



LUND UNIVERSITY

Brand i stoppmöbler - en experimentell studie

Andersson, Berit; Magnusson, Sven Erik

1980

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Andersson, B., & Magnusson, S. E. (1980). *Brand i stoppmöbler - en experimentell studie*. (Report / Lund Institute of Technology, Lund, Sweden, Department of Structural Mechanics; Vol. R80-4). Lund Institute of Technology.

Total number of authors:

2

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY · LUND · SWEDEN
DEPARTMENT OF STRUCTURAL MECHANICS
REPORT NO. R80-4

BERIT ANDERSSON — SVEN ERIK MAGNUSSON

BRAND I STOPPMÖBLER —
EN EXPERIMENTELL STUDIE

TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND

Institutionen för Byggnadsstatik

Rapport R80-4

Berit Andersson Sven Erik Magnusson

BRAND I STOPPMÖBLER - EN EXPERIMENTELL STUDIE

Denna rapport avser rapportering av Träförädlingsbyråns projekt 5106109-1,
Fullskaleprov - brand i stoppmöbler

FÖRORD

Denna undersökning gjordes inom ramen för det avtal om brandforsknings-samarbete som existerar mellan Laboratoriet för brandteknik vid Statens Provningsanstalt i Borås och Institutionen för byggnadsstatik, LTH. Speciellt vill författarna här nämna att genomförandet av försöksserien i fullskala krävde ett omfattande utvecklingsarbete vad gällde instrumentering och system för datainsamling och att ansvariga för denna viktiga del av projektet var personal vid Laboratoriet för Brandteknik, SP, Borås under ledning av Björn Sundström. Vi framför härmed vår synnerliga uppskattning av detta arbete. Planering och utvärdering av det totala projektet jämte genomförande av undersökningens modellförsök har skett vid Institutionen för byggnadsstatik, LTH.

Projektet finansierades genom anslag 5106109-1 från Träförädlingsbyrån. Som referensgrupp till projektet fungerade TFBs styrgrupp Flexibla skumplaster med Birger Åberg som ordförande.

Här avrapporterad undersökning kommer att bli basmaterial för och en integrerad del av de vidare studier rörande stoppmöblers brandrisker som inom ovan nämnda samarbetsavtal kommer att bedrivas i projektet "Brandrisker - det tidiga brandförloppet", finansierat genom BRANDFORSK.

SAMMANFATTNING

Projektet "Brand i stoppmöbler - en experimentell studie" syftade till att för ett antal kombinationer av ytskikt, mellanskikt och stoppningsmaterial utvärdera den färdiga möbelns egenskaper med avseende på antändlighet, förbränningsintensitet, rökalsstring och produktion av giftiga gaser. Vidare undersöktes möjligheten av att genom förenklade prov i halvnaturlig skala klassificera den färdiga produkten. Sålunda genomfördes 53 halvskaleförsök med kombinationer av 14 olika ytskikt, 3 mellanskikt och 3 stoppningsmaterial och 11 fullskaleförsök med kombinationer av 3 olika ytskikt, 3 mellanskikt och 3 stoppningsmaterial. Vid fullskaleförsöken provades materialkombinationerna i en standardiserad tre-sits soffa.

Försöken visar att man kan öka motståndsförmågan mot antändning avsevärt antingen genom att konstruera möbeln med en interliner mellan ytskikt och stoppningsmaterial eller genom att använda ett rätt valt ytskikt.

Genom försöken demonstrerades att brandens tillväxthastighet över möbeln starkt varierar med val av ytskikt (och eventuellt mellanskikt). Det föreligger ett påtagligt behov av en provningsmetod som renodlat och i småskala ger information om denna viktiga brandriskegenskap.

Uppmätta tidkurvor för utvecklad värmeeffekt visar att maximal effekt under ett brandförlopp i fullskala för de valda materialkombinationerna varierade inom området från ca 880 till 220 kW. Tidpunkten efter antändning för dessa maximeffekter var resp 4 och 35 minuter. Siffrorna åskådliggör de förbättringar av stoppmöblers brandegenskaper som är möjliga inom ramen för existerande teknologi.

Resultaten visar även att man kan påverka den mängd rök som produceras då en möbel brinner genom valet av material i möbeln. I rapporten ges obearbetade och bearbetade försöksdata från genomförda halvskale- och fullskaleförsök.

De risker såsom försämrad sikt, förhöjd temperatur, infallande värmestrålning mot oskyddad hud och höga koncentrationer av giftiga gaser, som kan uppkomma vid brand i en stoppad möbel har kvantifierats genom fullskaleförsöken. Dessa riskfaktors betydelse vid en utrymningssituation analyseras också i rapporten.

FIRE BEHAVIOUR OF UPHOLSTERED FURNITURE - AN EXPERIMENTAL STUDY

By Berit Andersson and Sven Erik Magnusson

Summary

The study reported here was jointly financed by government, through the National Swedish Board for Technical Development and the Foundation for Research of the Wood Working Industries and by industry, represented through the Swedish Plastic Federation. It has, as a part of a larger joint fire research program in the pre-flashover area, been carried out in cooperation with the Division of Fire Technology of the Swedish National Testing Institute.

The goal of the project "Fire behaviour of upholstered furniture, an experimental study" was to study in fullscale a number of combinations of fabric, interliner and filling material with regard to ignitability, burning intensity, generation of smoke and production of toxic gases. The possibility of classifying the product after conducting tests in reduced scale has also been investigated.

The project comprised 53 experiments in reduced scale with combinations of 14 different fabrics, 3 interliners and 3 filling-materials (Table 1-3) and 11 fullscale experiments with combinations of 3 different fabrics, 3 interliners and 3 filling materials.

The experiments in reduced scale were performed with a testing rig designed according to DD 58:1978, the original proposal for a British ignitability standard. The test configurations is described by Fig. 1 and 2. Ignition source was a wooden crib (10 g or 40 g). During these experiments measurements were taken of temperatures, smoke production, and mass burning rates. Results are given in Figs 3 to 8.

The experiments indicate that ignitability can be considerably decreased either by using an interliner between the fabric and the filling material or by careful choice of the fabric. The results are in conformity with the experience obtained in other investigations in Sweden and abroad.

The results from the reduced scale tests also show that the rate of fire spread across the piece of furniture is strongly dependent on the fabric (and existing interliner). There is a great need for a testing method which explicitly and in smallscale gives information on this important fire risk characteristic.

Fullscale tests were carried out in a room $2.4 \times 3.6 \times 2.4 \text{ m}^3$, designed and instrumented according to the ASTM recommendations.

To get reproducible fire scenarios and clearly defined and measurable reactions to variations in the main parameter, i.e. material selection, the test furniture was a fullscale mock up model of a three-seat sofa, designed with loose cushions on a steel frame. A liquid fuel burner with a heat output of 20-30 kW was used as ignition source.

The materials of the cushions were changed in a systematic way to represent the range available in the consumer market. In all, 11 sofas were tested. Extensive measurements were taken of mass burning rates, gas temperatures, gas flow velocities, heat fluxes to floor and ceiling, smoke concentration and gas species concentrations.

The experimental data have been processed and analyzed for a number of purposes, viz.

- to assess basic components of the risk profile of the product (rate of fire spread, maximum rate of heat release, concentration of produced smoke),
- to estimate the time available for escape or evacuation out of the room of fire origin, i.e. the minimum time for a hazard component (heat, smoke or toxic gas concentration, heat fluxes) to reach untenable conditions,
- to find correlation with experiments carried out with a prototype scaled down test rig.

Efforts were also made to use the fullscale test data to validate the simulation computer program developed at Harvard (the Harvard Computer Fire Code). It soon appeared that the sub-routines describing the rate of fire growth and heat release were not suited to describe our experiments. Future work will concentrate on developing the useful tool provided by the Fire Code and other mathematical models. In these studies, emphasis will be in the development of small scale test methods, giving information on flame spread and heat release characteristics to be used both as input data to the computer programs and, eventually, as tools in a classification procedure.

The curves for rate of heat release (Fig. 26) show that maximum effect released during a fullscale fire for the tested combinations of materials varied from 880 to 220 kW. The time after ignition for these heat release rates were 4 and 35 min respectively. The figures indicate the improvements of the fire growth and heat release characteristics of upholstered furniture that can be achieved within present technological knowledge.

Again, it was demonstrated that an effective and efficient test protocol in smallscale will have to include a test procedure for determination of lateral flame spread over extended vertical and horizontal surfaces under heat fluxes encountered in the pre-flashover stage of compartment fires.

Smoke potential, or mass optical density, was measured in the two types of tests as well as the total smoke production. The main conclusion was that the mass optical density parameter is varying strongly during the fire process and thus is no meaningful parameter characterizing the material of product with respect to smoke hazard. On the other hand, the results indicate a positive correlation with regard to total smoke production between the two test methods. It must be emphasized that the number of tests with the same material combination is too small to allow any firm conclusions.

As an example of the results, Fig. 27 gives for five different material combinations the total, accumulated smoke production D_{tot} as a function of time. D_{tot} is expressed, in accordance with the terminology used in [20], as $(dB/m) \cdot m^3$, where the first factor expresses light attenuation as decibel per m of light path through the outflowing smoke, and the second one expresses the total flow of combustion products (smoke). Fig. 27 clearly illustrates the influence of material selection on the rate of smoke production.

FÖRORD

SAMMANFATTNING

1.	INLEDNING	1
1.1.	Historik	1
1.2.	Syfte	2
2.	PROJEKTETS UPPLÄGGNING	3
3.	FÖRSÖK I HALVSKALA	4
3.1.	Instrumentering	4
3.2.	Val av material	5
3.2.1.	Ytskikt	5
3.2.2.	Mellanskikt	5
3.2.3.	Stoppningsmaterial	6
3.3.	Försökens genomförande	7
3.4.	Presentation och diskussion av vid halvskaleförsöken erhållna resultat	8
3.4.1.	Antändlighet	10
3.4.2.	Temperatur	10
3.4.3.	Producerad rök	10
4.	FULLSKALEFÖRSÖK	12
4.1.	Uppläggning och omfattning	12
4.2.	Försöksuppställning	13
4.2.1.	Försöksrum	13
4.2.2.	Testmöbel	13
4.2.3.	Val av antändningskälla	13
4.2.4.	Instrumentering vid försöken 1-5	14
4.2.5.	Instrumentering vid försöken 6-11	16
4.3.	Översiktlig resultatsammanställning	18
4.3.1.	Allmänna observationer från försök 1-11	18
4.3.2.	Viktminskning	18
4.3.3.	Temperatur i utgående rökgaser	20
4.3.4.	Rökgasernas ljusgenomsläpplighet	24
4.3.5.	Analys av utgående rökgaser	24
4.4.	Detaljredovisning av försöksdata från försök 7	26
4.4.1.	Temperaturprofil i rummets centrum	26
4.4.2.	Temperaturprofil i dörröppningen	27
4.4.3.	Massflödesprofiler	28
4.4.4.	Värmefflöde in i omgivande konstruktioner	29
4.4.5.	Gaskoncentrationer	30
4.5.	Struktur på resultatbearbetning och riskanalys	30
5.	RISKANALYS FÖR UTRYMNING AV ETT BRANDRUM IDENTISKT MED FÖRSÖKSRUMMET	32
6.	BERÄKNING AV FRIGJORD VÄRMEEFFEKT Q	35
6.1.	Metodik	35
6.2.	Resultatdiskussion	37
7.	RÖKUTVECKLING	38
7.1.	Metodik	38
7.2.	Resultatdiskussion	40

	SIDAN
8. EXEMPEL PÅ RISKANALYS FÖR UTRYMNING AV RUM ELLER KORRIDOR GRÄNSANDE TILL BRANDRUMMET	42
9. FÖRSÖKSDATA SOM INPUT TILL EXISTERANDE MATEMATISKA MODELLER	43
10. JÄMFÖRELSE MELLAN RESULTAT FRÅN HALVSKALEFÖRSÖK OCH FULLSKALEFÖRSÖK	44
REFERENSER	45
APPENDIX A: TABELLER	
APPENDIX B: TEORETISK MODELL AV BRANDFÖRLOPPET	
APPENDIX C: TERMER FÖR ATT BESKRIVA RÖKUTVECKLING	

1. INLEDNING

1.1. Historik

1970-talets brandforskning karakteriserades framförallt av en ökad förståelse vad gäller den lösa inredningens roll för personrisker i samband med brand. Parallellt med denna insikt kom kraven, främst från myndigheter med ansvar för konsumentssäkerheten, på förbättrade brandegenskaper. De stora insatserna på området har gjorts i USA och UK, som också var de första länder där myndighetskrav diskuterades. I Storbritannien har man nu infört krav på stoppade möbler [1]. Kraven innebär att möbler som säljs fr o m 1 oktober 1980 måste märkas med etiketter som talar om att möbelen kan antändas av cigarett och/eller en tändsticka beroende på resultatet vid test enligt British Standard 5852: Part 1, [2]. Fr o m 31 december 1982 får inte några möbler säljas som kan antändas av en cigarett. De möbler som ej motstår antändning av en tändsticka ska märkas med etiketter som talar om detta.

Från svenskt håll har utvecklingen målmedvetet följts upp av både industri och myndigheter, i det senare fallet kanske främst genom tillkomsten av den s k Brandriskutredningen (BRU), vars slutrapport publicerades våren 1978 [3]. Utredningen ger en relativt omfattande översikt av de viktigare forsknings- och utvecklingsinsatser som gjorts. Denna historik upprepas ej här. Under perioden från 1978 och framåt förefaller forskningen på området att delvis befinna sig i en konsolideringsperiod, och den redogörelse som gjorts i [3] behöver kompletteras enbart på ett fåtal punkter, i första hand med de arbeten som gjorts vid NBS - se exempelvis [4] - och som kommer att i tillämpliga delar refereras i den fortsatta rapporten.

Den svenska stoppningsmaterial- och möbelindustrin har utfört ett aktivt produktutvecklingsarbete vad gäller stoppmöblers brandsäkerhet. Styrgrupperna för stoppmöbler och för flexibla skumplaster har inom ramen för Träförädlingsbyråns verksamhet drivit en rad projekt omfattande studier av antändlighet och förbränningsegenskaper för olika material och materialkombinationer som används i stoppade möbler, dvs stoppningsmaterial, mellanskikt och ytskikt. Arbetet inleddes under 1976 med uppställande av kravspecifikationer för naken polyeter med avseende på antändlighetsegenskaper, lågutbredning och rökgasutveckling. Detta arbete utfördes vid Textilforskningsinstitutet i Göteborg (TEFO) under ledning av Arnold Bernskiöld och med Gunnar Lindahl som projektledare. Man fortsatte därefter med att studera antändningsegenskaperna för kombinationer av material [5,6]. Även dessa undersökningar genomfördes vid TEFO och anknyter till den i Brandriskutredningen specificerade kravnivån 1, kontroll av antändlighet. Projektet "Brand i stoppmöbler - en experimentell studie" är en vidare studie av hur olika materialkombinationer uppför sig vid brand och kan kopplas till delar av kravnivå 3 i BRU. Denna omfattar kontroll av antändlighet, kontroll av produktens egenskaper som ger snabb brandtillväxt samt kontroll av brandgasers sikt-nedsättande och toxiska verkan. Några studier av brandgasers toxiska verkan ingår dock inte i det här nedan rapporterade projektet. En uppföljning av erhållna resultat sker vid Berol Kemi AB där de kombinationer som givit bra resultat vad gäller antändlighet och övriga brandegenskaper bedöms ur komfort- och hållbarhetssynpunkt. Detta projekt ledes av Kjell Johansson.

1.2. Syfte

Syftet med projektet kan specificeras genom följande tre delmål:

- Första delmålet var att för specificerade kombinationer av klädsel- och stoppningsmaterial utvärdera den färdiga möbelns egenskaper m a p antändlighet, förbränningsintensitet, rökalsstring och produktion av giftiga gaser.
- Andra delmålet var att undersöka möjligheten att genom förenklade prov i semi-naturlig skala klassificera den färdiga produkten.
- Tredje delmålet var att söka utvärdera hur stoppmöblers brandegenskaper påverkar den totala brandrisken i nuvarande boendemiljöer.

2. PROJEKTETS UPPLÄGGNING

Planering och uppläggning av projektet har skett i nära samarbete mellan projektledningen och Träförädlingsbyråns styrgrupp för flexibla skumplaster. I vissa frågor, främst vid val av material, har även Träförädlingsbyråns styrgrupp för stoppmöbler varit inkopplad.

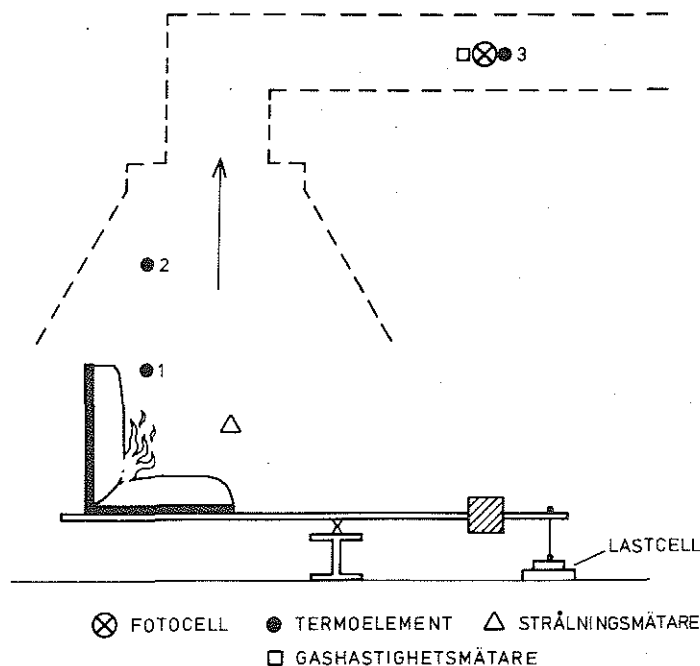
Projektet inleddes med en omfattande serie försök i halvstor skala. Anledningen till detta var primärt att få ut så mycket information som möjligt - för projektets första delmål - inom gällande ekonomiska ramar. Om försöken fått begränsas till sådana i enbart fullskala skulle totala antalet provade materialkombinationer ha blivit starkt begränsat. Som komplement till försöken i halvskala utfördes därefter ett mindre antal försök i fullskala med det direkta syftet att ge information med avseende på projektets tredje delmål. Sammankopplingen mellan halvskale- och fullskaleförsöken bedömdes vidare kunna ge underlag för framtida provningsmetoder inom stoppmöbelområdet - projektets tredje delmål.

I enlighet med projektets titel och syfte har projektarbetet koncentrerats till de experimentella delarna och de data som därvid producerades. De möjligheter som finns att utan hjälp av datorbaserade beräkningsmetoder använda dessa data för genomförande av riskanalyser utnyttjades dock.

3. FÖRSÖK I HALVSKALA

3.1. Instrumentering

En översikt av försöksuppställningen ges i figur 1. Vid halvskaleförsöken registrerades följande storheter kontinuerligt: temperatur, viktninskning, rökgashastighet i ventilationskanalen, optisk rökgasdensitet och strålning. Mätpunkternas placering framgår av figur 1. Dessutom togs fotografier under varje försök. Bilderna togs med ett intervall på ca 1 minut.



Figur 1. Försöksuppställning för försök i halvstor skala

Temperaturerna mättes med termoelement av chromel-alumel med diametern 0.5 mm.

Viktninskningen mättes genom att hela provställningen med det material som skulle testas, placerades på en våg. Provställningens vikt utbalanserades så att man direkt fick värden på hur mycket av det provade materialet som återstod.

Rökgashastigheten mättes med ett pitotrör av typen "bi-directional probe" [7]. Värden på den optiska rökgasdensiteten erhöles genom att sända en ljustråle genom rökgaserna och med en fotocell mäta hur stor del av ljuset som transmitteras genom rökgaserna.

Strålningen från flaman registrerades med en totalstrålningsmätare av Gunnerstyp [8].

3.2. Val av material

3.2.1. Ytskikt

Vid valet av ytskikt lades stor vikt vid att välja material som finns allmänt tillgängliga på marknaden. Avsikten var även att täcka in så stor del som möjligt av de material som används idag till möbler för hemmabruk. Detta medförde att endast ett svårantändlighetsbehandlat tyg togs med i undersökningen. Tygernas sammansättning och ytvikt redovisas i tabell 1.

Tabell 1. Ytskikt, använda vid halvskaleförsöken

-
- | | |
|-----|---|
| 1. | 100% akryl (ytvikt ca 360 g/m ²) |
| 2. | 100% viskos (I) (ytvikt ca 520 g/m ²) |
| 3. | 100% viskos (II) (ytvikt ca 560 g/m ²) |
| 4. | 100% polypropen (ytvikt ca 290 g/m ²) |
| 5. | 100% svårantändlighetsbehandlad ull (ytvikt ca 410 g/m ²) |
| 6. | 100% ull (ytvikt ca 700 g/m ²) |
| 7. | 100% bomull (ytvikt ca 330 g/m ²) |
| 8. | 17% ull, 64% viskos, 19% akryl (ytvikt ca 370 g/m ²) |
| 9. | 19% ull, 64% viskos, 17% akryl (ytvikt ca 380 g/m ²) |
| 10. | 29% ull, 43% viskos, 28% akryl (ytvikt ca 350 g/m ²) |
| 11. | 48% ull, 37% viskos, 15% bomull (ytvikt ca 600 g/m ²) |
| 12. | 56% ull, 24% viskos, 20% bomull (ytvikt ca 420 g/m ²) |
| 13. | 61% ull, 39% viskos (ytvikt ca 540 g/m ²) |
| 14. | 70% ull, 30% viskos (ytvikt ca 430 g/m ²) |
-

3.2.2. Mellanskikt

Vid valet av mellanskikt - interliner - togs de tre material med i undersökningen som vid den tidpunkt då valet gjordes fanns tillgängliga på den svenska marknaden, nämligen Firend, Kynol och Vonar. De tre mellanskikten representerar dessutom tre olika typer av material.

Firend är ett polyuretanskum som är efterbehandlat med ett svårantändlighetsmedel. Kynol är en filt bestående av novaloidfibrer. Vonar är ett polykloroprenmodifierat neoprenskumgummi på ett underlag av bomullsväv. Mellanskikten presenteras i tabell 2.

Tabell 2. Mellanskikt, använda vid halvskaleförsöken

Varubeteckning	Tjocklek (mm)	Ytvikt (g/m ²)	Specifikation
Firend	10.5	925	Skumplast efterbehandlad med svårantändlighetsmedel
Kynol	2.7	300	Novaloidfiberfilt
Vonar	5.2	880	Karboxikloroprenmodifierat neoprenskumgummi på ett underlag av bomullsväv

3.2.3. Stoppningsmaterial

Tre olika stoppningsmaterial ingick i undersökningen. De utgjordes av konventionell polyeter, högelastisk polyeter och konventionell polyeter med svårantändlighetstillsats. Dessa tre material svarar tillsammans för huvuddelen av den totala mängd stoppningsmaterial som används idag. Varje materialtyp representeras i undersökningen av två varianter med olika densitet, en med densitet $\approx 25 \text{ kg/m}^3$, som används i ryggplymåer, och en med densitet $\approx 35 \text{ kg/m}^3$, som används i sittdynor. Stoppningsmaterialen redovisas i tabell 3.

Tabell 3. Stoppningsmaterial, använda vid halvskaleförsöken

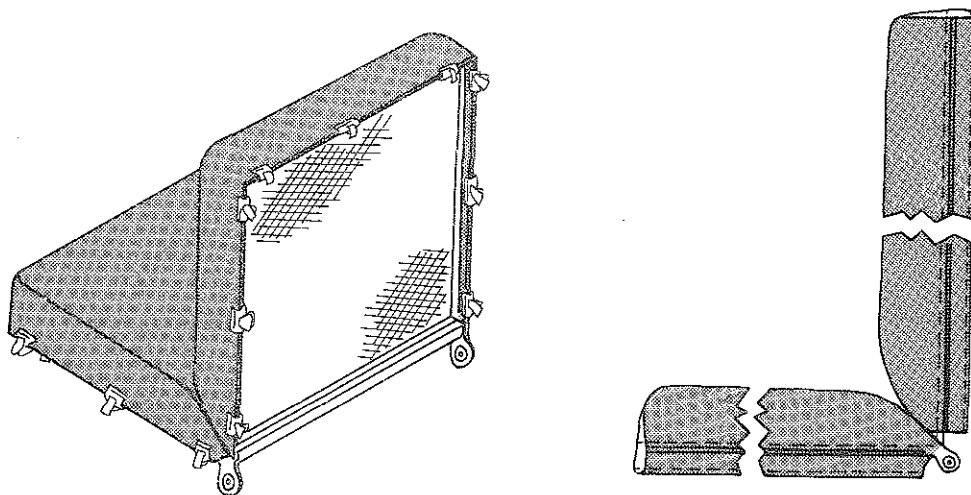
<u>Konventionell polyeter</u>		
10 25 088	från Metzeler	(densitet = 25 kg/m^3)
10 35 125	från Metzeler	(densitet = 35 kg/m^3)
<u>Högelastisk polyeter</u>		
SB 26	från Recticel	(densitet = 26 kg/m^3)
SB 37	från Recticel	(densitet = 37 kg/m^3)
<u>Konventionell polyeter med svårantändlighetstillsats</u>		
T 2760 DG	från Recticel	(densitet = 27 kg/m^3)
T 3540 DG	från Recticel	(densitet = 35 kg/m^3)
2760 DG innehåller 16 delar Fyrol FR 2 ^{*)}		
3540 DG innehåller 11.5 delar Fyrol FR 2		

^{*)} Fyrol FR 2 är en svårantändlighetstillsats, huvudsakligen bestående av trisdiklorpropylfosfat

3.3. Försökens genomförande

Vid halvskaleförsöken provades olika materialkombinationer på en provstol som var utförd enligt förslag till British Standard (DD 58:1978), [9]. Provstolen bestod av två metallramar, vardera av storleken 50x50 cm², monterade i rät vinkel mot varandra. Provstolens konstruktion framgår av figur 2. Provstolen var placerad under en huv, där rök och gaser samlas och suges ut, se figur 1.

I provstolen monterades de material som skulle testas. Först placerades stoppningsmaterialet mot rygg och sits, därefter kläddes detta med eventuell interliner och ytskikt. Klädselmaterialet spändes över stoppningsmaterialet med hjälp av en stång i vinkeln mellan rygg och sits samt fästes med klämmor runt metallramarnas kanter. De kombinationer av ytskikt, mellanskikt och stoppningsmaterial som testades redovisas i tabell A1 i appendix A.

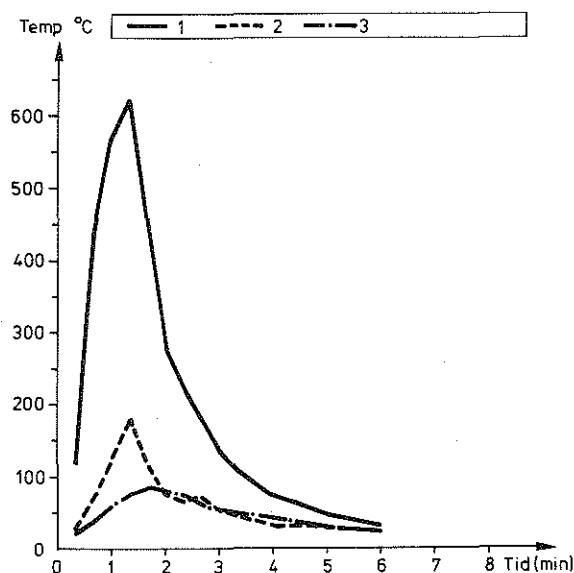


Figur 2. Provstol för halvskaleförsök - enligt förslag till British Standard [9]

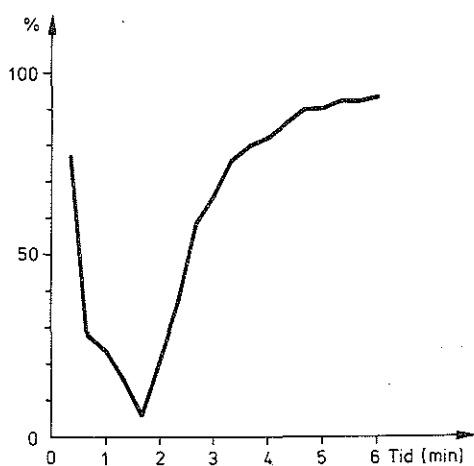
Vid halvskaleförsöken användes tre tändkällor. Dessa utgjordes av två olika stora träribbstaplar. Den stora träribbstapeln hämtades från Brandtest NT Fire 007 [10] och vägde 40g med ett teoretiskt förbränningsvärme motsvarande ca 800 kJ. Den lilla träribbstapelns vikt utgjorde en fjärdedel av den storas. Den tredje tändkällan utgjordes av två träribbstaplar på 40g. Denna tändkälla användes endast vid försök 51 där någon antändnings inte erhöles med en 40g träribbstapel. Träribbstaplarna ugnstorkades vid 100°C i 24 timmar innan de användes. Antändningen skedde med hjälp av en gasbrännare och en ställning utförda enligt Brandtest NT Fire 007. Den stora träribbstapeln antändes under 30s och den lilla under 15s. Då träribbstapeln antänts placerades den på provstolen i vinkeln mellan sits- och ryggplymå. Först gjordes försök att få antändning med den lilla träribbstapeln. I de fall då detta inte lyckades användes den stora träribbstapeln. När antändning av provmaterialen hade ägt rum startades fläkten till utsuget i huv. Under antändningsfasen var fläkten avstängd för att inte störa antändningsförloppet. Samtidigt som den brinnande träribbstapeln placerades på provstolen startades registreringen från de olika mätpunkterna. Under försökets gång noterades tider då olika händelser inträffade. Dessutom togs fotografier med ca 1 minuts mellanrum under hela försöksförloppet.

3.4. Presentation och diskussion av vid halvskaleförsöken erhållna resultat

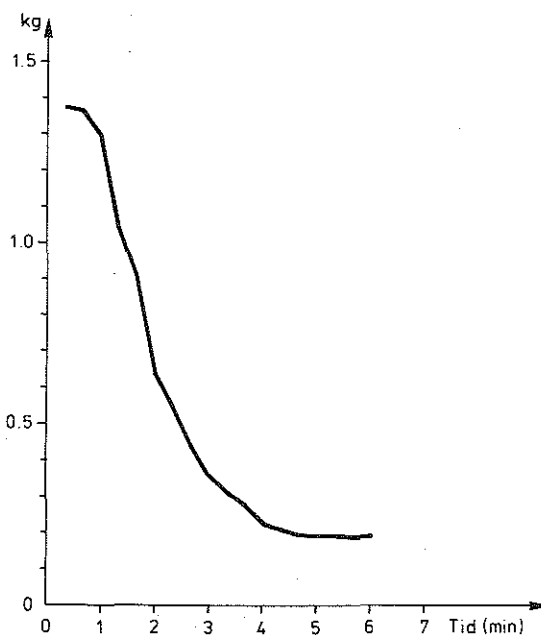
Vid försöken bestämdes tidkurvorna för temperatur, gashastighet och rökgasernas ljusgenomsläpplighet i de i figur 1 visade mätpunkterna samt provföremålets viktminskningsskurva. Exempel på erhållna tidkurvor ges i figurerna 3-8. I tabell A1 i appendix A sammanställs för samtliga 53 halvskaleförsök maximal förbränningshastighet, maximal brandgastemperatur (mätpunkt 1) och den totalt producerade mängden rök.



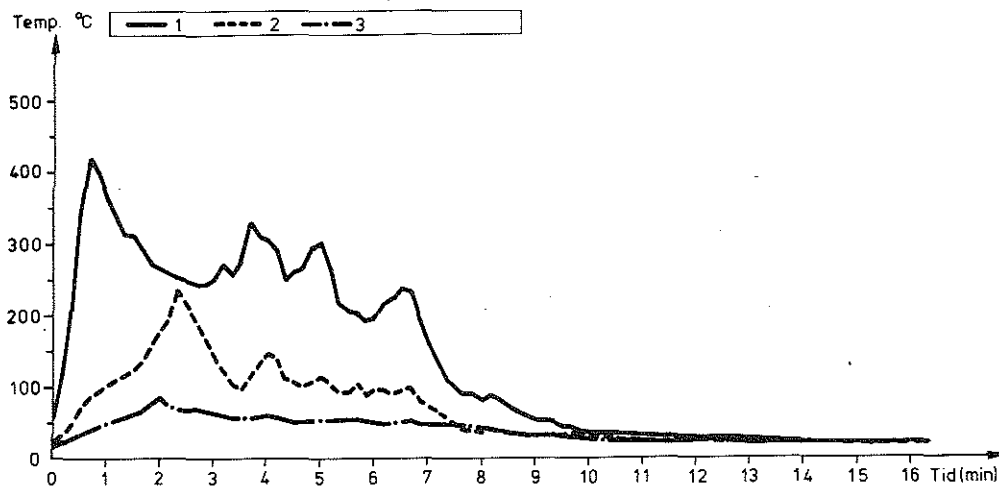
Figur 3. Temperaturkurvor för försök 2. (För material se tabell A1)



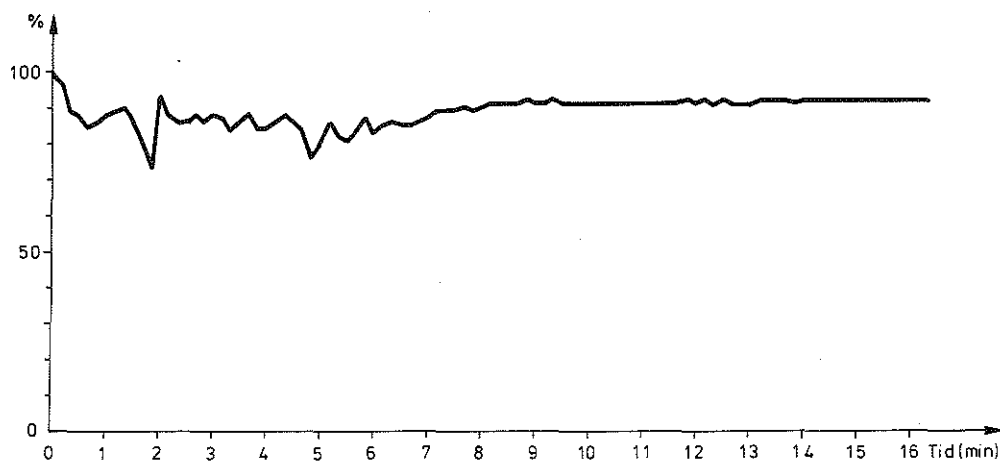
Figur 4. Rökgasernas ljusgenomsläpplighet vid försök 2. (För material se tabell A1)



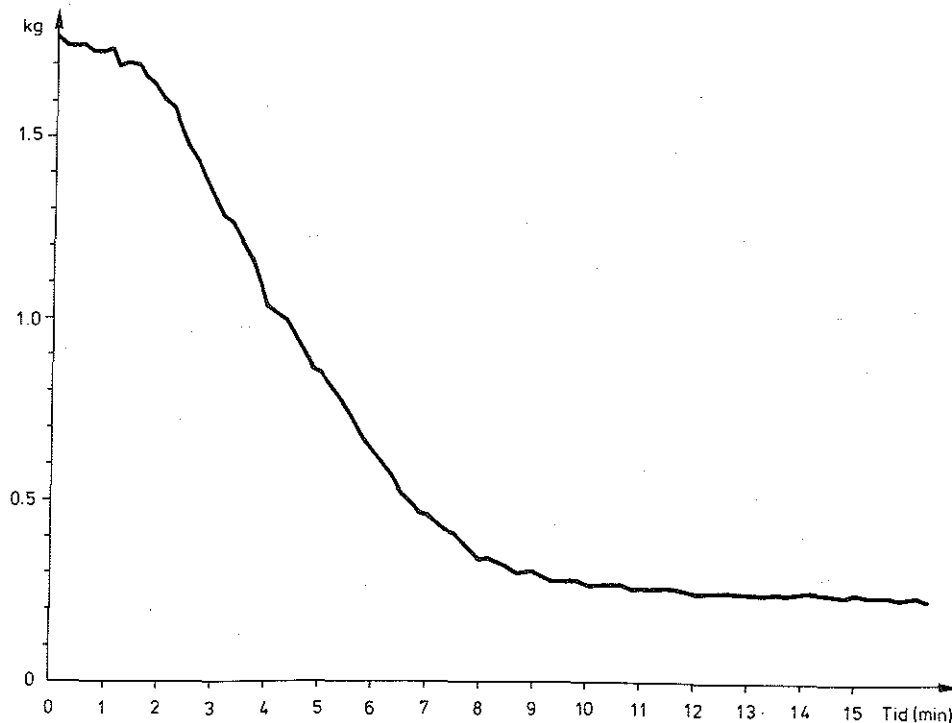
Figur 5. Viktminskningsskurva för försök 2. (För material se tabell A1)



Figur 6. Temperaturkurvor för försök 46. (För material se tabell A1)



Figur 7. Rökgasernas ljusgenomsläpplighet vid försök 46. (För material se tabell A1)



Figur 8. Viktminskningskurva för försök 46. (För material se tabell A1)

Resultatkurvorna från försök 2 och 46 har valts som exempel eftersom de representerar två helt skilda typer av förlopp. Försök 2 var mycket snabbt och gav hög temperatur och en kraftig nedsättning av rökgasernas genomsiktlighet. Försök 46 däremot var betydligt långsammare och gav lägre temperatur och en mindre nedsättning av rökgasernas genomsiktlighet.

3.4.1. Antändlighet

Materialkombinationerna antändes med hjälp av träribbstaplar på 10 (tändkälla 1) respektive 40 g (tändkälla 2).

För antändning av kombinationer med ytskikt bestående av 100% akryl, viskos, polypropen och bomull erfordras endast en träribbstapel på 10g för de tre provade typerna av stoppning. Detta gäller även för tyger av blandkvaliteter med upp till ca 50% ull. Då man förbättrar dessa kombinationer genom att lägga in ett mellanskikt fås i flertalet fall inte någon antändning med en 10g träribbstapel. Med en 40g träribbstapel erhålls däremot antändning.

De provade tyger som innehåller mer än 50% ull kräver i kombination med flertalet av de provade stoppningarna en 40g träribbstapel för att en verklig antändning ska äga rum. I några fall med interliner erhålls överhuvudtaget inte någon antändning med de typer av tändkällor som använts vid dessa halvskaleförsök. Vid försök 51 erhöles antändning då två träribbstaplar på 40g användes.

Resultaten visar sålunda att man, genom att antingen använda ett ytskikt som innehåller mer än 50% ull eller genom att använda ett svårantändligt mellanskikt, kan konstruera en stoppad möbel som motstår antändning av en 10g träribbstapel. Sammanfattningsvis kan konstateras att resultaten i stort bekräftar erfarenheterna från [5] och [6].

3.4.2. Temperatur

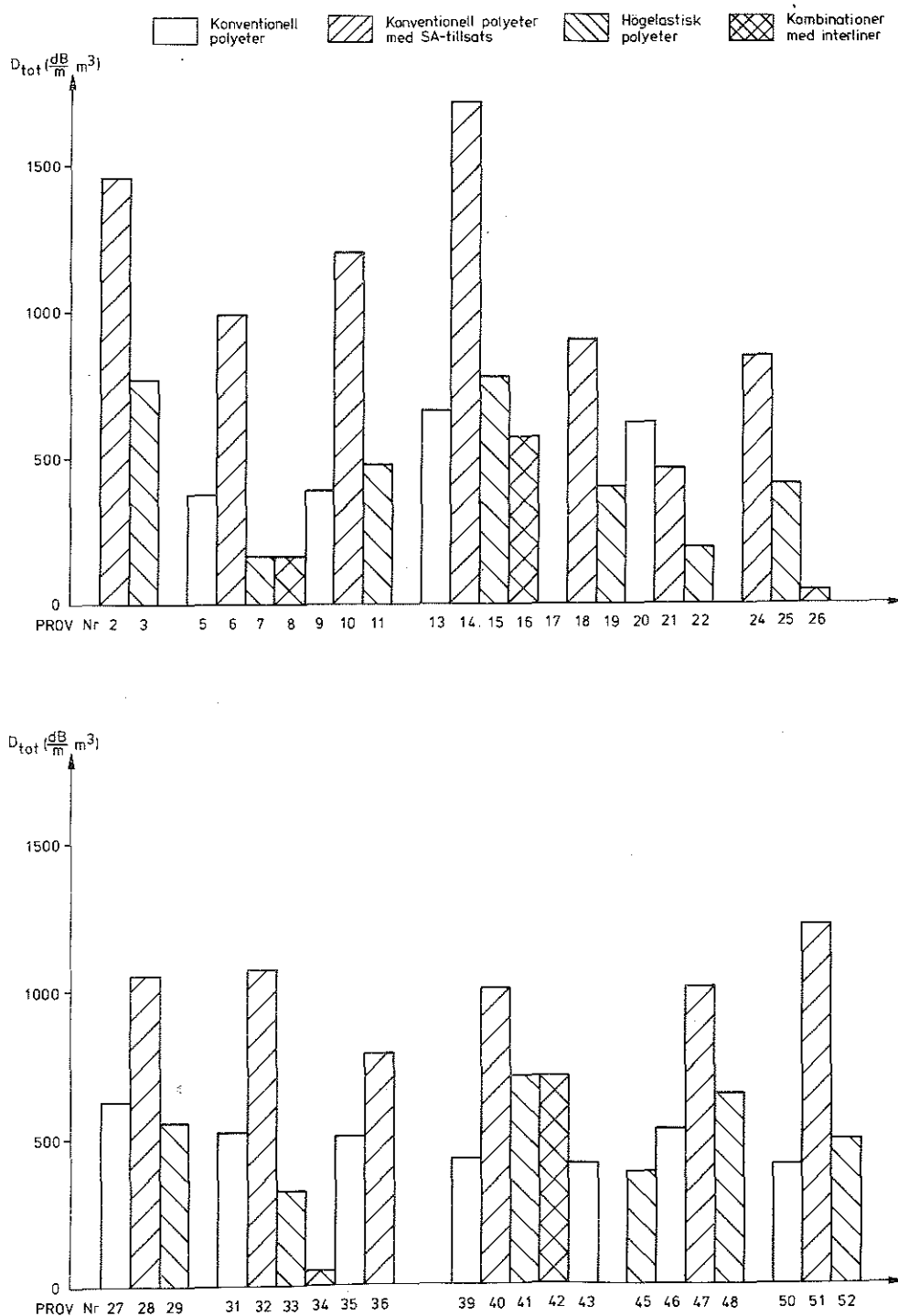
Temperaturmätningarna visar att de kombinationer som har konventionell polyeter som stoppningsmaterial i de flesta fall ger högre maximal brandgastemperatur än övriga kombinationer med samma ytskikt. Kombinationer med interliner ger lägst maximal temperatur. De kombinationer som har stoppning av höglastisk polyeter eller av konventionell polyeter med tillsats av svårantändlighetsmedel ger maximala temperaturer som i allmänhet ligger mellan de två ytterligheterna konventionell polyeter och kombinationer med interliner och stoppning av konventionell polyeter.

3.4.3. Producerad rök

När man jämför den totalt producerade mängden rök, yttryckt som $D_{tot}(\frac{dB}{m \cdot m^3})$ begreppet definieras i Appendix C), för kombinationer med samma ytskikt men med olika stoppningsmaterial framgår att konventionell polyeter med tillsats av svårantändlighetsmedel producerar avsevärt större mängder rök än övriga kombinationer. Kombinationer med interliner producerar i flertalet fall lite rök.

Det är däremot inte möjligt att ur resultaten från genomförda försök dra någon slutsats om det inbördes förhållandet mellan kombinationer med konventionell polyeter och kombinationer med höglastisk polyeter som stoppningsmaterial. Dessa kombinationer ger i många fall rökmängder av ungefär samma storleksordning. I övriga fall ger ibland den ena, ibland den andra kombinationen mest rök.

Den totalt producerade mängden rök visas i diagramform för samtliga halvskaleförsök i fig 9.



Figur 9. Mängden totalt producerad rök vid de olika halvskaleförsöken. Vid de försök som inte redovisas i figuren producerades så lite rök att det inte var möjligt att genomföra några utvärderingar

4. FULLSKALEFÖRSÖK

4.1 Uppläggning och omfattning

Från början planerades fullskaleförsöksserien utgöra den dominerande delen av projektet. Försöksserien avsåg att för olika materialkombinationer klarlägga hur riskfaktorer som flamspridningshastighet, förbränningsintensitet, rökutveckling och brandgasers giftighet kan minskas genom ändrat materialval. Som inledningsvis nämnts fann vi att kompletterande prov i delskala måste genomföras om antalet praktiskt förekommande kombinationer skulle bli tillfredsställande täckt. Samtidigt gäller dock att enbart försök med fri förbränning i delskala ej räcker. Det finns ett antal frågeställningar som bara kan belysas genom en rumsbrand i fullskala, exempelvis

- hur ser riskbilden ut vid reella möbelbränder?
- hur förhåller sig uppmätta värden på riskfaktorer till fysiologiska gränsvärden?
- kan resultaten korreleras till prov utförda i en mindre skala?

Problemen med fullskaleförsök ligger bl a i att uppmätta resultat endast gäller för den specifika försökssituationen. En förändring i en försöksparameter, exempelvis brandrumsgeometri, möbelns placering i brandrummet, storleken av antändningskällan, storlek och placering av dörrar, fönster och andra ventilationsöppningar, mätpunktens placering, förskjuter på ett i regel svårbedömt sätt mätresultaten och möjligen även den relativa brandriskgraderingen mellan olika produkter. Samtidigt är försök av denna typ så kostnadskrävande att kontrollförsök eller känslighetsundersökningar kan genomföras endast i mycket begränsad omfattning. Detta gör att försöksgeometri och andra försöksparametrar entydigt måste definieras och väljas från två utgångspunkter: dels ska riskmönstret svara mot ett i verkligheten ofta förekommande fall, dels ska försöksuppställning och instrumentering väljas så att resultaten med hjälp av framtagna matematiska modeller i görligaste mån kan generaliseras till andra brandsituationer. Mot denna bakgrund valdes den försöksutformning som redovisas i följande avsnitt.

Ett annat delproblem utgörs av frågan hur ett fullskaleförsök ska instrumenteras för att kartlägga riskbilden på samma gång som databearbetningsvolym och ekonomisk insats hålls inom rimliga gränser.

De materialkombinationer som testades vid fullskaleförsöken redovisas i tabell 4.

Tabell 4. Vid fullskaleförsöken undersökta kombinationer av ytskikt, mellanskikt (interliner) och stoppningsmaterial

Försök nr	Ytskikt	Interliner	Stoppning
1	Akryl 100%	-	Konventionell polyeter
2	Akryl 100%	-	Konventionell polyeter
3	Akryl 100%	-	Konventionell polyeter med SA-tillsats
4	Ull 100%	-	Konventionell polyeter
5	Akryl 100%	-	Konventionell polyeter
6	Ull 61%, viskos 39%	-	Konventionell polyeter
7	Ull 61%, viskos 39%	-	Högelastisk polyeter
8	Ull 61%, viskos 39%	-	Konventionell polyeter med SA-tillsats
9	Ull 61%, viskos 39%	Firend	Konventionell polyeter
10	Ull 61%, viskos 39%	Vonar	Konventionell polyeter
11	Ull 61%, viskos 39%	Kynol	Konventionell polyeter

4.2. Försöksuppställning

En mer allmän genomgång av den använda försöksuppställningen ges i [11].

4.2.1. Försöksrum

Försöken genomfördes i ett rum av storleken $2.4 \times 3.6 \text{ m}^2$ med en höjd på 2.4 m. Mitt på ena kortsidan fanns en dörröppning 0.8 m bred och 2.0 m hög. Försöksrummet har omslutande konstruktioner av 0.15 m lättbetongplank och är uppfört i brandhallen vid laboratoriet för brandteknik vid SP i Borås. Rummet står på en grund av hålstensblock 0.7 m ovanför golvet för att ge åtkomlighet för montering av instrument underifrån.

4.2.2. Testmöbel

Den testmöbel som användes vid fullskaleförsöken var en soffa avsedd för tre personer. Soffan utgjordes av en metallstomme och på denna placerades plymåer. Tre ryggplymåer, tre sitsplymåer och två armstödsplymåer användes till varje soffa. Soffan var 1.9 m lång och 0.62 m djup. Ryggstödet höjd var 0.54 m och sitsplymåernas underkant var 0.3 m från den vågplatta på vilken soffan var placerad. Ryggplymåerna var av storleken $0.55 \times 0.42 \times 0.12 \text{ m}^3$, sitsplymåerna var av storleken $0.55 \times 0.65 \times 0.12 \text{ m}^3$ och armstödsplymåerna var av storleken $0.65 \times 0.25 \times 0.12 \text{ m}^3$.

4.2.3. Val av antändningskälla

Som antändningskälla användes en vätskebrännare med heptan som bränsle. Brännaren var i princip en cylinder med diametern 0.2 m. Brännaren fylldes till hälften med vatten och därefter fylldes heptanen på. Heptan är lättare än vatten och kommer därför att flyta ovanpå vattnet.

Vid försöken 1-4, 6-8 användes 0.1 l heptan och vid försöken 9-11 användes 0.5 l heptan. Använd med 0.1 l heptan gav brännaren en effektutveckling av ca 20 kW under 2.5-3 min. Motsvarande siffror för 0.5 l heptan är ca 30 kW under 8-10 min. Brännarens storlek var vald för att åstadkomma en säker och reproducerbar antändning på samma gång som totala effektutvecklingen skulle vara försumbar jämförd med testmöbelns. Den utvecklade effekten motsvarar branden i t ex en mindre papperskorg av polyeten. Brännaren placerades vid framsidan av soffans ena armstöd.

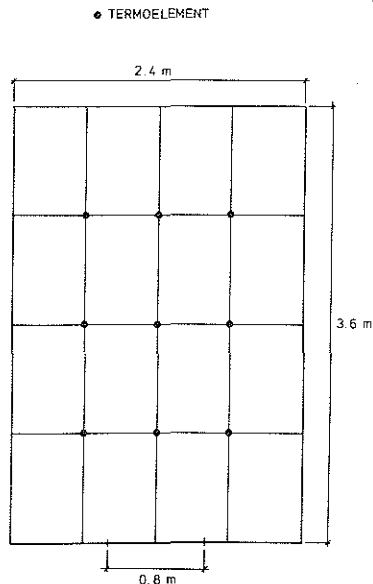
Vid försök 5 antändes soffan med en träribbstapel på 40g, dvs en av de antändningskällor som använts vid halvskaleförsöken.

4.2.4. Instrumentering vid försöken 1-5

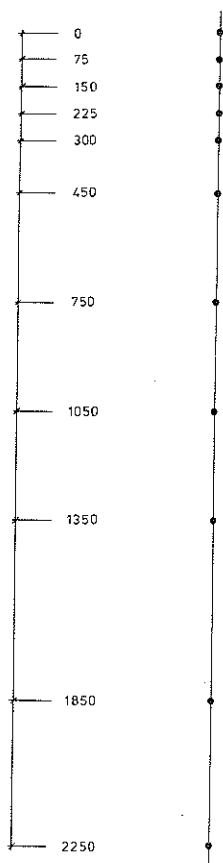
Temperatur

Vid den första serien fullskaleförsök mättes temperaturen i 34 punkter i försöksrummet. Dessa var placerade ca 7.5 cm under taket, längs en vertikal profil mitt i rummet samt längs en vertikal profil i dörröppningen. Placeringen framgår av fig 10, 11 och 12.

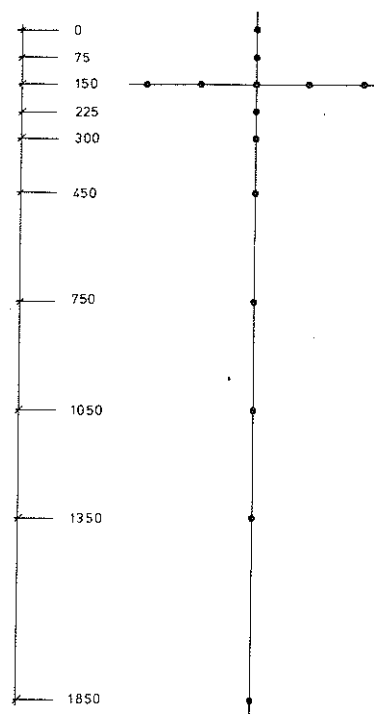
Termoelementen var av typ chromel-alumel med en diameter på 0.50 mm.



Figur 10. Placering av termoelement i taket vid försöken 1-11



Figur 11. Placering av termoelement i rummets centrum vid försöken 1-5



Figur 12. Placering av termoelement i dörröppningen vid försöken 1-5

Värmefflöde och strålning

Värmefflödesmätare fanns monterade i takets centrum, golvets centrum och i golvet nära dörren. Dessa mätare var av typen "FRS-heat flux meter" [12], som mäter det totala värmefflödet, dvs summan av strålning och konvektion. Ren strålningsmätning utan konvektionsandel gjordes med "Gunnarsmätare" [8] som fanns monterade i golvets centrum och i bakre kortväggen.

Viktminskning

Soffan var placerad på en vågplatta, som möjliggjorde en kontinuerlig registrering av massförlusten vid förbränning. Lastcellerna var placerade under golvet i rummet för att skyddas från värmepåverkan. Mätnoggrannheten uppskattas ligga i området 20-50g.

Gasflöden

Gasflödet ut ur och in i rummet mättes med 4-7 pitotrör placerade i dörröppningen. Pitotrören var av typen "bidirectional probes" [7].

Rökgasernas genomsiktlighet

Rökgasernas genomsiktlighet mättes med en lampa och en fotocell. Lampan var placerad ovanför dörröppningen och fotocellen vid golvnivån utanför rummet.

Utgående rökgasers sammansättning

De utgående rökgaserna analyserades kontinuerligt med avseende på syrgas (O_2), kolmonoxid (CO) och nitroxa gaser (NO_x). Intermittent analyserades rökgaserna också med avseende på koldioxid (CO_2), väteklorid (HCl) och vätecyanid (HCN).

- O_2 - analyserades med instrument av typen Hartman & Braun, Magnos 5
- CO - halten bestämdes med IR-instrument, MIRAN IA
- NO_x - halten bestämdes med kemiluminiscensinstrument, Beckman 952
- CO_2 - analyserades med Dräger-rör
- HCl - och HCN-halten bestämdes genom uppsamling av gas i natriumhydroxid-lösning (0.5 mol/l) och därpå följande analys med jonselektiva elektroder.

4.2.5. Instrumentering vid försöken 6-11

Temperatur

Vid den andra fullskaleförsöksserien mättes temperaturen i 37 punkter i försöksrummet. Dessa var placerade ca 7.5 cm under taket, längs en vertikal profil mitt i rummet samt längs en vertikal profil i dörröppningen. Placeringen framgår av fig 10, 13 och 14.

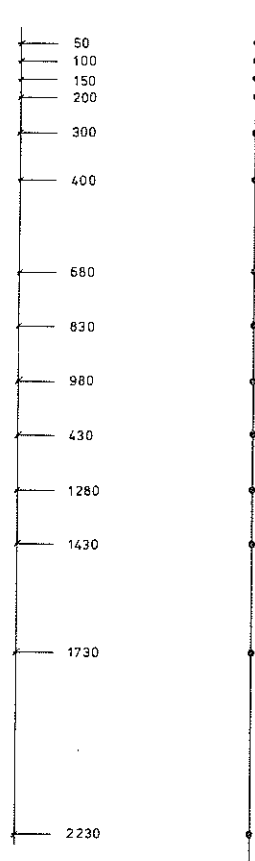
Termoelementen var av typ chromel-alumel med en diameter på 0.25 mm. Anledningen till den minskade dimensionen på termoelementen jämfört med den första försöksserien, var att få en något bättre mätning eftersom de tunna termoelementen är mindre känsliga för strålningspåverkan än de grövre.

Värmeflöde och strålning

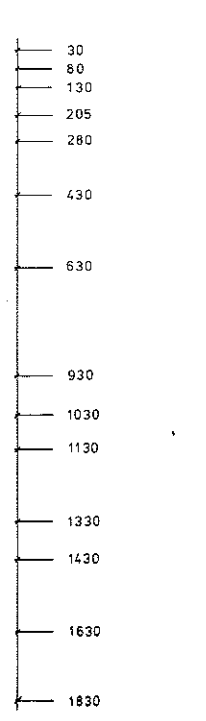
Samma instrumentering som vid försök 1-5.

Viktminskning

Samma instrumentering som vid försök 1-5.



Figur 13. Placering av termoelement i rummets centrum vid försöken 6-11



Figur 14. Placering av termoelement i dörröppningen vid försöken 6-11

Gasflödesmätning

Gasflödet ut ur och in i rummet mättes med 14 pitotrör placerade i dörröppningen på samma nivåer som termoelementen i fig 14. Pitotrören var av typen "bidirectional probes" [7].

Rökgasernas genomsiktighet

Samma instrumentering som vid försök 1-5.

Utgående rökgasers sammansättning

De utgående rökgaserna analyserades kontinuerligt med avseende på syrgas (O_2), kolmonoxid (CO), koldioxid (CO_2), totalhalt kolväten ($(CH)_{tot}$) och nitrosgaser (NO_x). Uppsamling av prov för analys med avseende på väteklorid (HCl) och vätecyanid (HCN) gjordes intermittent.

O_2 - analyserades med instrument av typen Hartman & Braun, Magnos 5

CO_2 , CO och $(CH)_{tot}$ - analyserades med Scott Emission Analyzer

NO_x - analyserades med kemiluminiscensinstrument, Beckman 952

HCl - och HCN - halten bestämdes genom uppsamling av gas i natriumhydroxidlösning (0.5 mol/l) och därpå följande analys med jonselektiva elektroder.

4.3. Översiktlig resultatsammanställning

4.3.1. Allmänna observationer från försök 1-11

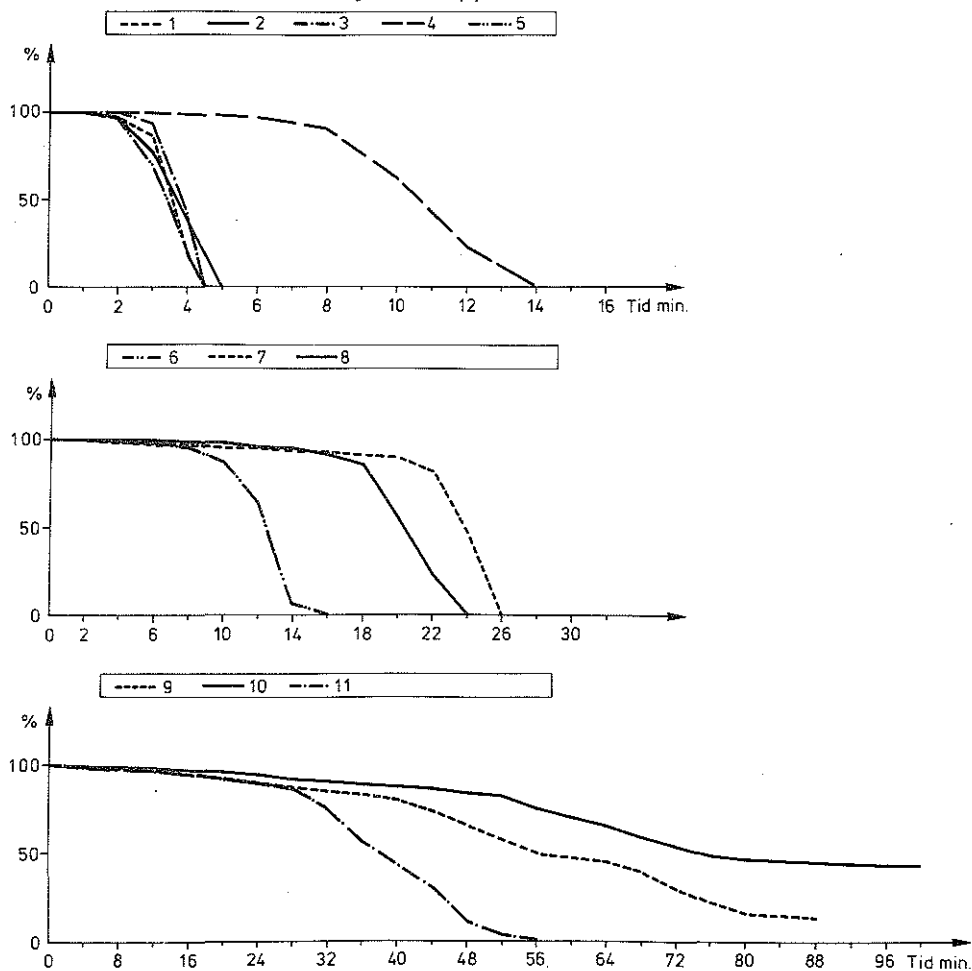
I tabellerna A2-A12 i Appendix A redovisas allmänna observationer från försöken 1-11. Tidpunkter anges för karakteristiska händelser.

Sammanfattningsvis illustrerar observationerna i tabellerna A2-A12 att flamspridningshastigheten kraftigt varierar beroende på val av ytskikt. Även närvaro av interliner påverkar i hög grad brandens spridning över möbeln. Samma iakttagelser återkommer vid halvskaleförsöken. Slutsatsen blir att produktens flamspridningsegenskaper kan vara minst lika avgörande för brandens utveckling som förbränningshastigheten i sig uttryckt i viktninskning per tids- och ytenhet. Ett annat sätt att säga detta är att ytskiktet har minst lika stor betydelse som valet av stoppningsmaterial.

Bild 1-4 från försök 2 ger en uppfattning om hur snabbt ett brandförlopp i en stoppad möbel kan utvecklas.

4.3.2. Viktninskning

Kurvor över viktninskningförloppen vid försöken 1-11 redovisas i fig 15.



Figur 15. Viktninskningsskurvor för försöken 1-11
(Observera de olika tidsskalorna)



Försök 2 (stoppling av konventionell polyeter med ytskikt av 100% akryl) efter 30 s



Försök 2 efter 1 min 10 s



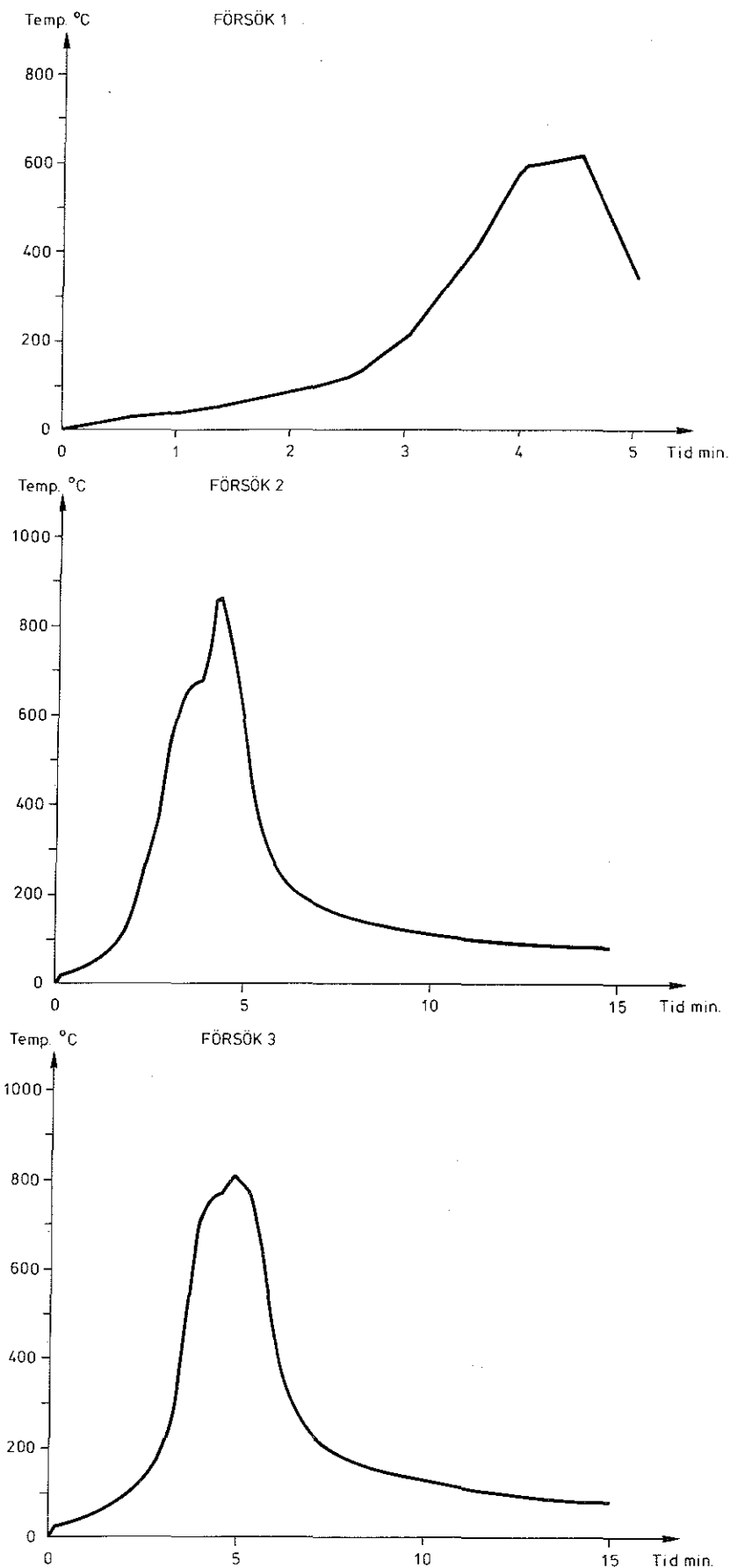
Försök 2 efter 1 min 40 s



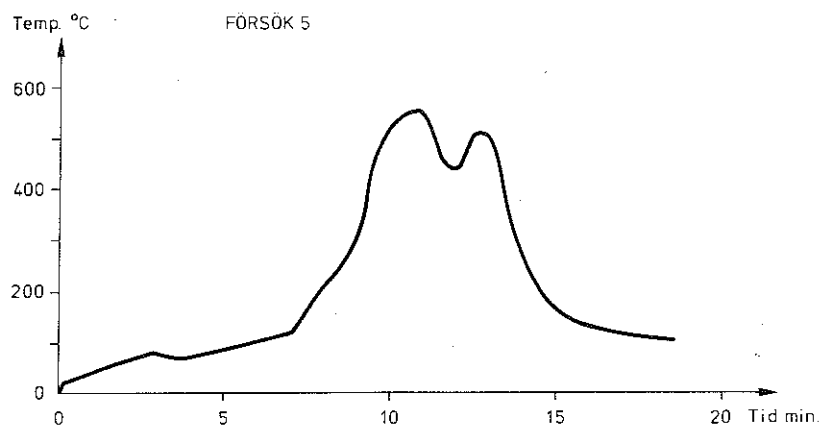
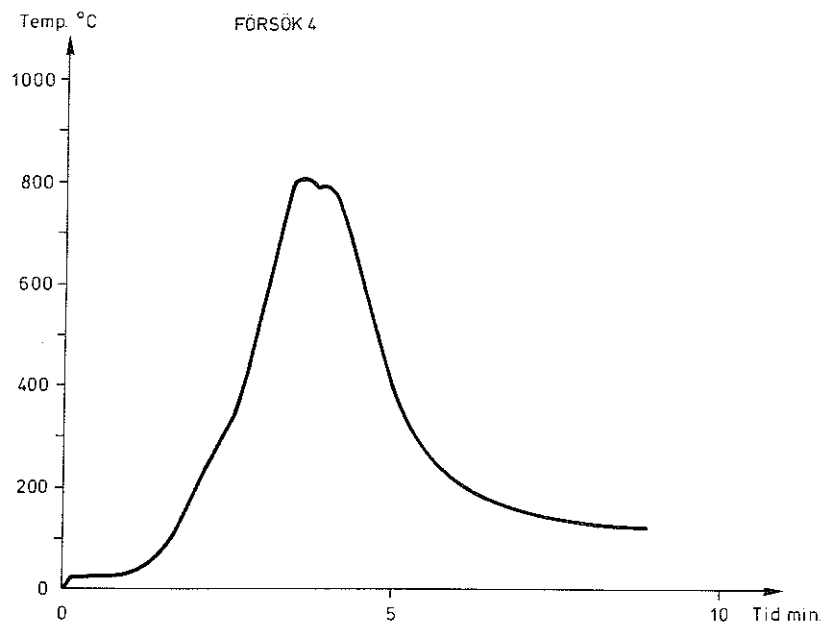
Försök 2 efter 3 min 10 s

4.3.3. Temperatur i utgående rökgaser

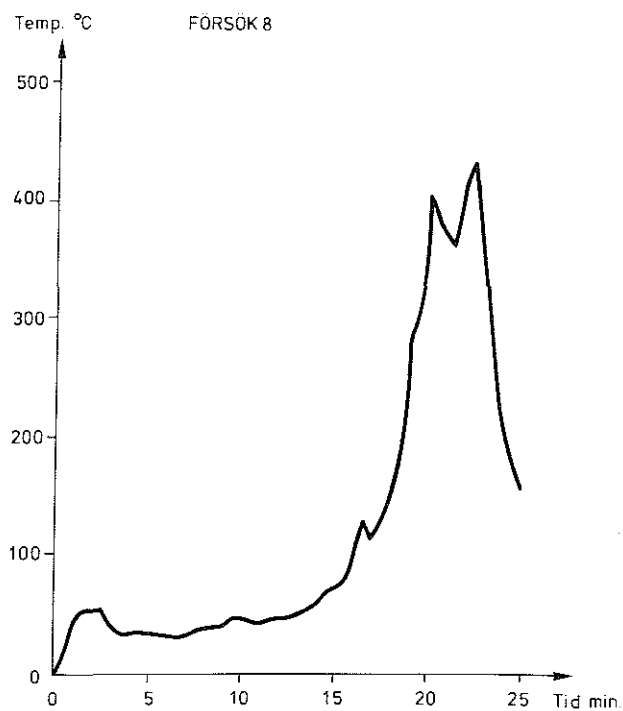
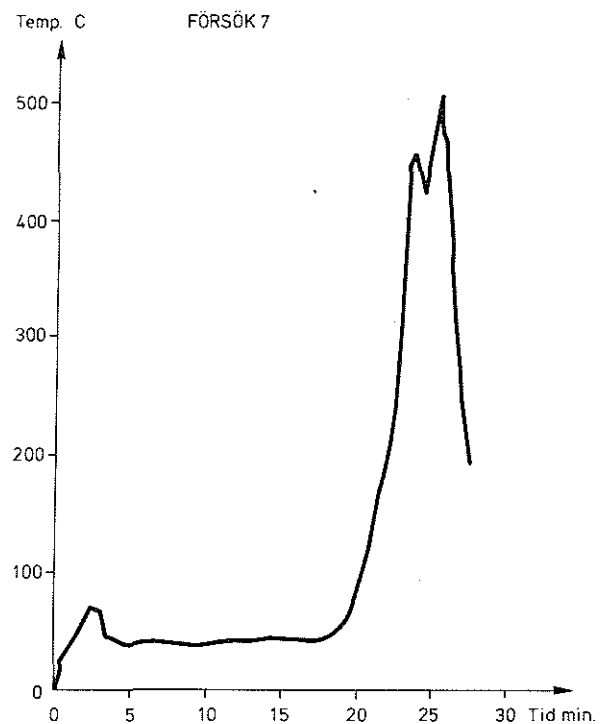
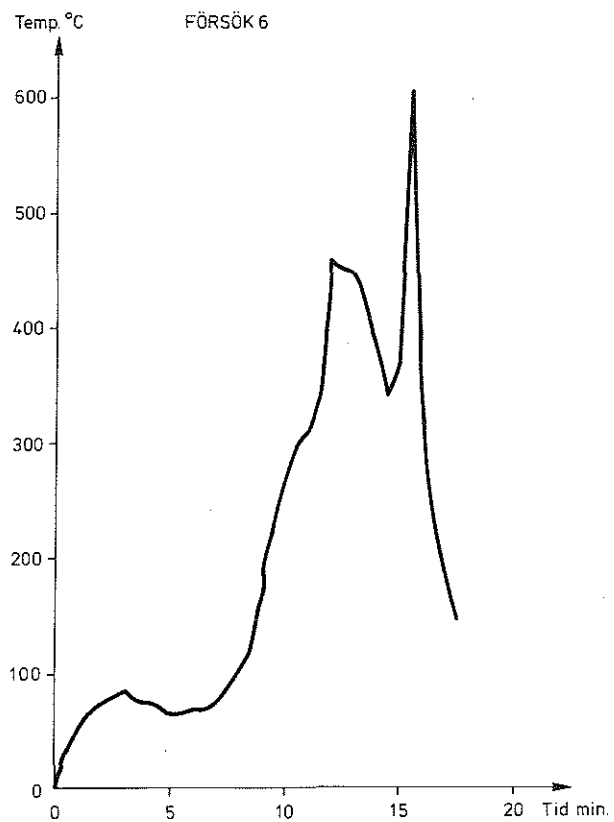
Tidkurvan för temperaturen i utgående rökgaser vid försöken 1-11 redovisas i fig 16-19. Värdena för mätpunkterna ovanför öppningens neutrallager ligger mycket nära varandra och redovisas därför av en gemensam kurva.



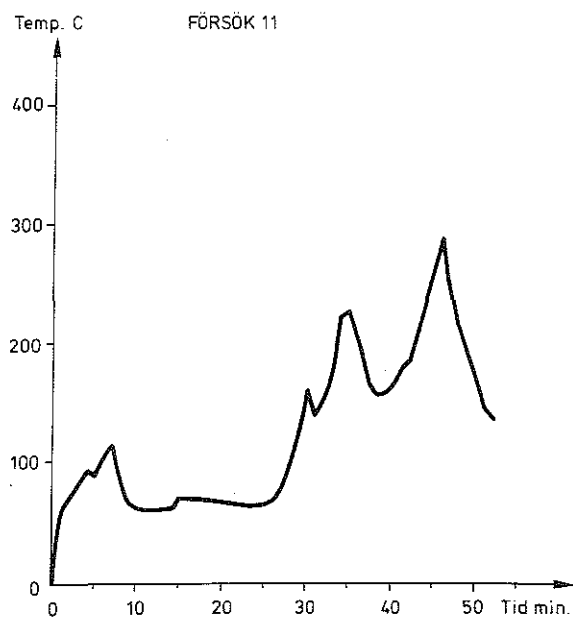
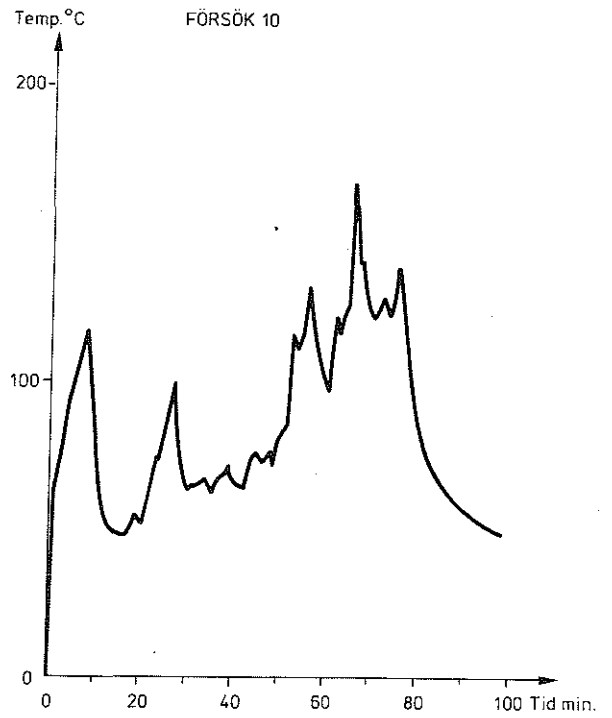
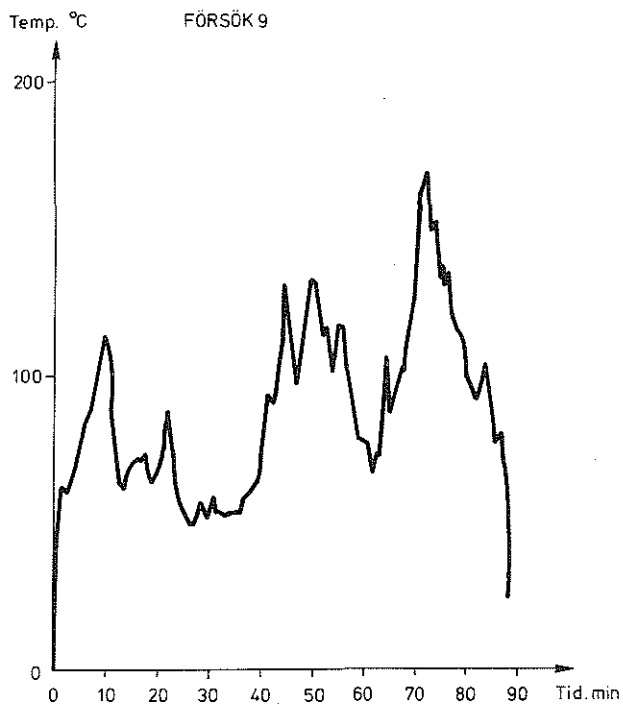
Figur 16. Temperatur i utgående rökgaser vid försöken 1-3
(Observera de olika tidskalorna)



Figur 17. Temperatur i utgående rökgaser vid försöken 4-5
(Observera de olika tidskalorna)



Figur 18. Temperatur i utgående rökgaser vid försöken 6-8
(Observera de olika tidskalorna)



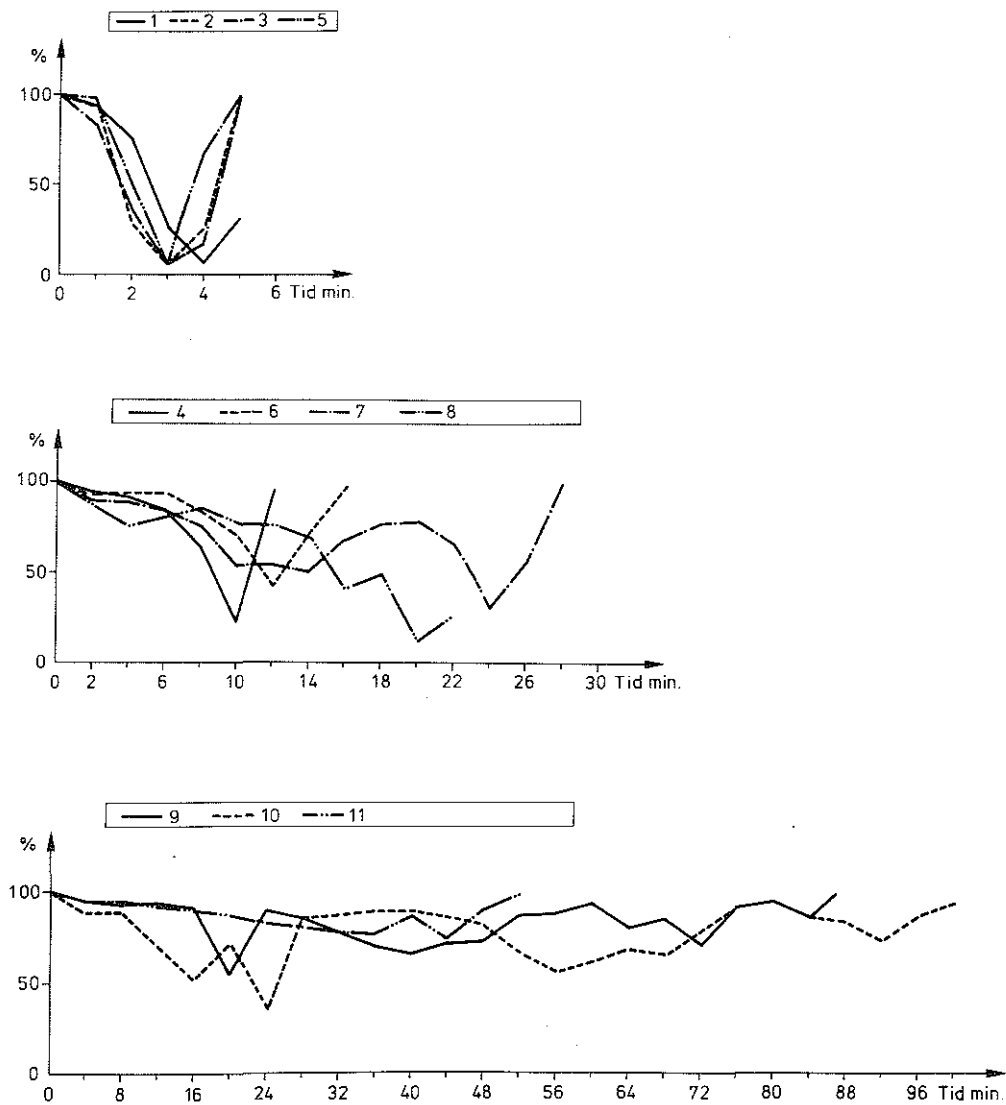
Figur 19. Temperatur i utgående rökgaser vid försöken 9-11
(Observera de olika tidskalorna)

4.3.4. Rökgasernas ljusgenomsläpplighet

Ljusgenomsläppligheten i de utgående rökgaserna visas i fig 20.

4.3.5. Analys av utgående rökgas

Koncentrationen av olika gaskomponenter i de utgående rökgaserna redovisas i tabell 5.



Figur 20. Utgående rökgasers ljusgenomsläpplighet vid försöken 1-11
(Observera de olika tidskalorna)

Tabell 5. Rökgasernas sammansättning vid fullskaleförsöken 1-11

Försök	Syrgas minimi- värde %	Koldioxid maximivär- de %	Kolmonoxid maximivär- de %	Nitrösa gaser maximivärde ppm	Väteklorid mg/m ³	Vätecyanid mg/m ³	Totalhalt kolväten maximivärde ppm
1	10.9	-	0.07	_1)	_2)	70	-
2	9.7	>1	0.12	_1)	_2)	80	-
3	8.1	>1	0.11	_1)	_2)	60	-
4	11.8	>6	0.05	_1)	_2)	10	-
5	7.6	-	0.08	_1)	_2)	60	-
6	16.5	>5	0.26	>25	<3.5	20	22
7	15.5	25	0.19	25	<3.5	80	45
8	16.4	18.8	0.12	30	<3.5	100	-
9	19.6	12.8	0.34	22	<3.5	5	22
10	20.1	13.5	0.40	12.5	<3.5	5	100
11	18.6	19.5	0.23	23	<3.5	15	-

1) fel på mätutrustningen

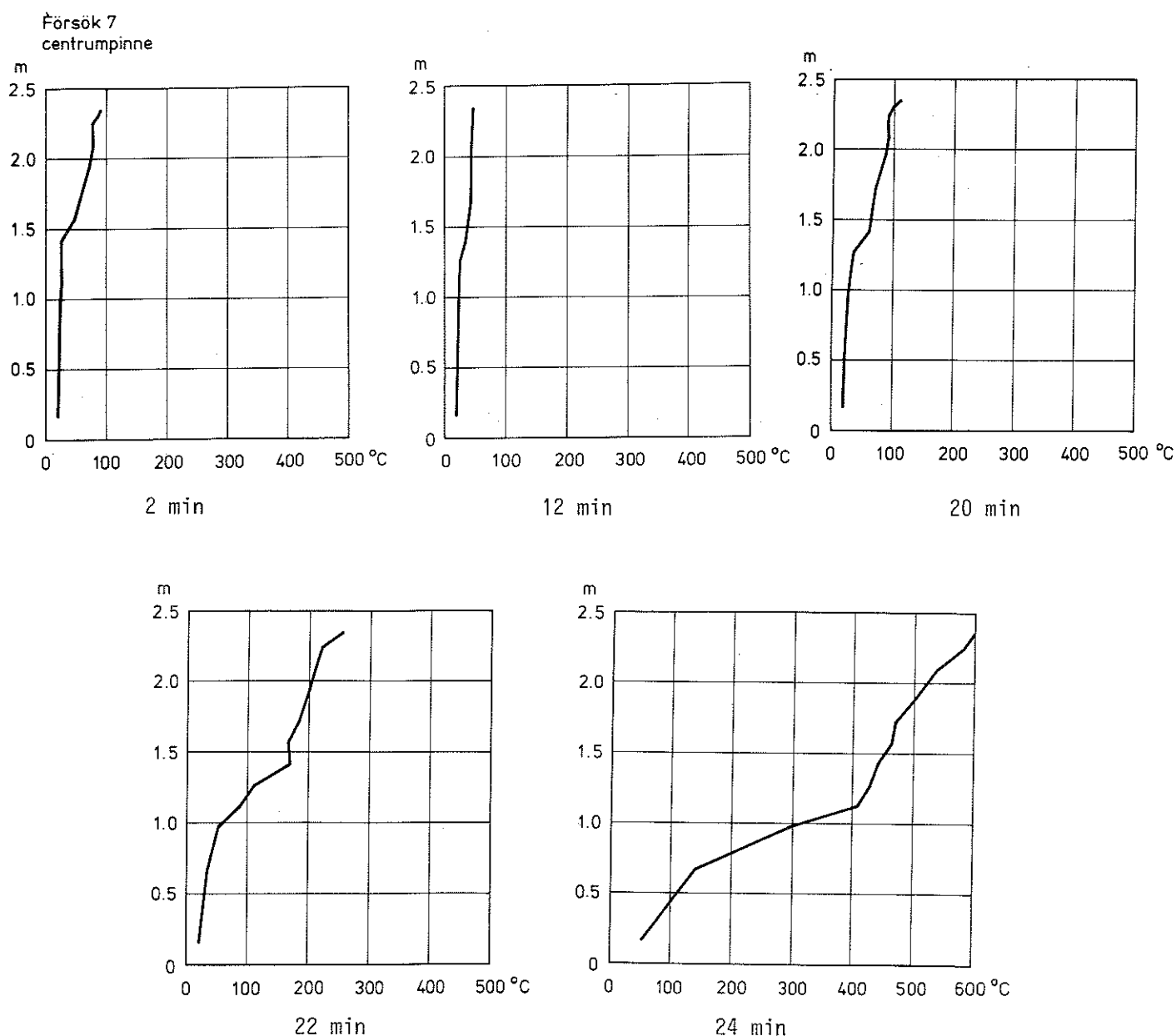
2) otillräcklig provtagning

4.4. Detaljredovisning av försöksdata från försök 7

I avsnitt 4.3 redovisas selektivt översiktsdata från samtliga fullskaleförsök 1-11. För att ge en uppfattning om hur rådata bearbetats ges här en detaljredovisning av bearbetade försöksdata för försök 7. Samma typ av data finns registrerade för alla försöken.

4.4.1. Temperaturprofil i rummets centrum

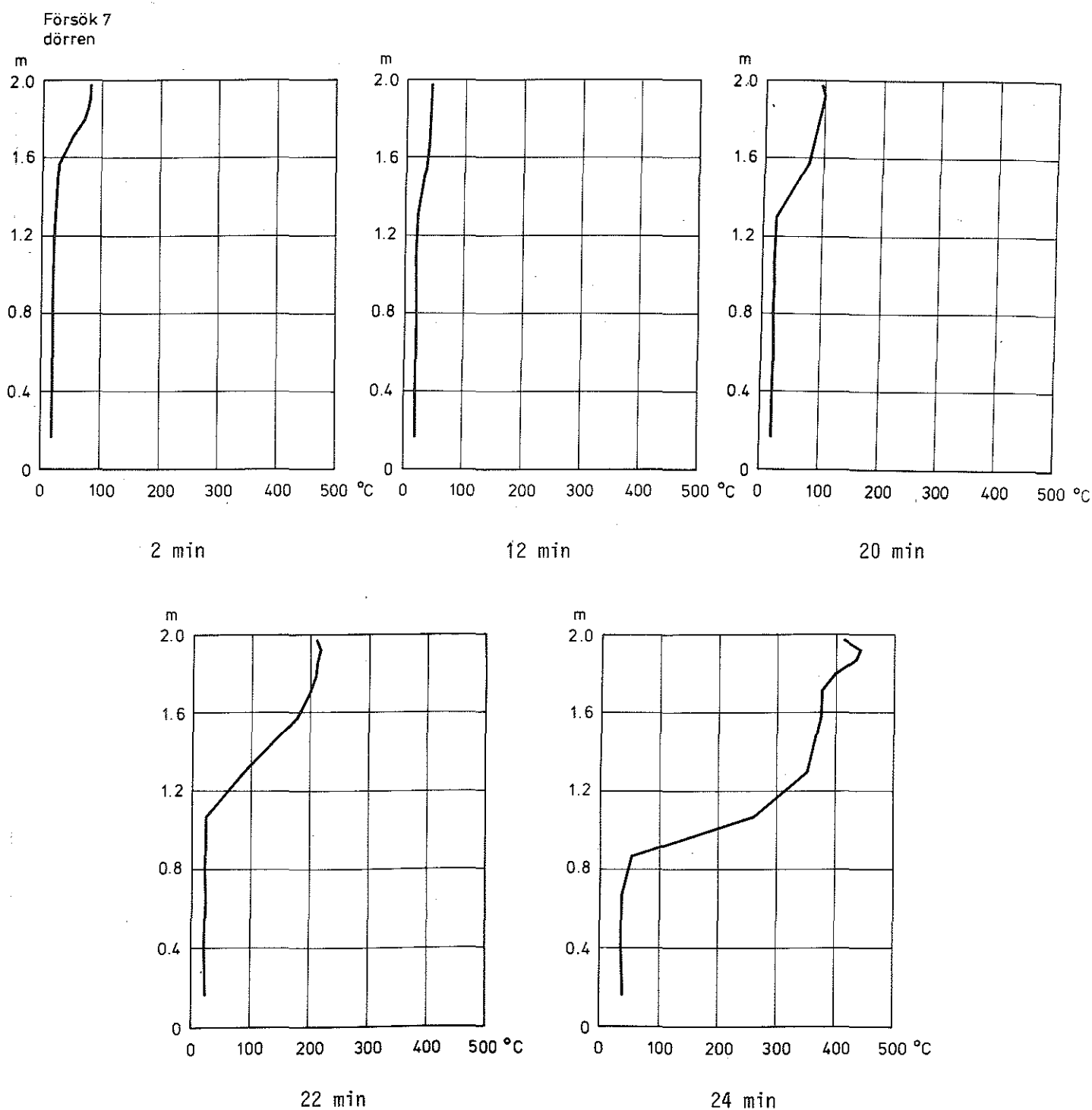
I fig 21 visas hur den vertikala temperaturprofilen i rummets centrum ser ut vid olika tidpunkter under försöket.



Figur 21. Vertikala temperaturprofiler i rummets centrum vid olika tidpunkter under försök 7

4.4.2. Temperaturprofil i dörröppningen

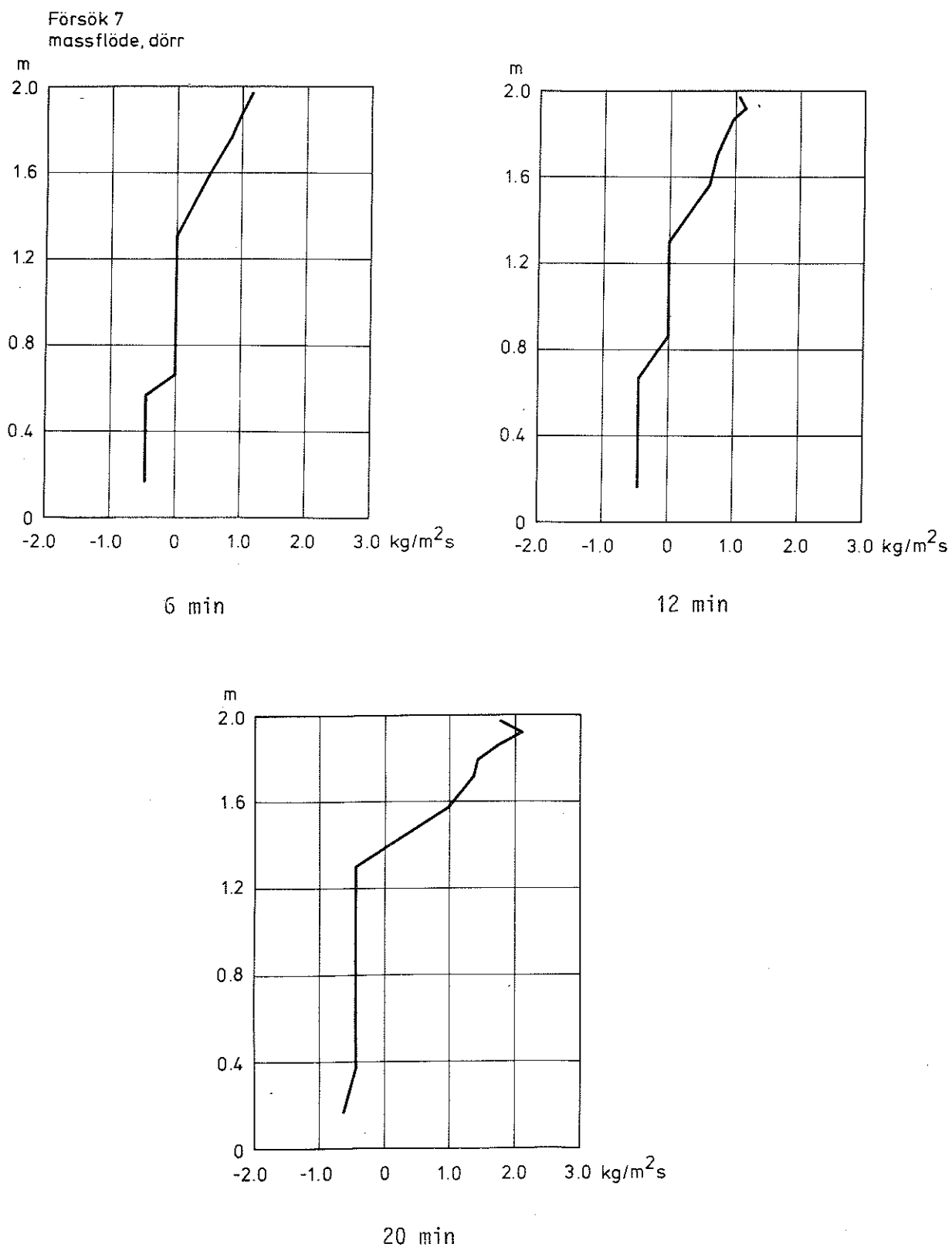
I fig 22 visas hur den vertikala temperaturprofilen i dörröppningen varierar under försökets gång.



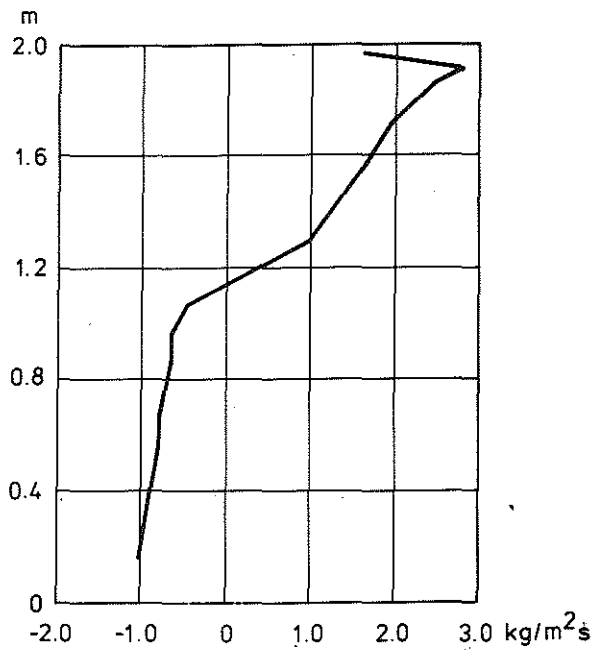
Figur 22. Vertikala temperaturprofiler i dörröppningen vid olika tidpunkter under försök 7

4.4.3. Massflödesprofiler

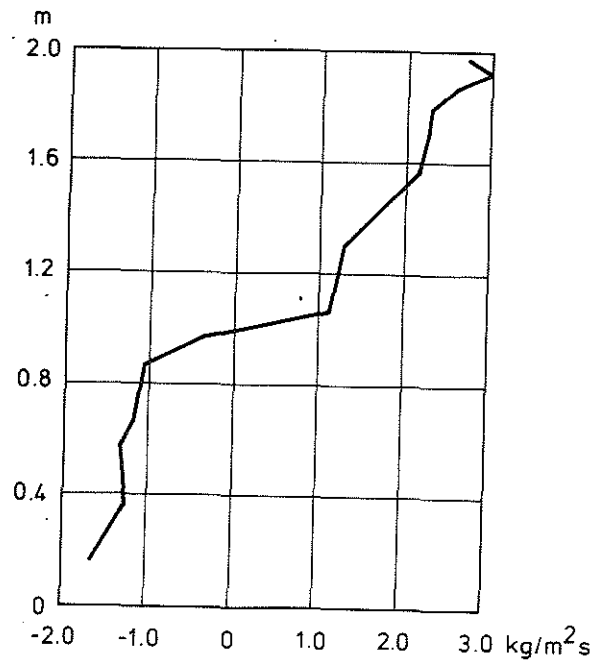
I fig 23 visas hur stort massflödet ut ur och in i rummet är vid olika tidpunkter under försöket.



Figur 23. Massflödets fördelning över dörröppningen och variation med tiden under försök 7



22 min

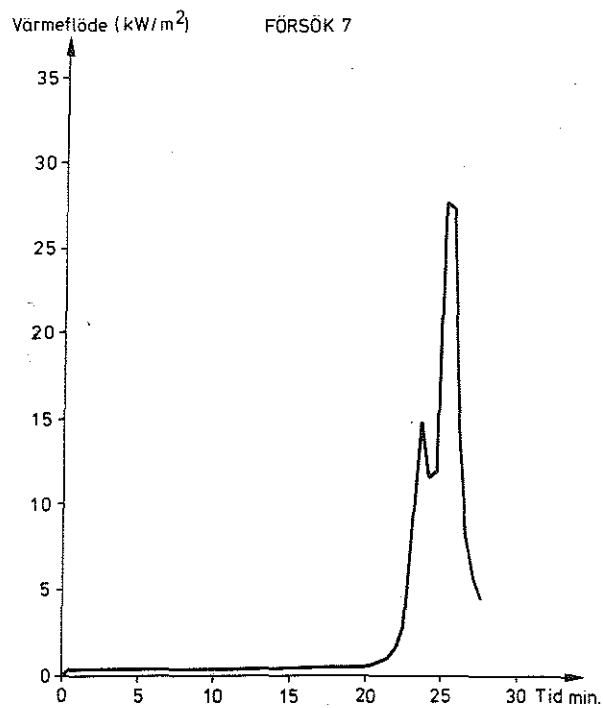


24 min

Figur 23 forts.

4.4.4. Värmefflöde in i omgivande konstruktioner

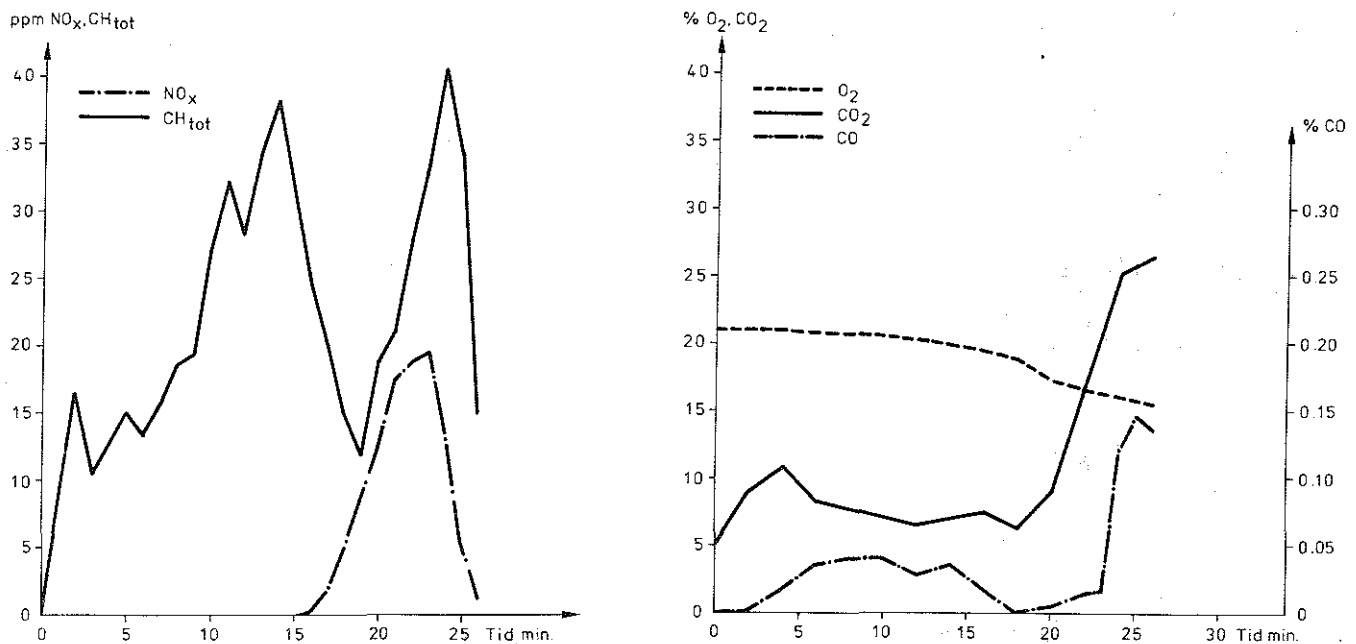
Figur 24 visar värmefflödet mot golvet under försöket.



Figur 24. Värmefflöde mot golvet under försök 7

4.4.5. Gaskoncentrationer

I fig 25 återges hur koncentrationerna av syrgas (O_2), koldioxid (CO_2), kolmonoxid (CO), nitrosa gaser (NO_x) och totalhalt kolväten (CH_{tot}) varierar under försöket.



Figur 25. Gaskoncentrationer under försök 7

4.5. Struktur på resultatbearbetning och riskanalys

Som framgår av avsnitt 4.3 är mängden försöksdata mycket stor och, presenterad i sin obearbetade form, relativt överskådlig. Bearbetningen av försöksdata kan göras från ett antal utgångspunkter. Alternativa sätt att utvärdera dessa data är bl a att

- direkt använda försöksdata för att beskriva miljön inne i själva brandrummet under pågående brand och ange de tidpunkter då olika riskfaktorer (gastemperaturer, koncentrationen av kolmonoxid, koldioxid och andra skadliga gaser, syrekoncentration, strålningspåverkan, rökgasers genomsiktlighet) nått kritiska värden så att en säker utrymning ej längre kan ske,
- använda försöksdata för att beräkna faktorer av grundläggande betydelse för produktens brandriskprofil, t ex frigjord värmeeffekt Q eller mängd och genomsiktighet hos producerad rök,

- C. använda faktorer beräknade under B till att beskriva utrymningssituationen i lokaler eller utrymmen gränsande till brandrummet, t ex hall eller korridor. Brandrummet antages här identiskt med det använda försöksrummet,
- D. använda försöksdata beräknade under B som input till existerande matematiska modeller och transformera branden i försöksrummet till brand i en lokal av annan storlek och med annan geometrisk utformning,
- E. korrelera resultaten från försöken i halv- och fullskala.

De ovan nämnda utvärderingsmöjligheterna har bestämt strukturen på den fortsatta behandlingen av data från fullskaleförsöken.

5. RISKANALYS FÖR UTFORMNING AV ETT BRANDRUM IDENTISKT MED FÖRSÖKSRUMMET

Risk för personskada vid inträffad brand beror på kombinationen av exponeringstid och exponeringsnivå för en rad skadliga faktorer: försämrad sikt till följd av förekomsten av rökgaslager, förhöjd temperatur i inandningsluften, infallande värmestrålning mot oskyddad hud och koncentration av giftiga gaser i inandningsluften. Ett försök att sammanfatta mätdata i detta avseende görs i tabell 6, där för samtliga försök anges maximivärden eller tidpunkt för kritiska värden för ett antal skadefaktorer. Värdena i tabell 6 kan antagas relevanta antingen för att bedöma riskerna vid en direkt utrymning av brandcellen eller, vilket kanske är mera realistisk, uppskatta den tidsmarginal som är tillgänglig för att föra människor i säkerhet. Tabellvärdena kommenteras närmare nedan,

Gastemperatur

Temperaturen i övre gaslagret når i de flesta fall mycket snabbt livshotande nivå. Som sådan har här valts 150°C , se vidare kap 4 i [3].

Som kortfattat nämns i Appendix B utgör temperaturen i övre gaslagret och åtföljande strålningsintensitet en direkt indikation på risken för spontan antändning av brännbara inredningskomponenter. Sker detta övertänds i regel snabbt hela brandrummet. Som gränsvärde för temperaturen vid övertändning har antagits 600°C i övre rökgaslagret. Förhållandena i brandcellen har då gått långt förbi det stadium då överlevnad är tänkbar för en person som befinner sig i rummet. En mer relevant faktor för utrymningsmöjligheten är temperaturen på krypnivå, ca 1 m över golvet. Tidpunkten när denna når 150°C har angivits i tabell 6.

Strålning, värmeflöde

Två gränsvärden har här preciserats: strålningsflödet 2.5 kW/m^2 mot golvet, indikerande risken för omfattande brännskador på oskyddad hud samt strålningsnivån 20 kW/m^2 mot golvet, som grovt motsvarar den ovan nämnda kritiska temperaturen för brandcellens övertändning på 600°C i övre brandgaslagret.

Gaskoncentrationer

För att erhålla tillförlitlighet och reproducerbarhet togs gasprover för analys i en punkt motsvarande maximal koncentration; vid utgående gasflöde i brandcellsöppningens överkant. Följaktligen utgör mätresultaten ett konservativt mått på risken att vid utrymning av brandrummet påverkas av toxiska gaser i inandningsluften. En generell och tillförlitlig metod att transformera mätresultaten till motsvarande gaskoncentrationer vid t ex en-meters-nivån (kryphöjd) saknas.

I tabellen anges för de 11 försöken följande kritiska värden

- tid att uppnå en lägsta kritisk syrenivå av 15%
- tid att uppnå kritisk nivå för $\text{CO}_2 = 10\%$

- tid att uppnå en koncentration för CO = 8000 ppm kritiskt vid inandning under tidsrymder av storleksordningen en minut. För längre tids exponering ges en riktigare beskrivning av skaderisker genom en transformation av inandad mängd CO till en ökning av COHb - (karboxyhämoglobin)halten i blodet. COHb-halten utgör ett direkt mått på blodets minskade förmåga att vidarebefordra syre och den ökade inre kvävningsrisken. Det samband som använts är det i [13] angivna

$$\Delta\text{COHb} = 5.98 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta t \cdot [\text{CO}]^{1.036}$$

Tabell 6. Maximivärden och tidpunkter för kritiska värden för olika skadefaktorer

Försök nr	Tid till 150°C 1 m över golvet	Tid till ₂ 2.5 kW/m ² mot golvet	Tid till 20 kW/m ² mot golvet	Tid till 15 % O ₂	Tid till 10 % CO ₂	Tid till 8.000 ppm CO	Tid till COHb ≥ 50 %
1	3 min 30 s	3 min	3 min 40 s	2 min 30 s	-	Uppnås inte	Uppnås inte
2	2 min 30 s	2 min	2 min 45 s	2 min 30 s	Uppnås inte	Uppnås inte	Uppnås inte
3	3 min 20 s	3 min	3 min 30 s	1 min 30 s	Uppnås inte	Uppnås inte	Uppnås inte
4	8 min 50 s	7 min	10 min	5 min 30 s	Uppnås inte	Uppnås inte	Uppnås inte
5	2 min 50 s	2 min 10 s	2 min 50 s	2 min 30 s	Uppnås inte	Uppnås inte	Uppnås inte
6	11 min 55 s	10 min	15 min	Uppnås inte	-	Uppnås inte	Uppnås inte
7	22 min 30 s	22 min	25 min	Uppnås inte	2 min 30 s	Uppnås inte	Uppnås inte
8	19 min 35 s	18 min 30 s	22 min	Uppnås inte	3 min 30 s	Uppnås inte	Uppnås inte
9	Uppnås inte	Uppnås inte	Uppnås inte	Uppnås inte	8 min	Uppnås inte	Uppnås inte
10	Uppnås inte	1h 15 min	Uppnås inte	Uppnås inte	5 min	Uppnås inte	45 min
11	Uppnås inte	30 min	Uppnås inte	Uppnås inte	4 min	Uppnås inte	Uppnås inte

6. BERÄKNING AV FRIGJORD VÄRMEEFFEKT Q

6.1. Metodik

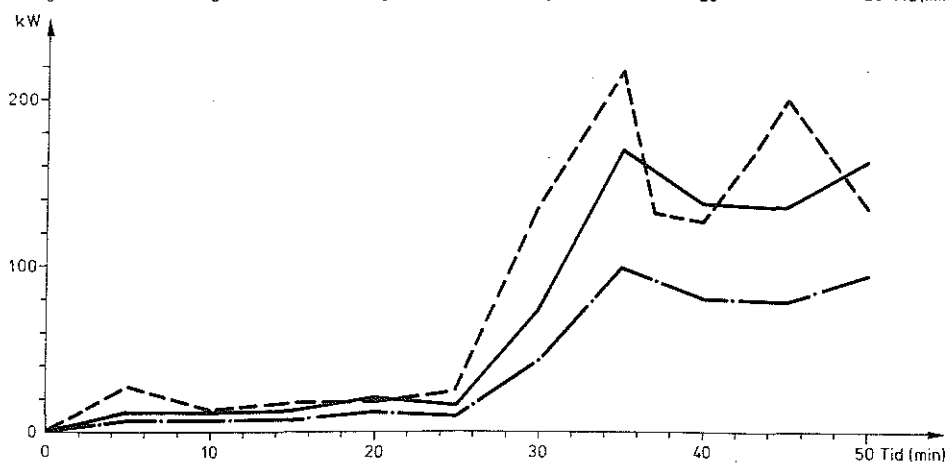
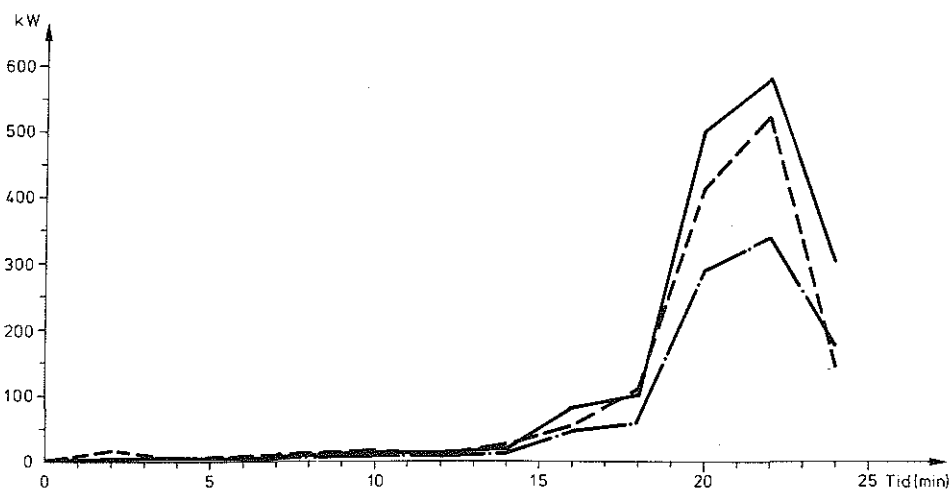
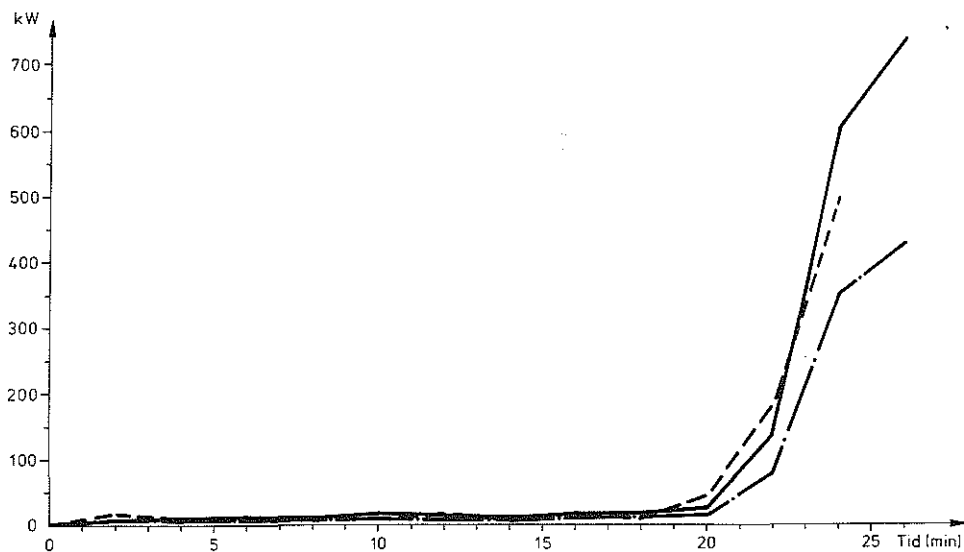
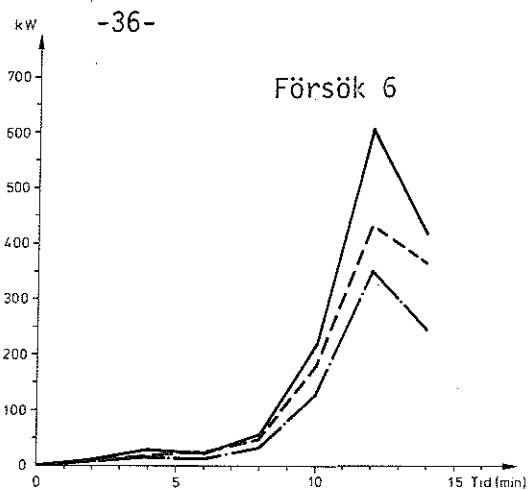
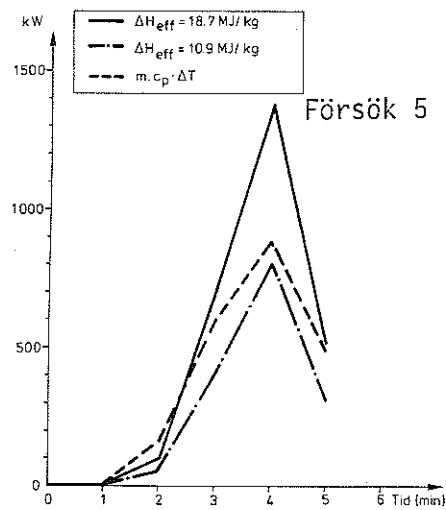
Den frigjorda värmeeffekten Q (mätt i kW) är en för brandförloppets utveckling och spridning fundamental parameter. I Appendix B ges en grov översikt av möjligheterna att via matematiska modeller av brandförloppet, t ex vid brand i en stoppmöbel, beräkna viktiga karakteristika som gashastighet i brandcellens öppning, gastemperaturer och risken för total övertändning av brandrummet. Avgörande för storleken på dessa karakteristika är främst tidkurvan för den frigjorda värmeeffekten Q .

Med den instrumentering och försöksuppställning som användes vid fullskaleförsöken kan Q bestämmas på i princip två olika sätt

- 1) genom att i utgående brandgasflöde integrera produkten av gashastighet och gastemperatur
- 2) genom att via viktminskningen mäta massförlusten och multiplicera denna med ett effektivt förbränningsvärme, beräknat med ledning av brandgasernas sammansättning.

Nämnas kan i sammanhanget att minst ytterligare två metoder är tänkbara. Den ena är att mäta antalet mol syre som förbrukats vid förbränningen och multiplicera detta värde med den frigjorda värmemängden/mol O_2 . Denna sistnämnda kvot har nämligen visat sig, oberoende av graden av fullständig förbränning, ha ett i stort sett konstant värde ≈ 420 kJ/mol O_2 [14]. Detta fordrar dock att brandgaserna insamlas i punkter där all förbränning är avslutad, att uppmätt syrgaskoncentration verkligen utgör ett medelvärde (kan säkerställas antingen genom en effektiv blandning av brandgaserna eller genom att provtagning görs i ett stort antal punkter) samt att en viss filtrering sker av brandgaserna innan syrgaskoncentrationen mäts. Använd mätutrustning var enligt ursprungsplanerna ej anpassad efter dessa krav. Den andra möjligheten att mäta effektutvecklingen är den metod som beskrivs i [15]. Ett försöksbrandrum utrustas med ett antal mätpunkter för mätning av temperaturer, gashastigheter, värmeflöden etc. Genom kalibreringsförsök med känd effektutveckling sammankopplas via statistiska beräkningar (regressionsanalys) den frigjorda värmeeffekten med avlästa mätvärden. Det uppställda sambandet mellan effektfrigivning och mätvärden antages sedan gälla för brand i t ex en stoppmöbel. En användning av denna metodik fordrar genomförande av ett antal kalibreringsförsök, som tyvärr ej kunnat inrymmas inom projektets ekonomiska eller tidsmässiga ramar.

Figur 26 ger för försöken 5, 6, 7, 8 och 11 tidsvariationen av den frigjorda effekten Q bestämd enligt metod 1 ovan, dvs genom att över utgående gasflöde integrera produkten av hastighet och temperatur. Som jämförelse är i varje figur inlagda två kurvor med Q beräknat enligt metod 2 och med två skilda val av effektivt förbränningsvärme för flexibel polyuretan. Det teoretiska förbränningsvärmets mätt vid fullständig förbränning i en sk bombkalorimeter, uppges i [16] till 28.7 MJ/kg. Vid normal förbränning under fullständigt fritt lufttillträde frigörs enbart en del av denna energi, enligt [16] ca 65%, resulterande i ett effektivt värmevärde ΔH_{eff} av 18.7 MJ/kg. Vid förbränning i



Figur 26. Frigjord effekt under försöken 5, 6, 7, 8 och 11
(Observera att olika skalor använts i de olika diagrammen)

ett brandrum med begränsad ventilation och lufttillträde och därmed ofullständig förbränning sker en ytterligare reduktion av ΔH_{eff} . Teoretiskt ska i detta fall ett värde på ΔH_{eff} kunna beräknas, om brandgasernas sammansättning är känd, med av Kung [17] angiven metodik. En tillämpning av beräkningsmetodiken med våra egna försöksdata som bas visade sig svår att genomföra därför att de använda gasanalysmetoderna ej gav tillräckligt snabba och precisa resultat. Som ett ytterligare värde på det effektiva förbränningsvärmets ΔH_{eff} valdes därför det av Kung angivna värdet 10.9 MJ/kg, som visar sig vara ett mycket lågt värde. Dessa angivna konstanta värden på ΔH_{eff} har multiplicerats med den uppmätta viktminskningen och resultatet ritats in i fig 26 beskrivande effektutvecklingen Q enligt metod 2. Osäkerheter i kurvorna inkommer, förutom vad gäller ΔH_{eff} -värdet, genom svårigheterna att ur en vikt-tid kurva entydigt ange viktminskningshastigheten.

6.2. Resultatdiskussion

Vid jämförelse mellan effektutvecklingen beräknad enligt de två olika metoderna bör observeras att i metod 1 ingen hänsyn togs till den effekt som försvinner ur brandrummet genom ledning in i tak- och väggmaterial eller som strålning ut genom dörren. Beroende på brandvaraktighet och -temperatur kan dessa termer under branden ligga inom intervallet 10-50% av den totala energitransporten.

En grov analys av figurerna 26 kan sammanfattas på följande sätt:

- mätt enligt metod 1 varierar maximala effekten vid försöken från ca 880 kW (försök 5) till ca 220 (försök 11). Tidpunkten efter antändning för dessa maximieffekter var ca 4 resp 35 minuter,
- de olika kurvorna uppvisar en parallellitet som antyder att mätmetod och mätresultat är konsistenta,
- för de snabbare förloppen ligger kurvan enligt metod 1 närmare det lägre effektiva värmevärdet $\Delta H_{eff} = 10.9$ MJ/kg, indikerande en mer ofullständig förbränning. Kurvorna från exempelvis försök 11 antyder att ΔH_{eff} vid fullständig förbränning kan överstiga litteraturvärdet 18.7 MJ/kg.

Som nämns i avsnitt 9 har under senare år utarbetats en rad matematiska modeller för att beskriva tillväxtförloppet för en rumsbrand. Åtminstone implicit i dessa modeller ligger en bestämning av den effektutveckling som erfordras för fullständig övertändning, se kapitel 5 i [3]. Exempelvis kan nämnas att Thomas [18] och Babrauskas [19] utifrån starkt förenklade, och från våra fullskaleförsök delvis skilda, förutsättningar ger följande uttryck för nödvändig effektutveckling Q_{erf}

$$Q_{erf} = 600 A \sqrt{H_0} \text{ kW} \quad (\text{Babrauskas})$$

$$Q_{erf} = 365 + 330 A \sqrt{H_0} \text{ kW} \quad (\text{Thomas})$$

där A = dörrens yta
 H_0 = dörrens höjd

Omsatt till försökshuset innebär detta $Q_{erf} \approx 1360$ resp 1110 kW. Det approximativa i dessa uttryck framgår av att våra fullskaleförsök gav övertända rumsbränder vid uppmätta effektutvecklingar, som låg på en väsentligt lägre nivå.

7. RÖKUTVECKLING

7.1. Metodik

Vad som i dagligt tal kallas "rök" består främst av luftburna sönderdelningsprodukter i form av vätskedroppar eller fasta partiklar (sot). "Rök" karakteriseras därför av två huvudsakliga faktorer

- mängden $\dot{m}_1$ alstrade fasta partiklar eller vätskedroppar per tidsenhet
- den luftmängd $\dot{m}_2$ som sätts i rörelse av branden och blir uppblandad eller förorenad av förbränningsprodukterna.

Storleken av $\dot{m}_1$ beror på en rad parametrar: typ av polymer, bränslets area, densitet och geometriska orientering, förekomsten av brandhämmande tillsatser, syrekonzentration och strålningspåverkan. Faktorn $\dot{m}_2$, volymen rök, är approximativt lika med den volym luft som sugas in i det uppvärmda gasflödet (brandplymen) från brandkällan. För närvarande pågår ett intensivt arbete av en rad forskare att med matematiska modeller beskriva brandplymen och dess karakteristika (hastighet, massflöde $\dot{m}_2$, temperatur etc) som funktioner av brandkällans geometri, förbränningshastighet och placering i brandrummet (i hörn, längs vägg, fristående) samt brandplymens effektiva höjd (avståndet x_d brandkälla - övre rökgaslager, se figur B1). I detta sammanhang ska bara konstateras att $\dot{m}_2$ är icke-lineärt beroende av x_d , innebärande att t ex en fördubbling av x_d mer än fördubblar rökmängden $\dot{m}_2$. Samtidigt minskar kvoten $\dot{m}_1/\dot{m}_2$, som är ett mått på rökkonzentrationen, i motsvarande grad.

Huvudsaklig risk förknippad med en brands rökutveckling är att röken genom sikttnedsättning försvårar eller omöjliggör en utrymning. Experimentellt uppmäts denna nedsättning genom mätningar av rökens förmåga att transmittera en ljusstråle. Denna förmåga uttrycks i termen optisk densitet D_L . Från fysikens lagar om ljusspridning och -absorption följer att, under vissa idealiserade förhållanden, D_L bör vara direkt proportionell mot rökkonzentrationen $\dot{m}_1/\dot{m}_2$. Detta innebär att optiska densiteten D_L hos röken från t ex en brinnande stoppmöbel är beroende av hur mätningen genomförs. Produkten $D_L \cdot \dot{m}_2$ (optisk densitet · volymen rök) bör däremot under samma förutsättningar vara material- eller produktspecifikt.

Appendix C redovisar

- några av de måttenheter och beräkningsmetoder som använts inom litteraturen för att beskriva rökens ljusabsorberande och -spridande egenskaper samt materials rökutvecklingspotential. B1 a införs storheten D_L för att beskriva röktätheten över en mätsträcka L . Observera att D_L uttrycks i sorten dB/m. Vidare används storheten D_0 (dB/m · m³/g), som en alternativ materialparameter, karakteriserande produkten av utvecklad mängd rök i m³ och denna röks täthet, allt per viktenhet bränsle. Slutligen introduceras summaprodukten

$$\sum_{\text{hela förloppet}} D_0 \cdot \dot{m}_0 = D_{\text{tot}} \quad (\dot{m}_0 = \text{förbränningshastighet})$$

för att beskriva den totalt utvecklade rökmängden (= produktens rökutvecklingspotential) under brandförloppet. Denna får sorten (dB/m) · m³,

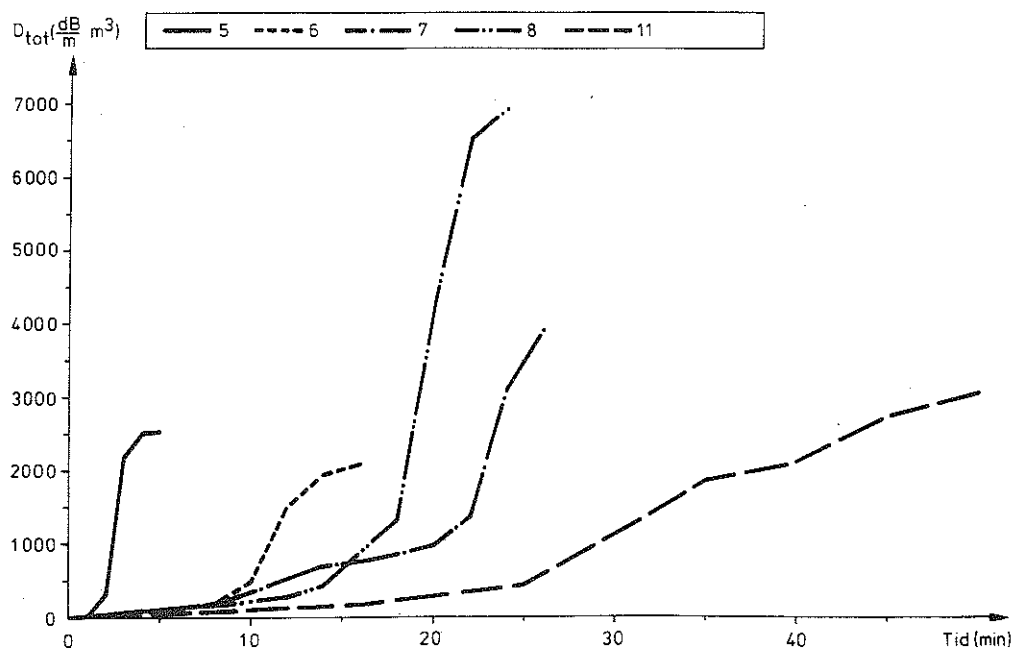
- en figur C1, indikerande sambandet mellan rökens genomsiktlighet och vid laboratorieprov uppmätt optisk densitet,
- hur framtagna mätdata kan användas för att beräkna tidsvariationen av D_L , D_o samt D_{tot} .

Figur 27 ger för försöken 5, 6, 7, 8 och 11 storheten D_{tot} som en funktion av tiden. Figur 28 visar för försöken 6, 7 och 8 hur storheten D_o , som egentligen ska ses som en tidsberoende material- eller produktparameter, varierar under försökets gång. En sammanställning av de viktigaste beräkningsresultaten ges i tabell 7 nedan.

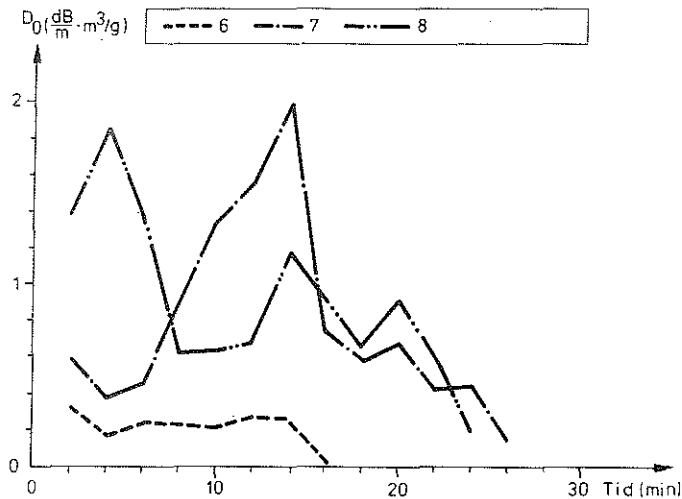
Tabell 7. Beräknade värden på utvecklad rökmängd och rökutvecklingspotential

För-sök	D_o ¹⁾ ($\frac{dB \cdot m^3}{m \cdot g}$)	$D_{o,max}$ ($\frac{dB \cdot m^3}{m \cdot g}$)	Tid för $D_{o,max}$ (min)	D_L vid $D_{o,max}$ ($\frac{dB}{m}$)	$D_{L,max}$ ($\frac{dB}{m}$)	D_{tot} ($\frac{dB \cdot m^3}{m}$)
5	0.8	0.85	3	2.50	12.5	2530
6	0.2	0.24	6	0.57	3.5	2080
7	-	2.00	15	4.10	5.0	3905
8	0.8	1.90	4	1.61	10.9	6910
11	0.4	0.59	30	1.90	1.9	3050

1) Ungefärligt genomsnittsvärde på D_o



Figur 27. Totalt utvecklad rökmängd D_{tot} som funktion av tiden för försöken 5, 6, 7, 8 och 11



Figur 28. Utvecklad rök per viktenhet förbränt material, D_0 , som funktion av tiden för försöken 6-8

Det måste betonas att ovanstående värden beräknats under förenklade förutsättningar beträffande brandplymens geometri och massflöde strax utanför brandrummets öppning. Sålunda har förutsatts att ljusstrålen vinkelrät går genom ett rökgasflöde vars tjocklek = tjockleken i dörröppningen och med en volymflöde = flödet i samma öppning. Beräknade data bör därför användas med försiktighet för att ange absoluta värden; betydligt tillförlitligare är deras tillämpning för att relativt gradera de provade produkterna.

7.2. Resultatdiskussion

Åtminstone två olika huvudegenskaper kan åtskiljas för att meningsfullt och entydigt karaterisera en produkts rökutveckling, totalt utvecklad mängd rök = produktens rökpotential (här mätt som $(\text{dB/m}) \cdot \text{m}^3$) samt utvecklingshastigheten, den tid som åtgår för att utvecklad mängd rök ska överstiga ett kritiskt gränsvärde. En tredje storhet, D_0 , här mätt i $\text{dB/m} \cdot \text{m}^3/\text{g}$, uttryckande rökutvecklingspotential per viktenhet, visade sig enligt figur 28 ha ett alltför varierande värde över brandförloppet för att kunna användas som karakteriserande storhet. Samma gäller för storheten D_L , uttryckande rökens täthet.

Jämföres rökutvecklingspotentialen för de fem försöken kan bl a konstateras

- försök 5 - försök 6 har båda standardpolyeter som stoppningsmaterial. Den snabbare och mera ofullständiga förbränningen i försök 5 gav en ca 25-procentig ökning av den totala rökutvecklingen,
- försök 6 - försök 7. Ändring av stoppningsmaterial till kallskum gav i stort en fördubbling av rökutvecklingspotentialen,
- försök 6 - försök 8. Stoppningsmaterial av polyeter behandlad med brandhämmande tillsatser åstadkom en mycket kraftig ökning av rökutvecklingspotentialen, från ca 2000 till 7000 $(\text{dB/m}) \cdot \text{m}^3$,

- väljes t ex rökutvecklingspotentialen $1000 \text{ (dB/m)} \cdot \text{m}^3$ som ett dimensionerande gränsvärde blir kritiska tidpunkten för de fem materialkombinationerna enligt försöken 5, 6, 7, 8 och 11 ca 2.5, 11, 20, 17 och 29 minuter.

De i tabell 7 redovisade D_0 -värdena kan jämföras med data rapporterade i tabell 8 [20].

Tabell 8. Rökutvecklingsdata dels från förbränning i Tewarson's öppna kalorimeter, dels från prov i NBS röktaethetskammare [20].

Skum		D ₀ efter Tewarson	D ₀ vid prov i NBS-kammare
1 - A CaCO ₃		0.4 - 1.1	0.6 - 1.0
GM - 21	konventionell polyeter	0.4 - 0.7	0.6 - 1.0
GM - 23/FR		1.0 - 1.9	-
GM - 25		0.7 - 1.8	4
GM - 27/FR	högelastisk polyeter	1.9 - 3.0	-

Olyckligtvis gäller att spridningen i tabellens data är så stor att en jämförelse med D_0 -värden från de egna försöken i halv- och fullskala ej blir meningsfull.

8. EXEMPEL PÅ RISKANALYS FÖR UTRYMNING AV RUM ELLER KORRIDOR GRÄNSANDE TILL BRANDRUMMET

Det kan vara av intresse att för ett enskilt fall undersöka den praktiska betydelsen av värdena i fig 28 och tabell 7. Antag ett brandrum med en brinnande stoppmöbel som i fullskaleförsöken. Antag vidare att brandrummet via en öppen dörr står i förbindelse med en annan, större lokal med golv-
ytan 200 m². Den senare lokalen antages utformad så att inflödet av rök effektivt stängs under en takarea = golvarean. Ventilationen i det större rummet antages ske vid golvnivån eller på annat sätt så att förbrännings-
produkterna stannar kvar i rummet. Tabell 9 ger för tidpunkterna 2, 4, 6, 10 och 15 min genomsnittsvärdena av rökgaslagrets tjocklek d och röktät-
heten D_L . Via figur C1 i Appendix C kan erhållas motsvarande värden på genom-
siktligheten i m.

Tabell 9. Genomsnittsvärden av tjocklek - d - på rökgaslager (i m) och optisk densitet - D_L - (i dB/m) för ett 200 m² stort rum, anslutande till det brandrum som användes vid fullskaleförsöken

Försök	5		6		7		8		11	
Tid- punkt (min)	d	D_L	d	D_L	d	D_L	d	D_L	d	D_L
2	0.4	3.5	0.2	0.8	0.2	0.9	0.3	0.8	0.3	0.3
4	2.1	5.2	0.4	0.7	0.4	1.0	0.5	1.1	0.6	0.3
6	-	-	0.7	0.7	0.6	1.0	0.7	1.1	0.9	0.3
10	-	-	2.4	1.0	1.0	1.8	1.1	1.0	1.4	0.4
15	-	-					2.0	1.7	1.8	0.4

Av tabellen framgår att om en tjocklek på rökgaslagret = 1 m anses kritisk, uppnås denna efter respektive ca 3, 7, 10, 9 och 7 minuter. Approximativa värden på genomsiktligheten är vid denna tidpunkt enligt fig C1 respektive 3, 12, 6, 10 och 30 m.

Tabell 9 visar på komplexiteten av problemet, kortast uttryckt genom frågan: Vad är avgörande vid en reell utrymningssituation, snabb tillväxt av rökgaslagret eller en snabb minskning av genomsiktligheten? Olika möbeltyper uppvisar här skilda händelsemönster. Klart är emellertid att även här demonstreras den kraftiga minskning av personrisken som kan åstadkommas genom produktmodificeringar, t ex användning av brandhämmande mellanskikt.

9. FÖRSÖKSDATA SOM INPUT TILL EXISTERANDE MATEMATISKA MODELLER

Som påpekades i avsnitt 4.5 kan de data om effektutveckling och rökutveckling som framtagits i kapitlen 6 och 7 användas som indata till en rad existerande teoretiska modeller, och därmed ge oss en uppfattning om hur de brandförlopp som de olika testmöblerna genererat i provhuset vid SP kan transformeras till bränder av annan utformning och storlek. Några exempel på sådana modeller är

- förenklade, icke-transienta modeller för beräkning av risk för övertändning, exempelvis arbeten av Thomas [18] och Babrauskas [19],
- modeller baserade på jämviktsekvationer för massa- och energitransport mellan olika kontrollvolymmer, exempelvis den ursprungliga, icke-transienta modellen uppställd av Quintiere [21] eller den transienta versionen utarbetad vid FOA [22], se Appendix B,
- modeller, simulerande det fullständiga brandförloppet från antändning till brandcellens övertändning, exempelvis [23] och [24],
- modeller för beräkning av rökspridning i flervåningsbyggnader, exempelvis [25],
- modeller för beskrivning av mer speciella situationer, t ex den modell som utarbetats av Zukoski, beskrivande rökgaslagrets tilltagande tjocklek för bränder i stora rum med starkt begränsade ventilationsöppningar [26].

Den praktiska användbarheten av dessa och andra matematiska modeller avses bli närmare undersökta i kommande arbeten inom ramen för BRANDFORSK'S forskningsprogram på området.

10. JÄMFÖRELSE MELLAN RESULTAT FRÅN HALVSKALEFÖRSÖK OCH FULLSKALEFÖRSÖK

Då man genomfört försök dels i halvskala och dels i fullskala med samma materialkombinationer faller det sig naturligt att försöka jämföra resultaten från dessa försökstyper. Det finns en rad parametrar som kan vara intressanta att studera. Bland de viktigaste är förbränningshastigheten och rökutvecklingspotentialen. Det visar sig emellertid att antalet fullskaleförsök är för litet för att en jämförelse ska bli meningsfull. Ett exempel på ett försök till resultatjämförelse för producerad mängd rök ges i tabell 10, där materialen i halv- resp fullskala motsvarar varandra.

Tabell 10.

Försök nr		Rökutvecklingspotentialen D_{tot} ((dB/m)·m ³)	
Halvskala	Fullskala	Halvskala	Fullskala
1	5	465	2530
46	6	603	2080
48	7	639	3905
47	8	1296	6910

Tabellen antyder en positiv korrelation men visar också att den relativa rangordningen inte är entydig. För att mer bestämda slutsatser ska kunna dras krävs genomförande av ytterligare försök.

REFERENSER

- [1] The Upholstered Furniture (Safety) Regulations 1980
- [2] Fire tests for furniture: Part 1, Methods of test for the ignitability by smokers' materials of upholstered composites for seating. BS 5852: Part 1
- [3] Brand inomhus., Betänkande av brandriskutredningen, SOU 1978:30
- [4] Babrauskas, V., Full-scale burning behaviour of upholstered chairs., Center for Fire Research, National Engineering Laboratory, National Bureau of Standards, 1979
- [5] Schultz, B., Provning av antändlighet hos kombinationer av möbeltyger, mellanskikt och stoppningsmaterial, TFB 78002 FR, 1978-07-24
- [6] Schultz, B., Provning av antändlighet hos kombinationer av möbeltyger, mellanskikt och stoppningsmaterial, del 2., TFB 79001 FR, 1979-06-29
- [7] Mc Caffrey and Heskestad., A Robust Bidirectional Low-velocity Probe for Flame and Fire Application, Combustion & Flame, Vol. 26, 125-127, 1976
- [8] Gunners, N.E., Methods of Measurement and Measuring Equipment for Fire Tests, National Swedish Institute for Materials Testing, Fire Engineering Laboratory 1967:1, 1967
- [9] British Standards Institution., Draft for Development, Test for the ignitability of upholstered seating, DD 58:1978
- [10] Nordtest Method NT Fire 007, Floorings; Resistibility to spreading fire and smoke development
- [11] Sundström, B., Brand: Storskaleförsök, Bakgrund och försöksupställning, Nordtestprojekt 143-78. Teknisk rapport SP-RAPP 1980:1
- [12] Heselden, A.J.M., Notes on Instruments for Measuring Irradiance and Heat Flux in Fire Tests, ISO/TC92/GT10 (UK-10)23
- [13] Babrauskas, V., Combustion on Mattresses Exposed to Flaming Ignition Sources, NBSIR 77-1290, Center for Fire Research, National Bureau of Standards, September 1977

- [14] Huggett, C., Rate of Heat Release. Implications for Engineering Design, Workshop on Engineering Applications of Fire Technology, National Bureau of Standards, April 16-18, 1980
- [15] Fitzgerald, W.E., Quantification of Fires. Kinetics of burning in a Room Sized Calorimeter, American Chemical Society, National Symposium on Fire Safety Aspects of Polymeric Materials, June 6-8, 1977
- [16] Miller, H.E., The Physical Basis for the Harvard Computer Fire Code, Home Fire Project Technical Report No. 34, October 1978
- [17] Kung, H-C., Residential Sprinkler-Protection Study, Factory Mutual Research, Serial No. 22442, November 1975
- [18] Thomas, P.H., Testing Products and Materials for Their Contribution to Flashover in Rooms, Fire Research Station, England, 1979
- [19] Babrauskas, V., Estimating Room Flashover Potential, To Appear in Fire Technology
- [20] Rasbash, D.J. and Pratt, B.T., Estimation of Smoke Produced in Fires, Fire Safety Journal, Vol. 2, 1979/80
- [21] Quintiere, J., The Growth of Fire in Building Compartments. NBS/ASTM Symposium on Fire Standards and Safety
- [22] Hägglund, B., Simulating the Early Growth in Residential Rooms, FOA, Stockholm 1980
- [23] Mitler, H.E., User's Guide for the Harvard Computer Fire Code, Home Fire Project, Technical Report No. 37, April 1979
- [24] Tanaka, T., A Model of Fire Spread in Small Scale Buildings, 2nd Report, BRI, Japan, March 1980.
Se även Tanaka, T., Horiuchi, S. and Sakai, T., A Study on Modeling of Fire in Small Scale Buildings (Comparison Between Full-Scale Experiments and Simulations), Building Research Institute and Tokyo Science University, Japan 1980
- [25] Wakamatsu, T., Unsteady-State Calculation of Smoke Movement in Actually Fired Building. CIB Symposium on the Control of Smoke Movement in Building Fires, Fire Research Station, UK, November 1975
- [26] Zukoski, E.E., Development of a Stratified Ceiling Layer in the Early Stages of a Closed Room Fire, Fire and Materials, Vol. 2, No. 2, 1978
- [27] Rasbash, D.J., Smoke and Toxic Products Produced of Fire, Trans. J. Plastics Inst., January 1967

A P P E N D I X A

Tabeller

Tabell A1. Vid halvskaleförsöken provade kombinationer av ytskikt, mellanskikt (interliner) och stoppningsmaterial, använd tändkälla samt några vid försöken bestämda brandförloppscharakteristika

Försök nr	Material	Tändkälla	Maximal för- bränningshas- tighet (kg/s)	Maximal temperatur (°C) Mätpunkt 1	Totalt utveck- lad rökmängd $\dot{Q}_{tot}$ ($\frac{dB}{m} \cdot m^3$)	Anmärkning
1	Akryl 100% Konventionell polyeter	1	0.0113	650	-	Vågen ur funktion efter 2 min 40 s
2	Akryl 100% Konventionell polyeter med SA-tillsats	1	0.0110	620	1458	
3	Akryl 100% Högelastisk polyeter	1	0.0141	585	768	
4	Akryl 100% Vonar Konventionell polyeter	2	-	-	-	Branden kommer åt skummet bakvägen
5	Viskos 100% (I) Konventionell polyeter	1	0.0079	650	376	
6	Viskos 100% (I) Konventionell polyeter med SA-tillsats	1	0.0044	575	988	
7	Viskos 100% (I) Högelastisk polyeter	1	0.0045	485	167	
8	Viskos 100% (I) Kynol Konventionell polyeter	2	0.0040	420	165	
9	Viskos 100% (II) Konventionell polyeter	1	0.0043	840	389	

Tabell A1 forts.

Försök nr	Material	Tändkälla	Maximal för- bränningshas- tighet (kg/s)	Maximal temperatur (°C) Mätpunkt 1	Totalt utveck- lad rök- mängd $\left(\frac{dB}{m} \cdot m^3\right)$	Anmärkning
10	Viskos 100% (II) Konventionell polyeter med SA-tillsats	1	0.0038	435	1199	
11	Viskos 100% (II) Högelastisk polyeter	1	0.0036	460	478	
12	Viskos 100% (II) Vonar Konventionell polyeter	1	0.0002	370	-	Ingen fortsatt brand- tillväxt. Endast tyget brinner
13	Polypropen 100% Konventionell polyeter	1	0.0092	780	663	
14	Polypropen 100% Konventionell polyeter med SA-tillsats	1	0.0111	735	1712	
15	Polypropen 100% Högelastisk polyeter	1	0.0116	715	775	
16	Polypropen 100% Kynol Konventionell polyeter	1	0.0021	340	567	
17	SA-behandlad ull 100% Konventionell polyeter	2	0.0058	750	521	

Tabell A1 forts.

Försök nr	Material	Tändkälla	Maximal för- bränningshas- tighet (kg/s)	Maximal temperatur (°C) Mätpunkt 1	Totalt utveck- lad rökmennd D_{tot} ($\frac{dB}{m} \cdot m^3$)	Anmärkning
18	SA-behandlad ull 100% Konventionell polyeter med SA-tillsats	2	0.0022	630	900	
19	SA-behandlad ull 100% Högelastisk polyeter	1	0.0012	345	399	
20	Ull 100% Konventionell polyeter	2	0.0044	665	620	
21	Ull 100% Konventionell polyeter med SA-tillsats	2	0.0030	730	463	
22	Ull 100% Högelastisk polyeter	2	0.0041	590	193	
23	Bomull 100% Konventionell polyeter	1	0.0036	445	-	Manometern ur funktion
24	Bomull 100% Konventionell polyeter med SA-tillsats	1	0.0048	430	846	
25	Bomull 100% Högelastisk polyeter	1	0.0049	275	404	Polyetern smälte, deltog endast delvis i branden
26	Bomull 100% Firend Konventionell polyeter	2	0.0002	535	46	

Tabell A1 forts.

Försök nr	Material	Tändkälla	Maximal för- bränningshas- tighet (kg/s)	Maximal temperatur (°C) Mätpunkt 1	Totalt utveck- lad rökmängd D_{tot} ($\frac{dB}{m} \cdot m^3$)	Anmärkning
27	Ull 17 %, viskos 64%, akryl 19% Konventionell polyeter	1	0.0067	770	623	
28	Ull 17%, viskos 64%, akryl 19% Konventionell polyeter med SA-tillsats	1	0.0050	610	1048	
29	Ull 17%, viskos 64%, akryl 19% Högelastisk polyeter	1	0.0054	700	551	
30	Ull 17%, viskos 64%, akryl 19% Firend Konventionell polyeter	1	-	270	-	Ingen fortsatt brand- tillväxt
31	Ull 19%, viskos 64%, akryl 17%, Konventionell polyeter	1	0.0078	615	520	
32	Ull 19%, viskos 64%, akryl 17% Konventionell polyeter med SA-tillsats	1	0.0058	540	1069	
33	Ull 19%, Viskos 64%, akryl 17% Högelastisk polyeter	1	0.0038	630	323	

Tabell A1 forts.

Försök nr	Material	Tändkälla	Maximal för- bränningshas- tighet (kg/s)	Maximal temperatur (°C) Mätpunkt 1	Totalt utveck- lad rökmängd D_{tot} ($\frac{dB}{m} \cdot m^3$)	Anmärkning
34	Ull 19%, viskos 64%, akryl 17% Firend Konventionell polyeter	2	0.0001	285	51	
35	Ull 29%, viskos 43%, akryl 28% Konventionell polyeter	1	0.0049	665	504	
36	Ull 29%, viskos 43%, akryl 28% Konventionell polyeter med SA-tillsats	1	0.0039	640	783	
37	Ull 29%, viskos 43%, akryl 28% Högelastisk polyeter	1	0.0061	540	-	Manometern ur funktion
38	Ull 29%, viskos 43%, akryl 28% Vonar Konventionell polyeter	2	0.0002	314	-	Ingen fortsatt brand- tillväxt
39	Ull 48%, viskos 37%, bomull 15% Konventionell polyeter	1	0.0029	840	427	
40	Ull 48%, viskos 37%, bomull 15% Konventionell polyeter med SA-tillsats	2	0.0026	585	1002	

Tabell A1 forts.

Försök nr	Material	Tändkälla	Maximal för- bränningshas- tighet (kg/s)	Maximal temperatur (°C) Mätpunkt 1	Totalt utveck- lad rökmängd $(\frac{dB}{m} \cdot \frac{D_{tot}}{m^3})$	Anmärkning
41	Ull 48%, viskos 37%, bomull 15% Högelastisk polyeter	2	0.0038	485	701	
42	Ull 48%, viskos 37%, bomull 15% Kynol Konventionell polyeter	2	0.0010	445	703	
43	Ull 56%, viskos 24%, bomull 20% Konventionell polyeter	2	0.0054	575	407	
44	Ull 56%, viskos 24%, bomull 20% Konventionell polyeter med SA-tillsats	2	0.0006	515	-	Ingen fortsatt brand- tillväxt
45	Ull 56%, viskos 24%, bomull 20% Högelastisk polyeter	2	0.0040	325	379	
46	Ull 61%, viskos 39%, Konventionell polyeter	2	0.0042	415	522	
47	Ull 61%, viskos 39% Konventionell polyeter med SA-tillsats	2	0.0041	550	1001	
48	Ull 61%, viskos 39% Högelastisk polyeter	2	0.0024	515	639	

Tabell A1 forts.

Försök nr	Material	Tändkälla	Maximal för- bränningshas- tighet (kg/s)	Maximal temperatur (°C) Mätpunkt 1	Totalt utveck- lad rökmängd $\dot{Q}_{tot}$ ($\frac{dB}{m} \cdot m^3$)	Anmärkning
49	U11 61%, viskos 39% Firend Konventionell polyeter	2	-	505	-	Ingen fortsatt brand- tillväxt
50	U11 70%, viskos 30% Konventionell polyeter	2	0.0057	700	403	
51	U11 70%, viskos 30% Konventionell polyeter med SA-tillsats	3	0.0061	215	1212	
52	U11 70%, viskos 30% Högelastisk polyeter	2	0.0069	610	487	
53	U11 70%, viskos 30% Vonar Konventionell polyeter	2	0.0001	330	-	Ingen fortsatt brand- tillväxt

Tändkälla 1 10g träribbstapel
2 40g träribbstapel
3 2x40g träribbstapel

SA-tillsats: Tillsats av svärantändlighetsmedel

Tabell A2. Försök 1

Tid	Händelse
25 s	Antändning
1 min	Kraftig brand i vänster armstöd
1 min 15 s	Sits 1 brinner
1 min 45 s	Spridning in mot rygg 1
2 min 30 s	Tändkällan slocknar Hela sits 1 brinner
2 min 50 s	Rygg 1 brinner
3 min 5 s	Sits 2 + rygg 2 brinner
3 min 20 s	Hela sits 2 + rygg 2 brinner
3 min 30 s	Hela soffan brinner. Flammor fyller brandrummet

Tabell A3. Försök 2

Tid	Händelse
30 s	Antändning
50 s	Kraftig brand i vänster armstöd
1 min 10 s	Sits 1 brinner kraftigt
1 min 20 s	Spridning in mot ryggen
1 min 25 s	Rygg 1 brinner
1 min 45 s	Hela sits 1 brinner
2 min	Hela sits 1 + rygg 1 brinner
2 min 50 s	Sits 2 + rygg 2 brinner
2 min 55 s	Spridning till 3
3 min 5 s	Hela soffan brinner kraftigt. Flammor fyller brandrummet

Tabell A4. Försök 3

Tid	Händelse
30 s	Antändning
1 min	Vänster armstöd brinner kraftigt
1 min 30 s	Sits 1 brinner kraftigt
2 min	Spridning in mot ryggen
2 min 30 s	Tändkällan slocknar
	Hela sits 1 och rygg 1 brinner
3 min	Spridning till 2
3 min 15 s	Hela 1 och 2 brinner
3 min 30 s	Spridning till 3
3 min 45 s	Hela soffan brinner. Flammor fyller brandrummet

Tabell A5. Försök 4

Tid	Händelse
1 min	Tyget på sits 1 brinner
2 min 30 s	Sits 1 brinner
3 min 20 s	Tändkällan slocknar
3 min 50 s	Vänster armstöd brinner
4 min 15 s	Spridning in mot rygg 1
5 min	Kraftig brand i vänster armstöd
5 min 30 s	Sits 1 och rygg 1 brinner
6 min 30 s	Hela sits 1 och rygg 1 brinner
8 min	Spridning till 2
8 min 30 s	Sits 2 och rygg 2 brinner
9 min 30 s	Hela 2 brinner, spridning till 3
9 min 50 s	Hela soffan brinner

Tabell A6. Försök 5

Tid	Händelse
0	Placering av tändkällan i soffan
45 s	Antändning
1 min	Kraftig brand i vänster soffhörn
2 min	Hela sits 1 och rygg 1 brinner
2 min 30 s	Spridning till 2
3 min	Sits 2 och rygg 2 brinner
3 min 50 s	Hela soffan brinner. Flammor fyller brandrummet

Tabell A7. Försök 6

Tid	Händelse
30 s	Antändning
3 min 20 s	Tändkällan slocknar
8 min 30 s	Brinnande droppar från sits 1
8 min 35 s	Ryggdyna 1 brinner
10 min	Spridning till sits 2
10 min 40 s	Sits och rygg 1 slut
11 min 10 s	Spridning till sits 3
11 min 50 s	Hela soffan brinner
15 min 25 s	Smältan under soffan brinner
16 min	Soffan uppbrunnen
17 min	Branden helt släckt

Tabell A8. Försök 7

Tid	Händelse
50 s	Antändning i tyget
1 min 15 s	Armstöd 1 brinner
3 min 10 s	Tändkällan slocknar
9 min 30 s	Brinnande droppar från sits 1
12 min	Rök från soffan, inga öppna lågor
17 min 20 s	Lågor från ryggdyna 1
20 min 55 s	Brand på golvet under soffan
22 min	Sits 2 brinner
22 min 20 s	Ryggdyna 2 brinner
23 min 10 s	Spridning till 3
23 min 30 s	Hela soffan brinner
25 min	Sits och rygg 1 slut
26 min	Soffan uppbrunnen
27 min	Branden släckt

Tabell A9. Försök 8

Tid	Händelse
55 s	Antändning i tyget
2 min 55 s	Tändkällan slocknar
3 min 10 s	Brinnande droppar från sits 1
14 min 10 s	Ryggdyna 1 brinner
18 min 20 s	Lågor under sits 2
18 min 45 s	Hela 2 brinner
20 min	Hela soffan brinner
24 min	Soffan uppbrunnen

Tabell A10. Försök 9

Tid	Händelse
4 min 30 s	Kraftig rökutveckling från 1
8 min 25 s	Rök genom ryggdyna 1
10 min 55 s	Tändkällan slocknar
13 min	Lågor mellan sits och rygg 1
16 min 20 s	Sits 2 brinner
18 min 20 s	Inga synliga lågor
21 min	Rygg och sits 1 faller sönder
22 min	Ryggdyna 1 slut
27 min 15 s	Tyget på ryggdyna 2 brinner
38 min	Rygg och sits 2 brinner
40 min	Brinnande droppar från sits 1
41 min 45 s	Brinnande droppar från sits 2
48 min 45 s	Ryggdyna 3 brinner
1h 10 min	Kraftig brand i rygg och sits 3
1h 28 min	Soffan uppbrunnen

Tabell A11. Försök 10

Tid	Händelse
9 min	Tändkällan slocknar
	Ryggdyna 1 något hopsjunken
12 min	Baksidan av ryggdyna 1 brinner
20 min	Spridning till ryggdyna 2
26 min	Interlinern i ryggdyna 1 spricker
26 min 30 s	Ryggdyna 1 faller samman
47 min	Lågor från sits 1
	Brinnande droppar från sits 1
52 min	Kraftig rökutveckling
54 min	Lågor från sits 2
55 min	Lågor under soffan
1h 1 min	Brinnande droppar från sits 2
1h 3 min	Rök från hela soffan

forts.

Tabell A11 forts.

Tid	Händelse
1h 11 min	Ryggdyna 2 rasar samman
1h 15 min	Ryggdyna 3 brinner
1h 21 min	Liten fladdrande låga mellan sits 2 och 3
	Glödbrand inne i sitsarna
1h 40 min	Försöket avbröts

Tabell A12. Försök 11

Tid	Händelse
3 min	Lågor uppe på ryggdyna 1
4 min 10 s	Rökutveckling från ryggdyna 1
6 min 20 s	Lågor mellan ryggdyna 1 och 2
7 min 25 s	Lågor uppe på ryggdyna 2
8 min 5 s	Tändkällan slocknar
14 min 15 s	Lågor på framsidan av ryggdyna 1
24 min 35 s	Brinnande droppar från sits 1
27 min	Rökutveckling från hela soffan
28 min	Sits och rygg 1 och 2 brinner kraftigt
30 min	Spridning till ryggdyna 3
36 min	Sits och rygg 1 slocknar
43 min	Hela 3 brinner
53 min	Branden slut
	Rester av glödande interliner

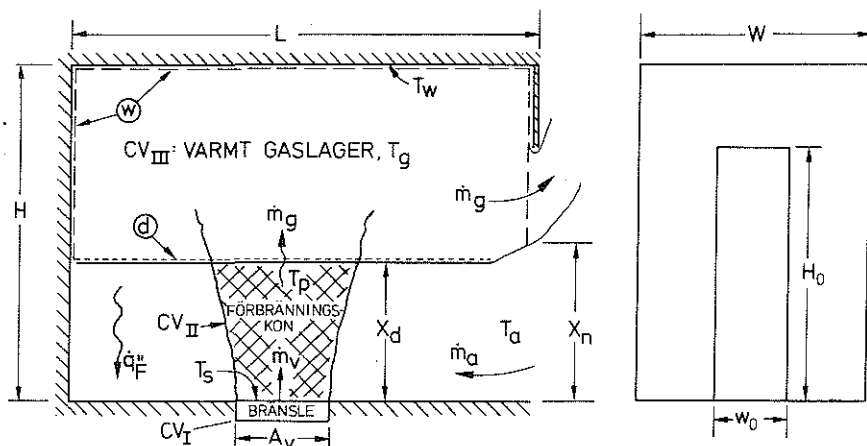
A P P E N D I X B

Teoretisk modell av brandförloppet

APPENDIX B

Teoretisk modell av brandförloppet

Ett exempel på en förenklad modell av de fysikaliska processerna för en brands utveckling i en brandcell fram till övertändning ges i figur B1 [21].



Figur B1. Termisk och aerodynamisk modell för brandförloppets tidiga skede [21]

Ny luft tillförs i öppningens nedre del, går in i bränslets förbränningskon (fire plume), värms upp och strömmar ut i öppningens övre del. Förbränningskonen värmer lokalt sin omgivning och en varm, väl omrörd gasvolym byggs upp i brandcellens övre del. Denna gasvolym uppvärmer i sin tur brandcellens väggar och tak genom konvektion och strålning och brandcellens golv genom strålning. Brandens tillväxt regleras genom tillgången till bränsle och genom resulterande värmetransport till andra brännbara komponenter i brandcellen. I den matematiska behandlingen spaltas modellens mekanismer på de tre processerna

- (1) brandcellens och förbränningskonens gasflöden,
- (2) värmetransport inom brandcellen och
- (3) feedback av värme till bränslet och konsekvenserna härav för förbränningshastighet, flamspridning och antändning.

Energitransportanalysen omfattar i modellen de tre volymerna CV_I (bränslets volym), CV_{II} (förbränningskonens volym) och CV_{III} (det varma gaslagrets volym) enligt B1. Därvid betecknar X_d ett termiskt diskontinuitetsplan, eller, enklare uttryckt, rökgaslagrets höjd över golvet.

Från modellen erhålles jämviktssamband mellan bränsleyta, förbränningshastighet och temperatur i övre rökgaslager. Dessutom beräknar modellen t ex strålning infallande mot brännbara, icke antända inredningskomponenter. Tillsammans ger dessa data en god möjlighet att bedöma risken för att brand i t ex en stoppmöbel skall orsaka övertändning av ett helt brandrum.

A P P E N D I X C

Termer för att beskriva rökutveckling

APPENDIX C

Termer för att beskriva rökutveckling

För att kunna bestämma hur mycket rök som produceras då en produkt brinner fordras mätdata för en rad parametrar. Dessa parametrar kan sättas samman på flera sätt. En mätning är emellertid gemensam för flertalet modeller, en bestämning av rökens ljusgenomsläpplighet. Detta görs genom att sända en ljusstråle genom röken och mäta hur stor del av ljuset som absorberas.

Med utgångspunkt från denna mätning kan den optiska densiteten (D) bestämmas. Denna definieras som $D = 10 \cdot \log I_0/I$ och får därmed sorten decibel (dB).

I_0 = ursprunglig ljusintensitet
 I = transmitterat ljus

Röktätheten D_L definieras som D/L där L är den sträcka som ljusstrålen passerar genom röken. D_L får sorten dB/m.

Det bör inses att rökens täthet inte är den enda riskfaktorn. Avgörande är också den mängd rök som bildats, dvs den mängd luft som uppblandad med rökpartiklar sätts i rörelse av brandens termiska kraft.

En uppskattning av mängden totalt producerad rök har gjorts i en rad undersökningar. Små ansträngningar har emellertid gjorts för att kvantitativt relatera detta till mängden förbränt material på ett sådant sätt att det tillåter jämförelser med småskaletester.

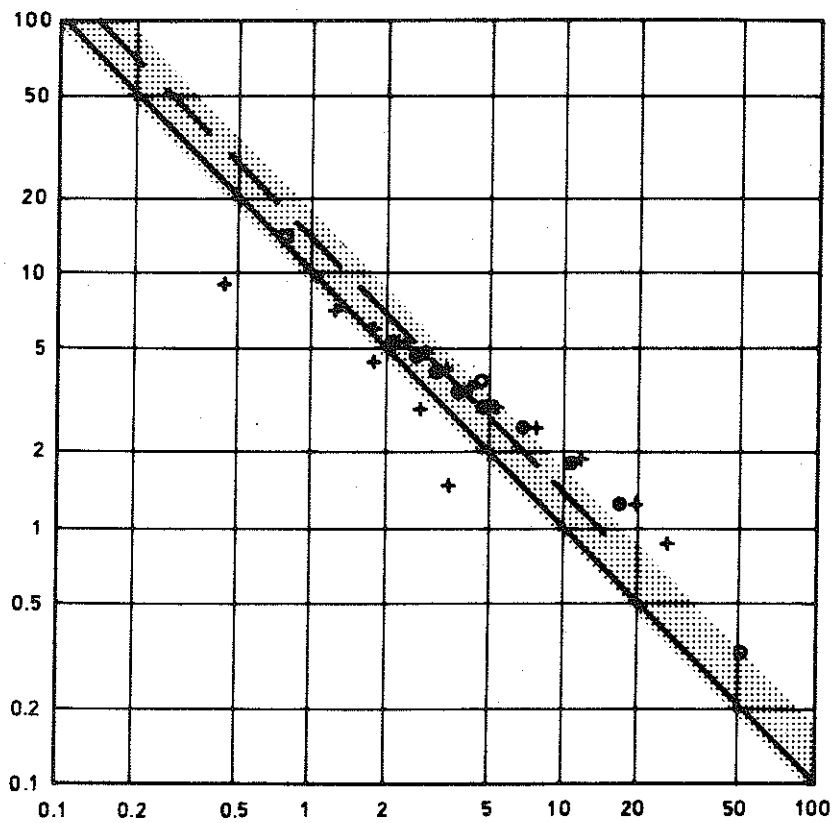
Mängden utvecklad rök (D_0) för ett visst material i en brandsituation kan uttryckas som $\text{dB} \cdot \text{m}^3/\text{g}$ förbränt material. För att beräkna detta är det nödvändigt att veta:

- (a) röktätheten (D_L) för förbränningsprodukterna,
- (b) volymen av förbränningsprodukterna (m^3) eller flödes hastigheten (m^3/s); (i flertalet fall sker detta genom direkt mätning). Andra sätt diskuteras i [20],
- (c) vikten av frigjorda pyrolysisprodukter från bränslet (g) eller flödes hastigheten (g/s).

I många tester som genomförts mäts (a). Ibland mäts även (b), men det är ovanligt att (a), (b) och (c) samtliga finns tillgängliga. D_0 kan redovisas dels som momentanvärde och dels som genomsnittligt värde under en viss tid.

För att få en uppfattning om hur mycket rök som totalt utvecklas då en produkt brinner kan man summera produkten av D_0 och förbrännings hastigheten över alla tidssteg. Denna summa kallas även produktens rökutvecklingspotential och betecknas här $D_{\text{tot}} = \sum_{\text{alla tidssteg}} D_0 \cdot \dot{m}_0$.

Laboratorieundersökningar har gjorts där man har försökt att relatera röktätheten till en viss siktsträcka för en person som befinner sig i det rum där röken samlas. Figur C1 [27] ger exempel på resultat från denna typ av undersökningar.



Figur C1. Optisk densitet ($\frac{dB}{m}$) [27]

