

Brandsäkerhet i militärfordon

Utvärdering av ISO 3795

Johan Svebrant

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

**Brandteknik och Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet**

Report 5370, Lund 2011

Brandsäkerhet i militärfordon

Utvärdering av ISO 3795

Johan Svebrant

Lund 2011

Titel: Brandsäkerhet i militärfordon – Utvärdering av ISO 3795

Title: Fire safety in military vehicles – Evaluation of ISO 3795

Författare/Author: Johan Svebrant

Report 5370

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB-5370-SE

Antal sidor/Number of pages: 94

Sökord:

ISO 3975, ISO 5660, konkalorimeter, FMVSS 302, testmetod, effektutveckling, HRR, tid till antändning, invändiga material, militärfordon, brandsäkerhet, brandtest

Keywords:

ISO 3795, ISO 5660, cone calorimeter, FMVSS 302, test method, heat release rate, HRR, time to ignition, interior materials, military vehicles, fire safety, fire tests

Abstract:

This work has evaluated ISO 3795. It was found that ISO 3795 isn't a suitable method to test interior materials and its use has led to a low level of fire safety in military vehicles. A different test method to be used for fire testing interior materials in military vehicles was suggested; ISO 5660 cone calorimeter. Eleven different interior materials from two military vehicles were tested in the cone calorimeter at 25 and 50 kW/m². Time to ignition was found to be short and the heat release rate to be high. The materials were evaluated according to criteria used for trains, high speed crafts and submarines. Only one material passed, but only for use on trains and only according to the criterion for 25 kW/m², and not the criterion for 50 kW/m². All other materials failed. A comparison was made with materials from cars and buses which have been tested earlier in other studies. It was found that materials from military vehicles ignite just as fast, or faster, but have a lower heat release rate.

Författaren ansvarar för innehållet i rapporten

© Copyright: Brandteknik och Riskhantering, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2011.

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
Fax: 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

Det är känt sedan tidigare att den nuvarande testmetoden som används för att brandtesta invändiga material i civila och militära fordon, ISO 3795, har lett till en låg nivå på brandsäkerheten i invändiga material i civila fordon. Syftet med arbetet var att utvärdera brandsäkerheten hos invändiga material i militära fordon. Målen var att föreslå en testmetod att använda för brandprovning av invändiga material i militära fordon, som på ett bättre sätt korrelerar med fullskaligt brandbeteende, att genomföra brandtester av ett antal olika invändiga material som används i militära fordon, och utvärdera dessa.

En utvärdering av ISO 3795 genomfördes. ISO 3795 är framtagen för att simulera antändning av ett material med en cigarett. Denna belastning från branden är inte tillräcklig och inte representativ för ett verkligt brandscenario. Metoden korrelerar dåligt mot andra testmetoder och mot större skala, samt att det endast är möjligt att mäta den horisontella flamspridningshastigheten. Det har visat sig vara enkelt att få ett material godkänt enligt ISO 3795.

En litteraturstudie genomfördes där andra potentiella testmetoder identifierades. Ett antal önskvärda kriterier för en ny testmetod formulerades och utifrån dessa identifierades den testmetod som var bäst lämpad; ISO 5660 konkalkorimeter. Detta beror på att den korrelerar bättre mot brand i större skala, belastningen från branden är större och går att variera, fler parametrar mäts och det är möjligt att utöver horisontell testning även testa vertikalt. Vidare är metoden småskalig, vilket innebär enklare och billigare tester.

Brandtester med konkalkorimeter genomfördes sedan vid två strålningsnivåer (25 och 50 kW/m²) av elva olika material från två olika militära fordon, Galten och AMV. Resultaten visade att ISO 3795 har lett till att invändiga material i militära fordon har en låg brandsäkerhet. Invändiga material har kort tid till antändning och ger en hög effektutveckling.

Utvärdering skedde mot kriterier från tåg, höghastighetsfartyg och u-båtar. Endast ett av materialen uppnådde godkänt enligt ett kriterium. Det var för tåg vid strålningsnivån 25 kW/m², materialet blev inte godkänt vid 50 kW/m². I övrigt blev inga material godkända. En jämförelse gjordes även med resultat från tidigare studier där material från personbilar och bussar utvärderats. Material från militära fordon har lika, eller kortare antändningstid, och lägre effektutveckling än invändiga material från personbilar och bussar.

Förslag gavs på parametrar som är lämpade att använda som kriterier för godkännande av invändiga material i militära fordon. Dessa parametrar är tid till antändning, maximal effektutveckling och rökproduktion.

Summary

It's known since earlier, that the current test method used to fire test interior materials in civilian and military vehicles, ISO 3795, has led to a low level of fire safety of interior materials in civilian vehicles. The purpose of this study was to evaluate the fire safety of interior materials in military vehicles. The aim was to suggest a test method to use for fire tests of interior materials in military vehicles, which correlate better to full-scale fires, to perform fire tests of a number of interior materials, and evaluate these.

An evaluation of ISO 3795 was made. ISO 3795 was developed to simulate ignition by a cigarette. This fire load is neither sufficient nor representative for a real fire scenario. The test method correlates poorly with other test methods and larger scale fires, and it's only possible to measure the horizontal burning rate. It has been shown that it's easy to get a material approved according to ISO 3795.

A literature study was performed where a number of potential test methods were identified. A number of desirable criteria for a new test method were formulated and from these the most appropriate test method was identified; ISO 5660 cone calorimeter. This is because it correlates well with larger scale fires, the fire load is higher and can be varied, more parameters are measured and it's possible to perform fire tests horizontally as well as vertically. The method is also small scale, which means simple and less expensive tests.

Fire tests of eleven different materials from two military vehicles were performed with the cone calorimeter at 25 and 50 kW/m². It was found that ISO 3795 has led to a low level of fire safety of interior materials in military vehicles. Time to ignition was found to be short and the heat release rate to be high.

The materials were evaluated according to criteria used for trains, high speed crafts and submarines. Only one material passed, but only for use on trains and only according to the criterion for 25 kW/m², and not the criterion for 50 kW/m². All other materials failed. A comparison was made with materials from cars and buses, which have been tested earlier in other studies. It was found that materials from military vehicles ignite just as fast, or faster, but have a lower heat release rate.

Parameters appropriate to use as criteria for approval of interior materials in military vehicles were suggested. These are time to ignition, maximum heat release rate and smoke production rate.

Förord

Denna rapport utgör examensarbete på brandingenjörsprogrammet på Lunds tekniska högskola och omfattar 22,5 högskolepoäng. Arbetet har skett på uppdrag av Försvarets materielverk (FMV) i samarbete med WSP och Lunds tekniska högskola. Jag vill rikta ett stort tack till:

Patrick Van Hees	Handledare, Professor, Brandteknik och Riskhantering LTH
Johan Åqvist	Handledare, Brandingenjör, WSP
Pontus Nordberg	Brandingenjör, Försvarets materielverk
Sven-Ingvar Granemark	Forskningsingenjör, Brandteknik och Riskhantering LTH
Berit Andersson	Examinator, Associate professor, Brandteknik och Riskhantering LTH
Patria	För bidrag med material
BAE Systems	För bidrag med material
Sofia Schultz	För korrekturläsning av arbetet

Nomenklaturlista

ARHE	Average Rate of Heat Emission [kW/m ²]
CFE	Critical Heat Flux at Extinguishment [kW/m ²]
CHF	Critical Heat Flux [kW/m ²]
FIGRA	Fire Growth Rate [W/s]
FPI	Fire Propagation Index [(m/s ^½)/(kW/m) ^{2/3}]
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
ΔH_c	Heat of combustion [MJ/kg]
HRR	Heat Release Rate [kW/m ²]
LFS	Lateral Flame Spread
m	Mass [g]
MARHE	Maximum Average Rate of Heat Emission [kW/m ²]
MLR	Mass Loss Rate [g/sm ²]
SPR	Smoke Production Rate [m ² /s]
t_{ig}	Time to ignition [s]
THR	Total Heat Release [MJ/m ²]
TRP	Thermal Response Parameter [kW/s ^½ m ²]

Index

max	Maximum
avg	Average

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Syfte och mål.....	2
1.2	Problemformulering.....	2
1.3	Avgränsningar och begränsningar.....	2
1.4	Metod.....	3
1.4.1	Sammanfattning av arbetsmetodik.....	4
2	Testmetoder.....	5
2.1	ISO 3795/FMVSS 302.....	5
2.2	ISO 5660 – Konkallorimeter.....	6
2.3	EN ISO 9239-1.....	7
2.4	ISO 5658.....	8
2.5	ISO 6941.....	9
2.6	EN 13238 – SBI (Single burning item).....	9
2.7	ISO 9705.....	11
3	Utvärdering av ISO 3795.....	13
3.1	Korrelation mellan ISO 3795 och andra testmetoder.....	13
3.1.1	Slutsatser.....	15
3.2	Problem kring ISO 3795.....	15
3.2.1	Slutsatser.....	16
4	Förslag till testprogram.....	17
4.1	Val av testmetod.....	17
4.1.1	ISO 5660 Konkallorimeter.....	17
4.1.2	ISO 5658.....	17
4.1.3	EN ISO 9239-1.....	17
4.1.4	ISO 6941.....	18
4.1.5	EN 13238 – SBI och EN 9705.....	18
4.1.6	Slutsats.....	18
4.2	Konkallorimeterns korrelation med tester i större skala.....	18
4.2.1	Slutsatser.....	22
5	Brandtester av material.....	23
5.1	Horisontell eller vertikal testning.....	23
5.2	Infallande strålning från värmeelementet i konkallorimetern.....	23
5.2.1	Slutsatser.....	24

5.3	Kriterier för godkännande av material	24
5.3.1	Tåg	24
5.3.2	Sjöfart	25
5.3.3	Fordonsindustrin	25
5.3.4	Slutsatser	26
5.4	Beskrivning av material	26
5.5	Genomförande av brandtester.....	27
6	Resultat.....	29
6.1	Utvärdering mot kriterier från andra områden.....	30
6.2	Jämförelse med resultat från studier med andra fordon.....	33
7	Diskussion.....	35
8	Slutsatser	39
9	Förslag till fortsatt forskning	41
10	Litteraturförteckning	43
	Bilaga A – Bilder av materialen.....	47
	Bilaga B – Resultat	55
	Bilaga C – Jämförelse mellan olika fordon	77

1 Inledning

Brandprovning av invändiga material i civila och militära fordon sker enligt standarden FMVSS 302, även känd under namnet ISO 3795. FMVSS 302 är en standard som antogs 1972 i USA för brandprovning av invändiga material i fordon (Digges et al., 2008). Metoden utgörs av ett enkelt horisontellt flamspridningstest där endast flamspridningen i materialet mäts. Standarden används numera över hela världen, och är i realiteten den enda metod som används för att bedöma huruvida invändiga material i fordon är brandsäkra eller ej (Spearpoint et al., 2005). Metoden kan hittas under många olika namn, exempelvis ISO 3795, DIN 7500, men alla är i praktiken samma testmetod. Det som skiljer sig är vilket värde som satts som kriterium för godkännande av ett material. Kriteriet för FMVSS 302 är att flamspridningen inte får överskrida 102 mm/min. (Grayson & Hirschler, 2002)

Tidigare har forskning genomförts inom personbils- och bussindustrin för att avgöra om denna testmetod ger en hög nivå på brandskyddet i fordon. Forskningen har enhälligt visat att denna testmetod medför en låg nivå på brandskyddet. Grayson och Hirschler (2002) kom fram till att invändiga plastmaterial i bilar har sämre brandegenskaper än vanliga kommersiellt tillgängliga plastmaterial. De genomförde brandprover av dessa material i konkalorimeter och visade att plastmaterial från bilar kan antändas flera gånger så snabbt och ha en dubbelt så hög värmeutveckling som de kommersiellt tillgängliga plastmaterialen (Grayson & Hirschler, 2002).

Sveriges tekniska forskningsinstitut (SP) har genomfört forskning på brandsäkerheten i bussar. En del av denna forskning syftade till att utvärdera brandegenskaperna hos invändiga material. Den huvudsakliga slutsatsen som drogs var att den nuvarande testmetoden (ISO 3795) inte ger en tillräckligt hög nivå på brandsäkerheten i passagerarutrymmen i bussar (Johansson & Axelsson, 2006). De genomförde brandtester av dessa material och jämförde med metoder som används inom andra områden, såsom sjöfart och järnväg. Både sjöfarten och järnvägsindustrin ställer högre krav på brandskyddet för invändiga material än vad fordonsindustrin gör. Testerna visade att merparten av materialen inte skulle bli godkända för användning varken i båtar eller tåg. (Johansson & Axelsson, 2006)

Lyon och Walters (2005) genomförde brandtester där de jämförde brännbarheten hos material från bilar med material från flygplan. Testerna visade att material från bilar var mycket mer brännbara än flygplansmaterial.

Battipaglia et al. (2003) genomförde både småskaliga och fullskaliga brandtester av personbilar och även de kom fram till att FMVSS 302 ger en låg nivå på brandskyddet i personbilar. Även Spearpoint et al. (2005) konstaterar att FMVSS 302 är en mycket enkel metod som åtminstone bör kompletteras med andra, mer ingående testmetoder som ger bättre utdata. Hirschler et al. (2002) kom fram till samma sak, att FMVSS 302 har lett till en låg brandsäkerhet. Detta blev deras slutsats efter att ha genomfört brandprover både i full skala och i mindre skala. Fullskaleförsöken visade att temperaturer på cirka 700 - 800°C inne i personbilar uppnås cirka tre minuter efter att branden startar (Hirschler et al., 2002).

Tidigare har ingen utvärdering genomförts av invändiga material i militära fordon.

1.1 Syfte och mål

Syftet med examensarbetet är att utvärdera brandsäkerheten för invändiga material i militära fordon. Målen med arbetet är att föreslå en testmetod att använda för brandprovning av invändiga material i militära fordon, som på ett bättre sätt korrelerar med fullskaligt brandbeteende, att genomföra brandtester av ett antal olika invändiga material som används i militära fordon, samt utvärdera dessa.

1.2 Problemformulering

Inledningsvis formulerades ett antal frågeställningar:

- Hur genomförs brandtester enligt ISO 3795/FMVSS 302?
- Vilka andra testmetoder finns och hur genomförs brandtester enligt dessa?
- Hur korrelerar ISO 3795/FMVSS 302 med andra testmetoder?
- Vilka andra studier har redan genomförts?
- Hur kan ett tänkbart antändningsscenario representeras i en testmetod?
- Vilka metoder korrelerar bra mot en brand i full skala?
- Är dessa lämpliga att använda för att testa ytskikt i militära fordon?

Arbetet utmynnade i ett förslag till en ny metod för att brandprova invändiga material i militära fordon. Brandprovning genomfördes enligt denna metod för elva olika ytskikt som förekommer i fordonen Galten och AMV.

1.3 Avgränsningar och begränsningar

Arbetet beskriver endast ett urval av de testmetoder som finns, främst de vanligaste i Europa. Detta beror på att finns oerhört många olika testmetoder i världen och det är inte möjligt att behandla samtliga. Inga fullskaleförsök genomförs, på grund av att det inte är praktiskt eller ekonomiskt genomförbart i detta arbete. Det sker ingen framtagning av olika tänkbara antändningsscenarioer i militära fordon. Det tas inte heller fram några kriterier för vad som ska anses vara godkänt vid brandtest av invändiga material från militära fordon i konkalorimeter, utvärdering sker utifrån kriterier från andra områden. Förslag ges dock på vilka parametrar som är lämpliga att ta fram kriterier för. Rapporten avser inte att granska de produkter som erhållits från tillverkare, utan att utvärdera den befintliga testmetoden och föreslå en ny.

Vid testerna mäts inte rökproduktion. De enda gashalter som mäts är för O₂, CO₂ och CO. Detta beror på att den konkalorimeter som används inte hade utrustning monterad för att mäta rökproduktion eller halter av andra gaser.

1.4 Metod

Detta examensarbete genomfördes som en problemlösande studie. En problemlösande studie har som syfte att lösa ett identifierat problem (Höst, Regnell, & Runeson, 2006). Problemet var att den nuvarande testmetoden inte ger en tillräckligt hög nivå på brandskyddet av invändiga material i militära fordon. Detta löstes genom att föreslå en ny testmetod för brandprovning av invändiga material i militära fordon. Aktionsforskning är enligt Höst, Regnell och Runesson (2006) en metod som är lämplig att använda i arbeten som är problemlösande och användes därför i detta examensarbete. Aktionsforskning innehåller fyra steg (Höst, Regnell, & Runeson, 2006):

- Planera – Identifiering av problem och dess orsaker.
- Gör – Föreslå och genomför förbättringar som löser problemet.
- Studera – Kontrollera att de utförda åtgärderna leder till förbättring.
- Lär – Om åtgärderna lyckats ska lösningen bli permanent. Detta steg faller utanför examensarbeten.

Det första steget, *planera*, innefattade i detta arbete en litteraturstudie inom området för att identifiera olika testmetoder, hur de fungerar och hur de korrelerar mot ISO 3795. Denna studie genomfördes som en deskriptiv studie. En deskriptiv studie är enligt Höst, Regnell och Runesson (2006) en studie där syftet är att utreda hur något fungerar eller görs. Det andra steget, *gör*, involverade framtagandet av ett förslag till en ny testmetod och genomförandet av tester av några material från ett antal militära fordon. Det tredje steget, *studera*, utgjorde en utvärdering och analys av resultatet från brandtesterna för att utvärdera brandsäkerheten i militära fordon.

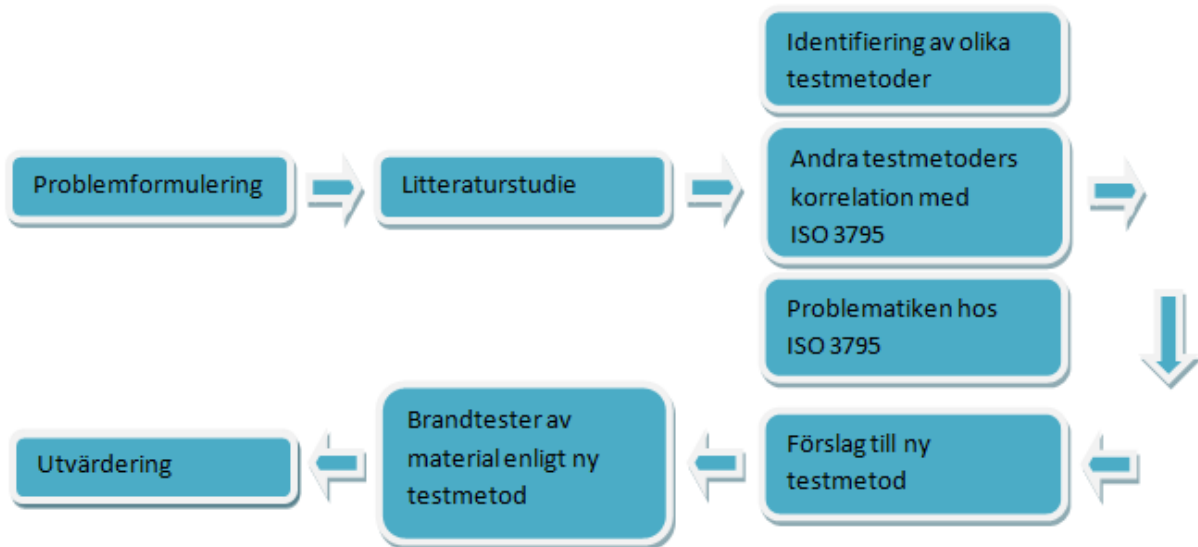
I litteraturstudien inhämtades information från andra studier. Denna information kan ha sammanställts för ett annat syfte än för detta arbete. Detta gör att det är viktigt att värderingen av materialet sker kritiskt. I delen av arbetet som utgörs av brandtester gjordes mätningar. Vid mätningar är det av stor vikt att reducera mätfelen. Dessa utgörs av grova fel, systematiska fel och tillfälliga fel. (Höst, Regnell, & Runeson, 2006)

Detta arbete utgår från ett traditionellt perspektiv. Det traditionella perspektivet är enligt Backman (2010) en ansats där man observerar och mäter den omgivande verkligheten. Det kvalitativa perspektivet utgår från individen där man frågar denne hur man tolkar omvärlden. Det traditionella perspektivet är alltså ett objektiva förhållningssätt medan det kvalitativa är mer subjektivt. Enligt Backman (2010) så karakteriseras det kvalitativa perspektivet av skeenden och förlopp snarare än produkter och resultat, vilket det traditionella perspektivet gör. Detta examensarbete ska utmynna i ett resultat, ett förslag till en ny testmetod och brandtester enligt denna metod, således användes en traditionell ansats.

Enligt Höst, Regnell och Runesson (2006) är det av stor vikt att ta hänsyn till reliabilitet, validitet och representativitet i sitt arbete. För att få en hög reliabilitet är det av stor vikt att datainsamling och analys sker noggrant. Det är även av vikt att tydligt redovisa sitt tillvägagångssätt. Det ska vara möjligt att återupprepa allt som är gjort i rapporten och komma fram till samma resultat (Backman, 2010). Validitet innebär att mäta det man vill mäta. Representativitet handlar om huruvida ens slutsatser är generella eller inte. (Höst, Regnell, & Runeson, 2006)

1.4.1 Sammanfattning av arbetsmetodik

Arbetet inleddes med att göra instuderingsuppgiften om vetenskaplig metodik och att söka litteratur. Därefter genomfördes en litteraturstudie som utmynnade i en sammanställning av ett antal vanliga testmetoder och en sammanfattning av hur nuvarande testmetod korrelerar med andra testmetoder. En ny testmetod föreslogs och därefter genomfördes brandtester av ett antal olika invändiga material enligt denna metod. Avslutningsvis genomfördes en utvärdering av materialen. Figur 1.1 illustrerar arbetsgången i arbetet.



Figur 1.1. Illustration av arbetsgången i arbetet.

2 Testmetoder

Detta avsnitt beskriver ett antal testmetoder som används för brandprovning av material. I varje testmetod mäts ett antal parametrar. De som anges är de primära parametrarna (exempelvis HRR och massförlust). Utifrån dessa är det möjligt att ta fram sekundära parametrar (exempelvis MARHE utifrån HRR).

2.1 ISO 3795/FMVSS 302

Detta är den nuvarande standard som används för att brandtesta invändiga material i civila och militära fordon. I metoden mäts den horisontella flamspridningshastigheten i mm/min. Kravet för godkännande av material i motorfordon i EU är en maximal flamspridningshastighet på 100 mm/min (Directive 95/27/EC). Brandtest enligt ISO 3795 sker i en förbränningskammare där ett materialprov monteras horisontellt i en U-formad hållare av metall. Under materialet placeras en liten bunsenbrännare. Vid genomförande sätts flamman mot materialprovet i femton sekunder, därefter stängs gasflödet till bunsenbrännaren och flamspridningen i materialet observeras. Testet är slutfört då hela materialet har brunnit eller då flamman slocknar. (SS ISO 3795:1989)

Materialprovets dimensioner är 356 x 100 mm. Maximal tjocklek hos materialprovet är 13 mm. Den sidan av materialet som är riktad in mot passagerarna när det är monterat i ett fordon, ska vara riktat nedåt mot flamman. Minst fem brandtest ska genomföras per material för att testet ska vara fullständigt. Om ett material har olika flamspridningshastighet i olika riktningar, ska testerna genomföras så att det är den högsta hastigheten som mäts. Innan provning ska materialprovet tempereras i minst 24 timmar och maximalt 7 dygn i en temperatur på $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ med en relativ fuktighet på $50\% \pm 5\%$. Figur 2.1 visar en försöksupställning. (SS ISO 3795:1989)

I metoden mäts följande:

- Den horisontella flamspridningshastigheten [mm/min]



Figur 2.1. Försöksupställning för ISO 3795/FMVSS 302. Reproducerad med tillstånd från FTT.

2.2 ISO 5660 – Konkalorimeter

ISO 5660 är en standardiserad testmetod där ett materialprov monteras under ett konformat elektriskt värmeelement. Värmeelementet kan ställas in för att avge en strålning mellan 0 och 100 kW/m² mot materialprovet. För att minska värmeförlusterna genom baksidan av materialprovet monteras en isoleringsskiva på baksidan. Materialets baksida och sidor slås in i aluminiumfolie. Tid till antändning mäts med hjälp av ett manuellt tidtagarur. Över materialprovet placeras en elektrisk tändare som vid jämna tidsintervall avger en gnista till dess att antändning sker. Över konen finns en huv som samlar upp brandgaserna och leder bort dem i en rökkanal. Försöksupställningen illustreras i figur 2.2. I rökkanalerna kan halten syre mätas och med hjälp av den kan den avgivna effektutvecklingen tas fram. Detta görs utifrån antagandet om att ett kg syre utvecklar 13,1 MJ energi. Med hjälp av så kallad FTIR¹ är det även möjligt att mäta halten av giftiga gaser. För varje material ska tre tester genomföras för att testet ska vara fullständigt. Det är möjligt att bygga om anordningen för att kunna genomföra tester på vertikalt monterade material. Test enligt standarden ISO 5660 sker dock horisontellt. (ISO 5660-1:2002)

Materialprovet ska ha dimensionerna 10 x 10 cm och en maximal tjocklek på 50 mm. Innan ett test ska materialprovet förvaras i 23°C ± 2°C med en relativ fuktighet på 50 % ± 5 %. Denna förvaring ska ske till dess att två vägningar med 24 timmars mellanrum visar en viktändring på maximalt 0,1 % eller 0,1 g. (ISO 5660-1:2002)

Resultat från tester med konkalorimeter kan användas för att förutspå brandförlopp i större skala, exempelvis enligt EN 13238 SBI och ISO 9705 (Johansson & Axelsson, 2006).

I metoden mäts följande:

- Effektutveckling [kW/m²]
- Massförlust [g/s]
- Rökproduktion [m³/s]
- Tid till antändning [s]
- Halter av olika gaser, exempelvis CO, CO₂, HCN, HCL med flera

¹ Fourier Transform Infrared Spectroscopy



Figur 2.2. Försöksuppställning för ISO 5660 Konkalorimeter. Foto: Författaren.

2.3 EN ISO 9239-1

EN ISO 9239-1 är en standardiserad testmetod som används inom byggindustrin för att brandtesta golvmaterial. Materialprovets dimensioner är 1050 x 230 mm. Innan ett test ska materialprovet förvaras på samma sätt som vid test enligt ISO 5660, se avsnitt 2.2. Golvet ska monteras på samma underlag och på samma sätt som i verkligheten. Materialprovet monteras horisontellt under ett värmeelement. Värmeelementet monteras i 30° lutning och avger värmestrålning mot materialprovet. Försöksuppställningen illustreras i figur 2.3. En pilotlåga sätts sedan mot materialprovets varmaste ände under 10 minuter för att därefter avlägsnas. Flamfrontens förflyttning noteras kontinuerligt under testet. Efter 30 min avbryts försöket. I testmetoden mäts flamspridning, rökutveckling och den lägsta värmestrålning som behövs för flamspridning. Värmestrålningen erhålls genom att mäta den sträcka som flamfronten har förflyttat sig och sedan använda detta värde vid avläsning av en kalibreringskurva. Ju längre sträcka som flamfronten rört sig, desto lägre värde på krävd värmestrålning. Rökutvecklingen mäts genom att mäta ljusets dämpning i kanalen där brandgaserna leds bort. Detta görs med hjälp av en lampa och en fotocell. (EN ISO 9239-1:2002)

EN ISO 9239-1 används för att klassificera byggnadsmaterial. Detta görs i "Euroclass", som finns i sju olika nivåer, A1, A2, B, C, D, E och F. EN ISO 9239-1 används för klassificering av golvmaterial i klass A2, B, C och D. Kraven för dessa nivåer framgår i tabell 2.1. Det är inte enbart EN ISO 9239-1 som ska uppfyllas för en viss nivå, det är även andra testmetoder vars krav ska nås för att golvmaterialet ska få en viss klassificering. (Van Hees, Hertzberg, & Steen Hansen, 2002)

Tabell 2.1. Krav vid test enligt EN ISO 9239-1 för klassificering vid en viss nivå (Van Hees, Hertzberg, & Steen Hansen, 2002).

Nivå	Krav
A2	Critical flux $\geq 8 \text{ kW/m}^2$
B	Critical flux $\geq 8 \text{ kW/m}^2$
C	Critical flux $\geq 4,5 \text{ kW/m}^2$
D	Critical flux $\geq 3 \text{ kW/m}^2$

I metoden mäts följande:

- Flamspridning
- Rökproduktion [m^2/s]
- Lägsta värmestrålning som behövs för flamspridning



Figur 2.3. Försöksuppställning för EN ISO 9239-1. Reproducerad med tillstånd från FTT.

2.4 ISO 5658

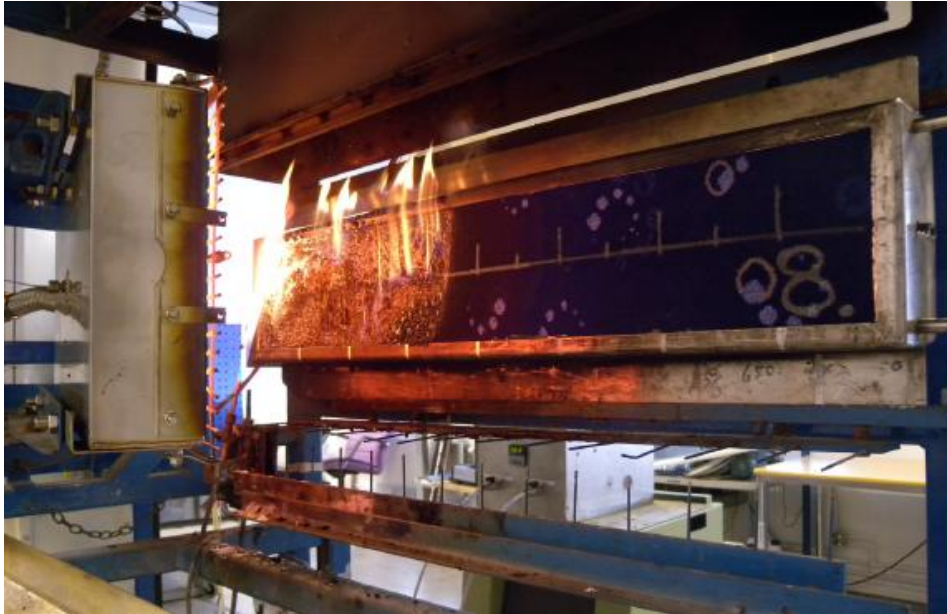
ISO 5658 är en standardiserad testmetod för material som monteras vertikalt. Denna standard är baserad på International Maritimes Organization (IMO) standard A.653 som används inom sjöfarten. Materialprovet monteras vertikalt och utsätts för värmestrålning från ett värmeelement som är monterat med 15° vinkel från materialprovet. Försöksuppställningen illustreras i figur 2.4. Värmeelementet justeras in så att en standardiserad strålning (som varierar med avståndet till materialet) uppnås. Denna strålning är som högst $50,5 \text{ kW}/\text{m}^2$ och som lägst $1,5 \text{ kW}/\text{m}^2$. En pilotlåga sätts mot materialets varmaste ände. Efter antändning noteras flamspridningen. Testet pågår till dess att hela materialet brunnit, 30 minuter förflutit eller avbryts efter 10 minuter om ingen antändning skett. Materialprovet ska ha dimensionen $800 \times 155 \text{ mm}$ och en maximal tjocklek på 50 mm . Innan ett test ska materialprovet förvaras på samma sätt som vid test enligt ISO 5660, se avsnitt 2.2. (ISO 5658-2:2006)

Enligt standarden är denna testmetod inte lämplig om materialet riskerar att mjukna eller smälta innan antändning sker. Om materialet smälter efter antändning är det acceptabelt. (ISO 5658-2:2006)

ISO 5658 används inom tågindustrin för att avgöra om invändiga material är brandsäkra. Kriteriet som satts är att CFE ska vara minst $20 \text{ kW}/\text{m}^2$. (CEN/TS 45545-2:2009)

I metoden mäts följande:

- Tid till antändning [s]
- Strålningsnivå vid den punkt där lågorna slocknar (CFE) [kW/m^2]
- Genomsnittlig mängd värme som erfordras för att flamspridning ska fortsätta



Figur 2.4. Försökupställning för ISO 5658. Från Försth (2009). Reproducerad med tillstånd från SP.

2.5 ISO 6941

ISO 6941 är en standard för brandtestning av gardiner. Materialprovet monteras vertikalt och utsätts sedan för en 40 mm lång flamma från en brännare. Denna exponering ska vara i tio sekunder. På tre olika höjder monteras en tråd tvärs över materialet. Tiden det tar till dessa brinner av mäts, och sedan beräknas den vertikala flamspridningen. Materialprovet ska ha dimensionen 560 x 170 mm. Innan brandtest ska materialet förvaras vid en temperatur på $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ med en relativ fuktighet på $65\% \pm 5\%$ i minst 24 timmar. (ISO 6941:2003)

Den maximalt tillåtna flamspridningen för att ett material ska bli godkänt är 100 min/min. (Försth, 2009)

I metoden mäts följande:

- Flamspridningen [mm/min]

2.6 EN 13238 – SBI (Single burning item)

SBI är en standard som används för att brandklassificera byggnadsmaterial (dock inte golv). Testmetoden är i medelstor skala. Testet ska genomföras i ett rum med dimensionerna 3 x 3 x 2,4 m (djup x bredd x höjd). Väggarna ska vara tillverkade i betong (eller liknande material). Två dörrar ska finnas, en för att kunna skjuta in en vagn med provupställningen och en och för att möjliggöra åtkomst till provupställningen. Två av väggarna ska även ha fönster. I detta rum placeras en vagn där ett hörn har byggts upp. Hörnet består av två väggar, en större och en mindre. Den mindre väggen ska ha dimensionen 495 x 1500 mm och den större ska vara 1000 x 1500 mm. Väggarnas

ytskikt utgörs av materialet som ska brandtestas. Materialet ska monteras på samma sätt som i verkligheten, om till exempel en luftspalt finns i verkligheten ska det vara en luftspalt i testet. Försöksuppställningen illustreras i figur 2.5. Innan ett test ska materialprovet förvaras på samma sätt som vid test enligt ISO 5660, se avsnitt 2.2. (EN 13823:2002)

Två likadana brännare används, en primär brännare som ena placeras i hörnet vid materialprovet och en sekundär brännare som placeras bort från materialprovet. Brännaren ska ge en effekt på 30,7 kW (± 2 kW). Under de första tre minuterna av ett test är det endast den sekundära brännaren som brinner. Detta för att mäta den värme och rök som brännaren ger upphov till. Efter tre minuter släcks den sekundära brännaren och den primära brännaren tänds. Brandgaserna samlas upp av en huv och leds bort i en rökkanal. Efter 26 minuter avbryts testet. (EN 13823:2002)

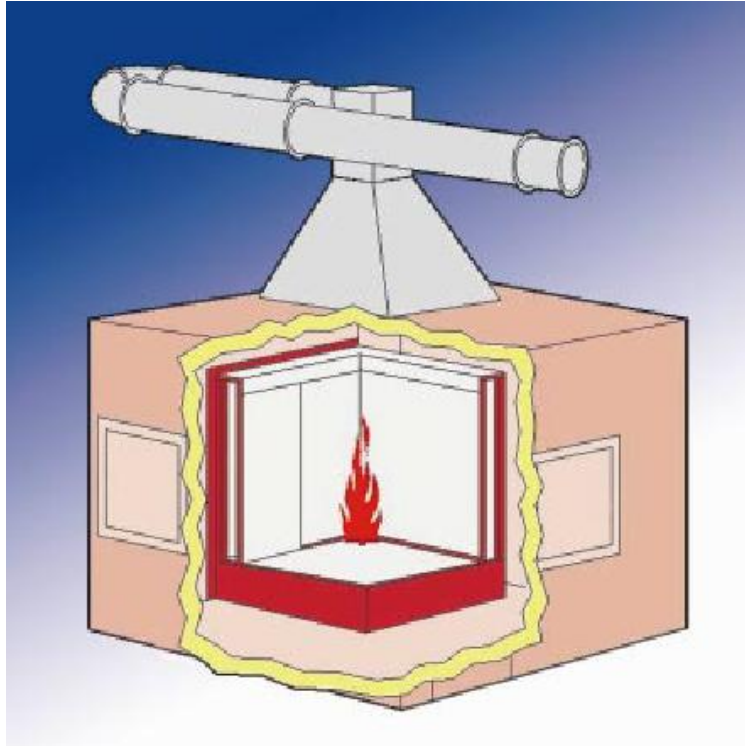
SBI används för klassificering av byggnadsmaterial enligt Euroclass. SBI används då ett material ska uppnå klasserna A2, B, C och D. Kraven för olika nivåer redovisas i tabell 2.2. Det är inte enbart EN 13238 SBI som ska uppfyllas för en viss nivå, det är även andra testmetoder vars krav ska nås för att golvmaterialet ska få en viss klassificering. (Van Hees, Hertzberg, & Steen Hansen, 2002)

Tabell 2.2. Krav vid test enligt SBI för klassificering vid en viss nivå (Van Hees, Hertzberg, & Steen Hansen, 2002).

Nivå	Krav
A2	FIGRA ≤ 120 W/s LFS < edge of specimen THR _{600s} $\leq 7,5$ MJ
B	FIGRA ≤ 120 W/s LFS < edge of specimen THR _{600s} $\leq 7,5$ MJ
C	FIGRA ≤ 250 W/s LFS < edge of specimen THR _{600s} ≤ 15 MJ
D	FIGRA ≤ 750 W/s

I metoden mäts följande:

- Effektutveckling [kW]
- Rökproduktion [m^2/s]
- Producerad mängd värme [MJ]
- Visuell observation av:
 - Flamspridning
 - Brinnande droppar eller partiklar



Figur 2.5. Försöksuppställning för EN 13238 SBI. Reproducerad med tillstånd från FTT.

2.7 ISO 9705

ISO 9705 är en internationell standard för brandtest av ytskikt i full skala. Testet genomförs i ett rum som ska ha dimensionerna 3,6 x 2,4 x 2,4 (längd x bredd x höjd). En dörröppning ska finnas i en av väggarna med dimensionen 0,8 x 2,0 m. Väggarna och taket kläs i materialet som ska testas. En brännare placeras i ett av hörnen längst bort från dörröppningen. Brännaren ska placeras i kontakt mot väggen. Brännaren ska avge en effekt enligt tabell 2.3. Försöksuppställningen illustreras i figur 2.6. Innan ett test ska materialprovet förvaras på samma sätt som vid test enligt ISO 5660, se avsnitt 2.2. (ISO 9705-1:1993)

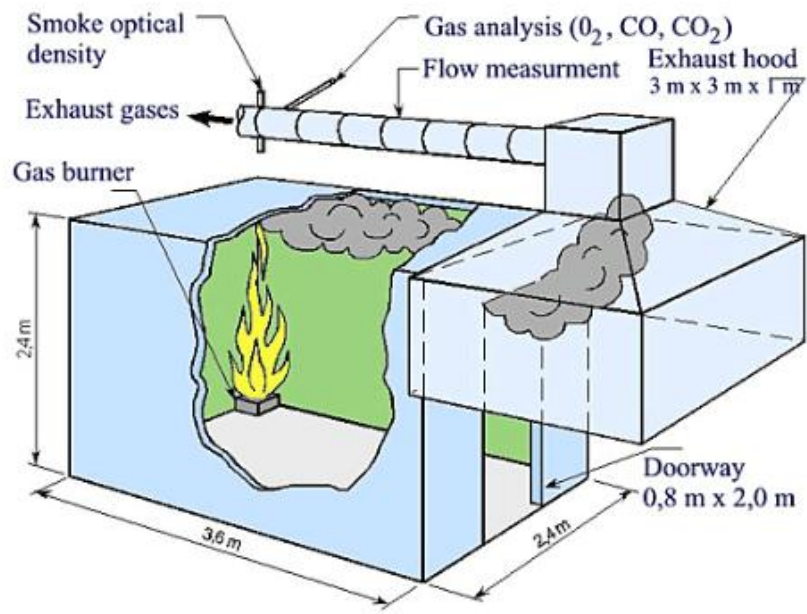
Tabell 2.3. Effekten som brännaren ska avge vid olika tidpunkter i testförloppet.

Tidpunkt i test [min]	Avgiven effekt [kW]
0 - 2	0
2 - 7	100
7 - 12	300
12 - 17	100
17 - 19	0

Det är även möjligt att testa golvmaterial, vilket bland annat Axelsson, Johansson & Hertzberg (2007) och Sundström, Van Hees och Thureson (1998) har gjort.

Vid brandtest mäts följande:

- Effektutveckling [kW]
- Produktion av rök [m^2/s]
- Andel giftiga gaser
- Sikt
- Strålningen mot en punkt i mitten av golvet



Figur 2.6. Försöksupställning för EN 9705. Reproducerad med tillstånd från SP.

3 Utvärdering av ISO 3795

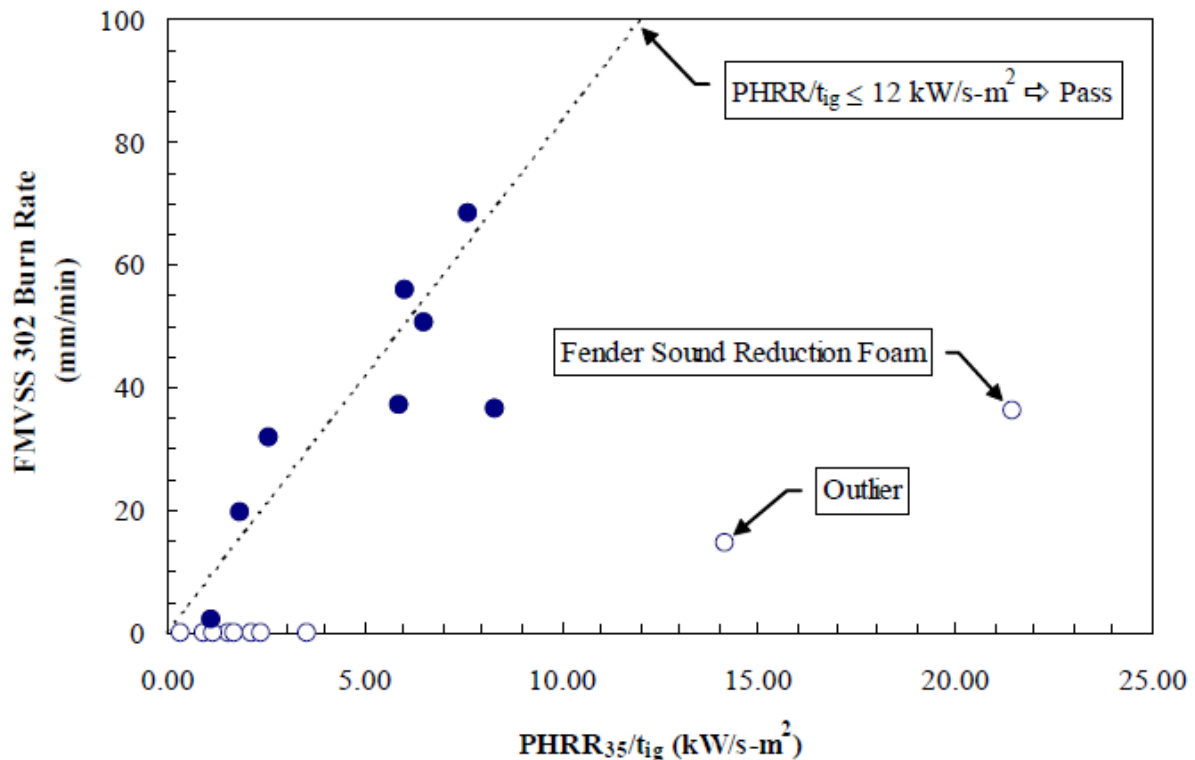
Detta avsnitt handlar om hur ISO 3795 korrelerar gentemot andra testmetoder, samt vilka problem som finns med ISO 3795.

3.1 Korrelation mellan ISO 3795 och andra testmetoder

Spearpoint et al. (2005) genomförde brandtester av nya och gamla bilklädselar. Detta gjordes både med konkalorimeter och enligt FMVSS 302 (ISO 3795). Denna studie visade sig dock vara problematisk, då endast fyra av tio material antände vid test enligt FMVSS 302. Endast dessa material kunde därför jämföras mot konkalorimeter. Detta beror på att det inte är möjligt att göra någon värdering av material som inte antänder enligt FMVSS 302. Det upptäcktes att material som blev godkända enligt FMVSS 302 alla hade ett CHF högre än 11 kW/m^2 och de som presterade sämst hade CHF längre än 11 kW/m^2 . Detta uppmättes med konkalorimeter. Författarna poängterar dock att detta samband inte bör användas då för få test med för få olika sorters material genomförts för att sambandet ska kunna anses vara styrkt. De hävdar även att det inte finns något annat som stödjer detta samband. (Spearpoint et al., 2005)

Battipaglia et al. (2003) genomförde brandtester av 18 olika material från personbilar. Dessa material togs enbart från motorrum och inte från passagerarutrymmen. Material från motorrum behöver inte uppfylla krav på flamspridning enligt FMVSS302. Det visade sig dock att samtliga material blev godkända. De försökte sedan hitta ett samband mellan resultaten från FMVSS 302 och från konkalorimeter. De provade att plotta olika HRR-värden (medelvärden, maximivärden med flera) mot flamspridningshastigheten. De fann en relativt god korrelation mellan flamspridningshastigheten och den maximala effektutvecklingen dividerat med tiden till antändning, se figur 3.1. Denna kvot hävdar de är acceptabel då flammans längd hos en laminär diffusionsflamma är proportionell mot effektutvecklingen. Antagandet är att delen framför flamfronten som värms av flamman dividerat med tiden till antändning korrelerar väl mot flamspridningshastigheten (Battipaglia et al., 2003). Detta antagande bör vara rimligt.

Battipaglia et al. (2003) fann även att om ett materials maximala effektutveckling understiger 250 kW/m^2 vid 35 kW/m^2 infallande strålning i konkalorimeter kommer ingen flamspridning att ske vid test enligt FMVSS 302.



Figur 3.1. Maximal effektutveckling (vid 35 kW/m² infallande strålning från konkalorimetern) dividerat med tiden till antändning, plottat mot flamspridningshastigheten enligt FMVSS 302. En kvot lägre än 12 kW/m²s medför att materialet kommer att uppnå godkänt i FMVSS 302 (maximal tillåten flamspridning 102 mm/min).
Från Battipaglia et al. (2003) (figure 25). Reproducerad med tillstånd från SWRI.

Tewarson (2005) genomförde brandtester av material från ett antal personbilar. Materialen togs från passagerarutrymmen och även från andra delar av fordonen. Utvärdering skedde av flamspridningen med hjälp av tre olika metoder, FMVSS 302, en modifierad version av GM 9833P och ASTM E2058 FPA. (Tewarson, 2005)

GM 9833P är en testmetod framtagen av General Motors för att testa flamspridningen i ljudisolering i motorrum. Denna metod använder en större brännare än FMVSS 302 och materialprovet är monterat i 45° lutning mot flaman. Modifieringen av testmetoden bestod i att låta provkropparna förvärmas till 121°C innan flaman ansattes mot materialet. (Abu-Isa & Jodeh, 2001)

ASTM E2058 är en amerikansk standard för brandtest av syntetiska polymermaterial. Vid test enligt standarden beräknas ett FPI. För FPI>10 har det visats att brandspridning kan fortgå utanför antändningszonen. Provmaterialet monteras vertikalt och blir utsatt för värmestrålning, 50 kW/m². Provkroppen är placerad i en miljö med syrekoncentrationen 40 %. (Quintiere, Tewarson, & Purser, 2005)

Denna utvärdering visade att flamspridning uppmätt i GM 9833P kunde bli mer än dubbelt så hög som för FMVSS 302. Denna skillnad beror på att GM 9833P dels har en större brännare, materialprovet är monterat i lutning och att förvärmning har skett. Tewarson (2005) menar dock att GM 9833P inte nödvändigtvis ger en bättre bild av hur flamspridning i materialen sker. Detta på grund av att förvärmningen till 121°C inte anses vara ett bra sätt att representera en brand i ett fordon, en verklig fordonsbrand genererar mycket högre temperaturer. Tewarson menar att det är

bättre att använda sig av ett värmeelement som strålar mot materialprovet för att representera omgivande flammor. Vidare visade det sig att resultaten från ASTM E2058 skiljde sig från FMVSS 302. Även detta beror troligen på skillnader i hur metoderna genomförs, FMVSS 302 med en liten brännare och ASTM E2058 med infallande strålning från värmeelement.

SP har genomfört en studie där ISO 3795 jämfördes med ISO 5658 och ISO 6941 (Försth, 2009). Detta gjordes för invändiga material i bussar. Krav för godkänt enligt ISO 5658 ansattes som för tågindustrin, det vill säga $CFE > 20 \text{ kW/m}^2$, se avsnitt 2.4. För ISO 6941 användes kravet på maximal flamspridning på 100 mm/min. Av materialen som testades enligt ISO 3795 blev tio av elva godkända, medan endast fyra av tio testade enligt ISO 5658 godkändes (ett av materialen testades inte enligt ISO 5658 på grund av brist på provbitar). Endast fyra av elva material blev godkända enligt ISO 6941. De konstaterar att ingen korrelation mellan testresultaten finns, endast ett material blev godkänt i alla tre testmetoder (Försth, 2009). För ett material var flamspridningen i ISO 6941 24 gånger högre än i ISO 3795. Det är uppenbart att ISO 3795 med horisontell mätning av flamspridning ställer mycket lägre krav på materialen än de två metoderna som mäter flamspridningen vertikalt.

3.1.1 Slutsatser

- Det har skett viss forskning med syfte att hitta samband mellan ISO 3795 och andra testmetoder. Denna forskning har visat att det kan finnas vissa samband med framförallt konkalorimeter.
- Flera olika studier har genomförts där ISO 3795/FMVSS 302 jämförts med andra testmetoder som mäter flamspridning. Ingen korrelation har hittats med någon av dessa metoder.
- Det har visats att provkroppens montering (vertikalt eller horisontellt) har en stor påverkan på flamspridningshastigheten.
- Det är enkelt att få ett material godkänt enligt ISO 3795.

3.2 Problem kring ISO 3795

Det finns ett antal problem kring ISO 3795 som tillsammans gör den mindre lämplig att använda som testmetod för invändiga material, och som har lett till att invändiga material i fordon har låg brandsäkerhet, för mer beskrivning se avsnitt 1.1.

I testmetoden används en liten bunsenbrännare för antändning av materialprovet. Denna togs från början fram för att simulera antändning av ett material med en cigarett (Spearpoint et al., 2005). Enligt Digges et al. (2008) startades majoriteten av alla bränder i personbilar i USA, som fick en dödlig utgång, efter att bilen krockat. Enligt Tewarson (2005) kommer en brand i ett fordon som krockat utsätta invändiga material för en betydligt större brandpåverkan än vad som är föreskrivet i ISO 3795. Detta är rimligt då mängden brännbart material i fordon har mångdubblats sedan testmetoden infördes 1972 (Digges et al., 2008). Att brandtesta material utifrån en exponering av en liten flamma är således inte tillräckligt.

Brandförsök i full skala av bilar som blivit påkörda bakifrån visar att flamspridningshastigheten i invändiga material kan vara tio gånger högre än vad som är godkänt enligt ISO 3795 (Digges et al., 2008). Det är således uppenbart att metoden inte representerar ett verkligt brandscenario på ett bra sätt.

Mätdata från försök utgörs endast av flamspridningshastigheten, inga mätningar genomförs av andra parametrar som är relevanta, såsom effektutveckling och rökproduktion. Effektutvecklingen är enligt

Babrauskas och Peacock (1992) den absolut viktigaste parametern att använda vid modellering av bränder. Ingen hänsyn tas heller till om materialet smälter, droppar eller förkolnas. Något som Tewarson (2005) anser är viktigt att göra för att kunna öka säkerheten vid brand i fordon.

Resultat som erhålls från brandtest med ISO 3795 kan inte anses vara konservativa. Detta beror på flera anledningar:

- Flamspridningen mäts endast horisontellt, en stor del av invändiga material i fordon är monterade vertikalt. Då ett material monteras vertikalt kan flamspridningen bli många gånger högre än då det monteras horisontellt (Digges et al., 2008), se även avsnitt 3.1.
- Om ett material smälter och börjar droppa kommer små pölbränder bildas under testanordningen. Denna borttransport av bränsle medför att flamspridningshastigheten blir lägre, således underskattas flamspridningshastigheten i ISO 3795 (Lyon & Walters, 2006).
- Flamspridningshastigheten beror även till stor del på den infallande strålningen från en brand, det tas ingen hänsyn till detta i denna testmetod (Digges et al., 2008).

Det går inte att göra en kvantitativ värdering av material som inte antänder i brandtester enligt ISO 3795. Testets utformning gör att det bara går att se om ett material börjar brinna, och då endast utifrån en exponering av en liten flamma under en begränsad tidsperiod (15 sekunder). Denna begränsning medför svårigheter i att jämföra resultat från ISO 3795 med resultat från andra testmetoder. (Spearpoint et al., 2005)

Det är oklart hur kriterierna för maximal tillåten flamspridning har bestämts och om de har någon förankring i genomförda brandtester.

Det har i avsnitt 3.1 visats att metoden korrelerar dåligt mot andra testmetoder, framförallt de som mäter flamspridning. Detta är ofördelaktigt eftersom flamspridningshastigheten är det enda som mäts.

3.2.1 Slutsatser

- Belastning från brand i form av en bunsenbrännare är inte tillräckligt och är inte representativt för ett verkligt brandscenario.
- Mätning av flera parametrar som är relevanta saknas, exempelvis effektutveckling.
- Resultat från mätningar av flamspridningshastigheten är inte konservativa.
- Det är inte möjligt att kvantitativt värdera hur lätt eller svårt ett material antänder.
- Oklarhet råder i hur kriterierna för maximal tillåten flamspridning uppkommit.
- Metoden korrelerar dåligt mot andra testmetoder, framförallt de som mäter flamspridning, se avsnitt 3.1.

4 Förslag till testprogram

Det har konstaterats att ISO 3795 ger en låg nivå på brandskyddet i personbilar och bussar. Det är rimligt att anta att detsamma gäller för militära fordon. Således bör tester genomföras enligt någon annan testmetod, som på ett bättre sätt kan representera en brand i större skala.

4.1 Val av testmetod

Utifrån litteraturstudien i föregående kapitel identifieras ett antal kriterier som en ny testmetod bör uppfylla (numreringen ska inte tolkas som en ranking, utan används endast för att hänvisa till respektive kriterium):

1. Korrelera bättre mot brand i större skala.
2. Mätning av fler parametrar; effektutveckling och rökproduktion.
3. Möjlighet att utöver horisontell testning, även kunna testa vertikalt.
4. Vara småskalig. Detta gör det enklare och billigare att genomföra brandtest (på grund av att det krävs mindre provbitar).
5. Större belastning från branden än med en liten bunsenbrännare.

Bedömningen sker inledningsvis utifrån kriterierna 2 – 5. För den testmetod som bedöms uppfylla dessa kriterier bäst, kontrolleras även att den uppfyller kriterium 1.

4.1.1 ISO 5660 Konkallorimeter

Vid test i konkallorimetern mäts ett flertal olika parametrar, inklusive effektutvecklingen (2). Den är även en småskalig testmetod som endast erfordrar 10 x 10 cm stora bitar av materialet som ska testas (4). Det är möjligt att bygga om konkallorimetern för att genomföra vertikala tester (3). Belastningen från branden utgörs av ett värmeelement där strålningen kan varieras (5).

Både Battipaglia et al. (2003) och Miller, Janssens och Huczek (2004) har tidigare rekommenderat att ISO 5660 konkallorimetern används för brandprovning av material i personbilar istället för ISO 3795.

4.1.2 ISO 5658

ISO 5658 mäter fler parametrar, dock inte effektutvecklingen (ISO 5658-2:2006). Därför uppfyller den inte kriterium 2. Metoden är småskalig (4) och genomförs på vertikalt monterade materialprov. Ett värmeelement avger strålning mot materialprovet som sedan antänds med hjälp av en brännare, detta uppfyller således kriterium 5.

4.1.3 EN ISO 9239-1

ISO 9239 är gjord för att brandtesta golvmaterial, därför är det inte möjligt att testa vertikalt monterade material (3). Det är inte heller möjligt att mäta effektutvecklingen (2). Vid test utsätts materialet för strålning från ett värmeelement och en pilotlåga från en brännare och uppfyller därför kriterium 5.

SP genomförde en studie där golvmaterial i byggnader testades med ISO 9239, ISO 5660 konkallorimeter och ISO 9705. En slutsats som drogs var att ISO 9239 inte ger tillräckligt med utdata, möjlighet saknas att mäta bland annat effektutvecklingen. Det konstateras att ISO 5660 kan ge dessa utdata. (Axelsson, Johansson, & Hertzberg, 2007)

4.1.4 ISO 6941

ISO 6941 uppfyller kriterierna om vertikal provning (3) och småskalighet (4). Metoden mäter dock endast flamspridning och uppfyller därmed inte kriterium 2. Metoden använder sig av en liten bunsenbrännare och uppfyller därmed inte kriterium 5.

4.1.5 EN 13238 – SBI och EN 9705

Dessa metoder mäter de eftersökta parametrarna (2) och testar material som monterats vertikalt (3). Dock är de inte småskaliga (4), vilket gör dem både krångligare och dyrare att genomföra, större mängder materialprov krävs.

4.1.6 Slutsats

I tabell 4.1 redovisas en sammanställning hur de olika testmetoderna uppfyller kriterierna. Det kan konstateras att ISO 5660 konkalorimetern uppfyller kriterierna 2 - 5, i nästa avsnitt klargörs om den även uppfyller kriterium 1, korrelation mot större skala.

Tabell 4.1. Sammanställning hur de olika testmetoderna uppfyller kriterierna.

Metod	Kriterium			
	2	3	4	5
ISO 5660	JA	JA	JA	JA
ISO 5658	NEJ	JA	JA	JA
EN ISO 9239-1	NEJ	NEJ	JA	JA
ISO 6941	NEJ	JA	JA	NEJ
EN 13238 SBI	JA	JA	NEJ	JA
EN 9705	JA	JA	NEJ	JA

4.2 Konkallorimeterns korrelation med tester i större skala

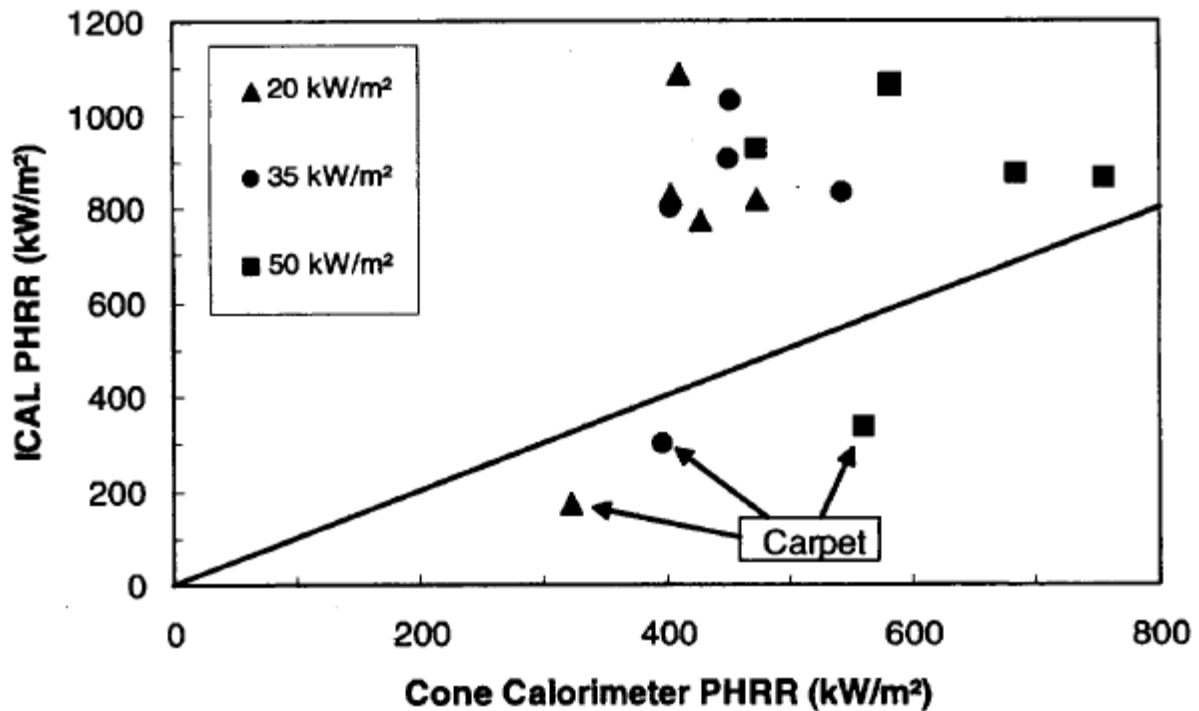
Miller, Janssens och Huczek (2004) genomförde brandtester av material från personbilar i syfte att hitta samband mellan konkallorimeter och ASTM E1623, även kallad ICAL².

ICAL är en amerikansk standard för brandprovning i mellanstor skala. Materialproven har dimensionen 1 x 1 m, att jämföra med konkallorimeter där materialproven är 0,1 x 0,1 m. Dessa monteras vertikalt och utsätts för strålning från ett parallellt placerat värmeelement (med dimensionen 1,33 x 1,54 m). Maximal infallande strålning är 50 kW/m². Brandgaserna samlas upp i en huv och leds bort i en kanal, där mätningar sker. Detta sker på samma sätt som för ISO 5660 konkallorimeter. Enligt standarden ska värmetrådor placerade i nära anslutning till provkroppen användas som pilotlåga. I Miller, Janssens och Huczeks brandtester användes dock en liten brännare som pilotlåga. (Miller, Janssens, & Huczek, 2004)

Miller, Janssen och Huczek (2004) fann att konkallorimetern kan ge en relativt god indikation på hur material brinner i större skala, se figur 4.1. Skillnaderna i resultaten går delvis att härleda till försöksupställningarna. Tester i ICAL sker vertikalt, detta leder till att pölbränder bildas på golvet då materialet smälter och droppar. Då detta sker blir den effektiva arean som brinner större, och därmed även effektutvecklingen. Detta sker inte i konkallorimeter, eftersom att testerna sker

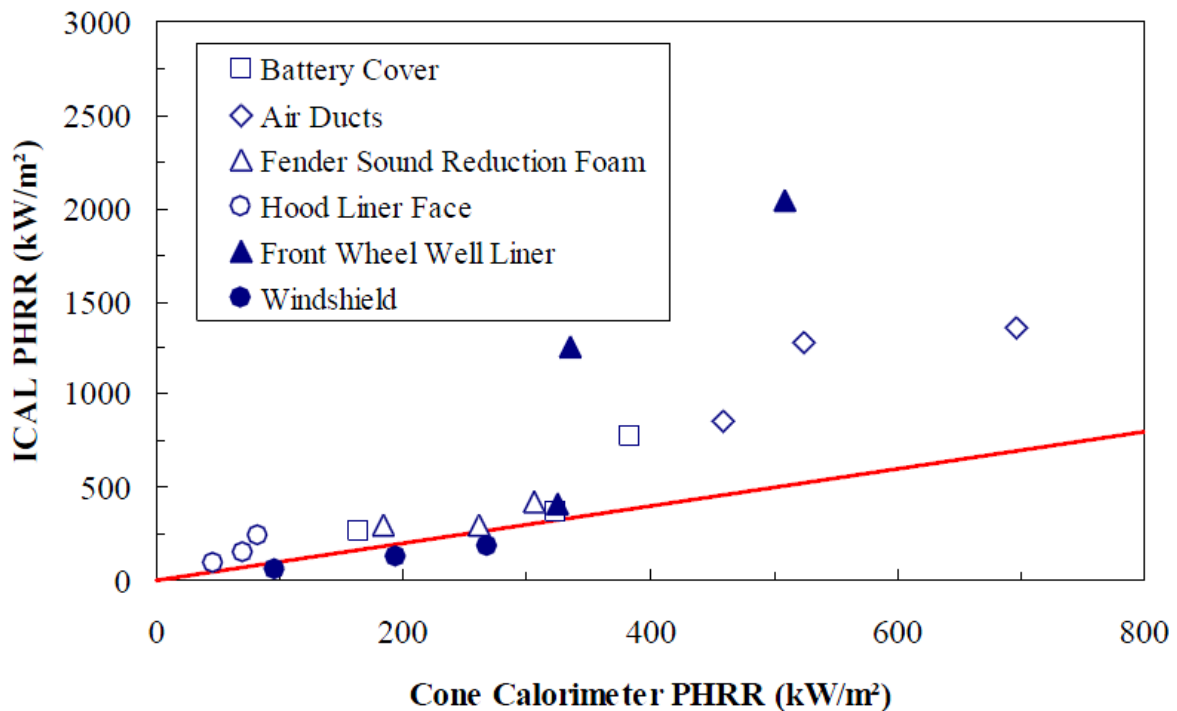
² Intermediate-scale CALorimeter

horisontellt. Detta framgår tydligt då resultaten för mattor, som inte smälte och droppade, korrelerar bättre, se figur 4.1.



Figur 4.1. Maximal effektutveckling från ICAL och konkalorimeter från brandtester av Miller, Janssens och Huczek (2004). Från Miller, Janssens och Huczek (2004) (figure 8-6). Reproducerad med tillstånd från SWRI.

Även Battipaglia et al. (2003) genomförde jämförelser av resultaten från deras brandtester, se avsnitt 3.1. De testade materialen både i konkalorimeter och i ICAL. De fann att upptill en maximal effektutveckling på 340 kW/m² korrelerar dessa två testmetoder väl med varandra. För högre effektutvecklingar blir resultaten från ICAL högre än för konkalorimeter, se figur 4.2. Detta beror på att materialen börjar smälta. Detta stämmer överens med resultaten från Miller, Janssens och Huczek (2004) studie. Notera att materialen som provades av Battipaglia et al. (2003) inte kommer från passagerarutrymmen.



Figur 4.2. Maximal effektutveckling från ICAL och konkalorimeter från brandtester av Battipaglia et. al (2003).
Från Battipaglia et al. (2003) (figure 14). Reproducerad med tillstånd från SWRI.

De gjorde även försök att utvärdera materialens toxicitet med hjälp av konkalorimeter. Det visar sig vara mycket komplext att skala upp toxicitetstester från konkalorimeter till att gälla för en fullskalig brand i en personbil. Kunskap behövs om produktionen av många olika toxiska ämnen och hur den varierar med tiden för varje enskild komponent. Det är även viktigt att kunna bestämma hur utblandningen av alla dessa toxiska ämnen sker i takt med att luft blandas in, och sedan hur denna gasblandning transporteras i passagerarutrymmet. För de fall då branden startar utanför passagerarutrymmet behövs även kännedom om transporten till passagerarutrymmet. Battipaglia et al. (2003) menar att det finns alldeles för många källor till osäkerhet vid ett försök att beräkna detta. De anser även att toxiciteten inte är det primära problemet vid en brand i en personbil. Fullskaletesterna som genomfördes visade att flamspridning hinner ske inne i passagerarutrymmet innan toxiciteten och temperaturen når en kritisk nivå. När vindrutorna gick sönder ventilerades även de toxiska gaserna bort. Det är alltså av större vikt att hantera brännbarheten hos materialen. (Battipaglia et al., 2003)

Tillvägagångssättet för att skala upp toxicitetstester till större skala bör gälla även för militära fordon. Resultaten från fullskalförsöken som genomfördes bör till stora delar vara tillämpbara för militära fordon, framförallt för militära fordon som till sin uppbyggnad liknar civila personbilar (exempelvis Galten, se figur 5.1 i avsnitt 5.4). För andra typer av militära fordon (exempelvis AMV, se figur 5.2 i avsnitt 5.4), är det rimligt att anta att toxiciteten kommer att ha större inverkan en bit in i brandförloppet eftersom att utrymmet är mer slutet, det finns inga fönster som kan gå sönder vid en brand och därmed ventileras bort toxiska ämnen. Antagandet om att påverkan av flammor hinner ske innan toxiciteten når en kritisk nivå är rimligt även för militära fordon.

Wickström och Göransson (1992) kom fram till att det är möjligt att använda resultat från tester med konkolorimeter för att förutspå resultat från ISO 9705. Modellen kräver endast tiden till antändning och effektutvecklingskurvan plottat mot tiden för att kunna bestämma effektutvecklingskurvan för en rumsbrand enligt ISO 9705. (Wickström & Göransson, 1992)

Van Hees, Hertzberg och Steen Hansen (2002) utvecklade en programvara vid namn "Conetools" som kan användas för att förutsäga resultat i SBI och ISO 9705 utifrån data från tester med konkolorimeter. (Van Hees, Hertzberg, & Steen Hansen, 2002)

Hakkarainen (2001) visade att det är möjligt att förutsäga vilken klassificering ett byggnadsmaterial kommer att få i brandtest enligt SBI utifrån resultat från brandtester av materialet i konkolorimeter. Tester genomfördes där 18 av 20 testade byggnadsmaterial fick samma klassificering i konkolorimeter som i SBI. Detta är säkerställt för brandtester där konkolorimetern avger 50 kW/m² och materialet antänder i intervallet 5 – 60 sekunder. Att helt förutsäga resultat med hjälp av konkolorimeter är dock inte möjligt. Detta beror på att i SBI är det en flamma som ger en varierande strålning mot materialet, i konkolorimetern ger värmeelementet en jämn strålningsbild över tiden. Dessutom kan inte konkolorimetern representera vissa fysiska faktorer såsom hörn, kollaps av materialet med mera. (Hakkarainen, 2001)

Även Hansen (2002) kom fram till att resultat från konkolorimeterförsök kan användas för att förutsäga klassificering för byggprodukter enligt SBI. För 90 % av de testade materialen förutsades rätt klassificering. (Hansen, 2002)

Vid brandtest i konkolorimeter som är inställd på att avge 50 kW/m² har det visats att det är möjligt att korrelera resultaten mot fullskaleförsök enligt ISO 9705. Detta gäller effektutvecklingen (både maximal effektutveckling och ett medelvärde) och tid till övertändning. (Beyler, 2000)

Battipaglia et al. (2003) fann att vid fullskaletest av krockade personbilar, där branden startade i motorrummet och sedan spred sig till passagerarutrymmet, uppstod kritiska förhållanden för människor (utifrån temperatur och toxicitet) vid en effektutveckling av cirka 400 kW. De tog fram en enkel handberäkningsmodell för att approximativt beräkna tiden till dess att en brand i ett motorrum når denna effektutveckling och då blir kritisk, se ekvation 4.1.

$$t = t_{ig} \left[1 + 1,233 \ln \left(\frac{400}{0,0079Q''} \right) \right] \text{ [s] } \textbf{ekvation 4.1}$$

Denna modell använder sig av mätresultat från konkolorimeter (tiden till antändning (t_{ig}) och maximal effektutveckling (Q'')). Modellen antar att alla material är fördelade i en sammanhängande horisontell platta som har samma area som motorhuven, och att alla material byts ut mot det material som har sämst brandförmåga enligt resultat från konkolorimeter. Denna modell utgår från scenariot att branden uppstår i motorutrymmet efter en frontalkrock och sedan sprider sig in i passagerarutrymmet genom vindrutan och instrumentbrädan. Det är alltså inte självklart att denna modell är tillämpbar för militära fordon, och inte heller alla brandscenarier som kan uppkomma. Dock visar det på att det är möjligt att ta fram modeller som kan använda mätresultat från konkolorimeter för att approximativt förutsäga förhållanden för en fullskalig brand i ett fordon.

4.2.1 Slutsatser

- Det är säkerställt att ISO 5660 konkalorimeter kan användas för att representera brand i större skala.
- Det är uppenbart att det är mot konkalorimetern som huvuddelen av forskningen inom fordonsindustrin har inriktat sig på, och det är även den metoden som främst används vid utvärderingar av personbilars och bussars brandsäkerhet.
- Toxiciteten i en personbilsbrand tycks vara ett sekundärt problem. Ett större problem är brännbarheten hos materialen. Detta antagande är rimligt även för militära fordon.
- ISO 5660 Konkalorimetern uppfyller kriterium 1, därför föreslås den som ny testmetod för invändiga material i militära fordon.

5 Brandtester av material

Detta avsnitt beskriver val av horisontell eller vertikal testning, infallande strålning från värmeelementet i konkalorimetern och kriterier för godkännande.

5.1 Horisontell eller vertikal testning

Det har tidigare visats att flamspridningshastigheten påverkas stort beroende på om materialet som testas monteras vertikalt eller horisontellt. Tester genomförs i konkalorimeter, enligt standarden ISO 5660. Det är möjligt att ändra konkalorimetern så att testning kan genomföras vertikalt. Om standarden ska följas skall dock testning genomföras horisontellt.

Horisontell testning kan vara att föredra för material som smälter eller droppar (exempelvis termoplaster). Detta beror på att vertikalt monterade material som smälter eller droppar kommer att ansamla en pöl nedanför testutrustningen. Detta kommer att påverka resultatet och kan ge dålig utdata, då det ansamlade materialet kan hamna närmare värmeelementet än avsett (Spearpoint et al., 2003). Då materialen som erhålls från militärfordonen till stor del utgörs av plaster, är smältning och droppning att vänta. Därför genomförs testerna horisontellt.

5.2 Infallande strålning från värmeelementet i konkalorimetern

Vid brandtest i konkalorimeter används ett värmeelement för att representera en brand. Detta värmeelement ställs in för att avge en viss strålning mot material som ska testas.

Miller, Janssens och Huczek (2004) gjorde en litteraturstudie för att avgöra vilka strålningsnivåer som är rimliga att använda vid brandprovning av invändiga material i personbilar med konkalorimetern. De kom fram till att en lämplig strålningsnivå är mellan 20 och 40 kW/m². Detta är utifrån mätningar av den strålningsnivå som uppkommer mot passagerarutrymmet vid en brand i motorrummet i en personbil. De menar att det är möjligt att strålningsnivån blir högre än 40 kW/m² efter övertändning.

Battipaglia et al. (2003) menar att en strålningsnivå mellan 25 och 50 kW/m² är rimlig att använda vid brandprovning. Detta är baserat på uppmätt strålningsnivå mot väggen som avdelar motorrummet och passagerarutrymmet vid en motorbrand i en personbil. Detta sammanfaller väl med den nivå som Miller, Janssens och Huczek (2004) föreslår. Hirschler et al. (2002) genomförde fullskaleförsök med tre personbilar. I två av försöken startade branden i motorrummet och i ett försök på golvet vid det främre passagerarsätet. I samtliga tre försök översteg den infallande strålningen mot innertaket i passagerarutrymmet 50 kW/m².

Tidigare utvärderingar av invändiga material som genomförts har använt följande strålningsnivåer:

- Battipaglia et al. (2003) använde 20, 35 och 50 kW/m² vid brandtest av material från personbilar.
- Miller, Janssens och Huczek (2004) använde 20, 35 och 50 kW/m² vid brandtest av material från personbilar.
- Johansson och Axelsson (2006) använde 50 kW/m² vid brandtest av material från bussar
- Grayson och Hirschler (2002) använde 25 och 40 kW/m² vid brandtest av inredningar från personbilar.
- Spearpoint et al. (2005) använde 20, 30 och 40 kW/m² vid brandtest av material från säten från personbilar.

- Hirschler et al. (2002) använde 20, 25 och 40 kW/m² vid brandtest av inredningar från personbilar.

Det kan konstateras att intervallet 20 - 50 kW/m² är en accepterad strålningsnivå att använda vid brandprovning av material i personbilar och bussar. Utifrån fullskaleförsök har det visats att detta intervall är rimligt både då branden startar i motorrummet och då den startar inne i passagerarutrymmet i civila fordon. Detta intervall har tagits fram för ett specifikt scenario, brand i motorrummet. Huruvida detta intervall är helt överförbart till militära fordon beror på flera parametrar, exempelvis mängden brännbart material i motorrummet i militära fordon jämfört med civila fordon och militära fordons uppbyggnad gentemot civila fordon. Det antas att en motorrummsbrand är i samma storleksordning för civila fordon som för militära fordon. För de typer av militära fordon som har en uppbyggnad som liknar personbilar (exempelvis Galten, se figur 5.1 i avsnitt 5.4) kan strålning mot passagerarutrymmet ske på samma sätt som för civila fordon, det vill säga genom framrutan. Därmed kan det antas att detta intervall är ungefärligt överförbart till dessa typer av militära fordon. I ett fullskaleförsök där branden startade i passagerarutrymmet av en personbil nåddes en strålning på mer än 50 kW/m². Då det bedöms att mängden fast monterat brännbart material i militära fordon är mindre än i personbilar, kommer strålningsnivån troligen att vara lite lägre. Antagandet 25 – 50 kW/m² bör därför vara överförbart till militära fordon.

Brandtesterna av material från militära fordon genomförs i första hand med den högre strålningsnivån 50 kW/m², detta motsvarar en kraftig brand i en personbil, efter att övertändning inträffat. Om det finns tillräckligt material genomförs även försök vid 25 kW/m².

5.2.1 Slutsatser

- Primärt genomförs tester vid 50 kW/m².
- Om tillräckligt med material finns genomförs även test vid 25 kW/m².

5.3 Kriterier för godkännande av material

På grund av att det inte är en standard att testa invändiga material från militära fordon, personbilar eller bussar i konkalorimeter så har heller inga kriterier för vad som är godkänt tagits fram. Detta avsnitt syftar till att ge en genomgång av vilka kriterier som finns för material som testas i konkalorimeter inom andra områden.

5.3.1 Tåg

Tågindustrin har antagit en ny standard för brandtestning av invändiga material i tåg, CEN/TS 45545-2. En av metoderna som används är konkalorimeter. För att avgöra om material är godkända används MARHE. Tågindustrin har fastställt krav på maximala värden på MARHE. Dessa krav varierar beroende på vilken "hazard level" som det aktuella tåget klassificeras till. Denna klassificering baseras på vilken typ av tåg det är (exempelvis vanligt, dubbeldäckt, sovvagnar) och i vilken typ av trafik tåget ska gå (exempelvis tunnelbanetåg, vanliga tåg). De högsta kraven som sätts är MARHE 90 kW/m² (vid 50 kW/m² infallande strålning från konkalorimeter) och 50 kW/m² (vid 25 kW/m² infallande strålning från konkalorimeter). (CEN/TS 45545-2:2009)

MARHE beräknas med ekvation 5.1. MARHE är det maximala värdet på ARHE.

$$ARHE(t_n) = \frac{\sum_{i=1}^n (t_n - t_{n-1}) \times \frac{\dot{q}_n + \dot{q}_{n-1}}{2}}{t_n - t_1} \text{ [kW/m}^2\text{]} \text{ ekvation 5.1 (CEN/TS 45545-2:2009)}$$

Som ett underlag till CEN/TS 45545-2 genomfördes ett stort europeiskt forskningsprojekt vid namn *FIRESTARR*. I detta projekt föreslogs ett antal kriterier, som dock inte var kvar i den slutgiltiga standarden. Dessa är (Briggs et al., 2001):

- $THR < 75 \text{ MJ/m}^2$ för golvmaterial
- $HRR < 75 \text{ kW/m}^2$ för gardiner

5.3.2 Sjöfart

Janssens, Garabedian och Gray (1998) föreslog ett antal kriterier för godkännande av material i höghastighetsfartyg då provning sker med konkalorimeter. Dessa kriterier bestämdes utifrån brandtester av kompositmaterial från båtar och är framtagna vid en strålning på 50 kW/m^2 . (Janssens, Garabedian, & Gray, 1998)

Kriterierna är följande:

- $t_{ig} > 20$ sekunder
- $HRR_{60, avg} < 60 \text{ kW/m}^2$
- $THR < 12 \text{ MJ/m}^2$
- $SPR_{60, avg} < 0,01 \text{ m}^2/\text{s}$
- $SPR_{avg} < 0,005 \text{ m}^2/\text{s}$

Där $HRR_{60, avg}$ och $SPR_{60, avg}$ medelvärden uppmätta över 60 sekunder.

USA:s Department of Defense har specificerat kriterier för godkännande av kompositmaterial i u-båtar. Dessa kriterier är för 50 kW/m^2 avgiven strålning i konkalorimeter (MIL-STD-2031, 1991):

- $t_{ig} > 150$ sekunder
- $HRR_{max} < 65 \text{ kW/m}^2$
- $HRR_{300, avg} < 50 \text{ kW/m}^2$

Vid 25 kW/m^2 avgiven strålning är kriterierna:

- $t_{ig} > 300$ sekunder
- $HRR_{max} < 50 \text{ kW/m}^2$
- $HRR_{300, avg} < 50 \text{ kW/m}^2$

Där $HRR_{300, avg}$ är medelvärdet uppmätt över 300 sekunder.

5.3.3 Fordonsindustrin

Det har föreslagits att FPI kan användas som kriterium för material i personbilar (Quintiere, Tewarson, & Purser, 2005). FPI är ett sätt att mäta brandspridningen. Ett lägre värde på FPI medför att förmågan för materialet att stå emot brandspridning är högre. Enligt Quintiere, Tewarson och Purser (2005) är $FPI < 10 \text{ (m/s}^{1/2})/(\text{kW/m})^{2/3}$ ett lämpligt kriterium för plaster i personbilar. Detta är utifrån att de observerade att vid värden mindre än tio är brandspridningen i material från personbilar mycket begränsad.

Miller, Janssens och Huczek (2004) fann däremot att denna begränsning i brandspridningen sker vid FPI runt $20 \text{ (m/s}^{1/2})/(\text{kW/m})^{2/3}$, skillnaden mot Quintiere, Tewarson och Pursers studie menar de kan bero på att de använde en lägre strålningsnivå i konkalorimetern, Miller, Janssens och Huczek använde 50 kW/m^2 . Det är dock oklart om Quintiere, Tewarson och Purser faktiskt använde en lägre

strålningsnivå. Vidare fann de att för material som smälter korrelerar FPI dåligt mot större skala (tester i ICAL) (Miller, Janssens, & Huczek, 2004).

FPI beräknas med ekvation 5.2 (där Q'' är uppmätt effektutveckling vid test i konkalorimeter vid 50 kW/m²):

$$FPI = 1000 \frac{(0,042\dot{Q}'')^{1/3}}{TRP} [(m/s^{1/2})/(kW/m)^{2/3}] \text{ ekvation 5.2 (Tewarson, 1997)}$$

där TRP beräknas enligt ekvation 5.3 utifrån data från test i konkalorimeter:

$$TRP = \frac{\dot{q}_e'' \sqrt{4/\pi}}{\sqrt{t_{ig}}} [kW/s^{1/2}m^2] \text{ ekvation 5.3 (Tewarson, 1994)}$$

\dot{q}_e'' är den infallande strålningen från värmeelementet i konen och t_{ig} är tiden till antändning.

Värdet på FPI beror på tiden till antändning. Om tiden till antändning är mycket kort, endast några sekunder, finns risk att värdet på FPI varierar mycket. Detta beror på att osäkerheten i mätningen blir stor vid korta antändningstider eftersom tiden mäts manuellt.

5.3.4 Slutsatser

- Brandprovning skall främst ske vid 50 kW/m² för att utvärdering ska kunna genomföras enligt kriterier från andra områden. I viss mån är det även möjligt att utvärdera vid 25 kW/m².
- Utvärdering genomförs med samtliga parametrar som beskrivs i detta avsnitt.

5.4 Beskrivning av material

Invändiga material har erhållits från två olika fordon, RG 32 Galten (Försvarens benämning är personterrängbil 6, se figur 5.1) och AMV (Försvarens benämning är Patgb 306, se figur 5.2).



Figur 5.1. Foto av RG 32 Galten. Källa: FMV 2. Reproducerad med tillstånd från FMV.



Figur 5.2. Foto av AMV. Källa: FMV 1. Reproducerad med tillstånd från FMV.

Totalt genomfördes 32 försök med elva olika material. Materialen beskrivs nedan i tabell 5.1. Bilder av materialen före och efter brandprovning redovisas i bilaga A. Materialen sågas till så att dimensionen blir 10 x 10 cm. Då samtliga material används i passagerarutrymmen i militära fordon ska de ha blivit godkända enligt ISO 3795.

Tabell 5.1. Beskrivning av de material som testas. Exakt vilka typer av plaster materialen består av är okänt.

Material nr	Beskrivning	Typ av material
1	4 mm tjockt. Helt platt. Okänd placering	Plast
2	6 mm tjockt. Helt platt. Material med 4 olika lager, varje lager är olika material. Okänd placering	Oklart, någon form av plast
3	3 mm tjockt. Helt platt. Från kabelränna	Plast
4	15 mm tjockt. Helt platt. Isolering i dörrar	Skum
5	Golvmatte. 2 skikt, ett bottenskikt och ett ytskikt med trådar. Tjocklek bottenskikt 4 mm. Total tjocklek ca 12 mm	Gummi
6	19 mm tjockt. Helt platt. Isolering i golv	Skum
7	Del av säte. Helt platt. Sättestoppning klätt med 2 lager textil. Tjocklek 24 mm	Sättestoppning av skum. Textilklädsel.
8	Textil från framstol. Helt platt.	Textil
9	Textil från dörrsida. Helt platt.	Textil
10	11 mm tjockt. Helt platt. Takisolering	Skumplast
11	3 mm tjockt. Del av instrumentpanel. Två mindre bitar skarvades ihop för att få 10x10 cm provkroppar	Plast

5.5 Genomförande av brandtester

Material förbereds och monteras enligt standarden ISO 5660. Provbitarna har dimensionen 10 x 10 cm och baksidan samt sidorna slås in i aluminiumfolie. Provbitarna monteras i hållaren ovanpå ett obrännbart material, inslaget i aluminiumfolie, så att avståndet från värmeelementet och brännaren blir rätt. De material som är textilier häftas fast på det underliggande materialet, för att minska risken att materialen drar ihop sig vid försök. Figur 5.3 visar en provkropp monterad i hållaren. Fullständiga brandprover genomförs inte, endast tre test per material, där de två första sker vid 50 kW/m² och det tredje vid 25 kW/m². Om något test ger orimliga värden genomförs ett ytterligare test på samma strålningsnivå, om tillräcklig mängd material finns.



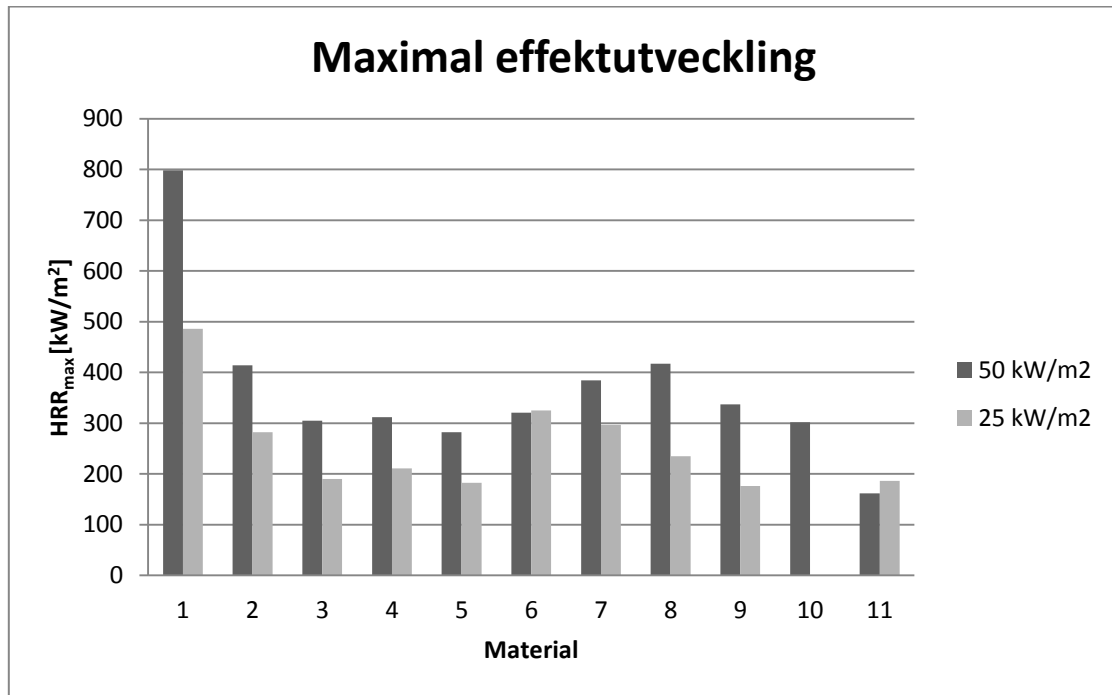
Figur 5.3. Material 4 monterad i hållaren. Foto: Författaren.

Vid testerna mäts inte rökproduktion. De enda gashalter som mäts är för O_2 , CO_2 och CO . Detta beror på att den konkalorimeter som används inte har utrustning monterad för att mäta rökproduktion eller halter av andra gaser.

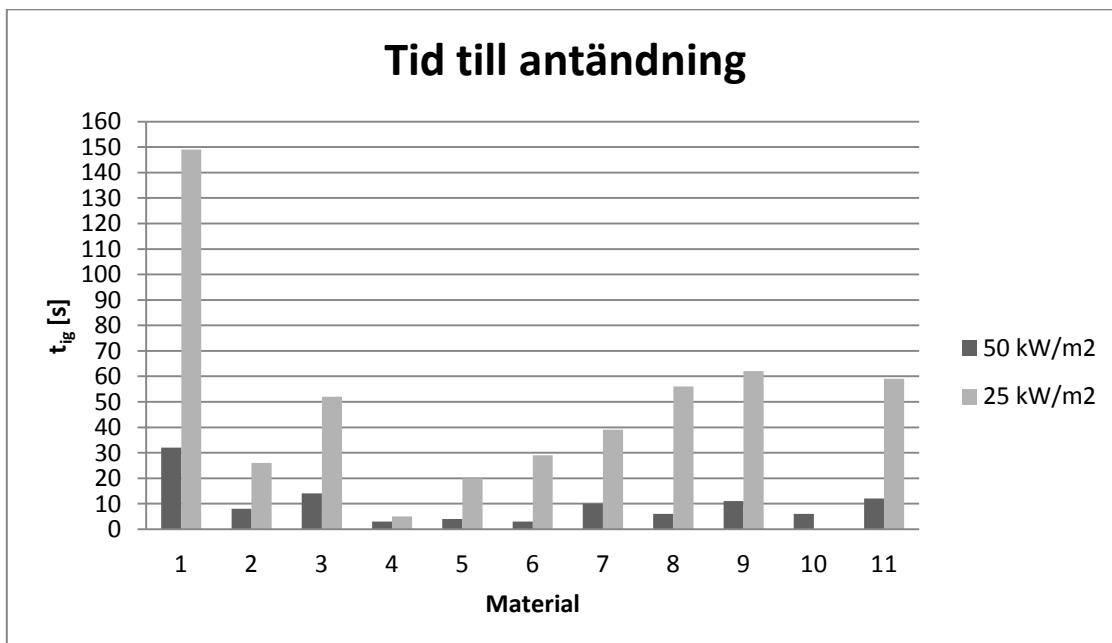
6 Resultat

Fullständig utdata från varje försök finns i bilaga B.

Figur 6.1 visar att materialen har en hög maximal effektutveckling. Då test sker vid 50 kW/m² ger majoriteten av materialen en effektutveckling mellan 300 – 400 kW/m². Test vid 25 kW/m² ger en lägre effektutveckling, majoriteten ger 200 – 300 kW/m².



Figur 6.1. Varje materials maximala effektutveckling vid 25 och 50 kW/m².



Figur 6.2. Varje materials tid till antändning vid 25 och 50 kW/m².

Figur 6.2 visar att tiden till antändning är mycket kort. Vid 50 kW/m² antänder majoriteten av materialen inom tio sekunder. Vid 25 kW/m² är tiden till antändning längre, majoriteten av materialen antänder inom 60 sekunder. Som framgår ur figur 6.2 är spridningen av antändningstider större vid 25 kW/m², material 4 antänder exempelvis redan vid fem sekunder.

6.1 Utvärdering mot kriterier från andra områden

Samtliga material som testats ska vara godkända enligt ISO 3795 eftersom att de används i passagerarutrymmen i militära fordon. Av tabell 6.1 framgår det att inga material klarar av att bli godkända enligt kriterierna från något annat område då test sker vid 50 kW/m².

För tågindustrin är MARHE det som har blivit fastställt som krav, THR och HRR var förslag till standarden men antogs inte. Det framgår ur tabell 6.1 att majoriteten av materialen har ett MARHE som är minst två gånger högre än värdet för godkännande. Åtta av tio material blir godkända med avseende på THR för tåg. Majoriteten har en effektutveckling som är minst fyra gånger högre än kriteriet.

För höghastighetsfartyg blir ett av elva material godkänt med avseende på tid till antändning. Kravet som ställs är 20 sekunder, vilket inte kan anses vara en lång tid i detta sammanhang. Avseende HRR_{60,avg} får samtliga material ett värde som är minst det dubbla vad som är godkänt. Två av materialen blir godkända avseende THR.

För kriterierna för u-båtar blir två av elva material godkända för HRR_{300,avg}. Detta beror på att dessa två material (nr 8 och 9) båda var textilier med mycket snabba brandförlopp. HRR_{300,avg} är medelvärdet på effektutvecklingen under 300 sekunder. Både material 8 och 9 når maximal effektutveckling efter 30 – 40 sekunder, och branden är över inom två minuter. Detta mått blir alltså ett medelvärde över hela brandförloppet. Det blir missvisande för ett material som når en hög effektutveckling snabbt för att sedan, under större delen av brandförloppet, vara i avsvafningsfas. Inga material blir godkända avseende tid till antändning. Kriteriet för maximal effektutveckling är samma som för tåg, därmed är resultatet även detsamma.

Tre av materialen blir godkända vid utvärdering enligt FPI, då värdet ska vara mindre än 20 (m/s^½)/(kW/m)^{2/3}. Inga material blir godkända då värdet ska vara mindre än 10 (m/s^½)/(kW/m)^{2/3}.

Tabell 6.1. Sammanställning av hur materialen uppfyller de olika kriterierna för 50 kW/m². Grön färg innebär att materialet uppfyller kriteriet, röd att materialet inte gör det. Notera att kriterierna för THR och HRR för tåg endast är förslag på kriterier. Dessa antogs inte i den slutgiltiga standarden.

	Material nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tåg	MARHE (<90 kW/m ²)	513,3	271,9	218,2	201,7	211,8	216,6	248,4	190,5	146,1	165,7	119,1
	THR (<75 MJ/m ²)	115	119,2	32,3	24,4	97,7	15,7	66	9,2	10,6	27,1	27,1
	HRR (< 75 kW/m ²)	797,9	414	305,1	312	282,2	320,4	384,3	417,2	337,1	301,7	162
Höghastighetsfartyg	t _{ig} (> 20 s)	32	8	14	3	4	3	10	6	11	6	12
	HRR _{60,avg} (< 60 kW/m ²)	764,4	335,3	283,3	222,8	237,2	177,6	310,5	129,2	141,1	151,8	145,7
	THR (< 12 MJ/m ²)	115	119,2	32,3	24,4	97,7	15,7	66	9,2	10,6	27,1	27,1
U-båtar	t _{ig} (> 150 s)	32	8	14	3	4	3	10	6	11	6	12
	HRR _{300,avg} (< 50 kW/m ²)	365,7	251,6	104,8	92,1	207	51,4	200,3	41,4	47,9	65,3	84,4
	HRR _{max} (< 75 kW/m ²)	797,9	414	305,1	312	282,2	320,4	384,3	417,2	337,1	301,7	162
Fordon	FPI (< 10)	69,1	26,9	33,4	14,2	15,7	13,6	29,4	22,7	29,9	21,8	25,1
	FPI (< 20)	69,1	26,9	33,4	14,2	15,7	13,6	29,4	22,7	29,9	21,8	25,1

Tabell 6.2 redovisar hur materialen uppfyller de olika kriterierna då test sker vid 25 kW/m². Det framgår att ett material (nummer 11) blir godkänt för användande på tåg. Detta material blev inte godkänt enligt kriteriet för MARHE vid test vid 50 kW/m². Material 8 och 9 är mycket nära att bli godkända. Resterande material får alla ett MARHE som är minst två gånger det godkända värdet. Inga material blir godkända enligt tid till antändning. Två material (nr 8 och 9) blir godkända enligt HRR_{300,avg}. Det är samma material som blev godkända vid test vid 50 kW/m², se diskussion ovan. Majoriteten av materialen har en maximal effektutveckling som är minst fyra gånger högre än vad som är godkänt.

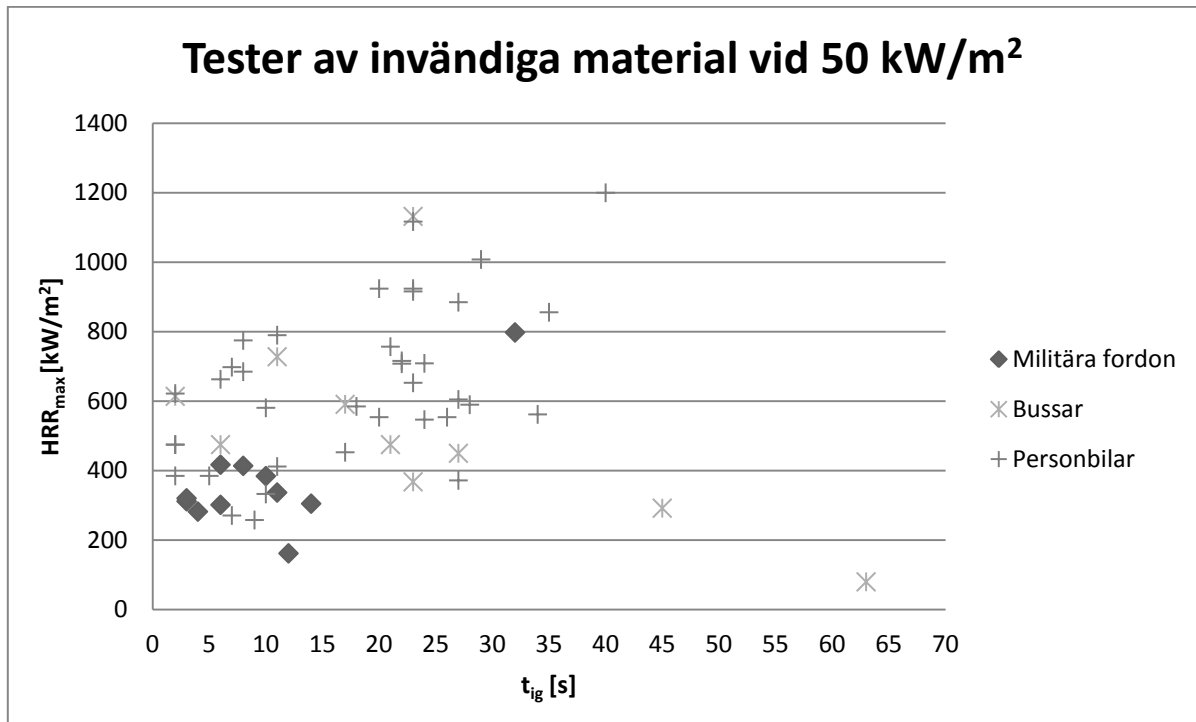
Tabell 6.2. Sammanställning av hur materialen uppfyller de olika kriterierna för 25 kW/m².

	Material nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tåg	MARHE (<50 kW/m ²)	236,1	185,3	102	113,8	140,4	127,3	146,1	58,2	54	*	47,3
U-båtar	t _{ig} (> 300 s)	149	26	52	5	20	29	39	56	62	*	59
	HRR _{300,avg} (< 50 kW/m ²)	322,3	209,7	86,1	71,5	151,2	82,9	128	34	43,3	*	62,5
	HRR _{max} (< 50 kW/m ²)	485,7	282,4	190	211,1	182,8	325	296,6	234,8	176,3	*	186,3

*Tillräckligt med material fanns inte för att kunna genomföra detta test.

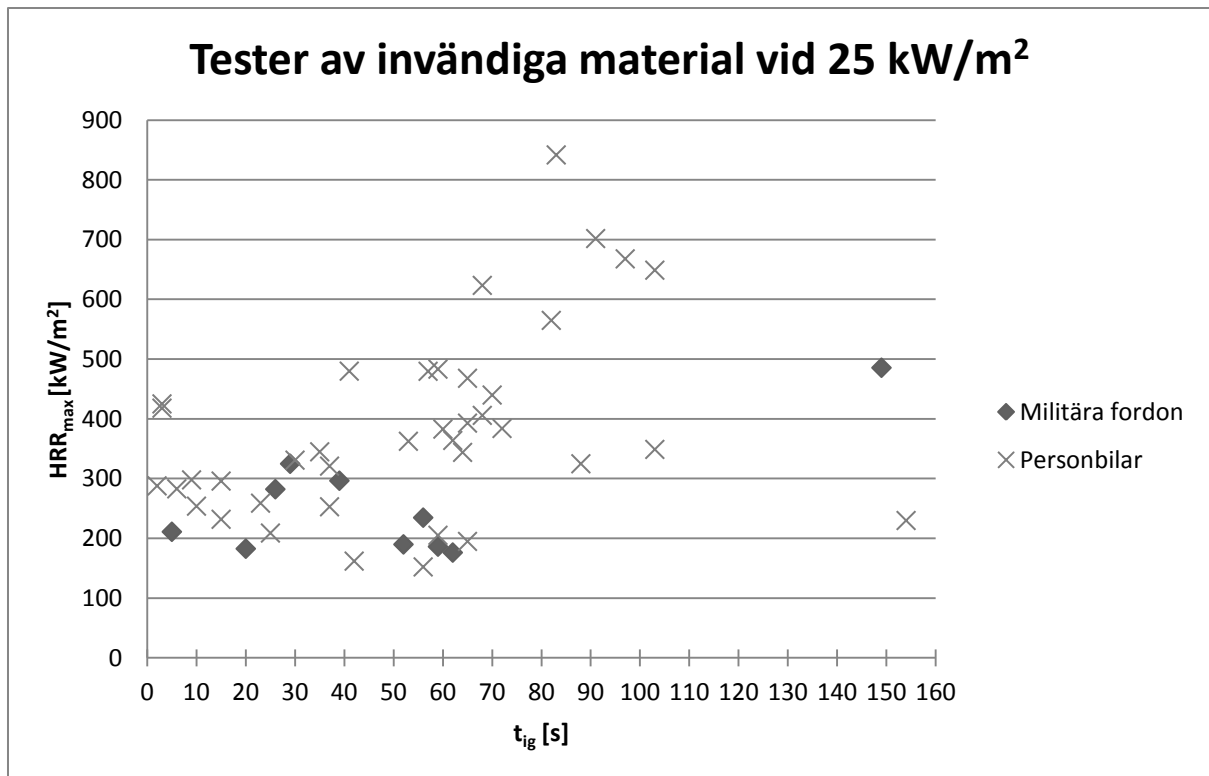
6.2 Jämförelse med resultat från studier med andra fordon

Ur figur 6.3 framgår det att invändiga material från bussar och personbilar som testats vid 50 kW/m^2 har både högre tid till antändning och maximal effektutveckling.



Figur 6.3. Jämförelse av material från militära fordon, bussar och personbilar som testats i konkalorimeter vid 50 kW/m^2 . Data för material från bussar har hämtats från Johansson och Axelsson (2006) och data för material från personbilar från Miller, Janssens och Huczek (2004). Underlaget till figuren redovisas i bilaga C.

Ur figur 6.4 framgår det att invändiga material från personbilar har ungefär samma tid till antändning, men högre maximal effektutveckling än material från militära fordon. Detta vid tester vid 25 kW/m^2 . Viktigt att notera är att resultaten kommer från olika studier, och att materialen från personbilar som testats vid 50 kW/m^2 respektive 25 kW/m^2 inte är samma.



Figur 6.4. Jämförelse av material från militära fordon och personbilar som testats i konkalorimeter vid 25 kW/m². Data för material från personbilar har hämtats från Grayson och Hirschler (2002). Underlaget till figuren redovisas i bilaga C.

7 Diskussion

Det är av vikt att strålningsnivån som används väljs noga, då det visats i kapitel 6 att den har stor påverkan på resultaten. Av denna anledning bör material utvärderas vid åtminstone två olika strålningsnivåer. Kriterier för godkännande ska tas fram vid samtliga strålningsnivåer. För att ett material ska bli godkänt ska det uppfylla samtliga kriterier vid alla strålningsnivåer.

Det har i litteraturstudien visats att en lämplig strålningsnivå att använda i konkalorimeter för personbilar och bussar är i intervallet 20 – 50 kW/m², där 50 kW/m² motsvarar en mycket kraftig brand, efter att övertändning skett. Det har utifrån fullskaleförsök visats att detta intervall är rimligt både när branden startat i passagerarutrymmet och i motorrummet. Detta intervall bedöms vara rimligt även för militära fordon. Brandtesterna genomfördes vid 25 kW/m² och 50 kW/m², vilket täcker in hela intervallet. För att validera vilka strålningsnivåer som uppkommer i en brand i ett militärfordon, och för att validera konkalorimeterns lämplighet som metod, är det nödvändigt att genomföra fullskaleförsök. Fullskaleförsök behövs även för att utvärdera toxicitet och rökproduktion.

Det har visats att invändiga material i militära fordon har låg brandsäkerhet. Både tid till antändning är kort och maximal effektutveckling är hög. Detta är säkerställt då tester genomförts både vid en högre och vid en lägre strålningsnivå.

Vid val av strålningsnivå har ingen hänsyn tagits till om ammunition som förvaras i fordonet deltar i branden, något som inte är otänkbart vid ett brandscenario i ett militärfordon. Detta skulle troligen medföra en ännu högre strålningsnivå. Då det visats att brandsäkerheten är låg redan vid lägre strålningsnivåer är det rimligt att anta att detsamma gäller för ännu högre. Det bör utredas om kriterier för godkännande av material behövs för strålningsnivåer över 50 kW/m².

Lämpliga parametrar att använda för godkännande av material är effektutveckling och tid till antändning. Detta på grund av att dessa två parametrar har stor påverkan i början av branden. Effektutvecklingen har tidigare blivit identifierad som den viktigaste parametern att mäta.

Vid testerna observerades att flertalet material producerade mycket kraftig och sotande rök. Det är nödvändigt att genomföra ytterligare studier där toxiciteten och rökproduktionen utvärderas. Ett kriterium för godkännande bör sättas för rökproduktion.

THR kan vara lämpligt att ha som kriterium då det blir mer eller mindre samma oavsett om materialet är monterat vertikalt eller horisontellt. Detta under förutsättning att materialet förbränns fullständigt. (Grayson & Hirschler, 2002)

FPI är inte lämpligt att ha som kriterium då den korrelerar dåligt mot större skala för material som smälter. Detta är dåligt eftersom att majoriteten av materialen som testats smälter vid värmepåverkan. Dessutom beror FPI på tiden till antändning. Om denna tid är mycket kort, endast några sekunder, kommer osäkerheten i FPI vara stor. Det har visats att många av materialen har mycket korta tider till antändning. Det är även oklart om kriteriet för godkänt ska vara lägre än 10 eller $20 (m/s^{1/2})/(kW/m)^{2/3}$.

Att ha kriterier för medelvärdet av effektutvecklingen bör användas försiktigt. Det tidsintervall som medelvärdet tas över ska bestämmas noggrant och inte vara för långt. Exempelvis $HRR_{300,avg}$ tar medelvärdet över 300 sekunder. Detta är en mycket lång tid i dessa sammanhang då många av materialen hinner förbrännas helt inom 300 sekunder. Det medför att medelvärdet tas över hela

brandförloppet och inte bara över en del av förloppet. Ingen hänsyn kommer då att tas till effektutvecklingens topp.

MARHE är en relativt komplicerad parameter att ta fram och bygger på effektutvecklingen. Dess egentliga fördel som parameter gentemot effektutvecklingen är oklar. Effektutvecklingen är en tydligare parameter som mäts mycket enkelt vid brandtest med konkolorimeter.

Utrymningssituationen för personer som befinner sig i ett militärt fordon som börjar brinna ser annorlunda ut gentemot utrymningssituationen för civila fordon. Dels kan det vara omständigare att ta sig ut ur ett militärt fordon, vilket gör att utrymningen kan ta längre tid, dels kan omständigheter utanför fordonet medföra att utrymning ej kan ske omedelbart (exempelvis om fordonet blir beskjutet). Av dessa anledningar kan det vara nödvändigt att ställa högre krav på invändiga material i militära fordon än i civila fordon. Utvärderingen mot kriterierna för godkännande för u-båtar, som är ganska hårda, är således inte orimliga.

Det har i detta arbete inte varit möjligt att ta fram exakta värden för olika parametrar för vad som ska vara godkänt för ett material i militära fordon. De kriterier som har hittats från andra områden sammanfaller relativt väl, framförallt de som rör effektutveckling. Kriterier för effektutvecklingen är satta runt $50 - 75 \text{ kW/m}^2$ för test vid 50 kW/m^2 . Dessa värden är framtagna för så skilda verksamheter som u-båtar, höghastighetsfartyg och tåg, och är lämpliga att använda som grund för fortsatt forskning.

Konkolorimetern är den testmetod som är bäst lämpad att använda vid brandtest av invändiga material i fordon. I litteraturstudien blev det uppenbart att denna metod är den som har använts vid i stort sett samtliga utvärderingar av invändiga material i olika typer av fordon. I flera tidigare studier har den blivit föreslagen som lämplig metod.

Några av materialen expanderade vid värmepåverkan vilket medförde att de kom närmare värmeelementet. Detta innebär att den infallande strålningen mot materialet blir högre än vad som avses. Denna expansion skedde i regel efter att antändning skett.

De textilier som testades häftades fast för att undvika att de skulle dra ihop sig vid värmepåverkan. Detta lyckades endast i viss grad, textilierna drog ihop sig lite ändå.

Flertalet av materialen smälte vid testerna och alla deformerades i någon grad. Att genomföra testerna vertikalt i konkolorimeter är därför inte lämpligt, då materialen skulle hamna utanför testanordningen och bilda en pölbrand nedanför mycket kort efter antändning. Detta skulle ge stora osäkerheter i resultaten.

Alla typer av plaster smälter inte vid upphettning, en del kan förkolna eller deformerats på andra sätt. Termoplaster är ett exempel på en typ av plast som smälter. Vid testerna har vissa plaster smält, andra har inte gjort det men har på något sätt deformerats. De plaster som smälter är direkt olämpliga att testa vertikalt, eftersom att de kommer att droppa ner på golvet nedanför testutrustningen. Tveksamheter finns även gällande lämpligheten att testa plaster som inte smälter vertikalt. Det har vid testerna observerats att de deformerats så pass mycket att det är tveksamt att de skulle stanna kvar i hållaren.

Två tester genomfördes per material vid 50 kW/m² och ett vid 25 kW/m². För material 10 genomfördes endast ett test och för material 11 endast två, detta beror på att materialet inte räckte till fler tester. Fullständiga tester i enlighet med standarden ISO 5660 har således inte genomförts, och resultaten ska inte användas som en utvärdering av enskilda material, utan snarare som utvärdering av vilken nivå på brandsäkerheten som ISO 3795 har medfört.

Det observerades för flera material att då huvuddelen av materialen brunnit upp, ansamlades mycket små rester i kanterna av hållaren. Dessa små rester kan fortsätta att brinna i flera minuter. Detta är viktigt att tänka på vid sammanställning av resultaten. Om exempelvis HRR_{300,avg} används, och brandförloppet är kort, kommer denna effekt ha stor inverkan på resultatet.

Det är inte möjligt att till fullo representera en brand i större skala med konkalorimeter. Detta beror bland annat på att det inte går att representera hörn, kanter med mera i konkalorimetern.

Kalibrering av konkalorimetern har skett enligt rutinerna på Brandteknik och Riskhantering på Lunds tekniska högskola. Inför projektet genomfördes en kalibrering av utrustningen för analysering av O₂. Inför varje försöksdag genomfördes kalibrering för halterna av O₂, CO₂ och CO och silica gelen byttes ut. Kontroll skedde även av filtrena så att dessa inte blivit igensatta.

Vid test mäts tiden till antändning manuellt med ett tidtagarur. Detta medför en osäkerhet, som är relativt stor i de fall då tid till antändning är mycket kort (några sekunder).

De material som testats har alla varit helt platta. Material 1 – 10 har kunnat sågas ut i ett stycke och kunnat göras identiska. Detta har gjort repeterbarheten god. För material 11 var det dock inte möjligt att såga ut hela bitar i dimensionen 10 x 10 cm. Därför fick två mindre bitar skarvas ihop för att få rätt dimension. Dessutom fanns det några små uppborrade hål i båda provbitarna. Antalet och storleken på dessa hål skiljde sig mellan provbitarna. Detta gör att osäkerheten är större i resultaten för material 11, och skulle delvis kunna förklara den stora skillnaden i effektutvecklingskurvorna för olika strålningsnivåer (se figur B.11, bilaga B).

I jämförelsen med resultat från andra studier med material från andra typer av fordon, är det en osäkerhet om materialen som testades hade samma form som i denna studie. Det vill säga om materialen var helt platta och kunde sågas ut i ett stycke. Om materialen inte var helt platta kan delar av materialen komma närmare värmeelementet. Då utsätts de delarna för en högre strålningsnivå än avsett och antändning kommer att ske snabbare. Om materialet satts ihop av flera mindre bitar kan det uppstå effekter som inte uppstår annars, exempelvis att materialet viker sig eller drar ihop sig i skarvarna.

8 Slutsatser

ISO 3795 har lett till att invändiga material i militära fordon har låg brandsäkerhet. Invändiga material har kort antändningstid och ger en hög effektutveckling.

ISO 5660 konkalorimetern är en bättre metod för brandprovning av invändiga material.

- Metoden korrelerar bättre mot större skala.
- Belastningen från branden är större och går att variera.
- Metoden är småskalig, vilket innebär enklare och billigare tester då endast små mängder av materialen behövs.
- Fler parametrar mäts.
- Det är möjligt att genomföra tester vertikalt.

Endast ett material uppnår godkänt enligt ett kriterium från annat område. Kriteriet som uppnåddes är det för tåg vid strålningsnivån 25 kW/m^2 , materialet blev dock inte godkänt vid 50 kW/m^2 . I övrigt blev inga material godkända. Material från militära fordon har lika, eller kortare antändningstid, och lägre effektutveckling än invändiga material från personbilar och bussar.

Kriterier för godkännande av material bör bestämmas för flera olika strålningsnivåer. Lämpliga parametrar som kriterier bör sättas för är t_{ig} , HRR_{max} och rökproduktion.

9 Förslag till fortsatt forskning

Det har inte varit möjligt i detta arbete att ta fram några antändningsscenarier. Detta är intressant då det kan leda till större förståelse hur brand kan förebyggas, vilka strålningsnivåer som kan uppnås i ett militärfordon, och vilken påverkan det skulle bli på strålningsnivåerna om ammunition deltar i en brand.

Det är viktigt att det tas fram kriterier för godkännande av invändiga material vid tester med konkalorimeter. Detta har inte varit möjligt att göra i detta arbete. I avsnitt 8 ges förslag på vilka parametrar som är lämpliga.

En jämförelse av hur resultaten skiljer sig beroende om test sker horisontellt eller vertikalt är nödvändigt, eftersom att många material är monterade vertikalt i fordonen.

Utvärdering av toxicitet och rökproduktion har inte kunnat göras i detta arbete. Vid testerna har det observerats att rökproduktionen är kraftig, därför är det nödvändigt att utvärdera dessa parametrar.

Det är nödvändigt att validera valda strålningsnivåer och även konkalorimeterns lämplighet som metod med hjälp av fullskaleförsök. Vid fullskaleförsök skulle en utvärdering av vad som blir kritiskt först vara av intresse, det vill säga om förhållandena blir kritiska för människor först av toxicitet eller av brandpåverkan.

10 Litteraturförteckning

Abu-Isa, I. A., & Jodeh, S. (2001). *Thermal properties of automotive polymers V. flammability test for fire retardant polymers*. Washington DC: National Highway Traffic Safety Administration.

Axelsson, J., Johansson, P., & Hertzberg, T. (2007). *The influence of floor materials in room fires*. Borås: SP - Technical Research Institute of Sweden.

Babrauskas, V., & Peacock, R. D. (1992). Heat Release Rate: The Single Most Important Variable in Fire Hazard. *Fire Safety Journal*, 18, 255-272.

Backman, J. (2008). *Rapporter och uppsatser*. Lund: Studentlitteratur AB.

Battipaglia, K. C., Griffith, L. A., Huczek, J. P., Janssens, M. L., Miller, M. A., & Willson, K. R. (2003). *Comparison of fire properties of automotive materials and evaluation of performance levels*. San Antonio, Texas, USA: Southwest Research Institute.

Beyler, C. (2000). Modeling fire growth in room/corner configurations. (NISTIR 6588) *Fifteenth meeting of the UJNR panel on fire research and safety* (ss. 463-470). San Antonio: NIST.

Briggs, P., Métral, S., Gil, P., Le Tallec, Y., Le Sant, V., Troiano, D., Marrucci, S., Messa, S., Baiocchi, C., Breulet, H. (2001). *FIRESTARR - Final Report*. Frankrike: FIRESTARR Consortium.

CEN/TS 45545-2:2009. *Railway applications - Fire protection on railway vehicles - Part 2: Requirements for fire behaviour of materials and components*. Bryssel: CEN European Committee for Standardization.

Digges, K. H., Gann, R. G., Grayson, S. J., Hirschler, M. M., Lyon, R. E., Purser, D. A., Quintiere, J. G., Stephenson, R. R., Tewarson, A. (2008). Improving survivability in motor vehicle fires. *Fire and Materials*, 32, 249-258.

Directive 95/27/EC. *Directive 95/27/EC of the European parliament and of the Council of 24 October 1995 relating to the burning behaviour of materials used in the interior construction of certain categories of motor vehicle*. Hämtat från <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1995L0028:20070101:en:PDF> den 12 09 2011

EN 13823:2002. *Reaction to fire tests for building products - Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item*. Bryssel: CEN European Committee for Standardization.

EN ISO 9239-1:2002. *Reaction to fire tests for flooring - Part 1: Determination of the burning behaviour using a radiant heat source*. Bryssel: CEN European Committee for Standardization.

FMV 1. *FMV anskaffar nya pansarterrängbilar*. Hämtat från Försvarets Materielverk: http://fmv.se/ImageVault/Images/id_946/conversionFormat_4/scope_4/webSafe_1/ImageVaultHandler.aspx den 10 11 2011

FMV 2. *Modifierad patrullbil till Afghanistan*. Hämtat från Försvarets Materielverk: http://fmv.se/ImageVault/Images/id_1016/conversionFormat_4/scope_4/webSafe_1/ImageVaultHandler.aspx den 10 11 2011

- Försth, M. (2009). *A comparative study of test methods for assessment of fire safety performance of bus interior materials*. Borås: SP - Technical Research Institute of Sweden.
- Grayson, S. J., & Hirschler, M. M. (2002). Fire performance of plastics in car interiors. *Flame Retardants* (ss. 197-207). London: Interscience Communications.
- Hakkarainen, T. (2001). Rate of heat release and ignitability indices in predicting SBI test results. *Journal of Fire Sciences* , 19, 284-305.
- Hansen, A. S. (2002). Prediction of heat release in the single burning item. *Fire and Materials* , 26, 87-97.
- Hirschler, M. M., Hoffmann, D. J., Hoffman, J. M., & Kroll, E. C. (2002). Rate of heat release of plastic materials from car interiors. *Business Communications Company Eleventh Ann. Conference on Recent Advances in Flame Retardancy of Polymeric Materials*. Norwalk, CT, USA.
- Höst, M., Regnell, B., & Runeson, P. (2006). *Att genomföra examensarbete*. Lund: Studentlitteratur AB.
- ISO 5658-2:2006. *Reaction to fire tests - Spread of flame - Part 2: Lateral spread on building and transport products in vertical configuration*. Genève: International Organization for Standardization.
- ISO 5660-1:2002. *Reaction to fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate - Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method)*. Genève: International Organization for Standardization.
- ISO 6941:2003. *Textile fabrics - Burning behaviour - Measurement of flame spread properties of vertically oriented specimens*. Genève: International Organization for Standardization.
- ISO 9705-1:1993. *Fire tests - Full-scale room test for surface products*. Genève: International Organization for Standardization.
- Janssens, M. L., Garabedian, A., & Gray, W. (1998). *Establishment of International Standards Organization (ISO) 5660 acceptance criteria for fire restricting materials used on high speed craft*. San Antonio, Texas, USA: Southwest Research Institute.
- Johansson, P., & Axelsson, J. (2006). *Fire Safety in Buses - WP2 report: Fire safety review of interior materials in buses*. Borås: SP - Technical Research Institute of Sweden.
- Lyon, R. E., & Walters, R. N. (2006). Flammability of automotive plastics. *SAE 2006 World Congress & Exhibition*. Detroit, MI, USA: SAE.
- Miller, M. A., Janssens, M. L., & Huczek, J. P. (2004). *Development of a new procedure to assess the flammability of materials used in motor vehicles, SwRI Project 18.03614*. San Antonio, Texas, USA: Southwest Research Institute.
- MIL-STD-2031. (1991). *Fire and toxicity test methods and qualification procedure for composite material systems used in hull, machinery, and structural applications inside naval submarines*. Department of Defense.

Quintiere, J. G., Tewarson, A., & Purser, D. A. (2005). *Theory and testing for the fire behavior of materials for the transportation industry, Project id 0003018009, Volume II*. Norwood, MA, USA: FM Global.

Spearpoint, M., Olenick, S. M., Torero, J. L., & Steinhaus, T. (2005). Ignition performance of new and used motor vehicle upholstery fabrics. *Fire and Materials* , 29, 265-282.

SS ISO 3795:1989, S. I. *Vägfordon - Bestämning av brännbarhet hos invändiga material i bilar, traktorer samt skogs- och jordbruksmaskiner*. Stockholm: SIS.

Sundström, B., Van Hees, P., & Thureson, P. (1998). *Results and analysis from fire tests of building products in ISO 9705, the room/corner test*. Borås: SP - Technical Research Institute of Sweden.

Tewarson, A. (1997). *A study of the flammability of plastics in vehicle components and parts*. Norwood, Massachusetts, USA: Factory Mutual Research.

Tewarson, A. (1994). Flammability parameters of materials: Ignition, combustion and fire propagation. *Journal of Fire Sciences* , 12: 329 - 356.

Tewarson, A. (2005). *Thermophysical and fire properties of automobile plastic parts and engine compartment fluids, Technical Report No. 0003018009 Volume III*. Norwood, MA, USA: FM Global.

Van Hees, P., Hertzberg, T., & Steen Hansen, A. (2002). *Development of a screening method for the SBI and room corner using the cone calorimeter*. Borås: SP - Technical Research Institute of Sweden.

Wickström, U., & Göransson, U. (1992). Full-scale/Bench-scale correlations of wall and ceiling linings. *Fire and Materials* , 16, 15-22.

Bilaga A – Bilder av materialen

I denna bilaga redovisas bilder av materialen före test. I vissa fall redovisas även bilder av materialen efter test. Detta sker endast i de fall då det finns något material kvar.

Material 1



Figur A.1. Bild av material 1 före test. Foto: Författaren.

Material 2



Figur A.2. Bild av material 2 före test. Foto: Författaren.



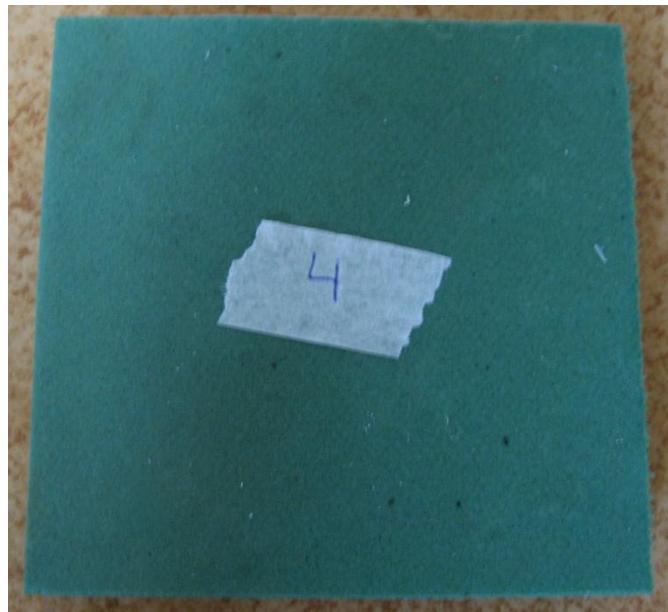
Figur A.3. Bild av material 2 efter test. Foto: Författaren.

Material 3



Figur A.4. Bild av material 3 före test. Foto: Författaren.

Material 4



Figur A.5. Bild av material 4 före test. Foto: Författaren.

Material 5



Figur A.6. Bild av material 5 före test. Foto: Författaren.



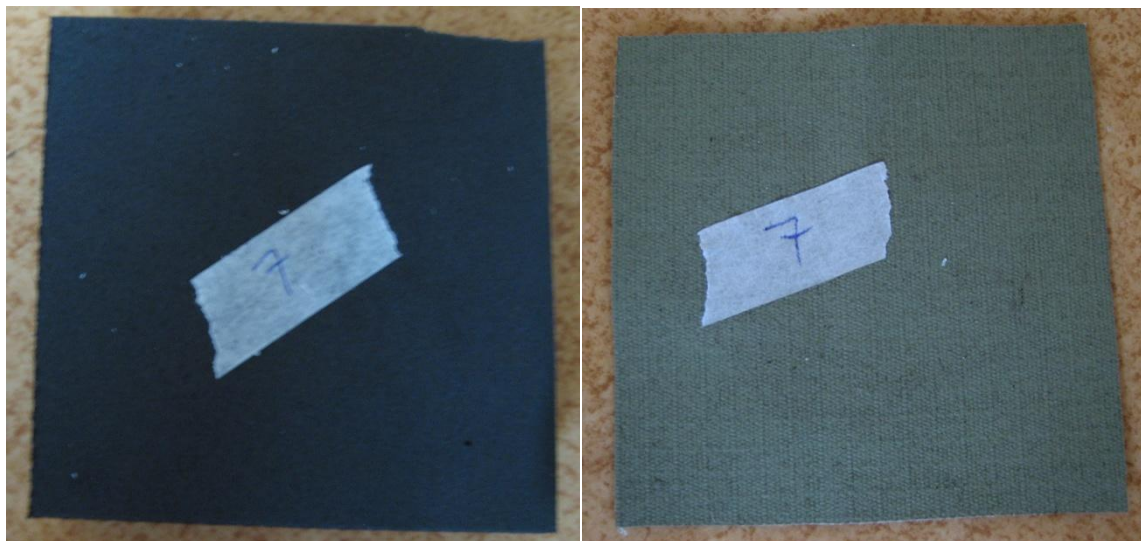
Figur A.7. Bild av material 5 efter test. Foto: Författaren.

Material 6

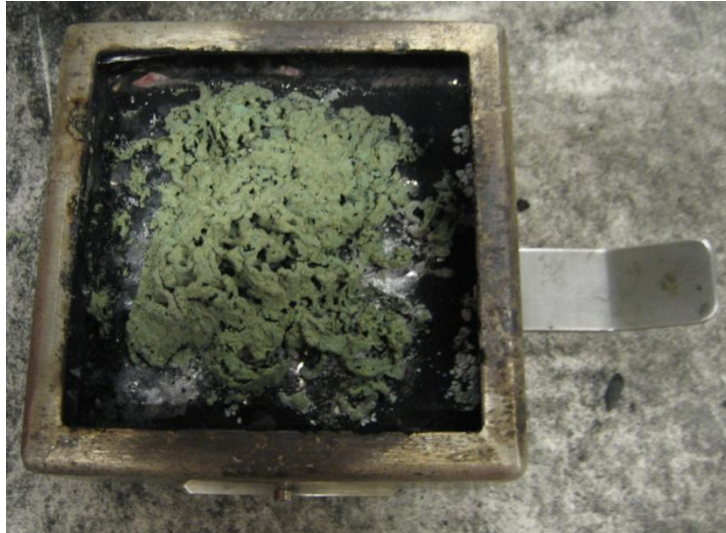


Figur A.8. Bild av material 6 före test. Foto: Författaren.

Material 7



Figur A.9. Bild av material 7 före test. Vänstra bilden är stoppningen och den högra bilden är klädseln.
Foto: Författaren.



Figur A.10. Bild av material 7 efter test. Foto: Författaren.

Material 8



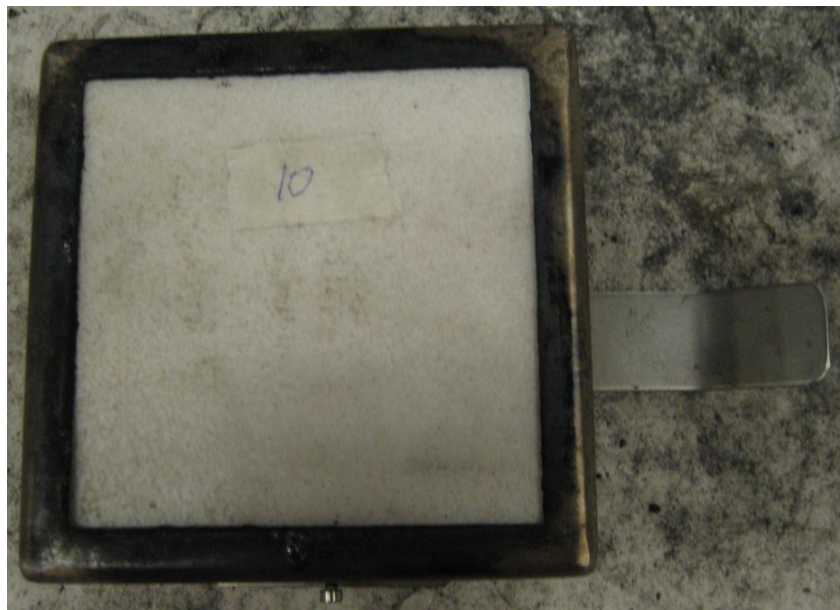
Figur A.11. Bild av material 8 före test. Foto: Författaren.

Material 9



Figur A.12. Bild av material 9 före test. Foto: Författaren.

Material 10



Figur A.13. Bild av material 10 före test. Foto: Författaren.

Material 11



Figur A.14. Bild av material 11 före test. Foto: Författaren.



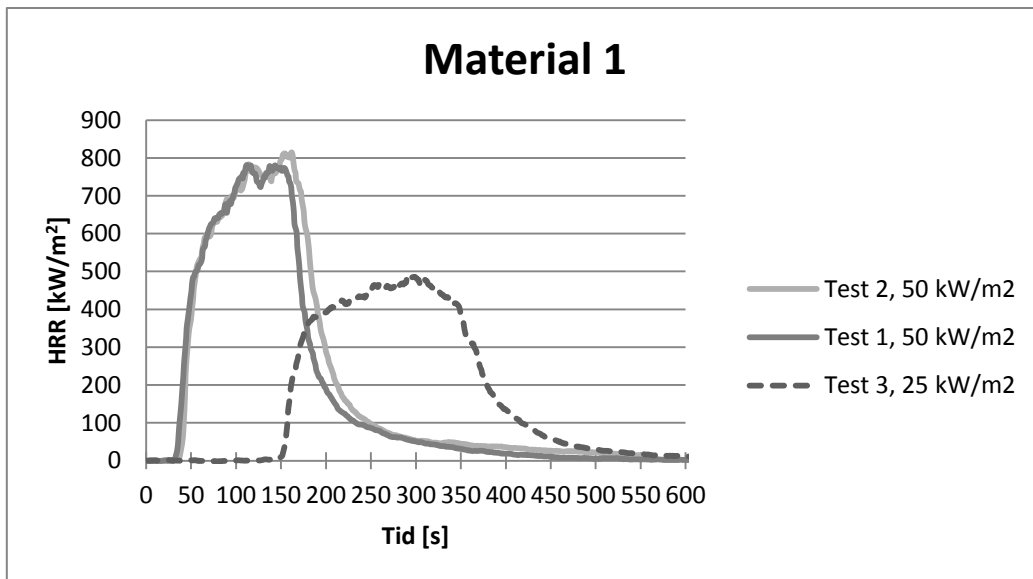
Figur A.15. Bild av material 11 efter test. Foto: Författaren.

Bilaga B – Resultat

I denna bilaga redovisas resultaten från varje försök.

Material 1

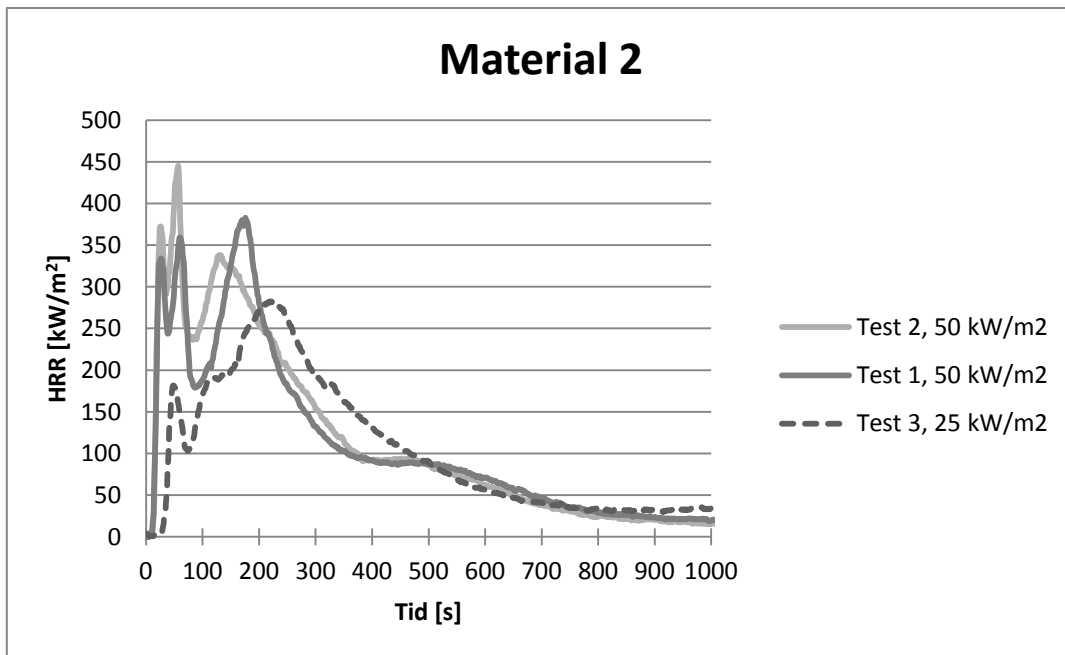
Parameter	Parameterns namn	Test 1 50 kW/m ²	Test 2 50 kW/m ²	Medelvärde test 1 och 2	Test 3 25 kW/m ²
Tid till antändning [min:s]	t_{ig}	0:29	0:34	0:32	2:29
Maximal effektutveckling [kW/m ²]	HRR_{max}	781,6	814,2	797,9	485,7
Medelvärde av HRR uppmätt över 60 s [kW/m ²]	$HRR_{60,avg}$	757,9	770,8	764,4	467,9
Medelvärde av HRR uppmätt över 300 s [kW/m ²]	$HRR_{300,avg}$	351,3	380,0	365,7	322,3
Total Heat Released [MJ/m ²]	THR	109,2	120,7	115,0	101,8
Massa innan test [g]	m_{start}	38,5	39,2	38,9	40,5
Massa efter test [g]	m_{end}	0	0	0	3,9
Massförlust [g]	m_{burn}	38,5	39,2	38,9	36,6
Average Mass Loss Rate [g/m ² s]	MLR_{avg}	6,9	8,1	7,5	4,4
Heat of combustion [MJ/kg]	ΔH_c	28,4	30,2	29,3	27,9
MARHE [kW/m ²]	MARHE	509,4	517,1	513,3	236,1
Fire Propagation Index [-]	FPI	65,8	72,3	69,1	254,7



Figur B.1. Effektutvecklingen plottat mot tiden för material 1.

Material 2

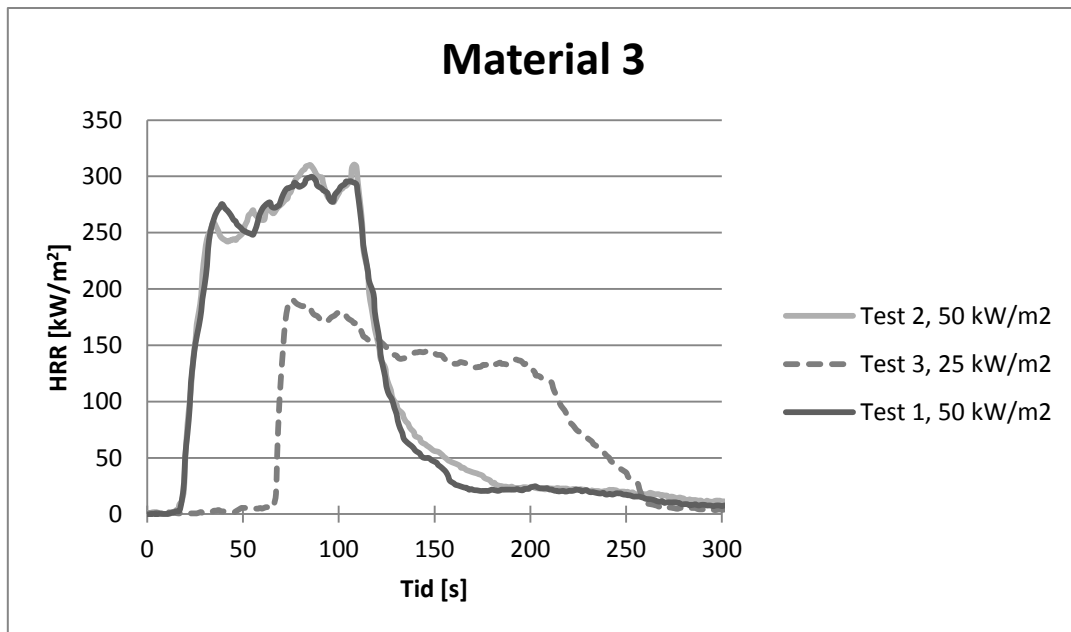
Parameter	Parameterns namn	Test 1 50 kW/m ²	Test 2 50 kW/m ²	Medelvärde test 1 och 2	Test 3 25 kW/m ²
Tid till antändning [min:s]	t_{ig}	0:09	0:06	0:08	0:26
Maximal effektutveckling [kW/m ²]	HRR_{max}	382,8	445,1	414,0	282,4
Medelvärde av HRR uppmätt över 60 s [kW/m ²]	$HRR_{60,avg}$	341,1	329,5	335,3	274,4
Medelvärde av HRR uppmätt över 300 s [kW/m ²]	$HRR_{300,avg}$	241,6	261,6	251,6	209,7
Total Heat Released [MJ/m ²]	THR	118,0	120,3	119,2	110,5
Massa innan test [g]	m_{start}	41,0	40,8	40,9	41,1
Massa efter test [g]	m_{end}	3,4	3,2	3,3	9,8
Massförlust [g]	m_{burn}	37,6	37,6	37,6	31,3
Average Mass Loss Rate [g/m ² s]	MLR_{avg}	3,0	3,0	3,0	3,0
Heat of combustion [MJ/kg]	ΔH_c	37,1	32,1	34,6	35,5
MARHE [kW/m ²]	MARHE	261,3	282,5	271,9	185,3
Fire Propagation Index [-]	FPI	28,9	24,8	26,9	88,8



Figur B.2. Effektutvecklingen plottat mot tiden för material 2.

Material 3

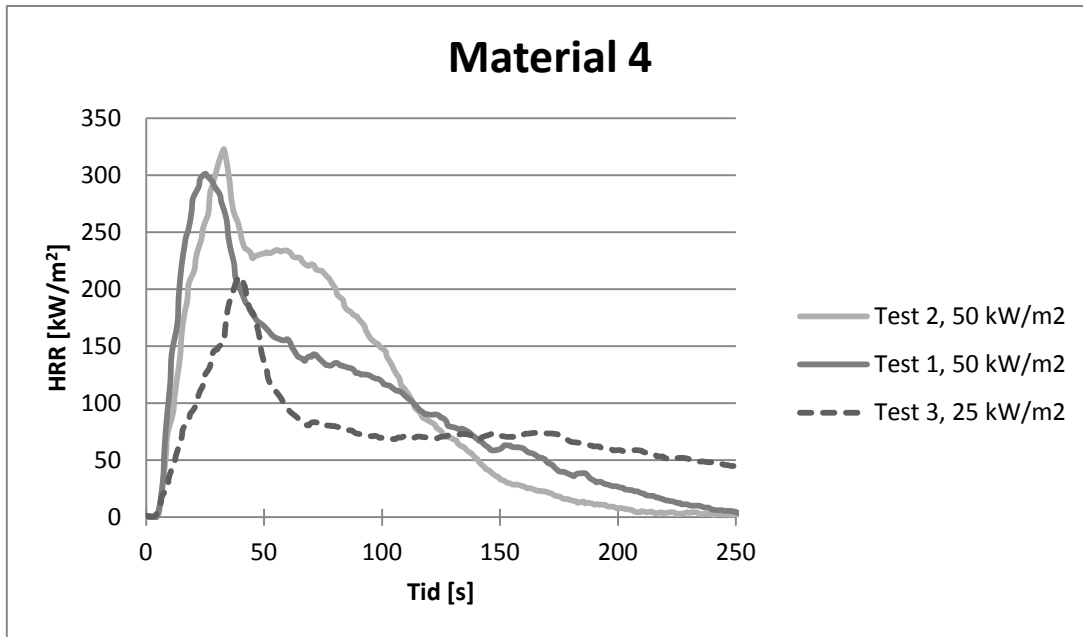
Parameter	Parameterns namn	Test 1 50 kW/m ²	Test 2 50 kW/m ²	Medelvärde test 1 och 2	Test 3 25 kW/m ²
Tid till antändning [min:s]	t_{ig}	0:14	0:14	0:14	0:52
Maximal effektutveckling [kW/m ²]	HRR_{max}	299,6	310,5	305,1	190,0
Medelvärde av HRR uppmätt över 60 s [kW/m ²]	$HRR_{60,avg}$	281,5	285,1	283,3	168,6
Medelvärde av HRR uppmätt över 300 s [kW/m ²]	$HRR_{300,avg}$	102,9	106,6	104,8	86,1
Total Heat Released [MJ/m ²]	THR	32,3	32,3	32,3	24,8
Massa innan test [g]	m_{start}	31,1	30,4	30,8	30,7
Massa efter test [g]	m_{end}	1,1	1,4	1,3	10,2
Massförlust [g]	m_{burn}	30,0	29,0	29,5	20,5
Average Mass Loss Rate [g/m ² s]	MLR_{avg}	6,2	11,6	8,9	8,4
Heat of combustion [MJ/kg]	ΔH_c	10,8	11,3	11,1	12,2
MARHE [kW/m ²]	MARHE	217,8	218,5	218,2	102,0
Fire Propagation Index [-]	FPI	33,2	33,6	33,4	110,0



Figur B.3. Effektutvecklingen plottat mot tiden för material 3.

Material 4

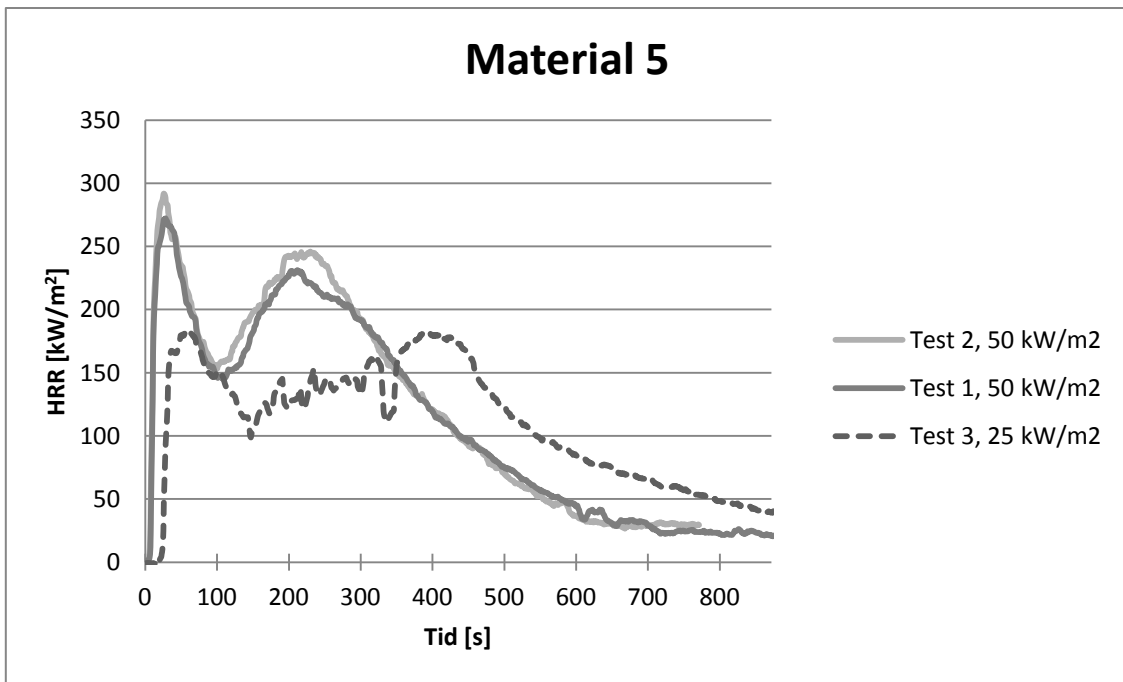
Parameter	Parameterns namn	Test 1 50 kW/m ²	Test 2 50 kW/m ²	Medelvärde test 1 och 2	Test 3 25 kW/m ²
Tid till antändning [min:s]	t_{ig}	0:02	0:03	0:03	0:05
Maximal effektutveckling [kW/m ²]	HRR_{max}	301,3	322,6	312,0	211,1
Medelvärde av HRR uppmätt över 60 s [kW/m ²]	$HRR_{60,avg}$	203,6	242,0	222,8	125,7
Medelvärde av HRR uppmätt över 300 s [kW/m ²]	$HRR_{300,avg}$	84,7	99,5	92,1	71,5
Total Heat Released [MJ/m ²]	THR	23,8	24,9	24,4	23,5
Massa innan test [g]	m_{start}	7,2	7,2	7,2	7,4
Massa efter test [g]	m_{end}	0,6	0,4	0,5	0,5
Massförlust [g]	m_{burn}	6,6	6,8	6,7	6,9
Average Mass Loss Rate [g/m ² s]	MLR_{avg}	3,8	3,3	3,6	1,1
Heat of combustion [MJ/kg]	ΔH_c	35,4	37,6	36,5	34,6
MARHE [kW/m ²]	MARHE	196,6	206,7	201,7	113,8
Fire Propagation Index [-]	FPI	12,6	15,7	14,2	35,3



Figur B.4. Effektutvecklingen plottat mot tiden för material 4.

Material 5

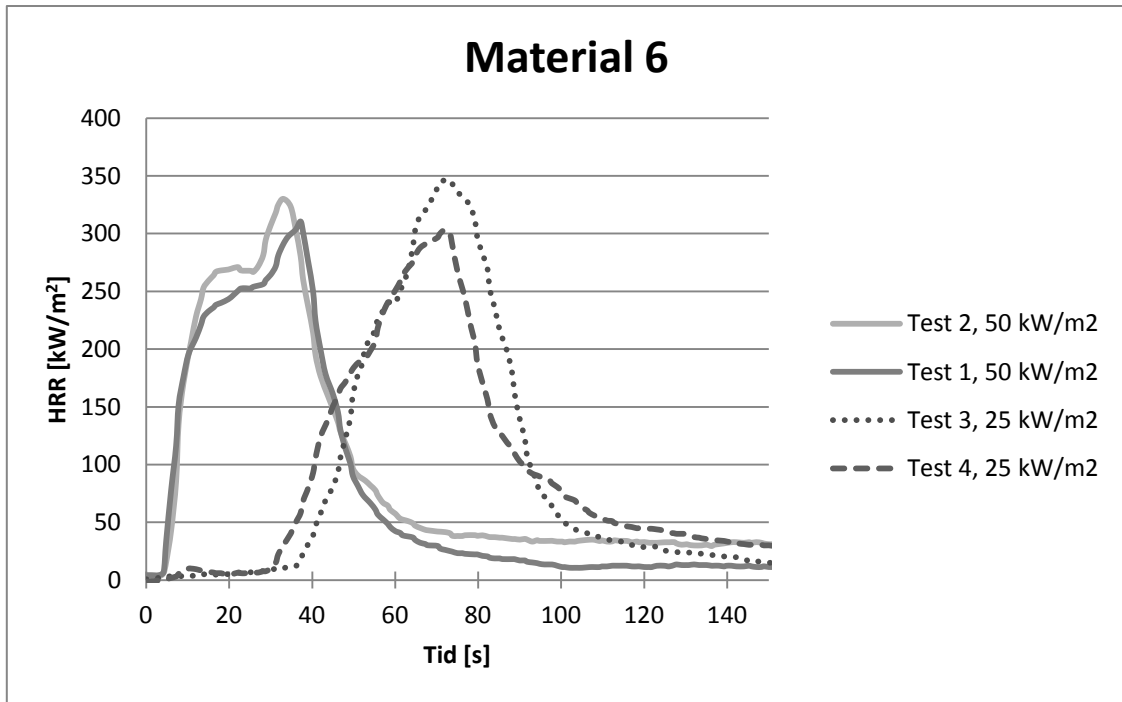
Parameter	Parameterns namn	Test 1 50 kW/m ²	Test 2 50 kW/m ²	Medelvärde test 1 och 2	Test 3 25 kW/m ²
Tid till antändning [min:s]	t_{ig}	0:04	0:03	0:04	0:20
Maximal effektutveckling [kW/m ²]	HRR_{max}	272,4	291,9	282,2	182,8
Medelvärde av HRR uppmätt över 60 s [kW/m ²]	$HRR_{60,avg}$	232,5	241,9	237,2	178,5
Medelvärde av HRR uppmätt över 300 s [kW/m ²]	$HRR_{300,avg}$	201,2	212,8	207,0	151,2
Total Heat Released [MJ/m ²]	THR	97,8	97,5	97,7	100,4
Massa innan test [g]	m_{start}	77,6	75,1	76,4	77,4
Massa efter test [g]	m_{end}	26,1	30,1	28,1	35,6
Massförlust [g]	m_{burn}	51,5	45	48,3	41,8
Average Mass Loss Rate [g/m ² s]	MLR_{avg}	6,9	6,8	6,9	5,5
Heat of combustion [MJ/kg]	ΔH_c	19,0	21,6	20,3	24,2
MARHE [kW/m ²]	MARHE	206,6	216,9	211,8	140,4
Fire Propagation Index [-]	FPI	16,1	15,3	15,7	67,4



Figur B.5. Effektutvecklingen plottat mot tiden för material 5.

Material 6

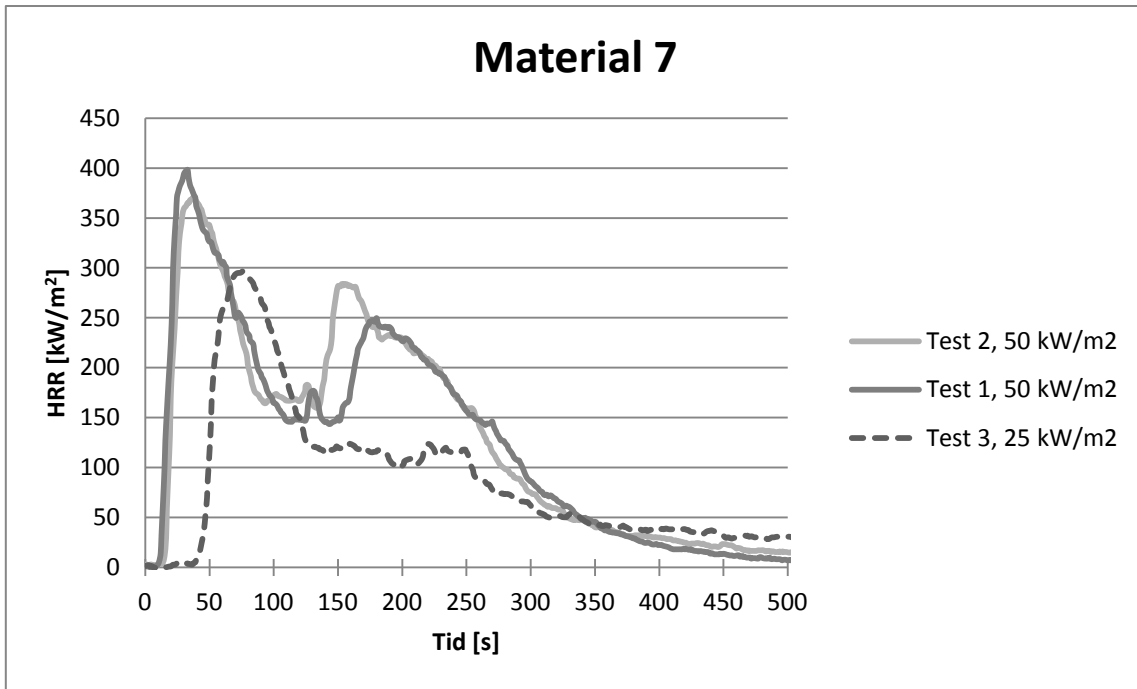
Parameter	Parameterens namn	Test 1 50 kW/m ²	Test 2 50 kW/m ²	Medelvärde test 1 och 2	Test 3 25 kW/m ²	Test 4 25 kW/m ²	Medelvärde test 3 och 4
Tid till antändning [min:s]	t_{ig}	0:03	0:02	0:03	0:29	0:28	0:29
Maximal effektutveckling [kW/m ²]	HRR_{max}	310,6	330,1	320,4	346,5	303,4	325,0
Medelvärde av HRR uppmätt över 60 s [kW/m ²]	$HRR_{60,avg}$	173,2	181,9	177,6	200,0	183,3	191,7
Medelvärde av HRR uppmätt över 300 s [kW/m ²]	$HRR_{300,avg}$	44,6	58,2	51,4	73,5	92,3	82,9
Total Heat Released [MJ/m ²]	THR	14,7	16,6	15,7	14,4	14,7	14,6
Massa innan test [g]	m_{start}	7,4	6,9	7,2	7,5	7,3	7,4
Massa efter test [g]	m_{end}	0	0	0	0	1,0	0,5
Massförlust [g]	m_{burn}	7,4	6,9	7,2	7,5	6,3	6,9
Average Mass Loss Rate [g/m ² s]	MLR_{avg}	2,3	2,7	2,5	2,0	3,8	2,9
Heat of combustion [MJ/kg]	ΔH_c	20,5	22,7	21,6	20,0	20,5	20,3
MARHE [kW/m ²]	MARHE	212,3	220,9	216,6	131,5	123,0	127,3
Fire Propagation Index [-]	FPI	14,2	13,0	13,6	100,4	94,4	97,4



Figur B.6. Effektutvecklingen plottat mot tiden för material 6.

Material 7

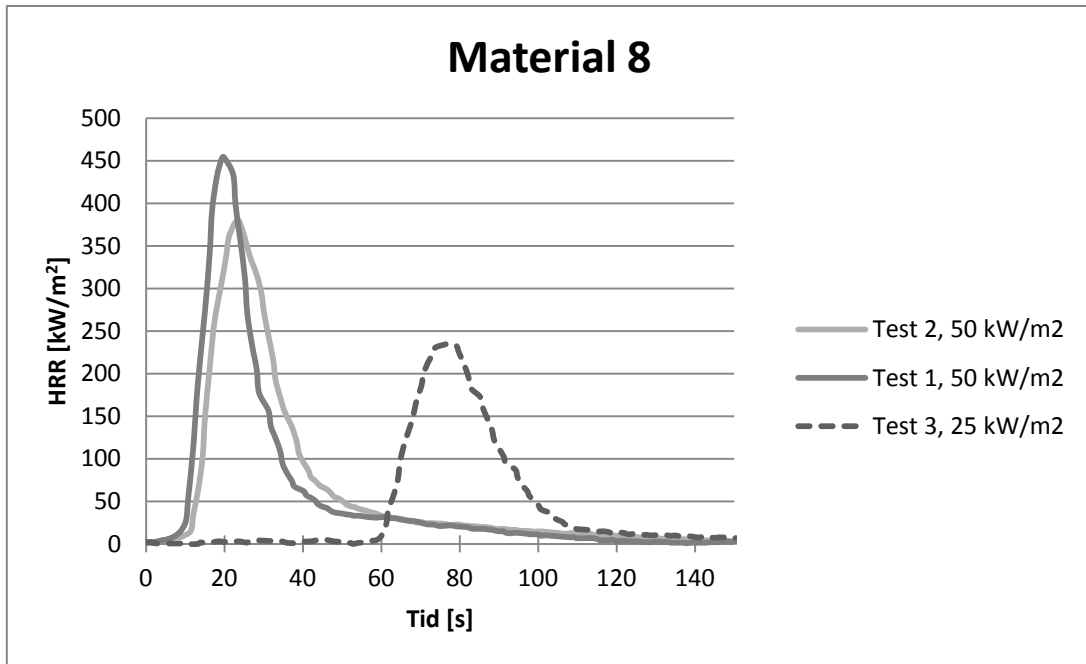
Parameter	Parameterns namn	Test 1 50 kW/m ²	Test 2 50 kW/m ²	Medelvärde test 1 och 2	Test 3 25 kW/m ²
Tid till antändning [min:s]	t_{ig}	0:09	0:10	0:10	0:39
Maximal effektutveckling [kW/m ²]	HRR_{max}	398,1	370,5	384,3	296,6
Medelvärde av HRR uppmätt över 60 s [kW/m ²]	$HRR_{60,avg}$	318,0	302,9	310,5	251,9
Medelvärde av HRR uppmätt över 300 s [kW/m ²]	$HRR_{300,avg}$	199,2	201,3	200,3	128,0
Total Heat Released [MJ/m ²]	THR	65,3	66,6	66,0	58,4
Massa innan test [g]	m_{start}	25,2	26,1	25,7	26,2
Massa efter test [g]	m_{end}	0	0	0	3,7
Massförlust [g]	m_{burn}	25,2	26,1	25,7	22,5
Average Mass Loss Rate [g/m ² s]	MLR_{avg}	5,8	6,6	6,2	1,3
Heat of combustion [MJ/kg]	ΔH_c	25,8	25,6	25,7	26,1
MARHE [kW/m ²]	MARHE	258,6	238,1	248,4	146,1
Fire Propagation Index [-]	FPI	29,3	29,4	29,4	110,6



Figur B.7. Effektutvecklingen plottat mot tiden för material 7.

Material 8

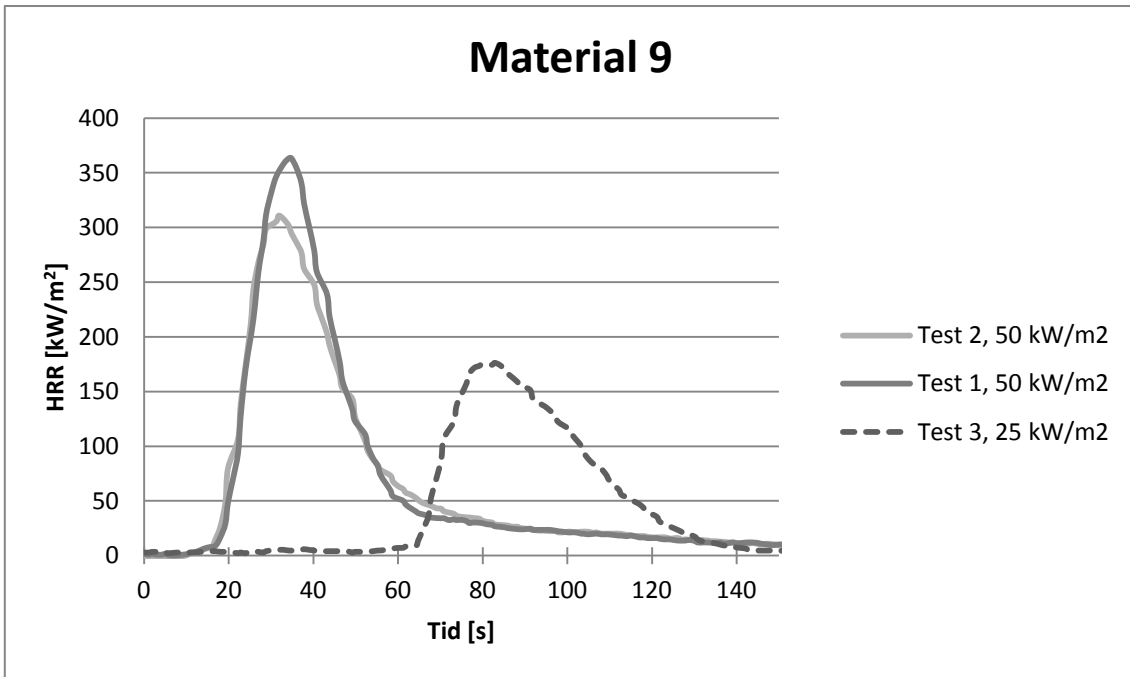
Parameter	Parameterns namn	Test 1 50 kW/m ²	Test 2 50 kW/m ²	Medelvärde test 1 och 2	Test 3 25 kW/m ²
Tid till antändning [min:s]	t_{ig}	0:05	0:06	0:06	0:56
Maximal effektutveckling [kW/m ²]	HRR_{max}	454,2	380,2	417,2	234,8
Medelvärde av HRR uppmätt över 60 s [kW/m ²]	$HRR_{60,avg}$	127,3	131,0	129,2	98,4
Medelvärde av HRR uppmätt över 300 s [kW/m ²]	$HRR_{300,avg}$	29,7	53,1	41,4	34,0
Total Heat Released [MJ/m ²]	THR	9,1	9,2	9,2	6,7
Massa innan test [g]	m_{start}	5,4	5,5	5,5	5,4
Massa efter test [g]	m_{end}	1,0	0,7	0,9	1,1
Massförlust [g]	m_{burn}	4,4	4,8	4,6	4,3
Average Mass Loss Rate [g/m ² s]	MLR_{avg}	2,2	1,8	2,0	2,0
Heat of combustion [MJ/kg]	ΔH_c	21,1	19,9	20,5	16,0
MARHE [kW/m ²]	MARHE	204,7	176,3	190,5	58,2
Fire Propagation Index [-]	FPI	22,8	22,6	22,7	122,6



Figur B.8. Effektutvecklingen plottat mot tiden för material 8.

Material 9

Parameter	Parameterns namn	Test 1 50 kW/m ²	Test 2 50 kW/m ²	Medelvärde test 1 och 2	Test 3 25 kW/m ²
Tid till antändning [min:s]	t_{ig}	0:10	0:11	0:11	1:02
Maximal effektutveckling [kW/m ²]	HRR_{max}	363,2	311,0	337,1	176,3
Medelvärde av HRR uppmätt över 60 s [kW/m ²]	$HRR_{60,avg}$	143,8	138,4	141,1	102,0
Medelvärde av HRR uppmätt över 300 s [kW/m ²]	$HRR_{300,avg}$	36,2	59,5	47,9	43,3
Total Heat Released [MJ/m ²]	THR	11,0	10,2	10,6	6,9
Massa innan test [g]	m_{start}	7,2	7,1	7,2	7,1
Massa efter test [g]	m_{end}	1,5	0	0,8	3,4
Massförlust [g]	m_{burn}	5,7	7,1	6,4	3,7
Average Mass Loss Rate [g/m ² s]	MLR_{avg}	1,4	3,4	2,4	1,8
Heat of combustion [MJ/kg]	ΔH_c	19,3	14,9	17,1	19,7
MARHE [kW/m ²]	MARHE	151,5	140,7	146,1	54,0
Fire Propagation Index [-]	FPI	29,9	29,8	29,9	117,2

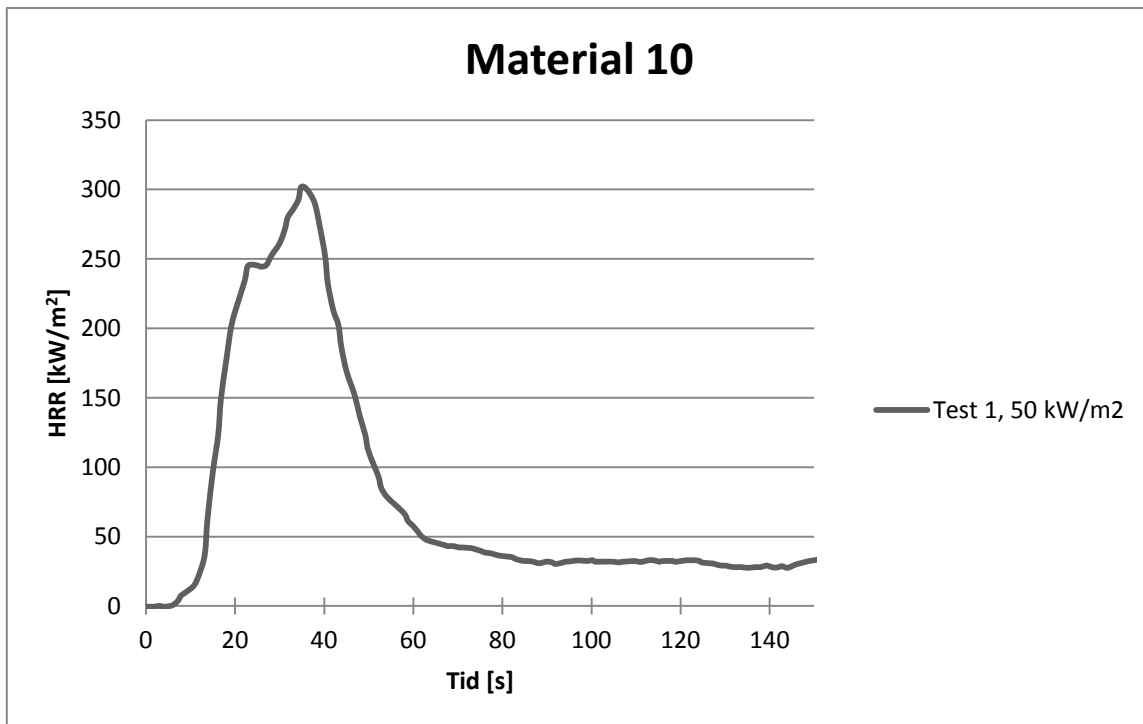


Figur B.9. Effektutvecklingen plottat mot tiden för material 9.

Material 10

Parameter	Parameterns namn	Test 1 50 kW/m ²	Test 2 50 kW/m ²	Medelvärde test 1 och 2	Test 3 25 kW/m ²
Tid till antändning [min:s]	t_{ig}	0:06	*	0:06	*
Maximal effektutveckling [kW/m ²]	HRR_{max}	301,7	*	301,7	*
Medelvärde av HRR uppmätt över 60 s [kW/m ²]	$HRR_{60,avg}$	151,8	*	151,8	*
Medelvärde av HRR uppmätt över 300 s [kW/m ²]	$HRR_{300,avg}$	65,3	*	65,3	*
Total Heat Released [MJ/m ²]	THR	27,1	*	27,1	*
Massa innan test [g]	m_{start}	9,7	*	9,7	*
Massa efter test [g]	m_{end}	0,1	*	0,1	*
Massförlust [g]	m_{burn}	9,6	*	9,6	*
Average Mass Loss Rate [g/m ² s]	MLR_{avg}	1,4	*	1,4	*
Heat of combustion [MJ/kg]	ΔH_c	28,5	*	28,5	*
MARHE [kW/m ²]	MARHE	165,7	*	165,7	*
Fire Propagation Index [-]	FPI	21,8	*	21,8	*

*Tillräckligt med material fanns inte för att kunna genomföra detta test.

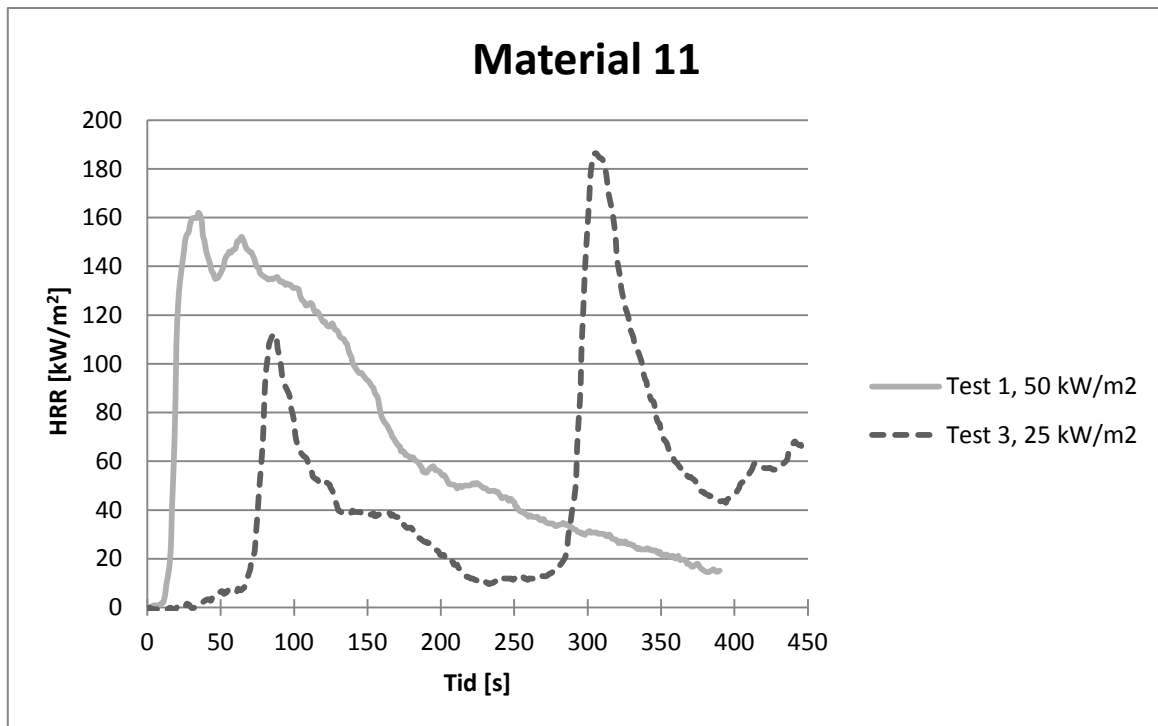


Figur B.10. Effektutvecklingen plottat mot tiden för material 10.

Material 11

Parameter	Parameterns namn	Test 1 50 kW/m ²	Test 2 50 kW/m ²	Medelvärde test 1 och 2	Test 3 25 kW/m ²
Tid till antändning [min:s]	t_{ig}	0:12	*	0:12	0:59
Maximal effektutveckling [kW/m ²]	HRR_{max}	162,0	*	162,0	186,3
Medelvärde av HRR uppmätt över 60 s [kW/m ²]	$HRR_{60,avg}$	145,7	*	145,7	124,7
Medelvärde av HRR uppmätt över 300 s [kW/m ²]	$HRR_{300,avg}$	84,4	*	84,4	62,5
Total Heat Released [MJ/m ²]	THR	27,1	*	27,1	28,1
Massa innan test [g]	m_{start}	32,9	*	32,9	33,3
Massa efter test [g]	m_{end}	5,4	*	5,4	6,6
Massförlust [g]	m_{burn}	27,5	*	27,5	26,7
Average Mass Loss Rate [g/m ² s]	MLR_{avg}	7,4	*	7,4	6,1
Heat of combustion [MJ/kg]	ΔH_c	9,9	*	9,9	10,5
MARHE [kW/m ²]	MARHE	119,1	*	119,1	47,3
Fire Propagation Index [-]	FPI	25,1	*	25,1	116,5

*Tillräckligt med material fanns inte för att kunna genomföra detta test.



Figur B.11. Effektutvecklingen plottat mot tiden för material 11.

Bilaga C – Jämförelse mellan olika fordon

I denna bilaga redovisas den data för material som hämtats från andra studier.

Vid 50 kW/m²

Informationen i tabell C.1 – C.3 utgör underlaget till figur 6.3 i avsnitt 6.2.

Tabell C.1. Data från material i militära fordon.

Material	HRR _{max} [kW/m ²]	T _{ig} [s]
1	797,9	32
2	414	8
3	305,1	14
4	312	3
5	282,2	4
6	320,4	3
7	384,3	10
8	417,2	6
9	337,1	11
10	301,7	6
11	162	12

Tabell C.2. Data för material från bussar hämtat från Johansson och Axelsson (2006).

Material	HRR _{max} [kW/m ²]	T _{ig} [s]
Y1 - PVC band/strip	80	63
Y2 - fibre glass plate	368	23
Y3 - ABS wall panel	1132	23
Y4 - Laminate wall panel	292	45
Y5/Y6 - EPS + rubber wall insulation	614	2
Y9 - Needle felt	591	17
Y10/Y11 - Needle felt 2 + Laminate	728	11
S1 - Seat	475	6
S2 - Seat	475	21
S3 - Seat	450	27

Tabell C.3. Data för material från personbilar hämtat från Miller, Janssens och Huczek (2004).

Biltyp	Material	HRR _{max} [kW/m ²]	T _{ig} [s]
Chevrolet Cavalier	Headrest	412	11
	Seat (foam and cover)	685	8
	Seat (foam)	475	2
	Headliner	271	7
	Glove box (exterior)	708	22
	Glove box (interior)	916	23
	Door panel (plastic)	757	21
	Carpet	562	34
	HVAC parts	924	20
	Air filter assembly	585	18
	Wiring harness (thick conduit)	333	10
	Wiring harness (small section)	581	10
	Dodge Neon	Seat (cover and foam)	775
Seat (foam)		475	2
Door panel (plastic)		709	24
Door panel (fabric)		885	27
Carpet		554	26
Kick panel		605	27
Fuel tank		1200	40
Ford Focus	Headrest	385	5
	Seat (foam and cover)	653	23
	Seat (foam)	622	2
	Headliner	258	9
	Door panel	698	7
	Carpet	590	28
	Air filter assembly	554	20
Honda Civic	Headrest	453	17
	Seat (cover and foam)	790	11
	Seat (foam)	385	2
	Glove box (exterior)	1008	29
	Glove box (interior)	1117	23
	Door panel (gray plastic)	547	24
	Door panel (black plastic)	924	23
	Door panel (fabric)	856	35
	Carpet	372	27
	HVAC parts	716	22
	Wiring harness	663	6

Vid 25 kW/m²

Informationen i tabell C.4 och C.5 utgör underlaget till figur 6.4 i avsnitt 6.2.

Tabell C.4. Data från material i militära fordon.

Material	HRR _{max} [kW/m ²]	T _{ig} [s]
1	485,7	149
2	282,4	26
3	190	52
4	211,1	5
5	182,8	20
6	325	29
7	296,6	39
8	234,8	56
9	176,3	62
10		
11	186,3	59

Tabell C.4. Data för material från personbilar är hämtat från Grayson och Hirschler (2002).

Bil	Material	HRR _{max} [kW/m ²]	T _{ig} [s]
1	Seat	259	23
	Foam 1	283	6
	Fabric 1	345	35
	Floor covering	383	60
	Ceiling material	195	65
	Dash A	565	82
	Door cover	331	30
	Duct	325	88
	Dash B	230	154
	Dash c	384	72
	Dash D	649	103
2	Seat a	296	15
	Seat b	321	37
	Foam 1	418	3
	Fabric 1	162	42
	Door composite (fabric-foam)	254	10
	Carpet	349	103
	Headliner	298	9
	Gray dash foam	288	2
	Foam - insul.	209	25

	Mold plastic	468	65
	Duct	440	70
	Dash	344	64
	Dash backing	232	15
	Dash + backing	364	62
3	HVAC Shroud	479,7	57
	Dash	362,6	53
	Speaker foam	425,2	3
	Side panel	483,4	59
	Sidewall cover	623,6	68
	Door cover	480	41
	Carpet	205,2	59
	Interior insulat	152,3	56
4	Dash up	253	37
	Dash down	393	65
	Dash frame up	668	97
	Dash frame down	702	91
	Duct vent	842	83
	Foam	406	68