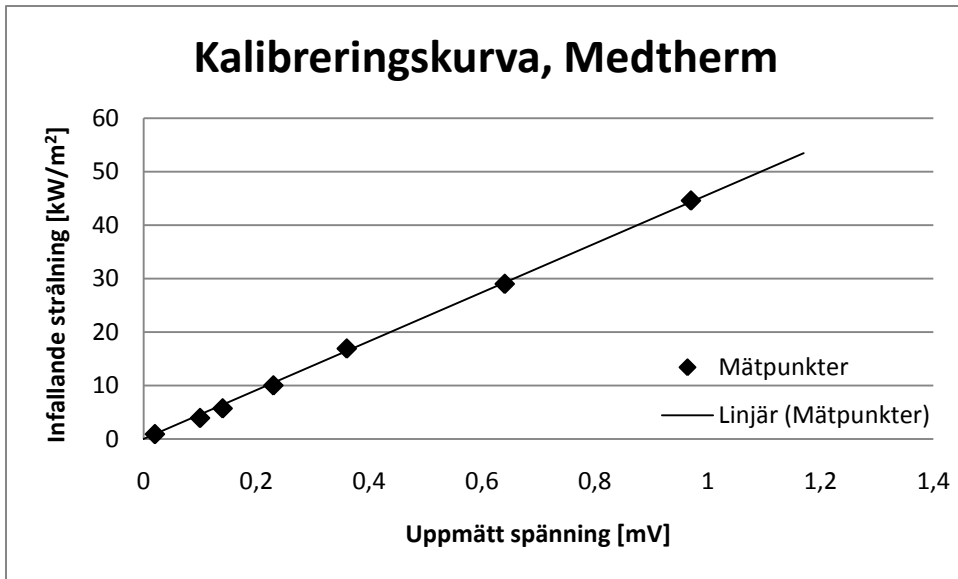
Kalibreringsugnen som fanns vid Brandtekniks laboratorium hade förinställda temperaturer med 100 °C intervaller. Eftersom den inställda temperaturen ej var exakt fanns ett platinabelagt termoelement placerat inuti ugnen som återgav temperaturen. Termoelementet, med märkningen TC1, gav utslag i spänning som sedan avlästes till motsvarande temperatur i en fackhandbok. Då emissiviteten för ugnen var 1 beräknades sedan den infallande strålningen som därmed kunde plottas mot utslagen på strålningsmätarna.

Tabell 21 Resultat från kalibreringsmätningarna

TC1 [mV]	TC1 [K]	Strålningsintensitet [kW/m ²] $\dot{q}'' = \sigma T^4$	Gunners [mV]	Medtherm [mV]
0,50	353	0,88	0,07	0,02
1,82	512	3,9	0,53	0,10
2,30	563	5,7	0,65	0,14
3,15	648	10,0	1,77	0,23
4,1	739	16,9	3,09	0,36
5,27	846	29,0	5,90	0,64
6,37	942	44,6	9,19	0,97



Figur 43 Kalibreringskurva tillsammans med mätpunkter, Gunners.



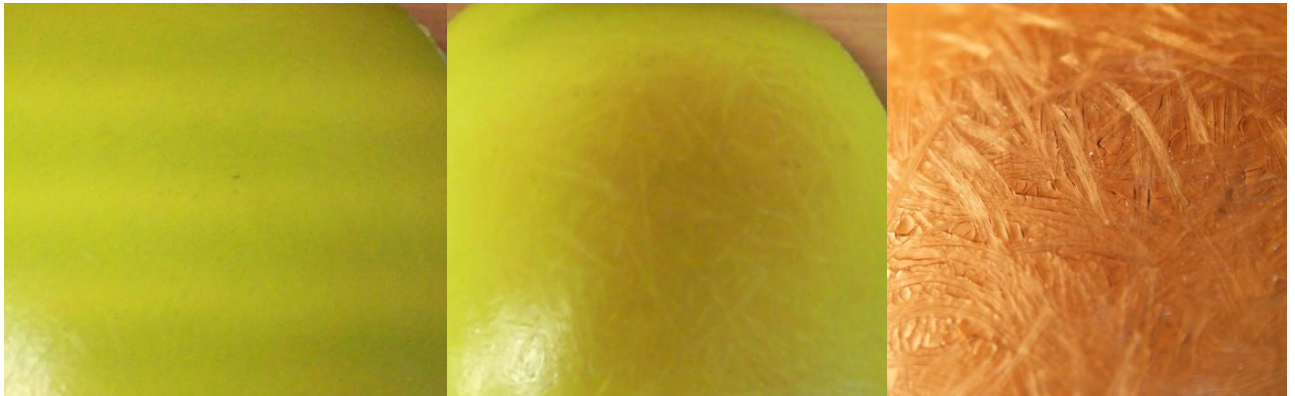
Figur 44 Kalibreringskurva tillsammans med mätpunkter, Medtherm.

Appendix F – Bilder från påverkade brandhjälm

I detta avsnitt visualiseras några av de synliga skador som uppstått i samband med exponering mot termisk strålning.



Figur 45 Före och efterbild på isolering inuti hjälm B.



Figur 46 Utvecklingsförlopp via missfärgning till sprickbildning.



Figur 47 Ytskikt före och efter tjugo minuters exponering mot 20 kW/m^2 .



Figur 48 Klarlackat ytskikt där visuell skada först uppvisas i form av bubblor.