



LUND UNIVERSITY

Brandbelastning i bostadslägenheter

Nilsson, Leif

1970

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Nilsson, L. (1970). *Brandbelastning i bostadslägenheter*. (Bulletin of Division of Structural Mechanics and Concrete Construction, Bulletin 15; Vol. Bulletin 15). Lund Institute of Technology.

Total number of authors:

1

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

116 *Lee* 1641 *31*

I

LEIF NILSSON

Brandtekniks IT-Bibliotek, LTH



15000

601227967

BRANDBELASTNING I BOSTADSLÄGENHETER

Rapport

R34:1970

107 1

**Brandbelastning i
bostadslägenheter**

Leif Nilsson

Byggforskningen

Brandbelastning i bostadslägenheter

Leif Nilsson

Brandteknik
Lunds Tekniska Högskola
Biblioteket

Byggforskningen Sammanfattningar

2431

R34:1970

Genom i icke oväsentlig omfattning svenska forskningsinsatser har under de senaste åren nya principer angivits för en funktionellt underbyggd brandteknisk dimensionering av bärande och brandavskiljande konstruktioner. Som väsentlig komponent i en sådan dimensionering ingår storheten brandbelastning, redovisad på ett sådant sätt, att en teoretisk beräkning av brandrummets gastemperatur-tidkurva möjliggörs. Detta förutsätter en nyanserad brandbelastningsredovisning, som innehåller uppgifter om såväl under branden frigjord värmemängd som tidsvariationen för förbränningshastighet samt flammors, glödande partiklars och rökgasers strålningstal. Forsknings- och utvecklingsarbete, som syftar till en sådan nyanserad redovisning pågår över bl.a. förbränningsstudier i modellskala. I avsaknad av mera omfattande resultatunderlag från sådana undersökningar tvingar nuläget kunskapsituation inom området till en starkt förenklad brandbelastningskarakterisering som en temporär lösning.

I nuvarande svenska normer definieras brandbelastningen för en brandcell som den sammanlagda värmemängd q (Mcal/m²) vilken, refererad till ytenhet av brandcellens totala omslutningsyta A_t (m²), frigörs vid en fullständig förbränning av allt brännbart material i brandcellen, inklusive byggnadsstomme, inredning, beklädnad och golvbeläggning. Brandbelastningen bestäms därvid ur sambandet

$$q = \frac{1}{A_t} \sum m_v H_v \quad (1)$$

med m_v = totala vikten i kg och H_v = effektiva värmevärdet i Mcal/kg för varje enskilt brännbart material v i brandcellen.

Som en naturlig och angelägen delösning på vägen mot en förbränningstekniskt nyanserad brandbelastningskarakterisering framstår en bestämning över ett i förhållande till ekv. (1) vidareutvecklat samband av typen

$$q = \frac{1}{A_t} \sum \mu_v m_v H_v \quad (2)$$

varvid μ_v utgör en dimensionslös koefficient med värden mellan 0 och 1, vilken för varje enskild brandbelastningskomponent v anger graden av

reell förbränning. Koefficienten μ_v är därvid en funktion av bl.a. bränsletyp, bränslets geometriska karakteristika och bränslets placering i brandcellen. Högfrekventa exempel på brandbelastningskomponenter med μ_v -koefficienter, som avsevärt underskrider värdet 1, utgör sannolikt golvbeläggning och bokhyllor.

För en vidgad tillämpning av en kvalificerad brandteknisk dimensionering enligt de inledningsvis skisserade principerna har statistiska inventeringar av brandbelastningen för vissa vanliga lokal- och byggnadstyper hög angelägenhetsgrad. För brandbelastningen karakteriserad enligt ekv. (1) eller (2) saknas i dag praktiskt taget helt sådant statistiskt underlag.

En statistisk inventering av brandbelastningen i bostadslägenheter

Väsentliga faktorer för ett brandförlopps intensitet och varaktighet är brandbelastning, brandventilation, brandcellens geometriska egenskaper samt omslutande konstruktions termiska egenskaper. Speciellt intresse i detta sammanhang har brandbelastningens storlek och egenskaper, dvs. ingående materials förbränningsegenskaper, finfördelning och fördelning i brandcellen. Nuläget i sammanhanget starkt otillräckliga kunskapsunderlag tvingar därvid f.n. till en begränsad behandling av brandbelastningens storlek.

Bearbetningsmetodik

På grundval av ett av FOA för civilförsvarsändamål framtaget statistiskt underlag, har vid institutionen för byggnadsstatik, LTH, studerats möjligheterna för en mera nyanserad karakterisering av brandbelastningen med tillämpning för bostadslägenheter. Tillgängligt material omfattar noggranna data rörande inredning och möblering, rumsgeometri, fönsters och dörrars placering och storlek samt material i väggar, golv och tak för 162 sovrum och 133 vardagsrum med som gemensamt karakteristikum en fönstervägg. Rummen ingår i 120 slumpmässigt utvalda lägenheter, av vilka 50 är belägna i Stockholms innerstad och 70 i Stockholms förorter. Lägenheterna har utvalts i flerlägenhetshus av murad eller guten typ.

Rapport R34:1970 avser anslag nr C 479:2 (projekt 3) från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen för byggnadsstatik vid Lunds tekniska högskola.

Vid en funktionellt underbyggd brandteknisk dimensionering av bärande och brandavskiljande konstruktioner ingår som väsentlig komponent brandbelastningens storlek, redovisad på ett sådant sätt, att en teoretisk beräkning av brandrummets gastemperatur-tidkurva möjliggörs. Teoretiska och experimentella undersökningar i modellskala, omfattande ett studium av möjligheterna för en förbränningstekniskt nyanserad brandbelastningskarakterisering, pågår för närvarande vid institutionen för byggnadsstatik, LTH. Från detta studium redovisas i rapporten dels några grundläggande synpunkter på brandbelastningen och dels resultat från en statistisk bearbetning av en fältundersökning rörande brandbelastningen i bostadslägenheter.

Vid bearbetning av det statistiska underlaget, hämtat från 120 slumpmässigt utvalda lägenheter, har såväl enskilt sovrum och vardagsrum som hel lägenhet behandlats som en brandcell. Förutom representativa värden på brandbelastningen ges för varje typ av brandcell medelvärde och standardavvikelse på omslutningsyta och öppningsfaktor.

Slutligen diskuteras vilket värde på brandbelastningen som skall läggas till grund för en brandteknisk dimensionering.

UDK 620.193.5
699.81

Sammanfattning av:

Nilsson, L., 1970, *Brandbelastning i bostadslägenheter* (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R34:1970. 64 s., ill. 13 kr.

Distribution: Svensk Byggtjänst,
Box 1403, 111 84 Stockholm.
Telefon 08-24 28 60.

Abonnemangsgrupp: k (konstruktion).

Genomförd bearbetning har omfattat dels enskild rumsenhet, dels hel lägenhet räknad som en brandcell. Det första fallet kan få aktualitet om samtliga dörrar i rummet är stängda samt om brandbelastningen i rummet är så låg att vid en brand genombränning och ytterligare brandspridning genom dörrarna inte sker. Speciellt intresse har härvid sovrums och vardagsrum, då en stor del av däri befintliga inredningskomponenter består av lättantändliga föremål som snabbt sprider en initierad brand inom rummet och därigenom möjliggör en övertändning. Möjligheten att en i ett kök initierad brand skall utvecklas till en övertändning och därefter eventuellt sprida sig till angränsande rum eller hela lägenheten, bedöms som liten, eftersom den huvudsakliga köksinredningen i dag består av svårantändliga enheter, i jämförelse med övriga i lägenheten befintliga inredningskomponenter.

Det andra alternativet med hela lägenheten räknad som en brandcell är det ordinärt realistiska för en brandteknisk dimensionering och också det som normmässigt föreskrivs. Tyngdpunkten i resultatbearbetningen har därför lagts på detta alternativ.

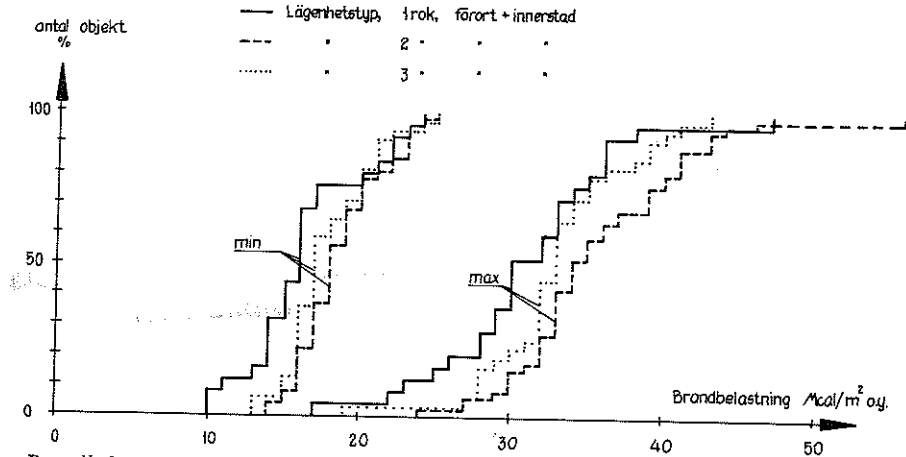
Genomgående har för varje brandcell bestämts *brandbelastningen* q (Mcal/m² o.y.), definierad enligt ekv. (1), *omslutningsytan* A_t (m²), varmed menas den inre ytan av de väggar, tak och golv, som avgränsar brandcellen från dess om-

givning samt *öppningsfaktorn* $\frac{A\sqrt{h}}{A_t}$,

där A (m²) betecknar brandcellens sammanlagda öppningsyta (fönster, dörrar etc.) och h (m) ett med hänsyn till öppningarnas storlek vägt medelvärde av deras utsträckning i höjddled.

Vid beräkning av öppningsfaktorn $\frac{A\sqrt{h}}{A_t}$ har därvid i fallet sovrums respektive vardagsrum som en brandcell förutsättningen genomgående varit till angränsande rum stängda dörrar samt helt öppna fönster, baserat på antagandet att de temperaturer, som vid en brand utvecklas redan i ett tidigt skede av branden spränger sönder fönsterrutorna. I fallet hela lägenheten räknad som en brandcell har, vilket motiveras närmare nedan, två olika öppningsfaktorvärden beräknats. Förutsättningen har härvid varit helt öppna fönster och dörrar i båda fallen med undantag av klädkammar- och ytterdörr, vilka antagits intakta under ett initialske av brandförloppet men vid längre brandvaraktighet helt genombrända.

I utnyttjat material är byggnaderna i *Stockholms förorter* genomgående av yngre datum än de i *Stockholms innerstad* belägna. Naturligen bör samma förhållande gälla möbler och övriga inredningskomponenter, vilket



Brandbelastningens fördelningskurva, såväl min- som maxvärden. Förort och innerstad.

också bekräftas vid ett studium av de till varje lägenhet hörande fotografierna. I avsikt att utröna om någon märkbar skillnad föreligger även i brandbelastningshänseende har materialet vid bearbetningen uppdelats på följande sätt: Först har alla sovrums, vardagsrum respektive hela lägenheter i Stockholms förorter sammanförts i separata grupper. Samma förfarande har sedan upprepats för sovrums, vardagsrum och lägenheter i Stockholms innerstad, varefter de olika grupperna i Stockholms förorter sammanslagits med motsvarande grupper i Stockholms innerstad.

Förutom att materialet på detta sätt uppdelats i olika grupper har för varje grupp – då så bedömts relevant – bestämts ett *min- och ett maxvärde* för brandbelastningen. En sådan undergruppering bygger därvid på följande överväganden. Om brandbelastningen i dominerande grad utgörs av tunga möbler, böcker samt icke exponerat skåps- och garderobsinnehåll har de för branden lättantändliga komponenterna i brandcellen vid en övertändning alltför lågt värmeinhåll för att möjliggöra en brand med längre varaktighet. Temperatur, värmestrålning och gasutveckling kommer då att nå endast låga värden, vilket medför att den tid, under vilken dessa mera svårantändliga enheter påverkas av branden blir alltför kort för att antändning och därav följande genombränning av dem skall ske. Under sådana förutsättningar kommer de nämnda enheterna inte att ge något bidrag till brandbelastningen, som därigenom reduceras

till beräknade minvärden. Om å andra sidan de lättantändliga komponenterna i brandcellen har så stort värmeinhåll att vid en övertändning brandvaraktigheten blir så lång, att även svårbrännbara enheter antänds med därpå följande höga värden på temperatur, värmestrålning och gasutveckling, resulterar detta i att samtliga i brandcellen befintliga komponenter kommer att delta i brandförloppet, varemot svarar för brandbelastningen beräknade maxvärden.

Resultat

Resultat av genomförd bearbetning exemplifieras i figur och tabell. Figuren visar brandbelastningens fördelningskurva, såväl min- som maxvärde vid hel lägenhet som brandcell, där Stockholms förorter och innerstad behandlats sammantagna men med uppdelning på lägenhetstyperna 1 rok, 2 rok och 3 rok. För omslutningsytan A_t , öppningsfaktorn $\frac{A\sqrt{h}}{A_t}$ och brandbelastningen q ges medelvärde och standardavvikelse i tabellen för såväl enskilt rum som hel lägenhet betraktad som brandcell, varvid Stockholms förorter och innerstad behandlats sammantagna.

I anslutning till redovisad inventering av brandbelastningens i bostadslägenheter storlek, aktualiseras givetvis frågan om vilket värde som skall läggas till grund för en brandteknisk dimensionering av omslutande och inneslutna konstruktioner. Härvid bör rimlig hänsyn tagas inte bara till brandbelastningens storlek utan även till sannolikheten för en brands uppkomst.

Maximivärden för brandbelastningen. Förort och innerstad.

Rums- eller lägenhetstyp	Omslutningsyta A_t (m ²)	Öppningsfaktor $\frac{A\sqrt{h}}{A_t}$ (m ^{1/2})	Brandbelastning q (Mcal/m ² o.y.)
Sovrum			
2 rok, 3 rok	—	—	22,9 ±8,2
Vardagsrum			
2 rok, 3 rok	—	—	24,7 ±5,7
1 rok	148,0 ±30,9	0,049 ±0,007	30,7 ±6,1
2 rok	193,9 ±26,1	0,051 ±0,010	35,8 ±5,9
3 rok	242,9 ±37,7	0,051 ±0,011	33,1 ±4,8

Fire loads in flats

Leif Nilsson

Owing to significant research work carried out over the past few years, not the least in Sweden, new principles have been established for functionally based fire engineering design of load-bearing and fire separating structures. The fire load, determined in such a way that theoretical calculation of the gas temperature-time curve of the fire cell is possible, is an essential component of such design. This demands a wide-ranging fire load classification comprising information on both the quantity of heat released during the fire and the variation with time of the speed of combustion, and also the emission of the flames, incandescent particles and the smoke gases. Research and development work which has the formulation of such classification as its aim is being carried on by means of combustion studies on a model scale, etc. In the absence of more comprehensive results from such investigations, the present state of knowledge in this field necessitates the use of a very greatly simplified fire load characterisation as a temporary solution.

In current Swedish standards, the fire load for a fire cell is defined as the total quantity of heat q (Mcal/m²) which is given off during complete combustion of all combustible materials in the fire cell, including the building structure, furnishings, cladding and floor covering, per unit area of the total surface A_t (m²) enclosing the fire cell. The fire load is thus determined from the expression

$$q = \frac{1}{A_t} \sum m_v H_v \quad (1)$$

where m_v = is the total weight in kg and H_v = effective calorific value in Mcal/kg for each individual combustible material v in the fire cell.

The formulation of an expression, evolved from formula (1), of the type

$$q = \frac{1}{A_t} \sum \mu_v m_v H_v \quad (2)$$

where μ_v is a non-dimensional coefficient, with a value between nought and one, which specifies the actual degree of combustion for each individual fire load component v , would appear to be a natural and urgent partial solution which goes some way towards a fire load characterization based on combustion engineering considerations. The value of the coefficient μ_v depends on the type and geometrical characteristics of the fuel

and its position in the fire cell, etc. Floor coverings and book shelves are probably frequently-occurring examples of fire load components which have μ_v values considerably below one.

Statistical processing of information pertaining to certain common types of premises and buildings has a high degree of priority in order that wider application of sophisticated combustion engineering design in accordance with the principles outlined in the introduction should become possible. There is practically no such statistical material available at present in respect of fire loads characterized by formula (1) or (2).

Statistical processing of information on fire loads in flats

The fire load, the air available for the fire, the geometrical characteristics of the fire cell and the thermal properties of the enclosing structure are factors of great importance for the intensity and duration of a fire. The magnitude and characteristics of the fire load, i.e. the combustion properties of the component materials, their porosity and distribution in the fire cell, are of particular interest in this context. Our present insufficient knowledge of the field means that the size of the fire load must for the moment be given limited attention.

Method of processing

Using statistical material collected by the Research Institute of National Defence for civil defence purposes, the Division of Structural Mechanics and Concrete Construction at the Lund Institute of Technology has been studying the possibilities of applying a more diversified fire load characterization to flats. The material available contains accurate data concerning fittings and furniture, room geometry, the situation and sizes of doors and windows as well as the materials in the walls, floor and ceiling, for 162 bedrooms and 133 living rooms which have the common characteristic of having one wall with a window in it. The rooms form part of 120 flats selected at random, 50 of which are situated in Stockholm and 70 in the suburbs of Stockholm. The flats selected were situated in blocks of flats built of bricks or in-situ concrete.

The processing has comprised both individual rooms and whole flats taken as one fire cell.

National Swedish Building Research Summaries

R34:1970

Report R34:1970 refers to Grant No C 479:2 (Project No 3) from the National Swedish Council for Building Research to the Division of Structural Mechanics and Concrete Construction at the Lund Institute of Technology.

An essential part of functionally based fire engineering design of load-bearing and fire separating structures is the size of the fire load, determined in such a way that theoretical calculation of the gas temperature-time curve of the fire cell is possible. Theoretical and experimental model investigations, comprising a study of the possibilities of establishing a fire load characterisation based on combustion engineering considerations, are at present being performed at the Division of Structural Mechanics and Concrete Construction at the Lund Institute of Technology. Some fundamental aspects of the fire load and the results of the statistical processing of a field investigation concerning the fire load in flats, obtained during this study, are put forward in this report.

In the processing of the statistical material, taken from 120 flats selected at random, both individual bedrooms and living rooms and whole flats have been regarded as the fire cell. The mean value and the standard deviation pertaining to the enclosing surface and the opening factor are given for each type of fire cell in addition to representative values of the fire load.

Finally, the question of what value of the fire load should be taken as the fire engineering design criterion is discussed.

UDC 620.193.5
699.81

Summary of:

Nilsson, L, 1970, *Brandbelastning i bostadslägenheter*/Fire loads in flats/(Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R34:1970. 64 p., ill. 13 Sw.kr.

Distribution: Svensk Byggtjänst,
Box 1403, S-111 84 Stockholm, Sweden.

The first case may become applicable if all the doors in the room are closed and the fire load in the room is so low that, in the event of a fire, the doors will not be burned through and thus allow the fire to spread. Bedrooms and living rooms are of special interest in this connection, since a large proportion of furnishing components in these rooms consists of easy-to-ignite objects which will quickly spread a fire over the room and thus make possible a flash-over. The possibilities of a fire starting in a kitchen developing into a flash-over and thus spreading to adjoining rooms or the whole flat are considered small, since the main kitchen fittings to-day consist of hard-to-ignite components in comparison with the components in other parts of the flat.

The second alternative, that of considering the whole flat as one fire cell, is one that is realistic from a fire engineering design point of view and is also the one specified in standards. The emphasis in processing the results has therefore been placed on this alternative.

The following quantities have been determined consistently for every fire cell:

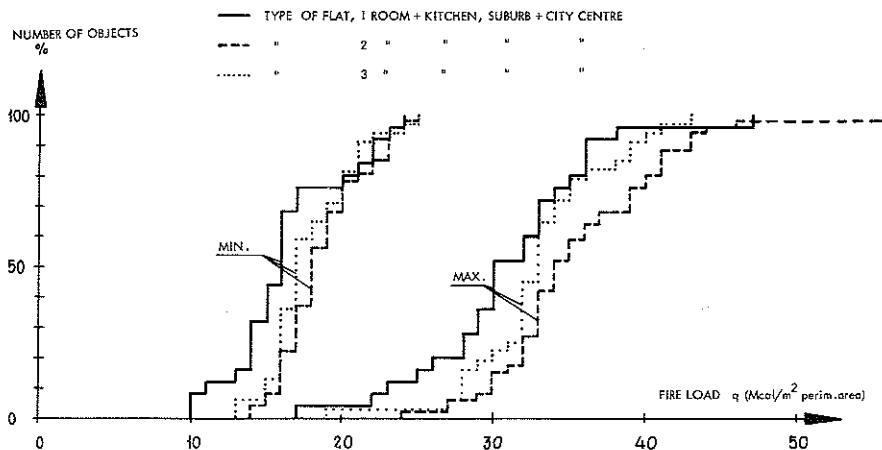
the fire load q (Mcal/m² of enclosing surface), defined as per (1), the enclosing surface A_t (m²), being the internal surface of the walls, ceiling and floor that separate the fire cell from its surround-

ings, and the opening factor $\frac{A\sqrt{h}}{A_t}$,

where A (m²) denotes the total opening area (windows, doors etc) in the fire cell, and h (m) their average height determined in view of their sizes.

In determining the opening factor $A\sqrt{h}/A_t$, the stipulation in the case of bedrooms and living rooms as fire cells has been throughout that doors to adjoining rooms are closed while windows are completely open. This is based on the assumption that the window panes will shatter at an early stage of a fire, due to the temperatures which develop during the fire. Two values of the opening factor were calculated in the case when the whole flat was taken as one fire cell, for reasons specified more closely below. It was assumed in both cases that windows and doors are completely open, with the exception of the door of the clothes closet and the outer door, which were assumed to be intact during the initial stage of the fire and to be completely burned through when the fire is of longer duration.

In the material used, the buildings in the suburbs of Stockholm are consistently of more recent date than those inside Stockholm. The same should naturally be the case as regards furniture and other furnishings, too, and this has been confirmed by a study of the photographs pertaining to each flat. In order to as-



Distribution curve of the fire load, both maximum and minimum values. Suburbs and city centre.

certain whether there is also any noticeable difference as regards the fire load, the material was divided as follows prior to processing; first, all bedrooms, living rooms and whole flats in the suburbs were separated into groups. The same procedure was then applied to the bedrooms, living rooms and whole flats for buildings inside Stockholm, after which the various groups pertaining to the suburbs were combined with corresponding groups for flats inside Stockholm. In addition to dividing the material into different groups in this way, a minimum and maximum value of the fire load was determined for every group when this was considered relevant. This sub-grouping is based on the following considerations: if the fire load consists to a predominant extent of heavy furniture, books and non-exposed cupboard and wardrobe contents, then the easy-to-ignite components in the fire cell will on ignition have far too low a calorific value to start a fire of longer duration. The temperature, heat radiation and gas development will in this case only reach low values, which means that the time during which these hard-to-ignite units are affected by the fire will be too short for them to be ignited, and a flash-over will therefore not occur. In these circumstances, the said units will not contribute to the fire load which is thus reduced to the minimum value. If, on the other hand, the easy-to-ignite components in the fire cell have such a high calorific

value that, once ignition occurs, the duration of the fire will be such as to cause ignition even of the hard-to-ignite units, with consequent high values of temperature, heat radiation and gas development, the result will be that all components situated inside the fire cell will participate in the fire and the fire load will therefore have the maximum value.

Results:

An example of the results of the processing is given in figure and table. The figure shows the distribution curve of the fire load, both maximum and minimum values for whole flats taken as the fire cell, with the Stockholm suburbs and city centre grouped together but with a breakdown into flat types 1 room+kitchen, 2 rooms+kitchen, 3 rooms+kitchen. The mean values and standard deviations of the enclosure area A_t , the opening factor $A\sqrt{h}/A_t$ and the fire load q , for both individual rooms and whole flats regarded as the fire cell and with suburban and city centre flats being treated as one group, are shown in the table.

In connection with the tabulation of the size of the fire load in flats, the question of what should be taken as the fire engineering design criterion for enclosing and enclosed parts of the structure naturally arises. In this respect, due consideration is to be given not only to the size of the fire load but also to the probability of a fire breaking out.

Maximum values of fire load. Suburbs and city centre.

Type of room or dwelling	Perimeter area A_t (m ²)	Opening factor $\frac{A\sqrt{h}}{A_t}$ m ^{1/2}	Fire load q (Mcal/m ² perim.area)
Bedroom			
2 rooms+kitchen			22.9 ±8.2
3 " "	—	—	
Living room			
2 rooms+kitchen			24.7 ±5.7
3 " "	—	—	
1 room+kitchen	148.0 ±30.9	0.049 ±0.007	30.7 ±6.1
2 " "	193.9 ±26.1	0.051 ±0.010	35.8 ±5.9
3 " "	242.9 ±37.7	0.051 ±0.011	33.1 ±4.8

Rapport R34:1970

BRANDBELASTNING I BOSTADSLÄGENHETER

FIRE LOADS IN FLATS

av civilingenjör Leif Nilsson
Institutionen för Byggnadsstatik, LTH

Denna rapport avser anslag C 479 från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen för byggnadsstatik, LTH. Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.

Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm

Rotbeckman, Stockholm 1970 10 8534 0

FÖRORD

Föreliggande rapport utgör del av licentiatavhandling utförd vid institutionen för Byggnadsstatik vid Lunds Tekniska Högskola med professor Ove Pettersson som handledare. Till honom vill jag framföra ett varmt tack för stöd, uppmuntran och värdefulla råd under detta arbetes tillkomst.

Dessutom vill jag tacka l:e forskningsingenjör Bengt Onnermark vid Försvarets Forskningsanstalt och rektor Vilhelm Sjölin vid Statens Brandskola, som båda välvilligt ställt material till förfogande, fröken Lena Öberg, som svarat för manuskriptet och fröken Yvonne Fransson, som ritat samtliga diagram.

Lund i mars 1970

Leif Nilsson

INNEHÅLL

1	INTRODUKTION	5
1.1	Karakteristika för internationellt konventionell brandteknisk dimensionering	5
1.2	Principer för en nyanserad brandteknisk dimensionering	13
2	GRUNDLÄGGANDE SYNPUNKTER PÅ EN BRANDBELASTNINGSKARAKTERISERING	15
2.1	Gällande definition av brandbelastning	15
2.2	Mera nyanserad brandbelastningskarakterisering	15
2.3	Brandbelastningens finfördelningsgrad	17
2.4	Komponentens läge i höjddled	21
2.5	Pågående och planerade förbränningsstudier	21
3	MATERIALETS BEARBETNING	24
3.1	Beskrivning av materialet	24
3.2	Val av brandcell	27
3.3	Materialens värmevärde	27
3.4	Bestämning av inredningskomponenternas energiinnehåll	29
3.5	Det statistiska materialets gruppering	33
3.6	q_{min} och q_{max}	34
3.7	Omslutningsytan	38
3.8	Öppningsfaktorn	38
3.9	Golvbeläggning	43
4	RESULTAT OCH DISKUSSION	44
	REFERENSER	49
	BILAGA	51
	Redovisning av brandbelastningens fördelningskurvor för olika lägenhetstyper (figurer 26-44, tabell 4-6).	

1 INTRODUKTION

1.1 Karakteristika för internationellt konventionell brandteknisk dimensionering

En brandteknisk dimensionering av en byggnad eller byggnadsdel utföres i dag i flertalet länder på ett starkt förenklat och onyanserat sätt. Detta sker genom beräkning av i brandcellen ingående mängd brännbart material, den s.k. brandbelastningen, vilken med, till denna brandbelastning hörande brandvaraktighet ger i brandcellen erhållen temperatur genom utnyttjande av en normerad gastemperatur-tidkurva. Det föreskrivna temperatur-tidförloppet varierar obetydligt i olika länders normer, och inom ISO (International Organization for Standardization) har en temperatur-tidkurva antagits, figur 1, kurva 1, bl.a. som grund för den till klassificering ledande provningsverksamhet av byggnadsdelars brandmotstånd, som i dag äger rum. Stor spridning uppvisar däremot det i olika länders normer givna sambandet mellan brandbelastningen och en brands varaktighet, vilket åskådliggörs i figur 2, där i Sverige, USA, United Kingdom och Schweiz gällande normkurvor återges. De fyra kurvsambanden ger exempelvis vid en brandbelastning av 200 kg trä per m² golvyta en brandvaraktighet av 4,0, 4,8, 3,2 respektive 1,4 h.

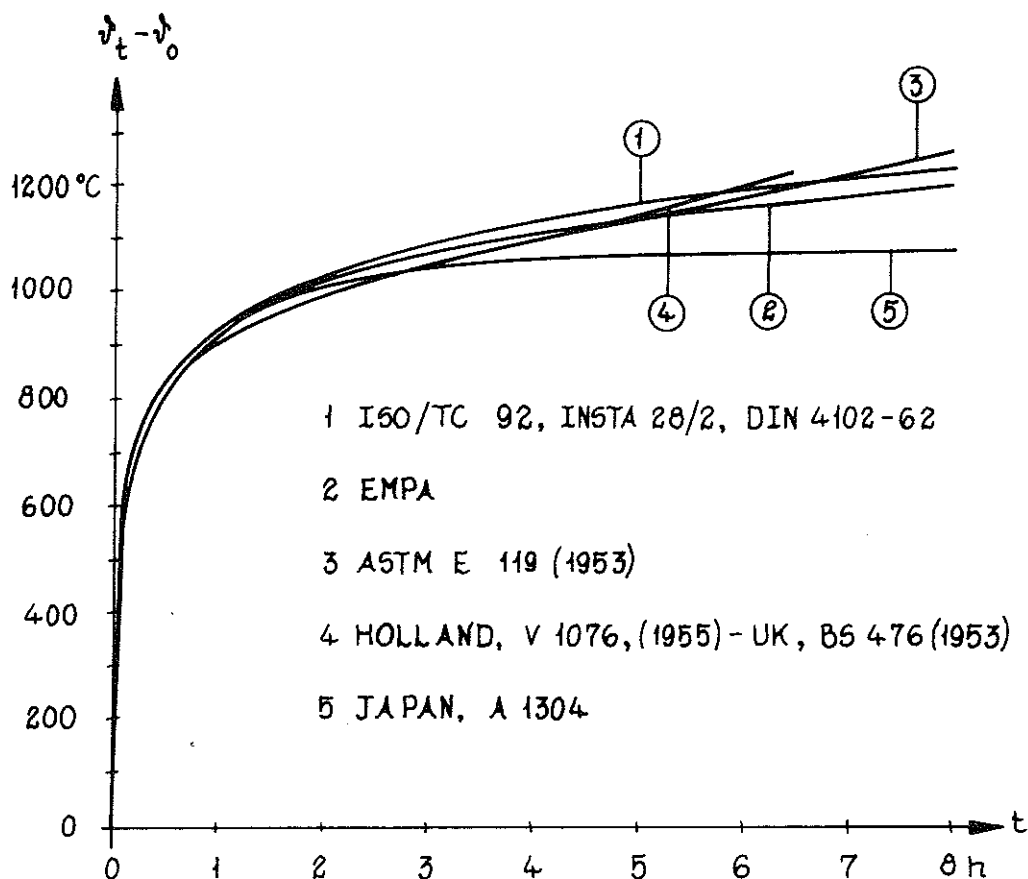


FIG. 1.

Några i olika länder för brand i en brandcell normerade kurvor för sambandet mellan brandtemperatur ϑ och tid t , ϑ_0 = temperaturen i brandcellen vid tiden $t = 0$.

Standard curves showing the relationship between the temperature of the fire ϑ and the time t , used in some countries for fires in fire cells. ϑ_0 = temperature in the fire cell at time $t = 0$.

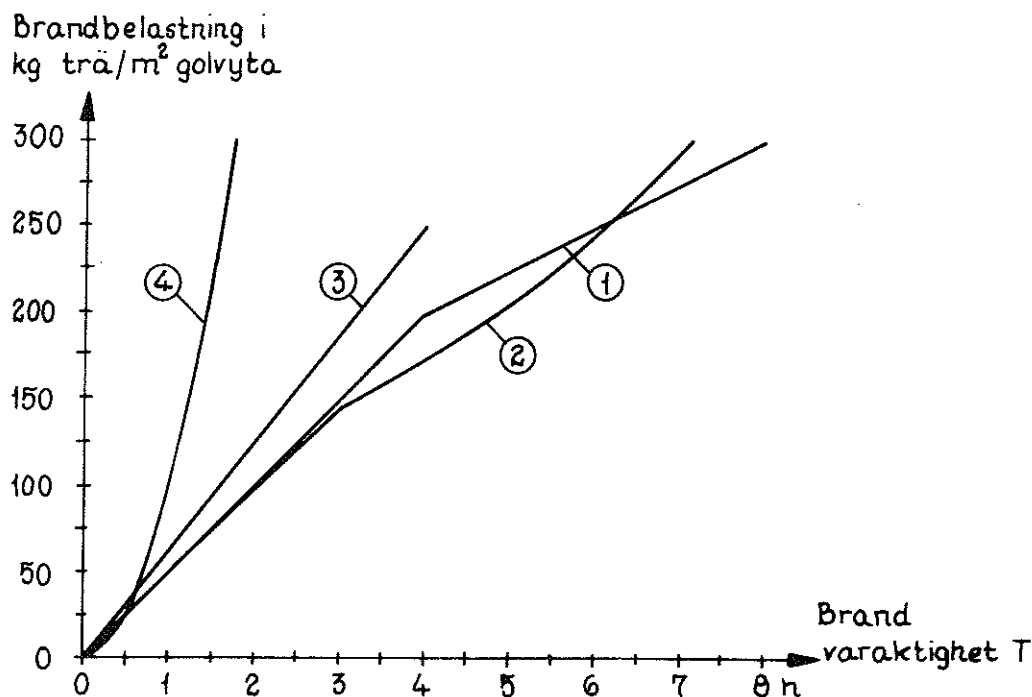


FIG. 2.

Samband mellan brandbelastning i kg trä/m² golvyta och brandens varaktighet i h enligt i Sverige (kurva 1), USA (kurva 2), UK (kurva 3) och i Schweiz (kurva 4) tillämpade normer.

Relationship between the fire load in kg wood/m² floor area and the duration in hours of the fire, according to standards used in Sweden (Curve 1), USA (Curve 2), UK (Curve 3) and Switzerland (Curve 4).

Stora variationer uppvisar även i respektive normer angivet hänsynstagande till glöd- och avsvalningsfasen. (En definition av brandförloppets huvudfaser ges i fig 3.) Vid begränsad bränslemängd antages normalt temperaturen följa den i varje land normerade gastemperatur-tidkurvan fram till av brandbelastningen bestämd tidpunkt, varefter i vissa länder antages en momentan temperatursänkning i brandcellen till ordinär rumtemperatur, medan exempelvis svenska och schweiziska normer i stället förutsätter en mera realistisk avsvälning av 10⁰ C per minut. I ett flertal länders bestämmelser berörs emellertid inte alls inverkan på en byggnads eller byggnadsdels brandmotstånd av glöd- eller avsvalningsfasen.

Det anförda illustrerar på ett belysande sätt de internationellt sett stora avvikelser som idag gäller beträffande huvudförutsättningar för en brandteknisk bedömning eller klassificering av konstruktioner eller konstruktionsdelar.

Vid en jämförelse med motsvarande statistiska dimensionering av samma byggnad eller byggnadsdel, måste den brandtekniska dimensioneringen karakteriseras som övervägande föreskrifts- och rekommendationsmässig, utan hänsynstagande till såväl övriga för ett brandförlopp väsentliga faktorer - brandbelastningens finfördelning och fördelning i brandcellen, öppningsfaktorn och omslutande konstruktioners termiska egenskaper - som konstruktionens arbetsspänning, uppträdande tvångskrafter, brotttyp etc [1], [2]. Orsaken till en sådan obalans mellan två väsentliga och likvär-

diga sidor av en dimensionering, som inte bara varit förhärskande under lång period, utan även till stora delar kan bedömas komma att kvarstå i flertalet länder under ytterligare avsevärd tid, är de mycket ofullständiga kunskaper om ett brandförlopps karakteristika och de därtill hörande termiska påverkningarna på konstruktioner eller konstruktionsdelar som vi äger, och som för närvarande försvårar en mera funktionellt riktig brandteknisk dimensionering likvärdig den statiska.

Förutom den mycket ringa forskning som redovisats om brandförloppets olika faser - antändnings-, flam-, glöd- och avsvalningsfas (fig 3) - vilket framtvingat nuläget schablonmässiga normer, är de för en kvalificerad karakterisering av brandbelastningens storlek och egenskaper erforderliga statistiska fältinventeringarna för vanligare byggnadstyper mycket ofullständiga. Vad gäller brandbelastningens mera nyanserade egenskaper har dessa hittills lämnats helt obeaktade, trots att ingående komponenters materialegenskaper, finfördelning, antändbarhet och övriga förbränningsegenskaper i hög grad är avgörande för hur en brand kommer att utvecklas.

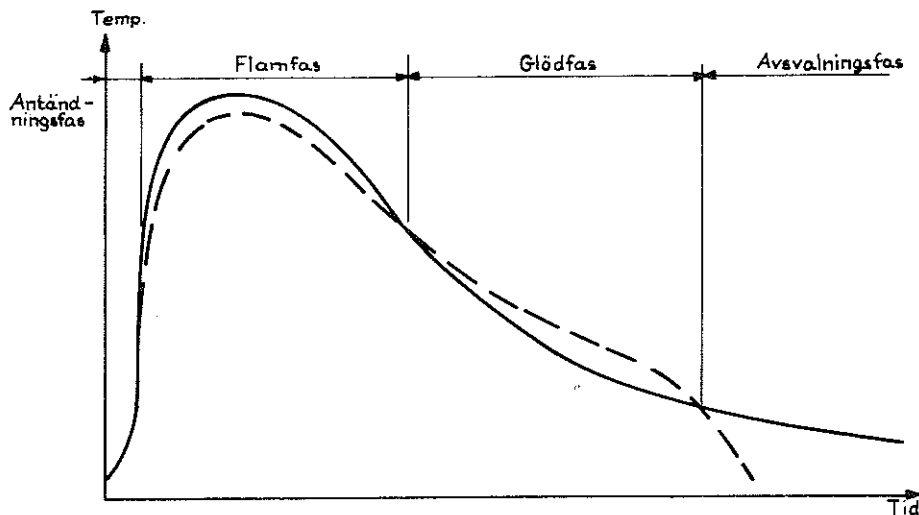


FIG. 3.

Brandförloppets huvudfaser, karakteriserade genom tidkurvorna för brandrumstemperaturen (-), bestämd med termoelement i skyddsror, och för strålningstemperatur (---).

Main phases of the process of fire development characterized by temperature-time curves of enclosed spaces. Full-line curve: temperature in the enclosed space determined by means of thermocouples sheathed in protective tubes. Dash-line curve: Radiation temperature.

Hittills publicerade statistiska inventeringar av brandbelastningens storlek, vilken genomgående redovisas som med hänsyn till värmevärde ekvivalent mängd kg trä per m² golvyta, varierar i omfattning och noggrannhet starkt från land till land. Flertalet länder, däribland de skandinaviska, uppvisar ett påtagligt ofullständigt material, medan i synnerhet japansk, men även i viss mån holländsk och schweizisk litteratur, redovisar förhållandevis omfattande resultat från systematiskt genomförda inventeringar av vanligare byggnadstypers brandbelastning. Som exempel härpå refereras i tabell 1 karakteristiska brandbelastningsvärden för japanska byggnader med betongstomme, i fig 4 den härtill

hörande, för brandbelastningen i kontorslokaler bestämda statistiska frekvenskurvan samt i fig 5 för holländska kontorslokaler bestämd statistisk fördelningskurva.

TAB. 1

Typ av byggnader	Brandbelastning i kg trä per m ² golvyta
Bostadsrum	40- 70
Sjuksalar	30- 60
Hotell	25- 40
Kontorslokaler	30-150
Skollokaler	20- 50
Bibliotekslokaler	300-600
Dito läsrum	50-350
Lagerlokaler	50-200
Varuhus	20- 75

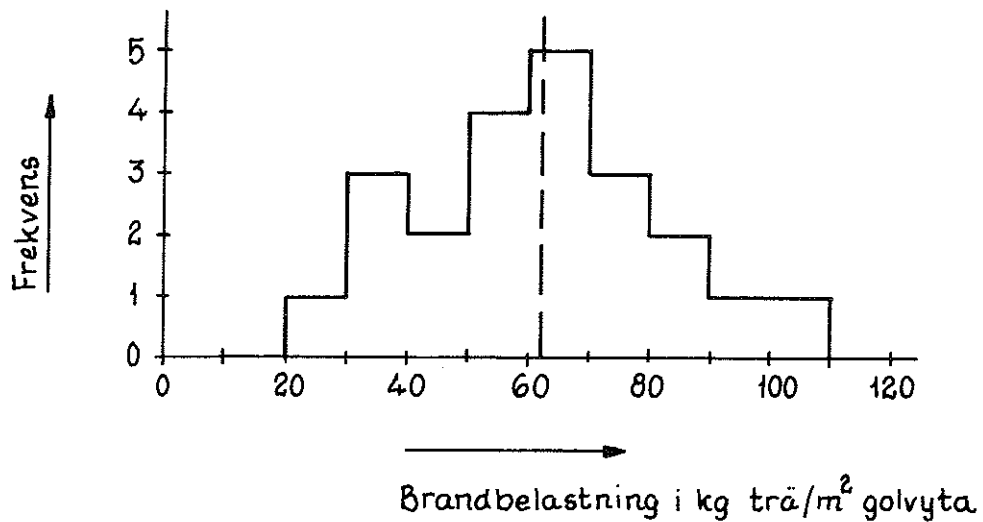


FIG. 4.

För japanska kontorshus med betongstomme bestämd frekvenskurva för brandbelastning, redovisad som ekvivalent mängd trä i kg per m² golvyta. [3]

Frequency curve of fire loads determined in Japanese office buildings with concrete load-bearing structures, shown as equivalent quantity of wood in kg/m² floor area. [3].

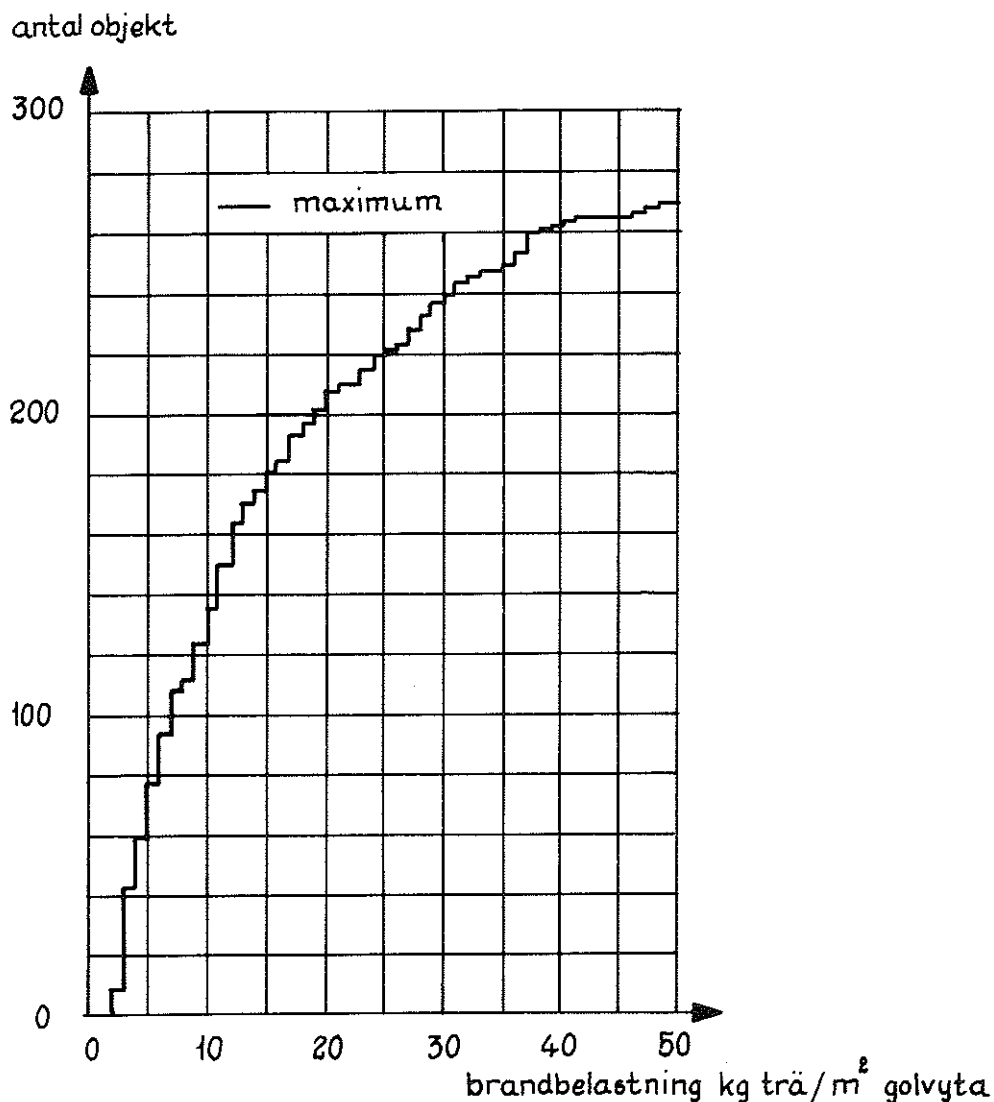


FIG. 5.

För moderna holländska kontorshus genom statistisk inventering bestämt fördelningsdiagram för brandbelastningen, redovisad som värmevärdesmässigt ekvivalent mängd trä i kg per m² golvyta av brandcellen. Värdena exkluderar eventuellt brännbart material i ytbeklädnader och golvbeläggning. [4]

Fire load distribution diagram for modern Dutch office buildings, determined by means of statistical processing, shown as the calorific-value equivalent quantity of wood in kg per m² floor area in the fire cell. The values exclude any combustible materials in wall cladding and floor covering. [4].

Att överföra för ett land statistiskt bestämda brandbelastningsvärden till direkt tillämpning i andra länder är med hänsyn till skiljaktigheter i byggnads- och levnadssätt mycket vanskligt. Detta illustreras på ett belysande sätt genom jämförelse mellan i fig 4 och 5 redovisade brandbelastningsvärden, som för japanska kontorslokaler ger en variation mellan 20 och 110 kg trä per m² golvyta, medan motsvarande variation i moderna holländska kontorslokaler är 2 till 48 kg trä per m² golvyta. Samtidigt skall emellertid framhållas, att vid översättning från en brandbelastning i kg trä till ett värmevärde i kcal holländarna tillämpar

värmevärdet 4500 kcal per kg trä medan japanerna använder det betydligt lägre värmevärdet 2575 kcal per kg trä, vilket svarar mot endast cirka 60 % förbränning.

En något mera nyanserad redovisning av brandbelastningen ges av Bryson och Gross som i [5] presenterar en fältinventering i två kontorshus i USA, omfattande respektive 335 och 556 rum. Förutom noggrann viktsbestämning har för samtliga inredningsenheter detaljerade data, omfattande bl.a. utformning, dimension och planläge i rummet, bestämts. I en första redovisning av brandbelastningen har denna uppdelats i flyttbar brandbelastning ("movable" fire load) och fast inredning ("interior finish" fire load). Med flyttbar brandbelastning menas därvid lös inredning, dvs möbler, gardiner, skåps- och lådinnehåll samt lösa mattor. Återstående i brandcellen brännbart material benämnes fast inredning och omfattar brännbar byggnadsstomme, tak och väggbeklädnader, fast golvbeläggning, dörrar, fönster samt permanent inbyggda enheter. För att inventeringen skall kunna bilda underlag för varierande analyser har erhållna värden successivt kodats och lagrats på ett sådant sätt att en framtida databehandling är möjlig.

Lösryckt illustration av vid undersökningen erhållna resultat ges i figurerna 6 och 7, vilka redovisar frekvenskurvan för de båda kontorshusens "flyttbara" brandbelastning.

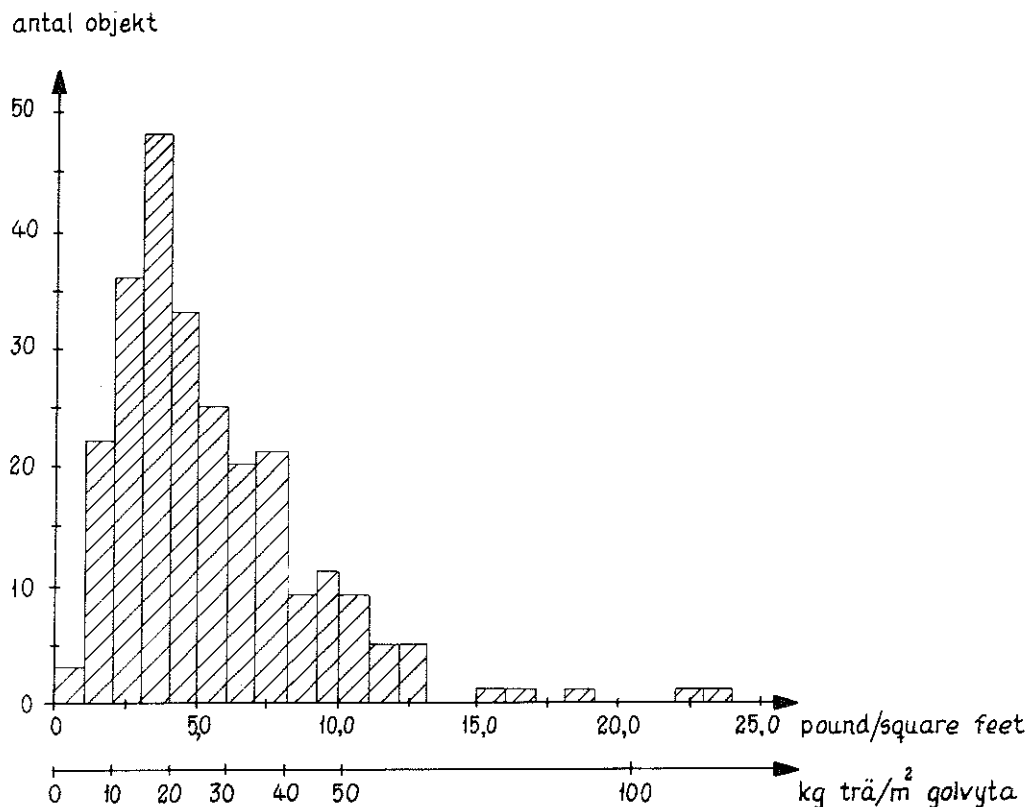


FIG. 6.

I amerikanska kontorslokaler genom statistisk inventering bestämd frekvenskurva för "flyttbar" brandbelastning, redovisad som värmevärdesmässigt ekvivalent mängd trä i pounds per square feet golvyta av brandcellen. Byggnad: National Bureau of Standards Administration Building i Washington. [5]

Medelvärde 4,9 (23,9) och standardavvikelse 3,5 (17,1) pounds per square feet (kg trä per m² golvyta).

Frequency curve for "mobile" fire load in American office premises, determined by means of statistical processing, shown as the calorific-value equivalent quantity of wood in lb/sq.ft. of floor area in the fire cell. Building: National Bureau of Standards Administration Building in Washington. [5].

Mean value 4.9 (23.9) and standard deviation 3.5 (17.1) lb/sq.ft. (kg wood per m² floor area).

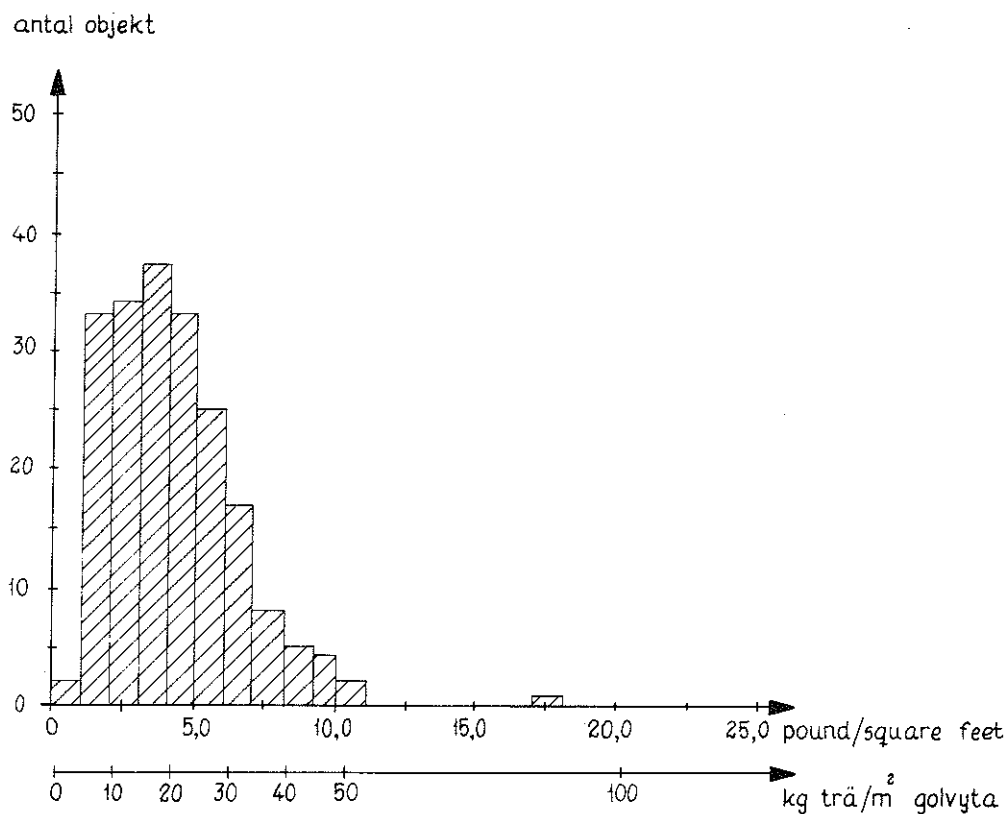


FIG. 7.

I amerikanska kontorslokaler genom statistisk inventering bestämd frekvenskurva för "flyttbar" brandbelastning, redovisad som värmevärdesmässigt ekvivalent mängd trä i pounds per square feet golvyta av brandcellen. Byggnad: Federal Office Building 9 i Washington. [5] Medelvärde 3,6 (17,6) och standardavvikelse 2,3 (11,2) pounds per square feet (kg trä per m² golvyta).

Frequency curve for "mobile" fire load in American office premises, determined by means of statistical processing, shown as the calorific-value equivalent quantity of wood in lb/sq.ft. of floor area in the fire cell. Building: Federal Office Building 9 in Washington. [5]. Mean value 3.6 (17.6) and standard deviation 2.3 (11.2) lb/sq.ft. (kg wood per m² floor area).

1.2 Principer för en nyanserad brandteknisk dimensionering

Genom i icke oväsentlig omfattning svenska forskningsinsatser har under de senaste åren nya principer angivits för en funktionellt underbyggd brandteknisk dimensionering av bärande och brandavskiljande konstruktioner [1], [2], [6]-[9]. Målsättningen är härvid en brandteknisk dimensionering som i sina huvudprinciper är likvärdig med i dag konventionellt tillämpad statistisk dimensionering av bärande konstruktioner. Summariskt utvecklat innebär detta en beräkning av förekommande mängd brännbart material (brandbelastningen), av häremot svarande gastemperatur - tidkurva för brandcellen samt av konstruktionens temperaturtillstånd och tillhörande minsta bärförmåga, vilken med föreskriven säkerhet under hela brandförloppet skall överstiga för den statistiska belastningen aktuellt värde. Pågående och redan avslutade forskningsarbeten kan i stort sett sorteras in i någon eller några av följande huvudgrupper, vilka samtidigt utgör väsentliga etapper i en kvalificerad brandteknisk dimensionering enligt ovan skisserat förfarande [1]:

- a) karakterisering av en brandcells brandbelastning för vanligen förekommande byggnadstyper (bostäder, kontor, skolor, sjukhus, varuhus, bibliotek etc),
- b) studium av energiutveckling, erforderlig lufttillförsel och produktion av gaser vid ett brandförlopp samt bestämning av i brandrummet erhållen rökgastemperatur som funktion av tiden,
- c) bestämning av termiska egenskaper hos vanligen förekommande konstruktionsmaterial inom hela det vid en brand aktuella temperaturområdet,
- d) bestämning av de instationära temperaturfält som vid en enligt b) given tidkurva för rökgastemperaturen uppkommer i en brandpåverkad konstruktion samt
- e) bestämning av statistiskt verkningssätt och bärförmåga för en belastad och brandpåverkad konstruktion med utgångspunkt från beräknade temperaturfält enligt d) och med kännedom om tillhörande förändringar i materialens hållfasthets- och deformationsegenskaper.

Gällande svenska byggnormer "SBN 67" och försöksnormen "Aluminiumkonstruktioner" har under avsnittet "Brandskydd" infört, i förhållande till tidigare normer, ny brandbelastningskarakterisering, och ger, förutom regler för konventionell schablonmässig dimensionering, föreskrifter för en nyanserad brandteknisk dimensionering med möjlighet att tillämpa senaste forskningsrön. Normerna, som i förhållande till de bestämmelser som gäller i de flesta andra länder, representerar betydande framsteg på vägen mot en kvalificerad brandteknisk dimensionering, ger tre olika dimensioneringsalternativ. Som i andra länder medges, på ett grovt förenklat och mycket onyanserat sätt, en dimensionering av brandpåverkad konstruktion för i brandcellen uppnådd gastemperatur baserad på en given gastemperatur - tidkurva. Denna kurva, som för närvarande utgör den på detta sätt starkt förenklade grundvalen för brandteknisk dimensionering i alla länder utom i Sverige, överensstämmer väl med den temperatur - tidkurva som av ISO rekommenderas för brandteknisk provning av byggnadsdelar. Alternativt tillåts, vid brandbelastning med förbränningshastighets- och strålningsförhållanden som approximativt överensstämmer med dem för träbränsle gällande, och vid känd öppningsfaktor, ett förfarande förenklat, men i jämförelse med det föregående

alternativet mera nyanserat förfarande för bestämning av brandvaraktighet och i brandcellen uppnådd gastemperatur. Slutligen tillåter de båda normerna att en byggnadsdels brandmotstånd, vid noggrant kända värden på brandbelastningens sammansättning och förbränningshastighet, bestämmas med utgångspunkt från en tidsvariation i rök-gastemperaturen framräknad över brandcellens värme- och massabalans-ekvationer.

Genom ett långsiktigt, systematiskt forsknings- och utvecklingsarbete bör så småningom en kartläggning av samtliga vid en brand ingående parametrar kunna ske, med konsekvens, att vid brandteknisk dimensionering en successiv övergång från de båda förstnämnda, i normerna givna mera onyanserade alternativen, till det mera funktionellt och ekonomiskt riktiga sistnämnda förfarings-sättet bör eftersträvas.

Såväl vid en framtida kvalificerad brandteknisk dimensionering, som i gällande normer angivna nyanserade alternativ, ingår som väsentlig komponent brandbelastningens storlek och sammansättning. Som inledning till en mera allmän bestämning av denna storhet i vanligare byggnadstyper, har som första objekt i Sverige bostadslägenheter studerats, vilket redovisas nedan. Härvid har ett för civilförsvarsändamål framtaget statistiskt underlag, omfattande 120 slumpmässigt utvalda bostadslägenheter bearbetats, varvid såväl enskilt sovrum och vardagsrum som hel lägenhet behandlats som brandcell. Förutom representativa värden på brandbelastningen ges för varje typ av brandcell medelvärde och standardavvikelse på öppningsfaktor och omslutningsyta.

2 GRUNDLÄGGANDE SYNPUNKTER PÅ EN BRANDBELASTNINGSKARAKTERISERING

2.1 Gällande definition av brandbelastning

Som primärt krav för en brandbelastningskaraktärisering måste gälla att den beskriver de förbränningstekniska förutsättningarna för en brand så fullständigt, att dennas temperatur - tidförlopp skall kunna förutbestämmas med tillfredsställande noggrannhet. Detta förutsätter en nyanserad brandbelastningsredovisning, som innehåller uppgifter om såväl under branden frigjord värmemängd som tidsvariationen för förbränningshastighet samt flammors, glödande partiklars och rökgasers strålningstal. Den brandbelastningskaraktärisering som för närvarande tillämpas i olika länders föreskrifter och rekommendationer uppfyller icke detta primärkrav. Med undantag av de svenska normerna anges, som ovan nämnts, i olika länders föreskrifter brandbelastningen som den mot förekommande mängd brännbart material svarande, värmevärdemässigt ekvivalenta mängden trä i kg per m² golvyta av brandcellen. Detta redovisningssätt måste betraktas som starkt förenklat och är dessutom oegentligt, då storheten bränslemängd per golvytenhet saknar fysikalisk innebörd som en karaktäristisk parameter för ett brandförlopp. Fysikaliskt mera korrekt och förbränningstekniskt bättre underbyggd är den i nyare svenska normer introducerade definitionen på brandbelastningen. I dessa definieras brandbelastningen som den sammanlagda värmemängd q (Mcal/m²), vilken refererad till ytenhet av brandcellens totala omslutningsyta A_t (m²), frigörs vid en fullständig förbränning av allt brännbart material i brandcellen, inklusive byggnadsstomme, inredning, beklädnad och golvbeläggning. Beräkningsmässigt bestäms brandbelastningen därvid ur sambandet

$$q = \frac{1}{A_t} \sum m_v H_v \quad (1)$$

med m_v = totala vikten i kg och H_v = effektiva värmevärdet i Mcal/kg för varje enskilt brännbart material v i brandcellen. Med brandcell menas här sådan del av en byggnad inom vilken en brand fritt kan utvecklas utan att spridas till annan del av byggnaden inom för varje typ av lokal viss normerad tid. Som exempel på en brandcell kan nämnas bostadslägenhet, kontorslägenhet och trapphus.

2.2 Mera nyanserad brandbelastningskaraktärisering

Som en naturlig och angelägen dellösning på vägen mot en förbränningstekniskt mera nyanserad brandbelastningskaraktärisering framstår en bestämning över ett i förhållande till ekvation (1) vidareutvecklat samband av typen

$$q = \frac{1}{A_t} \sum \mu_v m_v H_v \quad (2)$$

varvid μ_v utgör en dimensionslös koefficient med värden mellan 0 och 1, vilken för varje enskild brandbelastningskomponent v anger graden av reell förbränning. Koefficienten μ_v är därvid en funktion av bl.a. bränsletyp, bränslets geometriska karaktäristika och bränslets placering i brandcellen.

Det erforderliga experimentella underlag som krävs för realis-

tiskt valda μ_v -koefficienter saknas i dag praktiskt taget helt, vilket haft som konsekvens att i normerna μ_v genomgående sätts till 1. Detta medför, att med den brandbelastningsberäkning som i dag tillämpas, en längre brandvaraktighet och därmed högre temperaturer erhålls än vad motsvarande dimensionering med utgångspunkt från ekv. 2 skulle ge. Högfrekventa exempel på brandbelastningskomponenter med μ_v -koefficienter, som avsevärt underskrider värdet 1, utgör sannolikt bokhyllor och vissa typer av golvbeläggningar.

Svenska undersökningar [10], omfattande fullskaleförsök av brand i sovrum och vardagsrum antyder t.ex., att linoleummattor lagda på betonggolv i liten utsträckning medverkar vid ett brandförlopp. Samma försöksserie gav emellertid en nästan fullständig förbränning av parkettgolv lagda på träreglar med mellanliggande isolering, vilket visar, att generella och allmängiltiga slutsatser, på grundval av utförda, mycket begränsat antal försök och golvtyper, ej kan dragas. Samtidigt måste emellertid framhållas, att då den del av brandbelastningen som representeras av golvbeläggning och bokhyllor i många fall är avsevärd, är ett klarläggande av tillhörande μ_v -koefficient synnerligen angeläget.

I takt med ökande kunskaper om olika etapper i en kvalificerad brandteknisk dimensionering kommer kraven på en förbränningstekniskt mera nyanserad karakterisering av brandbelastningen att öka. En möjlig redovisning är brandbelastningens värmevärde q given enligt ekvation (2), samt parallellt därmed tillhörande tidsvariation för förbränningshastighet samt flammors, glödande partiklars och rökgasers strålningstal. Skisserade nyanserade karakterisering kräver emellertid en noggrann kartläggning av ytterligare inverkan faktorer som materialens antändningstemperatur, för förbränning erforderlig lufttillförsel, brandbelastningens finfördelningsgrad, lägeskoordinatens i höjdlängd inverkan samt brandcellens ventilationskarakteristika.

Ett i sammanhanget intressant försök till en totalkarakterisering av brandbelastningen diskuteras härvid av Sjölin [10], som söker innefatta samtliga ingående egenskaper i ett för varje brandcell specifikt jämförelsetal R_{rel} bestämt genom formeln

$$R_{rel} = m \cdot e \cdot f \cdot t_p \quad (3)$$

I formeln betecknar

- m ett vägt medelvärde av för varje ingående materialslag karakteristisk materialfaktor,
- e en energifaktor som varierar med rummets energiinnehåll. Denna ökar sannolikt långsamt från 0 tills gränsen för övertändning (flash over) uppnåtts, varefter den snabbt ökar,
- f en faktor som anger brandbelastningens finfördelning samt
- t_p en höjdlägesfaktor, som beskriver i vilken omfattning lågor och heta brandgaser påverkar ingående komponenter.

Då de numeriska värdena hos ingående faktorer är mycket litet kända, krävs ett omfattande arbete för att formeln i dag skall ha mer än teoretiskt intresse. Samtidigt kan emellertid konstateras, att på skilda håll pågår eller planeras arbeten för karakterisering av brandbelastningen med hänsyn till bl.a. finfördelningsgrad och höjdlägesfaktor.

2.3 Brandbelastningens finfördelningsgrad

Som en väsentlig faktor för en brands utveckling och förlopp ingår inredningskomponenternas grad av finfördelning. Härvid gäller generellt att en högre grad av finfördelning ger en högre förbränningshastighet med åtföljande högre värden på temperatur och strålning, men samtidigt, vid given brandbelastning q , en kortare brandvaraktighet. Detta motiverar, att vid en framtida redovisning av brandbelastningens egenskaper, hänsyn tages till ingående finfördelningsgrad.

Normalt anges finfördelningsgraden hos enskild komponent med hydrauliska radien, dvs $\frac{\text{volymen}}{\text{exponerad yta}}$ med dimensionen cm (m).

Större intresse i detta sammanhang har emellertid ett vidareutvecklat uttryck av formen $\frac{\text{volym} \cdot \text{densitet} \cdot \text{värmevärde}}{\text{exponerad yta}}$ med di-

mensionen Mcal/m^2 , som för enskild komponent anger energiinnehållet i förhållande till den för brand exponerade ytan. Genom en förhållandevis rimlig arbetsinsats, borde för några olika komponenter riktvärden på detta uttryck kunna erhållas, som i kombination med kompletterande bestämning av materialens förbränningsegenskaper skulle kunna ge de för en bestämning av faktorn m i formel (3) erforderliga kunskaperna om ingående materialfaktorer.

För förbränning i det fria av träribbstaplar har i litteraturen som karakteristika i stället för hydrauliska radien införts en porositetsfaktor ϕ , definierad genom sambandet

$$\phi = N^{0,5} \cdot b^{1,1} \cdot \frac{A_V}{A_S} \quad \text{med} \quad (4)$$

$$A_S = 2nb \{2NL + b [N-n(N-1)]\} \quad (5)$$

$$A_V = (L - n \cdot b)^2 \quad (6)$$

I formeln betecknar b tjockleken (kvadratisk tvärsnitt) och L längden av varje enskild träribba, n antalet ribbor per lager och N antalet lager av träribbstapeln, A_S den mot luften initierat exponerade ytan av samtliga i stapeln ingående ribbor och slutligen A_V den för vertikal luftrörelse genom stapeln fria horisontalytan. Som illustration visas i fig 8 experimentellt upptaget samband mellan förbränningshastigheten R i % per s - dock redovisad under den modifierade formen $FRb^{1,6}$ där faktorn F = kvoten mellan temperaturledningstalen för Douglasgran, som använts för huvuddelen av försöken, och aktuellt träslag - och för stapeln karakteristisk porositetsfaktor ϕ för i det fria försiggående förbränning av kvadratisk träribbstapel.

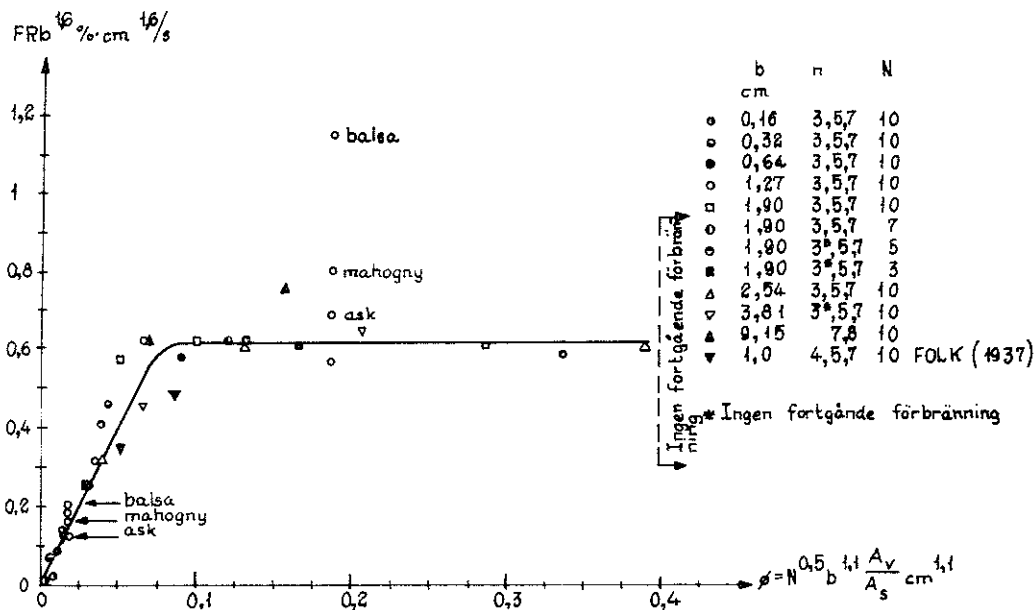
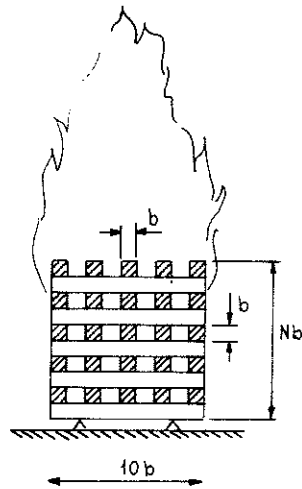


FIG. 8.

För i det fria försiggående förbränning av kvadratisk träribbstapel experimentellt bestämt samband mellan skalmodifierad förbränningshastighet $FRb^{1.6}$ och för träribbstapeln karakteristisk porositetsfaktor ϕ . [11]

Experimentally determined relationship between the scaled rate of burning $FRb^{1.6}$ and the porosity factor ϕ characteristic for the pile of wood, for combustion in the open of a square pile of wood cribs. [11].

Som ovan nämnts är porositetsfaktorn ϕ definierad endast i de fall brandbelastningen utgörs av träribbstaplar. Önskvärt vore en modifierad form med tillämpning på ofta förekommande typer av brandbelastning, varvid möjligheten till jämförande brandteknisk bedömning avsevärt skulle underlättas.

En bestämning av hydrauliska radien och dennas variation är, teoretiskt sett, förhållandevis enkel då aktuell komponent i dominerande grad har skivformad karaktär. Hit hör främst golvmaterial av typen linoleum och parkett, olika former av brännbara beklädnadsskivor samt i viss utsträckning vissa möbeltyper.

Såväl vid ensidig som dubbelsidig brandpåverkan beskrivs hydrauliska radiens variation i varje ögonblick av materialets tjocklek, som avtar från ett vid brandens början distinkt värde till noll då skivan är helt uppbränd. Detta beskrivs schematiskt av kurvan i fig 9.

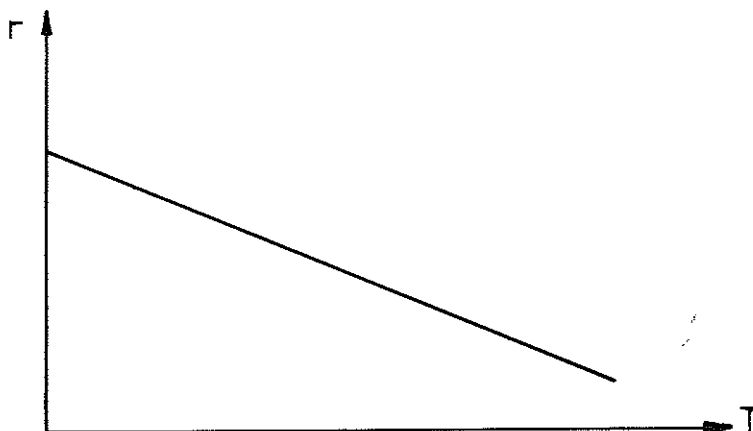


FIG. 9.

Hydrauliska radiens variation under ett brandförlopp för inredningskomponenter av skivformad karaktär.

Variation in the hydraulic radius during burning of disc-shaped furnishing components.

Reellt uppvisar emellertid denna kurva betydande variationer, vilket orsakas av skivans orientering i brandcellen. För extremfallen tak- respektive golvskiva erhåller således den förra ut efter hela den för brand exponerade ytan direktpåverkan av heta brandgaser och uppåtgående flammor, vilket ej gäller den senare. Dessutom kommer normalt under ett brandförlopp en temperaturdifferens av storleksordningen 200° C att uppstå mellan tak och golv. För skiva med annan placering och orientering kommer olika mellanformer mellan ovanstående ytterlighetsfall att erhållas.

För övriga ingående enheter, t ex möbler och skåpsinredning, som i detta avseende uppvisar helt andra egenskaper, kan en bestämning av hydrauliska radien ske endast under vissa förutsättningar, som emellertid ej nödvändigtvis kommer att vara uppfyllda ens i brandens initialskede. Eftersom inte med säkerhet exempelvis skåpsdörrar och byrålådor kan förutsättas vara stängda vid brandtillfället, kan den geometriska formen avvika förhållandevis mycket från vad som förutsatts. Den aktuella hydrauliska radien kan således variera från fall till fall för t ex ett entydigt utrustat bostadsrum.

Även om brandbelastningens finfördelningsgrad vid en brands början skulle överensstämma med teoretiskt antagen, kommer svårigheter att föreligga att korrekt kunna beskriva dess variation under hela brandförloppet. Som exemplifiering härpå kan framhållas de till garderober hörande tunna dörrarna, vilka snabbt kommer att genombrännas, varvid finfördelningsgraden sprängvis kommer att förändras. Samma sprängvisa variation, vilken schematiskt visas i fig 10, gäller även bokhyllor med böcker, för vilka finfördelningsgraden genom raseffekter upprepade gånger snabbt kan väsentligt förändras. För övrigt kan sådana raseffekter möj-

ligen ge en naturlig övergång i karakterisering från hydraulisk radie till en porositetsfaktor i modifierad form. För bokhylla med noggrant uppställda böcker är nämligen hydrauliska radien väldefinierad, men genom inträffade raseffekter kommer i stället en formering liknande den ojämnt staplade träribbstapeln att erhållas.

Finfördelningsgrad

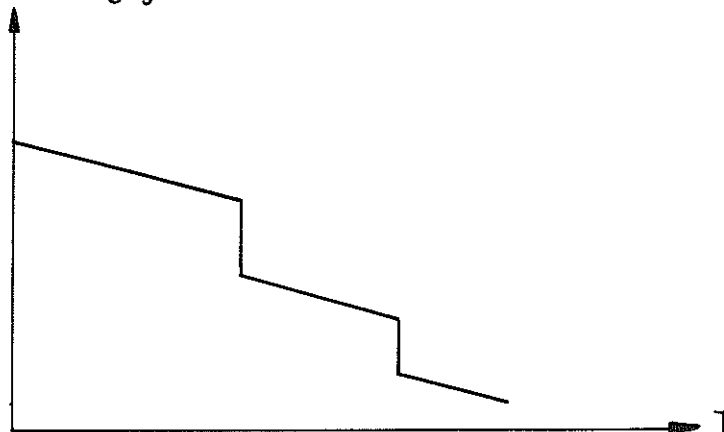


FIG. 10.

Finfördelningsgradens variation under ett brandförlopp för inredningskomponenter typ garderobsenhet.

Variation in porosity during burning of furnishing components, type wardrobe unit.

En ytterligare illustration till hur brandförloppet i hög grad beror av enskild komponents geometriska egenskaper ges i figur 11, i vilken visas den i varje ögonblick förbrukade bränslemängden - uttryckt som $M \cdot \frac{v_i}{r}$, där M betecknar från början given bränslemängd, v_i brandens inträngningshastighet per tidsenhet och r initiell hydraulisk radie - beror av den dimensionslösa storheten $\frac{v_i}{r} \cdot t$ för enheterna tunn platta, stång och klot. Härvid har antagits att brandens inträngningshastighet v_i vinkelrät exponerad yta är approximativt konstant, en förutsättning som verifierats bl a vid svenska och finska försök [12],[13].

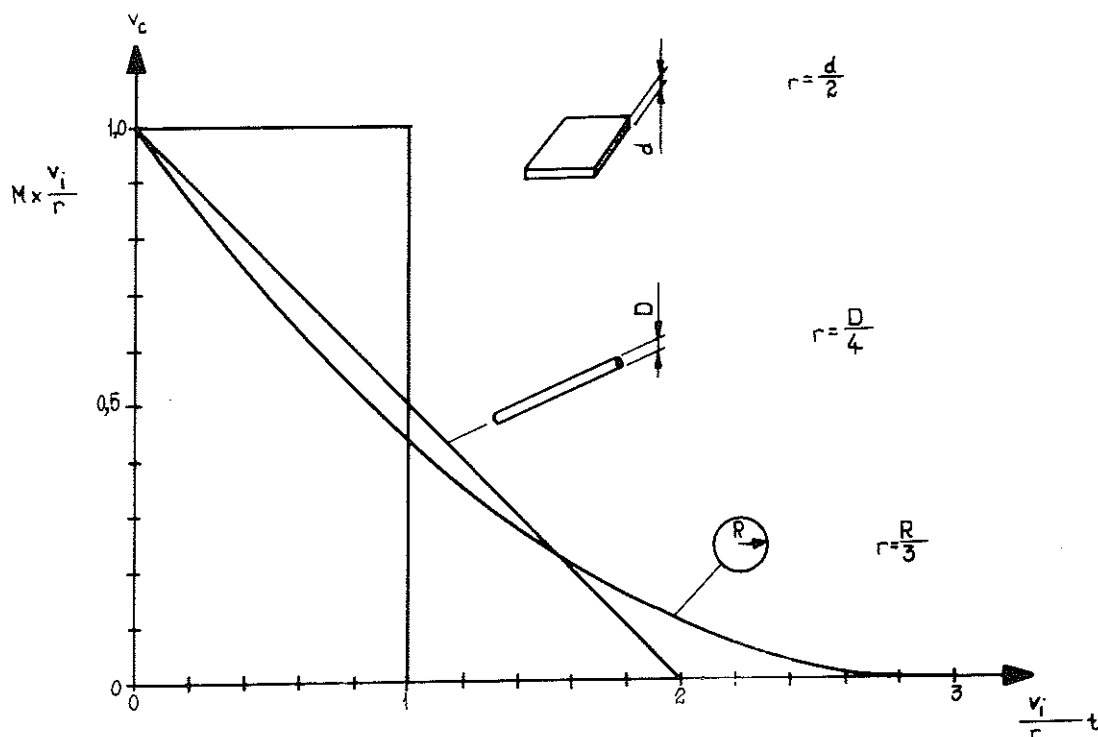


FIG. 11. [6].

2.4 Komponentens läge i höjded

Ytterligare för ett brandförlopp väsentlig egenskap hos brandbelastningen är enskild komponents läge i höjded i brandcellen. Något för praktiskt bruk tillrättalagt försök till karakterisering av brandbelastningen med hänsyn tagen till lägeskoordinatens i höjded inverkan har, författaren veterligt, ej närmare behandlats i litteraturen. Detta beror troligtvis på svårigheter att matematiskt formulera lägeskoordinatens inverkan, samt avsaknad av undersökningar med syfte att klarlägga dennas influens på ett brandförlopp. Allmänt kan emellertid konstateras, att någon samverkan mellan flammor och uppåtstigande heta brandgaser ej förekommer för uppvärmning av en möbelenhet med låg placering. För en något högre belägen enhet kommer dessa däremot att samverka med snabb uppvärmning och övertändning som följd, medan en ytterligare högre belägenhet kan medföra att möbelenheten kommer ur den zon som nås av flammorna, med resultat att endast heta brandgaser påverkar enheten.

2.5 Pågående och planerade förbränningsstudier

Förbränningsstudier, primärt med syfte att för träribbstapel i slutet rum bestämma den kombinerade inverkan på förbränningshastigheten av porositetens faktor för brandbelastningen och öppningsfaktorn för brandrummet, genomförs för närvarande under författarens ledning vid institutionen för Byggnadsstatik vid Lunds Tekniska Högskola. Vid försöken, som genomförs i tre kubiska modellrum med invändiga sidomått 500, 750 respektive 1000 mm, utgörs bränslet av ett variabelt antal noggrant uppsågade träribbor av furu med kvadratisk tvärsnitt (25x25 mm), men med så avpassad total längd, att en approximativt konstant brandbelastning per omslutningsyta (2 kg trä/m²) erhålles, diktat av en strävan att i ett initialskede begränsa antalet variabler. Förutom variabel staplingstäthet, dvs antalet lager

och antalet ribbor i varje lager, studeras i varje rum inverkan av olika storlekar på öppningsfaktorn. Under försökens gång registreras på linje- och flerpunktsskrivare förbränningshastigheten, uttryckt som brandbelastningens viktsminskning per tidsenhet, vilken erhålles genom kontinuerlig vägning av mängden kvarvarande bränsle i brandrummet, strålningskaraktistika genom strålningsmätare av typ Gunnars [14] samt brandcellens temperaturkaraktistika bestämd genom ett antal i varje brandcell placerade termoelement.

I fig 12 visas ett foto av ett pågående försök, där bl a utformningen av träribbstapeln framgår, och i fig 13 visas lösryckt illustration av i minsta brandrummet erhållen maximal förbränningshastighet vid varierande porositetsfaktor och för två olika öppningsfaktorer.

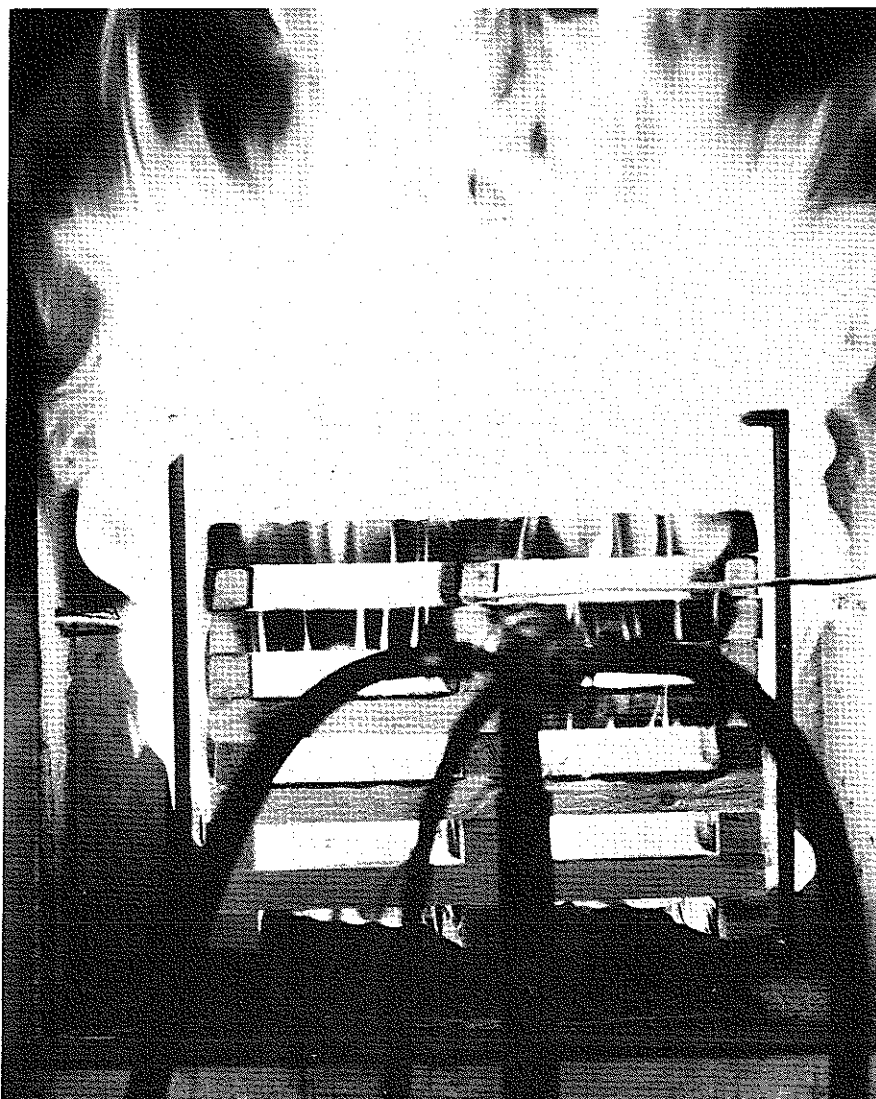


FIG. 12.

Foto av ett pågående modellbrandförsök.

Photograph of model combustion test in progress.

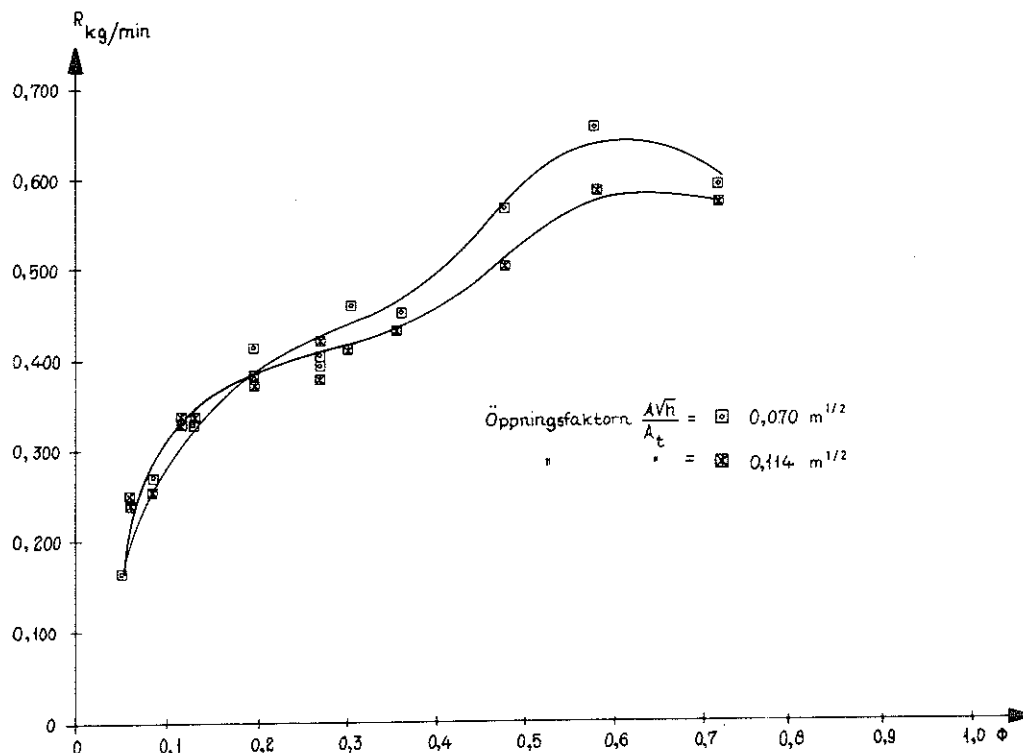


FIG. 13.

I modellrum 500x500x500 mm experimentellt bestämt samband mellan maximal förbränningshastighet R (kg/min) och för träribbstapel karakteristisk porositetsfaktor ϕ .

Experimentally determined relationship between maximum combustion velocity R (kg/min) and the porosity factor ϕ characteristic for the pile of wood, in a 500 x 500 x 500 mm model room.

Pågående försöksserie är inledningen till en allmän kartläggning av samtliga, inklusive modellfaktorn, under ett brandförlopp erhållna karakteristika. Med kännedom om dessa skall man sedan vid känd geometrisk utformning av och brandbelastning i en brandcell, genom modellförsök kunna bestämma vid en eventuell reell brand uppträdande värden på förbränningshastighet samt strålnings- och temperaturkarakteristika.

Ytterligare två försöksserier är planerade för att dels undersöka möjligheterna att finna för olika inredningskomponenter (stol, bord, bokhylla, skåp, garderobsenhet) lämplig porositetsfaktor för komponentens karakterisering med hänsyn till förbränningshastighet, dels bestämma medverkandegrad i modellskala av golvbeläggning och väggbeklädnader vid träbränslebrand i brandrum vid varierande porositetsfaktor för träbränslet och öppningsfaktor för brandrummet.

För en vidgad tillämpning av en kvalificerad brandteknisk dimensionering enligt de inledningsvis skisserade principerna har statistiska inventeringar av brandbelastningen för med hänsyn till användningsområde vanligare lokal- och byggnadstyper hög angelägenhetsgrad. För brandbelastningen karakteriserad enligt ekvation (1) eller (2) saknas i dag praktiskt taget helt sådant statistiskt underlag. Med koppling till ekvation (1) redovisas i det följande som ett första svenskt exempel en statistisk brandbelastningskarakterisering för bostadslägenheter.

3 MATERIALETS BEARBETNING

3.1 Beskrivning av materialet

På grundval av ett av FOA för civilförsvarsändamål framtaget statistiskt underlag, har vid institutionen för byggnadsstatik, LTH, studerats möjligheterna för en mera nyanserad karakterisering av brandbelastningen med tillämpning för bostadslägenheter. Tillgängligt material omfattar 120 slumpmässigt utvalda lägenheter, av vilka 50 är belägna i Stockholms innerstad och 70 i Stockholms förorter. I materialet dominerar lägenhetstyperna 1 rok, 2 rok och 3 rok men inslag av 4, 5, 6, 7 och 10 rok förekommer, vilka emellertid är så fåtaliga att någon statistisk bearbetning av dessa ej kunnat genomföras. Materialets fördelning på olika lägenhetstyper visas i tabell 2. Det övervägande antalet lägenheter i Stockholms innerstad har producerats under åren 1900-1920, medan motsvarande tidsperiod för de i förorterna belägna är 1940-1960.

TAB. 2

Lägenhetstyp	Antal
Förort	
1 rok	11 st
2 rok	28 st
3 rok	23 st
4 rok	3 st
övriga	5 st
Innerstad	
1 rok	14 st
2 rok	16 st
3 rok	8 st
4 rok	5 st
övriga	7 st

Förutom vid byggnadernas uppförande uppgjorda planritningar omfattar underlaget på platsen uppmätt rumsgeometri, detaljerade mått på fönsters och dörrars storlek och placering samt beskrivning av i väggar, golv och tak ingående material, där - då samtliga lägenheter utvalts i flerlägenhetshus av murad eller gjuten typ - i huvudsak olika typer av beklädnadsmaterial haft intresse. Härutöver ges för varje inredningsenhet planläge i rummet och ungefärlig storlek i planet, ingående material och färg samt för de lättantändliga komponenterna en bedömning av ingående materials beskaffenhet. Som illustration återges i fig 14 ett foto av ett vardagsrum med tillhörande skisser över fönstrens storlek och placering och inredningsenheternas placering i rummet, kompletterade med beskrivning över i rummet befintliga komponenter.

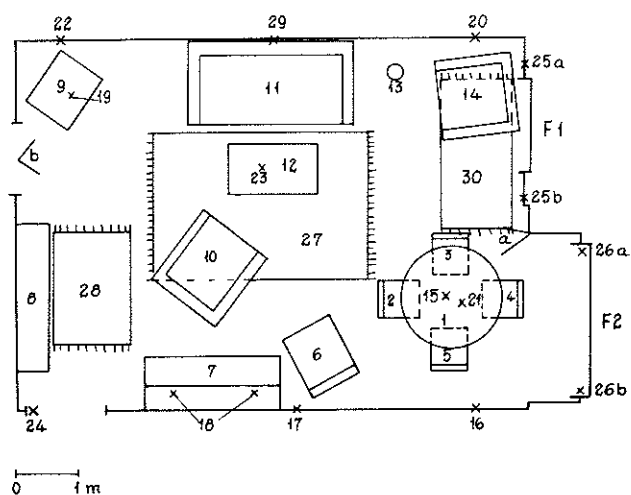
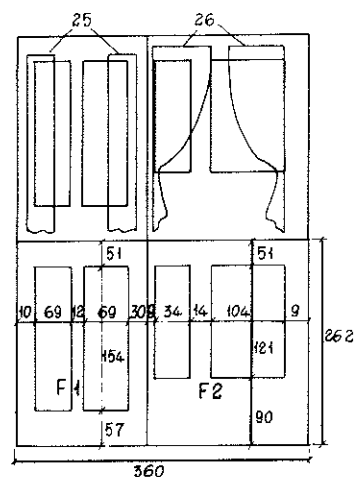


FIG. 14.

Foto av ett vardagsrum, hämtat från bearbetad FOA-inventering.
 Skiss över inredningskomponenternas placering i rummet.
 Beskrivning av i rummet ingående inredningskomponenter.

Photograph of a living room taken from the material supplied by
 the Research Institute of National Defence. Sketch showing the
 placing of furnishing components in the room. Description of
 furnishing components situated in the room.



25 = tata gardiner
 26 = genomskintliga gardiner

FIG. 14.

Beskrivning av brännbara föremål. Möbler och fast inredning.

Förem. nr	Art	Material	Färg
1	Bord	Trä	Brun, mellan
2-5	Stol m. tygklädd rygg o sits	Trä	Brun, mellan
6	Fåtölj, mindre m. tyg- klädsel	Trä	Brun, mellan
7	Piano	Trä	Brun, mörk
8	Bokhylla	Trä	Svart
9	TV	Trä	Brun, mellan
10	Tygklädd fåtölj	Trä	Gul, ljus
11	Tygklädd soffa	Trä	Gul, ljus
12	Bord	Trä	Brun, mörk
13	Vas	Trä	Brun, ljus
14	Tygklädd fåtölj	Trä	Brun, mellan

Beskrivning av lättantändliga föremål. Papper, textilier o d.

Förem. nr	Art, material	Beskaffen- het	Färg, ljushet
2-5	Stolklädsel, siden	Medel	Beige, mellan
15	Duk, linne m spetsar	Medel	Vit
6	Fåtöljklädsel, tyg	Medel	Grön, mörk
16	Oljetavla, väv	Medel	Blå, mellan
17	Oljetavla, väv	Tung	Brun, mellan
18	Fotografier i glas o ram		Svart
3	Böcker, häftade o in- bundna. Noter, böcker		
19	Spetsduk, mindre	Lätt	Beige
10	Fåtöljklädsel, tyg	Tung	Grå, mellan
11	Soffklädsel, tyg	Tung	Grå, mellan
29	Oljetavla, väv	Medel	Brun, mörk
20	Oljetavla, väv	Medel	Grön, mörk
14	Fåtöljklädsel	Medel	Blå, mellan
21	Lampskärm, bast	Lätt	Skär
22	Lampskärm, siden	Lätt	Gul, mellan
23	Duk, linne m spetsar	Medel	Vit
24	Draperi, tyg	Medel	Brun, mörk
25 a-b	Gardin, tyg, svagt genomskinlig	Medel	Brun, mörk
26 a-b	Gardin, genomskinlig	Lätt	Vit
27	Matta, mjuk	Tung	Grön, mellan
28	Matta, rya	Lätt	Svart
30	Matta, mjuk	Tung	Brun, mörk

I utförd inventering har tonvikten lagts på sovrum och vardagsrum med som gemensamt karaktistikum en fönstervägg, men materialet är genomgående så fullständigt, att en bedömning ur brandbelastningssynpunkt även varit möjlig för kök och hall. Utöver av detaljerade mått och materialdata belyses varje i underlaget ingående rum av representativa färgfotografier. Däremot saknas, beklagligtvis, uppgifter om de aktuella inrednings- och möbleringsenheternas vikter, varför dessa fått bestämmas i efterhand.

3.2 Val av brandcell

Genomförd bearbetning har omfattat dels enskild rumsenhet, dels hel lägenhet räknad som en brandcell.

Det första fallet kan få aktualitet om samtliga dörrar i rummet är stängda samt om brandbelastningen i rummet är så låg att vid en brand genombränning och ytterligare brandspridning genom dörrarna ej sker. Speciellt intresse har härvid sovrum och vardagsrum, då en stor del av däri befintliga inredningskomponenter består av lättantändliga föremål som snabbt sprider en initierad brand inom rummet och därigenom möjliggör en övertändning. Möjligheten att en i ett kök initierad brand skall utvecklas till övertändning och därefter eventuellt sprida sig till angränsande rum eller hela lägenheten, bedöms som liten, då den huvudsakliga köksinredningen i dag består av, i jämförelse med övriga i lägenheten befintliga inredningskomponenter, relativt svårantändliga enheter.

Det andra alternativet med hela lägenheten räknad som en brandcell är det ordinärt realistiska för en brandteknisk dimensionering och också det som normmässigt föreskrivs. Tyngdpunkten i resultatbearbetningen har därför lagts på detta alternativ.

Genomgående har för varje brandcell bestämts brandbelastningen q (Mcal/m^2 o.y.), definierad enligt ekvation (1), omslutningsytan A_t (m^2), varmed menas den inre ytan av de väggar, tak och golv, som avgränsar brandcellen från dess omgivning samt öppningsfaktorn $\frac{A\sqrt{h}}{A_t}$ ($\text{m}^{1/2}$), där A (m^2) betecknar brandcellens sammanlagda öppningsyta (fönster, dörrar etc) och h (m) ett med hänsyn till öppningarnas storlek vägt medelvärde av deras utsträckning i höjded.

3.3 Materialens värmevärde

Väsentliga faktorer för ett brandförlopps intensitet och varaktighet är brandbelastning, fönsteröppningar, brandcellens geometriska egenskaper samt omslutande konstruktioners termiska egenskaper. I detta sammanhang har brandbelastningens storlek och övriga egenskaper, dvs ingående materials förbränningsegenskaper samt brandbelastningens finfördelning och fördelning i brandcellen speciellt intresse.

För att möjliggöra en enkel karakterisering av brandbelastningen i vanligare lokaltyper, framräknad enligt ekvation (1) eller (2), är en fältmässig bestämning av vikt och effektivt värmevärde för samtliga i brandcellen ingående komponenter önskvärd. För

att en inventering härvid skall vara meningsfull fördras inte bara varje inredningsenhets vikt, utan för sådana enheter som består av olika delar, t ex bokhylla med böcker, garderob innehållande kläder etc., måste en uppdelning av enheterna, med separat vägning och en bestämning av tillhörande specifika värme, ske. Då lämplig arbetsmetodik för vägning, klassificering och registrering ej utarbetats, saknas viktsangivelser i bearbetat material, varför andra metoder för bestämning av inredningskomponenternas energiinnehåll måste sökas, vilket närmare framgår av följande avsnitt 3.4.

I bostadslägenheter mest frekventa brännbara material är trämaterial, olika former av plaster samt textilier. Av dessa kommer under brandens initialskede mängd och finfördelningsgrad av textilier och lättantändliga plaster att avgöra om brandförloppet kommer att karakteriseras av en fortgående spridning från möbel till möbel, där varje inredningsenhet eller grupp av inredningsenheter brinner var för sig och tidsförskjutna, eller om övertändning i brandcellen sker, medan ur brandbelastnings-synpunkt andelen trä är helt dominerande, varför denna kommer att vara avgörande för brandförloppets tidsvariation.

Trämaterialet, inklusive bokpapper, vilka ordinärt uppgår till cirka 75% av brandbelastningen, kännetecknas av en förhållandevis liten spridning ifråga om värmevärdet. Detta varierar obetydligt mellan olika slag av trämaterial men beror i stor utsträckning av aktuell fuktkvot. Denna kan i en bostadslägenhet förväntas vara 8-10%, så kallat "snickeritorrt virke", vilket, vid beräkning av energiinnehåll, motiverar ett genomsnittsvärde av 4,2 Mcal per kg trä.

Plastkomponenterna uppvisar stor spridning ifråga om ingående plastmaterial, vilket medför att såväl värmevärde som förbränningstekniska egenskaper kan variera inom vida gränser för likartade enheter. I bostadsrum mest frekventa plastmaterial är PVC-mattor till golvbeläggning och vissa väggbeklädnader samt polystyren, polyeter och skumgummi, vilka i stor utsträckning används i möbelstommar eller som stoppning i möbler.

Textilierna utgörs dels av naturliga material, bomull, ylle och i någon mån linne, dels av syntetiska material, nylon, rayon, med värmevärde och förbränningstekniska egenskaper som inbördes uppvisar stora variationer. Av brandbelastningen i en brandcell härrör emellertid endast någon procent från textilierna, varför större hänsyn till spridningen i värmevärde och övriga egenskaper ej behöver tagas.

I tabell 3 har sammanställts vid beräkning av energiinnehållet hos enskild komponent, använt värmevärde för några vanligen förekommande material [10].

TAB. 3

Materials slag	Värmevärde Mcal/kg
Trämateriäl	4,2
Bok-papper	4,2
Skumgummi	10,5
Polyeter	7,0
Polystyren	10,0
Linoleum	5,0
Bomull	4,2

3.4 Bestämning av inredningskomponenternas energi-innehåll

De frågor som varit föremål för intresse har varit materialslag, vikt och effektivt värmevärde. Då i tillgängligt statistiskt underlag detaljerade upplysningar härom saknas, har i stället följande förfaringssätt använts för bestämning av inredningskomponenternas energiinnehåll.

Vid studium av i inventeringen redovisade lägenhetstyper, finner man, att dessa genomgående innehåller vissa ofta förekommande möbeltyper och inredningsenheter. Således är samtliga behandlade lägenheter konventionellt inredda med en eller flera av följande komponenter.

Sovrum: innehåller en eller två sängar, nattduksbord, byrå, någon eller några stolar, eventuellt mindre bokhylla och/eller toilettbord, mattor och gardiner. Dessutom ingår ofta väggfasta enheter, typ garderober. En skiss av ett konventionellt möblerat sovrum för två personer, hämtad från bearbetad FOA-inventering, där flertalet ovannämnda enheter ingår, visas i fig 15.

Vardagsrum: innehåller en eller två soffor, soffbord, fåtöljer, oftast matbord med tillhörande stolar, bokhylla, ibland innehållande böcker, sideboard, TV, eventuellt skrivbord samt mattor och gardiner. I fig 16 återges en skiss, hämtad från bearbetat material, vilken illustrerar i vardagsrum ofta förekommande inredningsenheter.

Hall: innehåller byrå, spegel, klädhängare med kläder, matta.

Kök: innehåller matbord med stolar, väggfasta enheter typ köks-snickrier, samt matta och gardiner.

Dessutom förekommer i samtliga typer av rum diverse prydnadsföremål, vilka dock i mycket liten utsträckning bidrager till brandbelastningen.

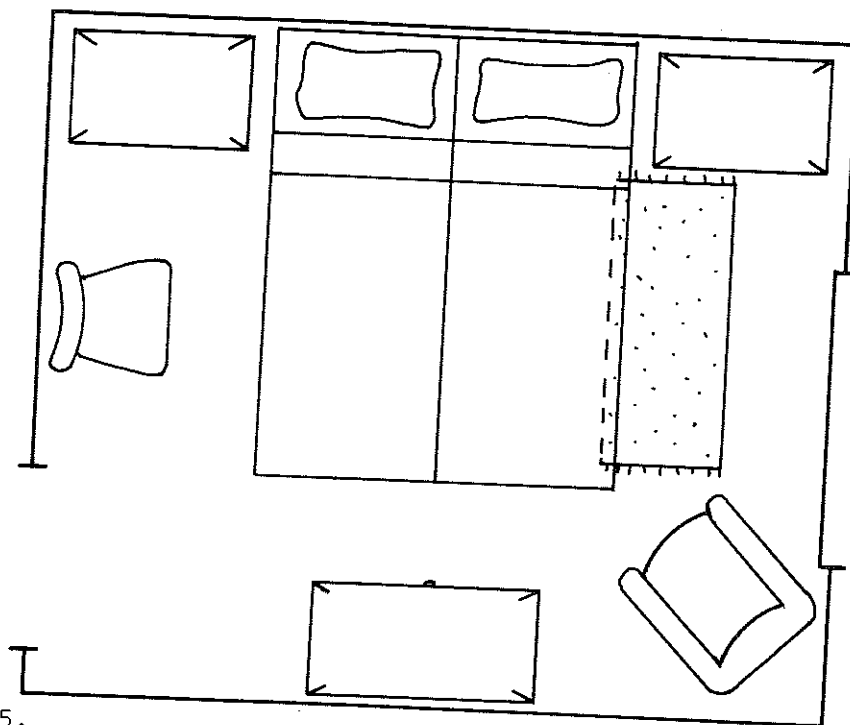


FIG. 15.

Skiss över sovrum möblerat med ofta förekommande inredningsenheter.

Sketch of bedroom furnished with frequently occurring furnishing units.

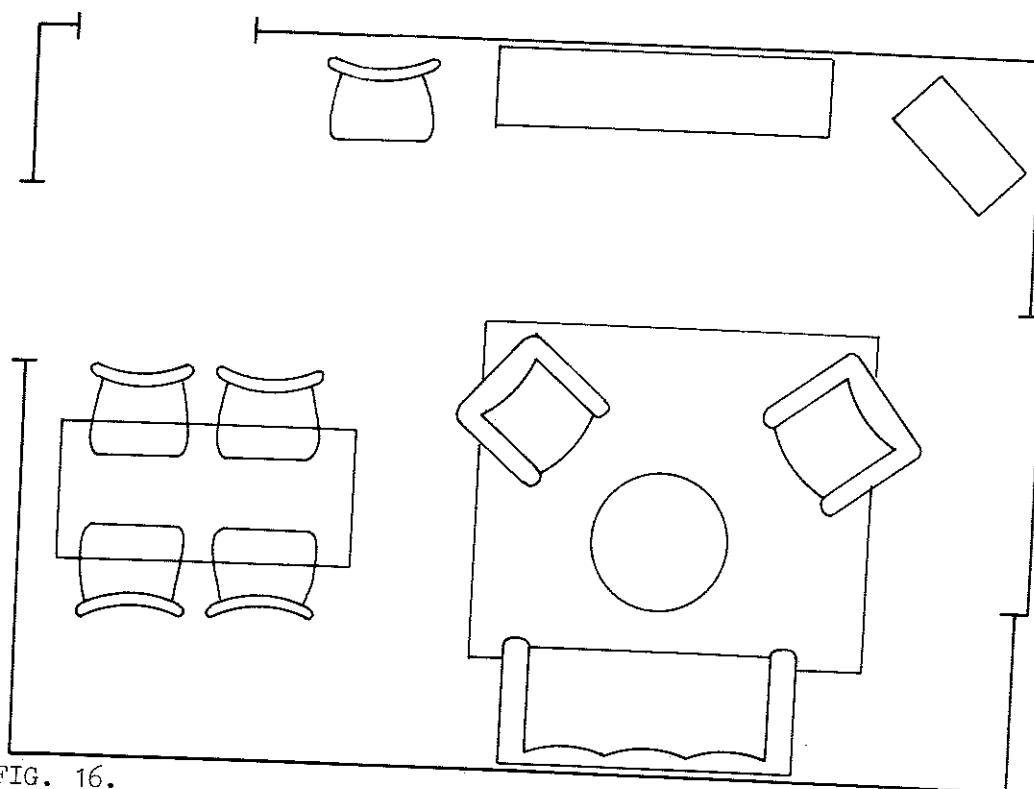


FIG. 16.

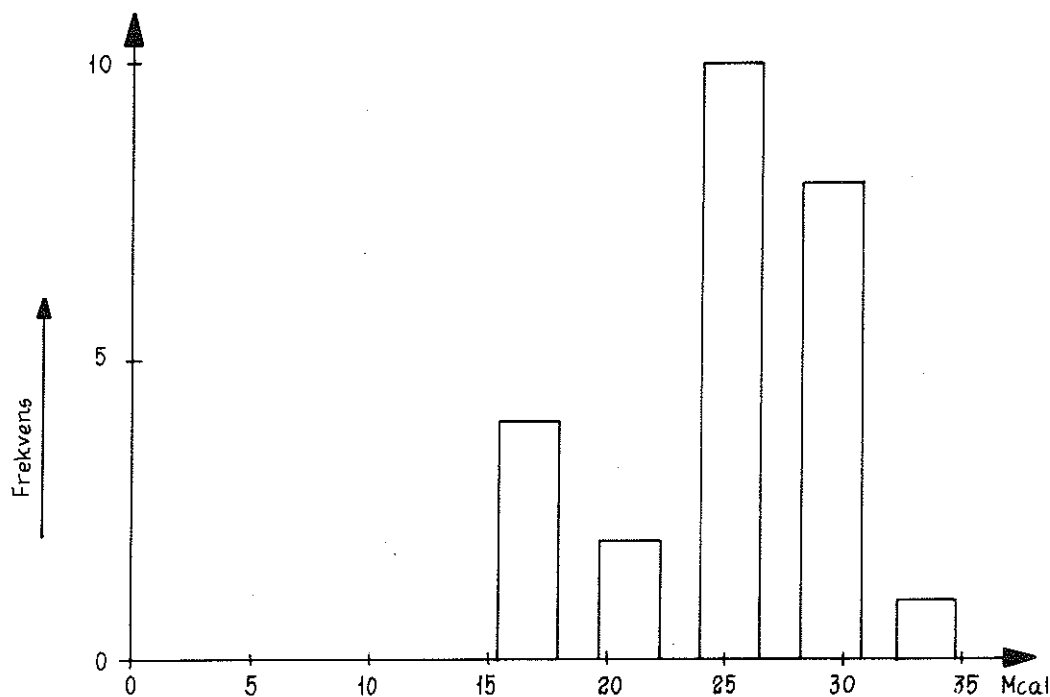
Skiss över vardagsrum möblerat med ofta förekommande inredningsenheter.

Sketch of living room furnished with frequently occurring furnishing units.

För flertalet möbeltyper i en lägenhet kunde vikt och ingående material bestämmas genom möbelkataloger. Katalogerna ger enelertid i regel ej närmare uppgifter om hur vikten fördelar sig på de olika materialslagen, och för övrigt är upplysningarna om de i möblerna ingående materialen mycket ofullständiga. Praktiskt bestämdes därför brandbelastningen på följande sätt.

För möbeltyper med väl definierade data, t ex bokhyllor med respektive utan bakstycke, soffbord, matbord, köksstolar, olika typer av skåp, etc., vilka samtliga i övervägande grad är utförda av trämaterial, har genom katalogernas viktangivelser och kända värden på materialens värmevärden, energiinnehållet för ett flertal enheter av varje typ kunnat bestämmas. För övriga möbeltyper, t ex soffa, fåtöljer och sängar, vilka är uppbyggda av flera materialslag, har en i annat sammanhang utförd undersökning avseende energiinnehållet i stoppade möbelenheter kunnat utnyttjas. Denna utfördes och tillämpades på ett antal rum, hämtade ur samma FOA-inventering som här använts, i samband med planeringen av realistiska fullskaleförsök av brand i sovrum och vardagsrum, då representativa värden på brandbelastning erfordrades [10]. Vid undersökningen, som delvis genomförts vid en möbelfabrik, blev energiinnehållet hos varje ingående materialdel i ett antal möbler bestämt, vilka summerat för varje möbelenhet gett praktiskt användbara värden.

I det på detta sätt disponibla materialet kunde hos varje möbeltyp ett flertal varianter, dvs enheter, vars funktion, utseende och uppbyggnad i stort var identiska, särskiljas. Genom att sammanföra till varje möbeltyp hörande varianter i separata grupper, kunde en bestämning av till varje grupp hörande medelvärde och standardavvikelse med avseende på energiinnehållet framräknas. Som exemplifiering kan väljas gruppen "stolar utan karm", där tjugofem med avseende på energiinnehållet undersökta varianter gav i figur 17 återgiven frekvenskurva, där medelvärdet är 25 Mcal och standardavvikelsen 4 Mcal. Genom ovan angivna bestämning av det till varje grupp hörande medelvärdet av ingående energiinnehåll, kunde möbelenheternas brandbelastningsandel framräknas. Detta tillgick på så sätt att varje möbelenhet i utnyttjat material genom studium av till varje rum och lägenhet hörande fotografier refererades till den grupp som innehöll enheter med motsvarande funktion, utseende och uppbyggnad. Genom att åsätta enhetens medelvärde kunde härigenom samtliga dessa inredningsenheters bidrag till brandbelastningen i varje rum eller lägenhet bestämmas. I sammanhanget bör påpekas, att vid beräkning av brandbelastningens standardavvikelse, någon hänsyn ej tagits till enskild komponents standardavvikelse, men att därigenom erhållet fel bedöms vara av försumbar storleksordning.



Frekvenskurva för energinnehållet i möbelenheten "stolar utan karm"

FIG. 17.

Frekvenskurva för energinnehållet i möbelenheten "stolar utan karm".

Frequency curve for the energy content for unit of furniture "chairs without arms".

Energinnehållet för i en lägenhet inbyggda enheter, dvs köks- snickerier, garderober, linneskåp och rumsskiljande dörrar kunde bestämmas förhållandevis enkelt då av tillverkarna utgivna broschyrer gav alla erforderliga uppgifter. Eftersom samtliga dessa enheter helt är tillverkade av trämaterial, där det dominerande materialet utgörs av spånplattor och hårda träfiberplattor, kunde en noggrann kartläggning av ingående energinnehåll ske.

Hittills behandlade inredningskomponenter, således möbler och inbyggda enheter, utgör, om man bortser från golvbeläggningen, vilken närmare kommer att behandlas nedan, den helt dominerande delen av brandbelastningen. Det energinnehåll som representeras av dessa enheter bör sålunda, trots att detaljerad viktsbestämning saknas, vara bestämda med den noggrannhet som, med hänsyn till tillgängligt underlag, härvid är möjlig. Viss jämförande kontroll har för övrigt varit möjlig, då i anslutning till planeringen av i [10] beskriven försöksserie, omfattande fullskaleförsök av brand i sovrum respektive vardagsrum, representativ brandbelastning för enskilt sovrum och vardagsrum bestämdes för ett antal rum hämtade från samma FOA-inventering som här använts.

Däremot kan energinnehållet i den mindre del av brandbelastningen som härrör från oexponerade enheter vara behäftad med något större felmarginal. Orsaken härtill är att skåps- och lådinnehåll ofta består av synnerligen varierande komponenter med tillhörande variation i materialegenskaper. Då i bearbetat material uppgifter om detta innehåll saknas, har hänsyn härtill tagits genom jämförande behandling. För att sålunda söka klar-

lägga storlek och omfattning av vanligen förekommande oexponerade enheters bidrag till brandbelastningen, fylldes ett antal garderober, linneskåp, hurtsar och klädkammare med normalt förekommande komponenter. Genom att uppgifter om dessa ingående enheters vikt och materialegenskaper var kända, kunde en bestämning av de oexponerade komponenternas energiinnehåll i vanligare skåpsdimensioner ske. Genom att i tillgängligt statistiskt underlag tillföra varje skåp, garderob och klädkammare ett till varje enhet lämpligt avpassat innehåll, härtat från ovan angiven undersökning, kunde ett för ordinära förhållanden representativt värde på denna brandbelastningsandel bestämmas.

3.5 Det statistiska materialets gruppering

I utnyttjat material är byggnaderna i Stockholms förorter genomgående av yngre datum än de i Stockholms innerstad belägna. Naturligen bör samma förhållande gälla möbler och övriga inredningskomponenter, vilket också bekräftas vid ett studium av de till varje lägenhet hörande fotografierna, vilket på ett illustrativt sätt framgår av fig 18. I avsikt att utrona om någon signifikant skillnad föreligger även i brandbelastningshänseende har materialet vid bearbetningen uppdelats på följande sätt: Alla sovrum, vardagsrum respektive hela lägenheter i Stockholms förorter har sammanförts i separata grupper. Samma förfarande har upprepats för sovrum, vardagsrum och lägenheter i Stockholms innerstad, varefter de olika grupperna i Stockholms förorter sammanslagits med motsvarande grupper i Stockholms innerstad.



FIG. 18.

Representativ möblering i ett vardagsrum beläget i Stockholms innerstad.

Representative furniture in a living room situated inside Stockholm.



FIG. 18.

Representativ möblering i ett vardagsrum beläget i Stockholms förorter.

Representative furniture in a living room situated in a suburb.

3.6 q_{\min} och q_{\max}

Förutom att materialet uppdelats i olika grupper, har för varje grupp - då så bedömts relevant - bestämts ett min- och ett maxvärde för brandbelastningen. En sådan undergruppering bygger därvid på följande överväganden.

Om brandbelastningen i dominerande grad utgörs av tunga möbler, böcker samt icke exponerat skåps- och garderobsinnehåll, har de för branden lättantändliga komponenterna i brandcellen vid en övertändning alltför lågt värmeinnehåll för att möjliggöra en brand med längre varaktighet. Temperatur, värmestrålning och gasutveckling kommer då att nå endast låga värden, vilket medför att den tid, under vilken dessa mera svårantändliga enheter påverkas av branden blir alltför kort för att antändning och därav följande genombränning av dem skall ske. Under sådana förutsättningar kommer de nämnda enheterna ej att ge något bidrag till brandbelastningen, som därigenom reduceras till beräknade minvärden.

Om å andra sidan de lättantändliga komponenterna i brandcellen har så stort värmeinnehåll, att vid en övertändning brandvaraktigheten blir så lång, att även svårbrännbara enheter antänds med därpå följande höga värden på temperatur, värmestrålning och gasutveckling, resulterar detta i att samtliga i brandcellen befintliga komponenter kommer att delta i brandförloppet, var emot svarar för brandbelastningen beräknade maxvärden.

En bestämning av andelen exponerade lättantändliga komponenter uttryckta genom brandbelastningens min-värden är för övrigt intressant från den synpunkten, att svenska undersökningar antyder som en förutsättning för övertändning i en brandcell ett erfor-

derligt energiinnehåll i denna av storleksordningen 15 Mcal/m^2 o.y., fördelat på förhållandevis få närliggande energirika lättantändliga möbelenheter, t ex soffa eller sängkamaruppställning, vinkeluppställning eller parallelluppställningar med litet avstånd mellan sängarna, vilka vid en brand ger upphov till en så intensiv värmeutveckling att de heta brandgaserna, trots fönsteröppningar och hög värmekapacitet i omslutande byggnads-konstruktion, kan resultera i en rumsbrand. Om energiinnehållet i de lättantändliga komponenterna är mindre än 14 å 15 Mcal/m^2 o.y., vilket som regel gäller exempelvis sovrum möblerade för en person, kommer brandvaraktighet och brandintensitet att nå så låga värden att någon övertändning i rummet ej kommer att ske, ej heller antändning i mera kompakta möbelenheter. I detta fall karakteriseras brandförloppet av en fortgående spridning från möbel till möbel, där varje inredningsenhet eller grupp av inredningsenheter brinner var för sig och tidsförskjutna med en karakteristisk variation av gastemperaturen i brandrummet bestående av flera temperaturmaxima av måttlig storlek samt en påfallande låg strålningsintensitet.

Temperaturkarakteristika, hämtade från fullskaleförsök av brand i en- respektive tvåpersoners sovrum, vilka tydligt betyder de skilda brandförloppens utveckling, visas i fig 19 och 20.

I fig 19 exemplifieras i olika punkter av ett tvåpersoners sovrum, med en brandbelastning av $17,1 \text{ Mcal per m}^2$ omslutningsyta och med möblering och övrig inredning enligt fig 19 a, gastemperaturens tidsvariation i brandrummet. I figuren framgår klart att övertändning äger rum i brandcellen efter cirka 45 minuter med ett markerat temperaturmaximum av storleksordningen 300° som följd.

Analogt visas i fig 20 gastemperaturens variation i ett enpersonssovrum med en brandbelastning av $11,1 \text{ Mcal/m}^2$ omslutningsyta och med möblering och övrig inredning enligt fig 20 a. Erhållna värden på gastemperaturen visar upprepade temperaturmaxima av betydligt mindre storleksordning än i fig 19 erhållna, där varje puckel indikerar övertändning av en enstaka möbelenhet, men att övertändning i hela brandrummet ej äger rum.

Allmänt2-personsovrum: $10,4 \text{ m}^2$ omslutningsyta $A_t = 53,5 \text{ m}^2$ öppningsfaktor $\frac{A_{vh}}{A_t} = 0,022 \text{ m}^{1/2}$ Brandbelastning: $17,3 \text{ kg/m}^2 \text{ g.y.}$ $3,5 \text{ kg/m}^2 \text{ o.y.}$ Fönsteryta: $1,16 \text{ m}^2$ Antändning: c:a $1,5 \text{ m}^2$ av sängens översida
och sida mot fönstretInredning:

Dörr:	8 kg	4200 kcal/kg
Linolium:	28 kg	5000 kcal/kg
Sängar:	58 kg	4300 kcal/kg
Stol:	7 kg	4400 kcal/kg
Fåtölj:	15 kg	4500 kcal/kg
Sängbord:	4 kg	4200 kcal/kg
Byrå:	12 kg	4200 kcal/kg
Textilier:	55 kg	4900 kcal/kg

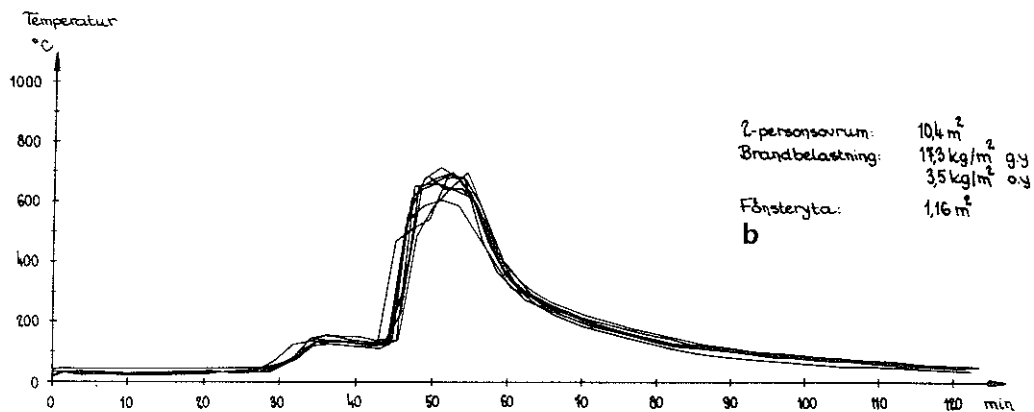
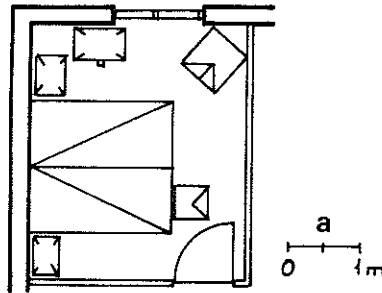
Möblering:

FIG. 19.

I olika punkter av tvåpersoners sovrum med rums- och inredningskaraktäristika enligt fig. a bestämd tidsvariation för gastemperaturen (fig. b). [10]

Variation with time of gas temperature (FIG. b), measured at different points, for a double bedroom with room and furnishing characteristics as per FIG. a. [10].

Allmänt

1-personsovrums: $10,4 \text{ m}^2$
 omslutningsyta $A_t = 53,5 \text{ m}^2$
 öppningsfaktor $\frac{A_v}{A_t} = 0,022 \text{ m}^{1/2}$
 Brandbelastning: $12,0 \text{ kg/m}^2 \text{ gy.}$
 $2,4 \text{ kg/m}^2 \text{ o.y.}$
 Fönsteryta: $1,16 \text{ m}^2$
 Antändning: sängbord och c:a 1 m^2 av
 sängens sida mot fönstret

Inredning:

Linoleum:	42 kg	5000 kcal/kg
Säng:	29 kg	4300 kcal/kg
Stol:	5 kg	4400 kcal/kg
Fätölj:	9 kg	4500 kcal/kg
Sängbord:	4 kg	4200 kcal/kg
Byrå:	12 kg	4200 kcal/kg
Textilier:	25 kg	4900 kcal/kg

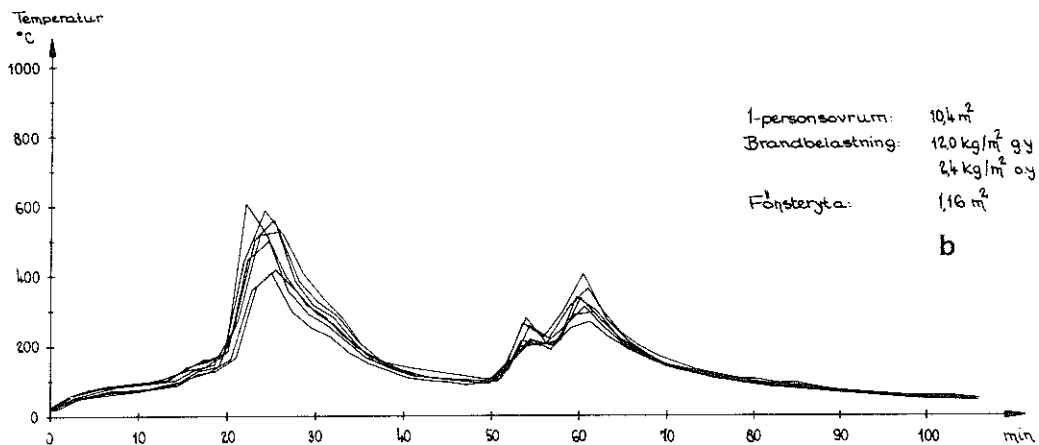
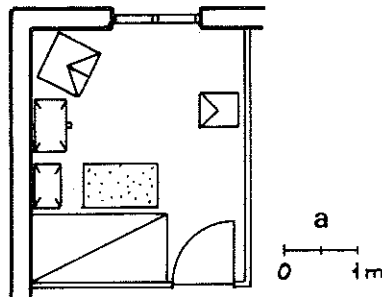
Möblering:

FIG. 20.

I olika punkter av enpersons sovrums med rums- och inrednings-
 karakteristika enligt fig. a bestämd tidsvariation för gas-
 temperaturen (fig. b). [10]

Variation with time of gas temperature (FIG. b), measured at
 different points, for a single bedroom with room and furnishing
 characteristics as per FIG. a. [10].

Refererade försök är emellertid något speciella, då de utförts under förutsättningen, att samtliga fönster på grund av inträffad kärnladdningsexplosion saknat glasrutor, med konsekvens att en effektiv ventilation erhållits genom fönsteröppningarna under hela brandförloppet. Detta bör rimligen dels ha fördröjt brandens uppbyggnadsskede genom att bildade heta brandgaser i stor utsträckning kunnat avgå, dels genomgående ha reducerat erhållen gastemperatur i brandrummet. Möjligen skulle även ett något lägre värde på brandbelastningen resultera i övertändning i brandcellen vid i brandens initialskelede mer eller mindre intakta glasrutor då därigenom antändningsfasen kan utvecklas mera ostörd av ventilationen. Samtidigt kan emellertid i det senare fallet de intakta glasrutorna omöjliggöra den för en fortgående förbränning erforderliga lufttillförseln, varför erhållna brandförlopp i båda fallen trots något olika förutsättningar kanske blir likartade.

3.7 Omslutningsytan

Omslutningsytan, A_t (m^2), vilken definieras som den inre ytan av de väggar, golv och tak som avgränsar brandcellen från dess omgivning, har bestämts såväl för enskilt rum som hel lägenhet räknad som brandcell. Vid bestämning av brandbelastningens i hel lägenhet min- och maxvärden har till respektive brandbelastningsvärde tillhörande omslutningsyta beräknats, vilken inbördes kan uppvisa smärre differenser, som till övervägande del beror på tidigare angiven förutsättning om en intakt respektive vid övertändning i hela lägenheten medverkande klädkammare.

3.8 Öppningsfaktorn

En bestämning av öppningsfaktorn, definierad som $\frac{A\sqrt{h}}{A_t}$ ($m^{1/2}$) där A (m^2) betecknar brandcellens öppningsyta (fönster, dörrar etc) och h (m) ett med hänsyn till öppningarnas storlek vägt medelvärde av deras utsträckning i höjddled, framstår som väsentlig i varje särskilt fall då denna vid given brandbelastning och givna termiska karakteristika för omslutande konstruktioner avgör förbränningshastigheten och därigenom rök-gastemperaturens tidskurva och brandvaraktigheten.

Ett stort antal utförda försök med träbränder i slutet rum med fönsteröppning visar att maximala förbränningshastigheten R_{max} approximativt följer sambandet

$$R_{max} = k \cdot A\sqrt{h} \quad (7)$$

där k är en konstant och $A\sqrt{h}$ utgör luftflödesfaktorn [15] - [17]. Väljes A och h i m^2 respektive m , erhålles med ett k -värde av storleksordningen 5,5-6 R_{max} i kg trä per minut. Som illustration återges i figur 21 av Gross och Robertsson experimentellt upptaget samband mellan maximal förbränningshastighet R (g per s) och luftflödesfaktorn $A\sqrt{h}$ ($cm^{5/2}$) vid brandbelastning av träbränsletyp i tre till dimensionen olika brandceller med volymen respektive $9,1 \cdot 10^3$, $2,2 \cdot 10^5$ och $6,5 \cdot 10^6$ cm^3 [16]. Som framgår av figuren ligger samtliga erhållna värden relativt väl samlade längs en rät linje.

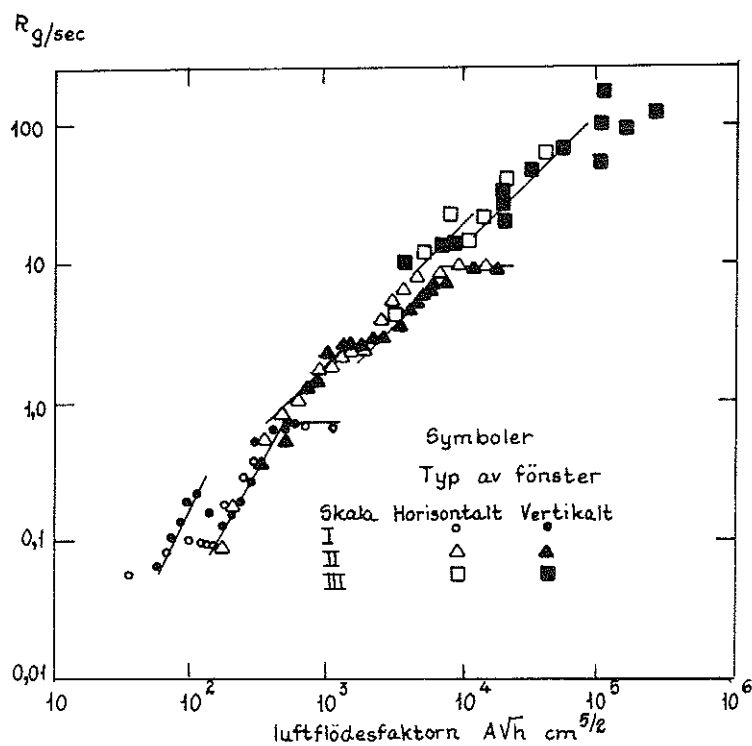


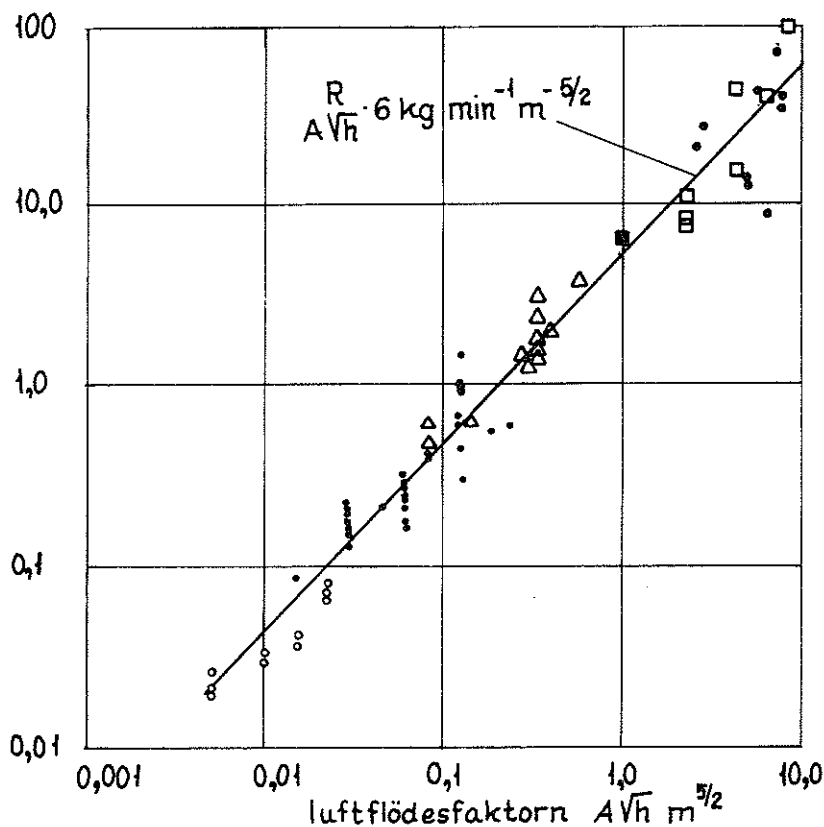
FIG. 21.

Experimentellt bestämt samband mellan förbränningshastigheten R (g/s) och luftflödesfaktorn $A\sqrt{h}$ ($\text{cm}^{5/2}$) i tre till dimensionen olika modellrum. [16]

Experimentally determined relationship between the combustion velocity R (g/s) and the air flow factor $A\sqrt{h}$ ($\text{cm}^{5/2}$) in three model rooms of different dimension. [16].

För att ytterligare belysa i ekvation (7) givet samband återges i figur 22 av Kawagoe sammanställda, vid ett stort antal försök i olika brandceller erhållna värden, där även linjen $R = 6 A\sqrt{h}$ lagts in. Här kan emellertid en avsevärd spridning noteras, speciellt vid höga värden på luftflödesfaktorn där differenser av storleksordningen en tiopotens kan konstateras. Denna spridning beror troligen på ej redovisad, i försöken ingående variation av porositetsfaktorn, eftersom denna vid konstant luftflödesfaktor i hög grad påverkar förbränningshastigheten. Detta har konstaterats bl a av författaren vid i avsnitt 2.5 refererade pågående förbränningsstudier, och som exemplifierande framgår av figur 13.

R kg/min



Experiment	Golvyta		Symbol
	ft ²	m ²	
J.F.R.O.	1	0,097	◦
	4	0,37	•
	9	0,83	△
J.F.R.O.	34	3,2	■
J.F.R.O.	100	9,0	•
Kawagoe	11	1,0	△
	≈100	≈9,0	□

FIG. 22.

Experimentellt bestämt samband mellan förbränningshastigheten R (kg/min) och luftflödesfaktorn $A\sqrt{h}$ ($m^{5/2}$). [17]

Experimentally determined relationship between the combustion velocity R (kg/min) and the air flow factor $A\sqrt{h}$ ($m^{5/2}$). [17]

Samtliga i figur 21 och 22 refererade försök har varit av bål-typ där brandbelastningen utgjorts av träribbor, vilket medför, att uttrycket för förbränningshastighetens maximivärde vid ett antaget värmevärde för trä av 4,2 Mcal per kg, i stället kan ges i den alternativa formen

$$R_{\max} = 25 \sqrt{A\sqrt{h}} \text{ Mcal/min}$$

(7 a)

Öppningsfaktorns betydelse vid brandteknisk dimensionering åter-
speglas bl a i svenska byggnormer, där beräkning av en byggnads
eller byggnadsdels brandmotstånd skall ske med utgångspunkt
från en temperatur-tidkurva, bestämd av aktuell öppningsfaktor
och härtill hörande brandvaraktighet T beräknad enligt ekvationen

$$T = \frac{q \cdot A_t}{25 \sqrt{h}} \quad (8)$$

vilken får tillämpas vid brandbelastning med förbrännings- och
strålningsförhållanden, som approximativt överensstämmer med dem
för träbränsle gällande.

Då brandvaraktigheten T anger flamfasens längd, innebär ekvation
(8) formellt att totala i brandcellen magasinerade energin $q \cdot A_t$
frigöres under denna tidsperiod, medan vid en reell brand 30 -
50 % av energin återstår vid flamfasens övergång till glödfas för
att slutgiltigt ha förbrukats först vid avsvlningsfasens in-
trädande. Dessutom kan konstateras, att om ovanstående antagande
att samtlig energi frigörs under flamfasen vore riktigt, skulle
avsvlningshastigheten bli väsentligt högre än i normerna an-
givet värde 10°C per minut. Ekvation (8) innehåller dessutom
termen $25 \sqrt{h}$, vilken enligt ekvation (7 a) uttrycker förbrän-
ningshastighetens maximivärde. Denna förutsättes således vara
konstant under hela flamfasen för att vid glödfasens inträdande
momentant sjunka till noll, vilket inte korresponderas särskilt
väl med vid en reell brand erhållen förbränningskaraktistika.
Trots att riktigheten av ingående termer således kan ifrågasät-
tas, ger en brandvaraktighet bestämd enligt angivet samband god
överensstämmelse med i verkligheten erhållen, åtminstone för
bränder av kortare varaktighet, varför vid en brandteknisk di-
mensionering praktiskt användbara värden erhålles.

Samtidigt måste emellertid konstateras, att förutom öppnings-
faktorn den tidigare behandlade finfördelningsgraden hos brand-
belastningen kan vara bestämmande för uppnådd maximal förbrän-
ningshastighet. Bl a har i svenska och finska försök påvisats
att i en träkonstruktion utsatt för dubbelsidig brand, brandens
inträngningshastighet approximativt är konstant (storleksord-
ningen 0,6 mm/min). Detta betyder, att ett bränsle med så av-
passad finfördelning att ett lägre värde på produkten av för
branden exponerad yta och inträngningshastighet erhålles än den
förbränningshastighet som bestäms av luftflödesfaktorn, inte
fönsteröppningens storlek och form utan bränslets geometriska
egenskaper kommer att vara avgörande för uppnådd maximal för-
bränningshastighet.

I sammanhanget skall emellertid framhållas, att ekvation (7)
endast påvisats äga giltighet för bränder som i likhet med ut-
förda utländska försök har en brandbelastning av träbålstyp.
Ett fåtal fullskaleförsök, reproducerande brand i sovrum med
tillhörande speciella brandbelastning, öppningsfaktor och rums-
storlek, har emellertid utförts i Sverige, och även om några
allmängiltiga slutsatser ej kan erhållas på grundval av det
ringa antalet utförda försök, måste dock konstateras, att
överensstämmelsen mellan enligt ekvation (7) beräknad och vid
försöken erhållen maximal förbränningshastighet är förhållande-
vis god, vilket framgår av figur 23. Detta antyder, att även
för brandbelastning med en så inhomogen sammansättning som den

i bostadslägenheter, vissa riktvärden på maximal förbrännings-
hastighet kan erhållas genom tillämpning av ekvation (7).

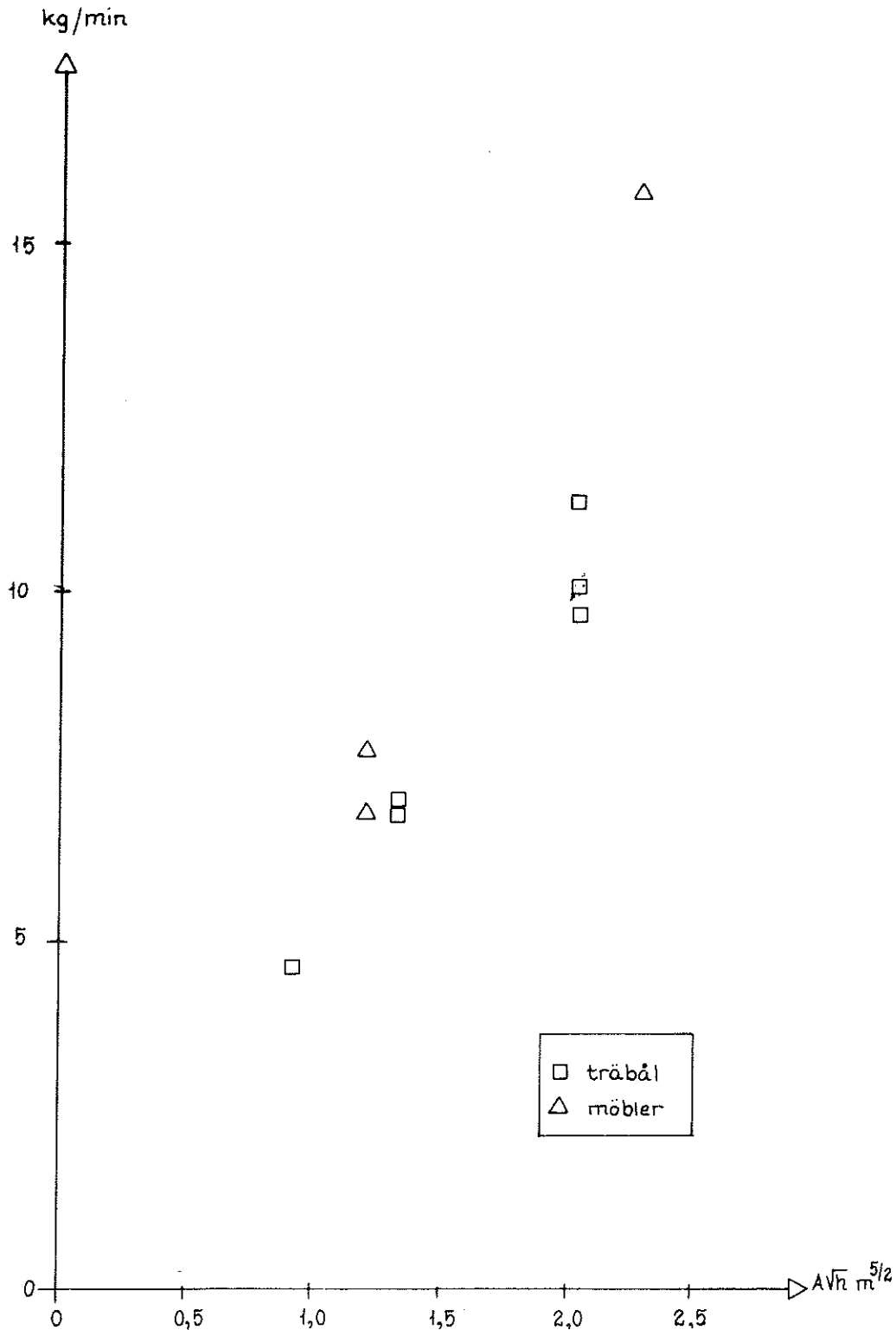


FIG. 23.

Vid fullskaleförsök experimentellt upptaget samband mellan
maximal förbränningshastighet R (kg/min) och luftflödesfak-
torn $A\sqrt{h}$ ($m^{5/2}$). [10]

Experimentally obtained relationship, in the course of fullscale
tests, between the maximum combustion velocity R (kg/min) and
the air flow factor $A\sqrt{h}$ ($m^{5/2}$). [10].

Då således öppningsfaktorn ingår som väsentlig storhet för ett brandförlopps utveckling, har denna bestämts såväl för enskilt rum som hel lägenhet räknad som brandcell. Därvid har, i fallet sovrum respektive vardagsrum som en brandcell, förutsättningen genomgående varit till angränsande rum stängda dörrar samt helt öppna fönster, baserat på antagandet, att de temperaturer som vid en brand utvecklas, redan i ett tidigt skede av branden spränger sönder fönsterrutorna. I fallet hela lägenheten räknad som en brandcell har genomgående två olika öppningsfaktorvärden, med referens till ovan angivna min- och maxvärden på brandbelastningen, beräknats. Förutsättningen har härvid varit helt öppna fönster och dörrar i båda fallen, med undantag av klädkammar- och ytterdörr samt träpartier på balkongdörr, vilka antagits intakta under ett initialskede av brandförloppet men vid längre brandvaraktighet helt genombrända.

3.9 Golvbeläggningen

I redovisningen har golveläggningens inverkan generellt utelämnats. Anledningen härtill är dels att i det enskilda fallet en golveläggning är klart definierad vad gäller yta och tjocklek, och därmed tillskottet till brandbelastningen för till varje brandcell hörande golvmateriel vid en fullständig förbränning, dels förhållandet, att planerade och pågående experimentella undersökningar av en brännbar golveläggningens medverkan vid en brand med stor sannolikhet kan förväntas komma att ge μ_v -värden, som för vissa materialtyper ligger avsevärt under 1. En korrigering med hänsyn till golveläggningens inverkan på brandbelastningen är i varje särskilt fall enkel att genomföra då man känner golvmaterialets typ, tjocklek och därtill hörande värmevärde m_v och reell förbränningsgrad μ_v .

4 RESULTAT OCH DISKUSSION

Den bearbetning som genomförts på det av FOA tillhandahållna statistiska materialet redovisas i figur 26-44 samt i tabellerna 4-6. Såväl sovrum som vardagsrum betraktade som enskilda brandceller har stort intresse då, med referens till svenska undersökningar [10], vid en brandbelastning av storleksordningen $> 15 \text{ Mcal/m}^2$ o.y. en initierad brand kan medföra risk för över-tändning i brandcellen eftersom i lägenheten ingående lättantändligt material i övervägande grad är koncentrerade till dessa rum. Detta har motiverat den bestämning av brandbelastningens fördelningskurvor, med angivande av såväl min- som maxvärden, som sålunda redovisas i figur 26 och 27 för sovrum och i figur 28 och 29 för vardagsrum ingående i lägenhetstyperna 2 rok och 3 rok och belägna i Stockholms förorter, i figur 30 och 31 för sovrum ingående i lägenhetstyp 2 rok och 3 rok och i figur 32 för vardagsrum ingående i lägenhetstyp 2 rok, belägna i Stockholms innerstad, samt slutligen för Stockholms förorter och Stockholms innerstad sammantagna i figur 33 och 34 för sovrum ingående i lägenhetstyp 2 rok och 3 rok och i figur 35 för vardagsrum ingående i lägenhetstyp 2 rok.

Då i gällande svenska normer hel lägenhet anges som brandcell har analog redovisning av brandbelastningens fördelningskurva skett för lägenhetstyperna 1 rok, 2 rok och 3 rok i figur 36-38, 39-41 samt 42-44 belägna i respektive Stockholms förorter, Stockholms innerstad samt Stockholms förorter och innerstad sammantagna.

Då en bestämning av omslutningsytans A_t , öppningsfaktorns $\frac{A\sqrt{h}}{A_t}$ och brandbelastningens q medelvärde och standardavvikelse bedömts som önskvärd för att dels ge så allsidig bild som möjligt av genomförd bearbetning men även för att vid framtida inventeringar av brandbelastningens i bostadslägenheter storlek möjliggöra realistiska jämförelser mellan olika inventeringar, redovisas dessa storheter i tabell 4-6 med referens till olika typer av brandceller.

Ett studium av tabell 4 och 5 avslöjar att skillnaden i brandbelastningshänseende mellan Stockholms förorter och Stockholms innerstad, ganska oväntat, ej är märkbar. Samtliga grupper, sovrum, vardagsrum och lägenheter betraktade som brandceller visar genomgående en förvånansvärt god överensstämmelse. Detta är speciellt anmärkningsvärt då ingående fotografier visar en i Stockholms innerstad tyngre och tätare möblering än motsvarande i förorterna vilket borde resultera i högre brandbelastning per omslutningsyta. Då emellertid flertalet av de i innerstaden belägna lägenheterna har en högre takhöjd, kommer av omslutningsytorna, vid en jämförelse med förorternas, en större del att härröra från väggytorna och en mindre del från golv- och takyta, därav den tätare möbleringen. Dessutom endera saknas eller är antalet inbyggda energirika enheter, således garderober eller köksinredning, i lägenheter belägna i Stockholms innerstad, fåtaliga, vilket även detta måste kompenseras med annan inredning.

Ytterligare att notera i tabellerna är, att för sovrum och vardagsrum är skillnaden mellan brandbelastningens min- och max-

värden relativt liten, differens cirka 60 % räknad på q_{\min} .

Däremot är vid hela lägenheten betraktad som brandcell brandbelastningens maxvärden approximativt dubbelt så stora som tillhörande minvärden, vilket till väsentlig del förklaras av det stora tillskott till brandbelastningen som vid en antagen fullständig förbränning ges av svårantändliga komponenter, speciellt köksinredning och dörrar.

Intressant och ganska anmärkningsvärt i tabellerna är en obetydlig variation av öppningsfaktorn för samtliga brandceller, vilken är med referens till brandbelastningens min- och maxvärden av storleksordningen respektive 0,035 och 0,050 $m^{1/2}$. Som tidigare framhållits beror dessa skilda värden på antagen förutsättning om intakta dörrar vid en brands initialske, varvid öppningsarean utgöres endast av fönstren, men vid längre brandvaraktighet kommer även dörrarna att genombrännas vilket medför ej oväsentlig ökning av öppningsfaktorn. Då lägenheterna huvudsakligen producerats åren 1900-1960 innebär de i stort sett konstanta värden på öppningsfaktorn en under årens lopp oförändrad area av fönster och dörrar, detta trots en successivt ökad planyta i lägenheterna. Ovanstående resonemang är givetvis korrekt endast under förutsättning av konstant omslutningsyta, vilket emellertid påvisats vara fallet, samt vid obetydliga variationer på medelvärdet av ingående öppningars utsträckning i höjdd, vilket man på goda grunder kan antaga.

På grund av den förhållandevis omfattande inventeringen av brandbelastningens i bostadslägenheter storlek, vilken redovisas i diagram figur 26-44, aktualiseras frågan om vilket värde som skall läggas till grund för en brandteknisk dimensionering av omslutande och inneslutna konstruktioner. En lösning av problemet är att som dimensionerande brandbelastning välja det största värde som ges av fördelningskurvan, eller, - vilket tillämpas i normerna "SBN 67" och försöksnormen "Aluminiumkonstruktioner" - föreskriva medelvärde + 2 ggr standardavvikelsen, där emellertid båda alternativen kommer att resultera i en kraftig överdimensionering av byggnadsdelarna. I stället bör en så nyanserad avvägning ske, att rimlig hänsyn toges inte bara till brandbelastningens storlek utan även till sannolikheten för att en brand skall uppstå, vilket, med hänsyn tagen till samtliga ingående faktorer, sannolikt skulle ge en dimensionerande brandbelastning som innehåller 60 % av observerade värden.

För att i några olika fall belysa konsekvenser av dels föreslagna reducerad och dels i normerna föreskriven beräkning av brandbelastningen, dvs en 60 %-ig täckning på fördelningskurvan respektive $q_{\text{medel}} + 2$ ggr standardavvikelsen, kan i tabell 6 och figur 43 för lägenhetstypen 2 rok beräknade värden exempelvis användas. Dimensionerande brandbelastning blir härvid i respektive fall approximativt 36 och 48 Mcal per m^2 omslutningsyta som, med utnyttjande av ekvation (3), ger med öppningsfaktorn $\frac{\sqrt{h}}{A_t} = 0,05 m^{1/2}$ en brandvaraktighet av 29 respektive 38 minuter, dvs en differens av storleksordningen 25 %. I försöksnormen "Aluminiumkonstruktioner" och Svensk Byggnorm 67 föreskrivet samband mellan brandcellstemperatur och brandtid t ger härvid en i brandrummet erhållen maximal gastemperatur av respektive 840 och 930 °C, således en relativt måttlig differens. För ingående materials

egenskaper betydligt viktigare temperaturdifferens erhålles emellertid i en brandpåverkad stålkonstruktion. Förutsättes nämligen lägenheten inrymd i ett bostadshus med stålstomme, ger figur 24 att en stålpelare isolerad med 1 cm Vermiculiteputs typ Pyrodur, där $A_i/V_s = 200 \text{ m}^{-1}$ och med övriga antagna data enligt figuren, under ett brandförlopp erhåller en maximal ståltemperatur i de båda fallen av 560 och 630°C . Med kännedom om brotthållfasthetens, sträckgränsens och elasticitetsmodulens variation med temperaturen för mjuka konstruktionsstål, se figur 25, framgår således betydelsen av en väl avvägd dimensionerande brandbelastning mycket tydligt.

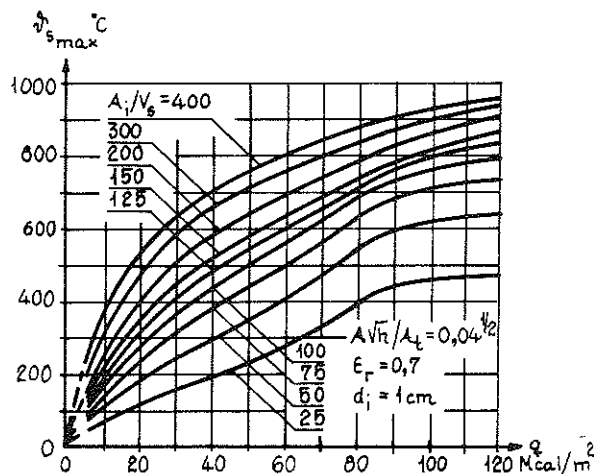


FIG. 24.

Noggrant beräknad maximal ståltemperatur $t_{s,max}$ för brandpåverkad med Vermiculiteputsens Pyrodur (densitet 315 kg/m^3) isolerad stålprofil för varierande brandbelastning q , förhållande A_i/V_s - där A_i betecknar isoleringens medelmantelyta per längdenhet av bärverket och V_s stålprofilens volym per längdenhet av balken- och isoleringstjocklek d_i vid brandcell med öppningsfaktorn $A\sqrt{h}/A_t = 0,04 \text{ m}^{1/2}$. Resultande emissionstal $\epsilon_r = 0,7$. [18]

Accurately determined maximum steel temperature $t_{s,max}$ for a steel section insulated with the Vermiculite-plaster "Pyrodur" (density 315 kg/m^3) and exposed to fire, for variable fire load q , the relationship A_i/V_s - where A_i denotes the mean surface area of the insulation per unit of length of the load-bearing structure and V_s the volume of the steel section per unit of length of the beam - and the insulation thickness d_i , in a fire cell with the opening factor $A\sqrt{h}/A_t = 0.04 \text{ m}^{1/2}$. Resultant emissivity $\epsilon_r = 0.7$. [18].

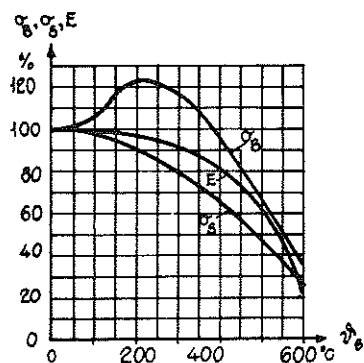


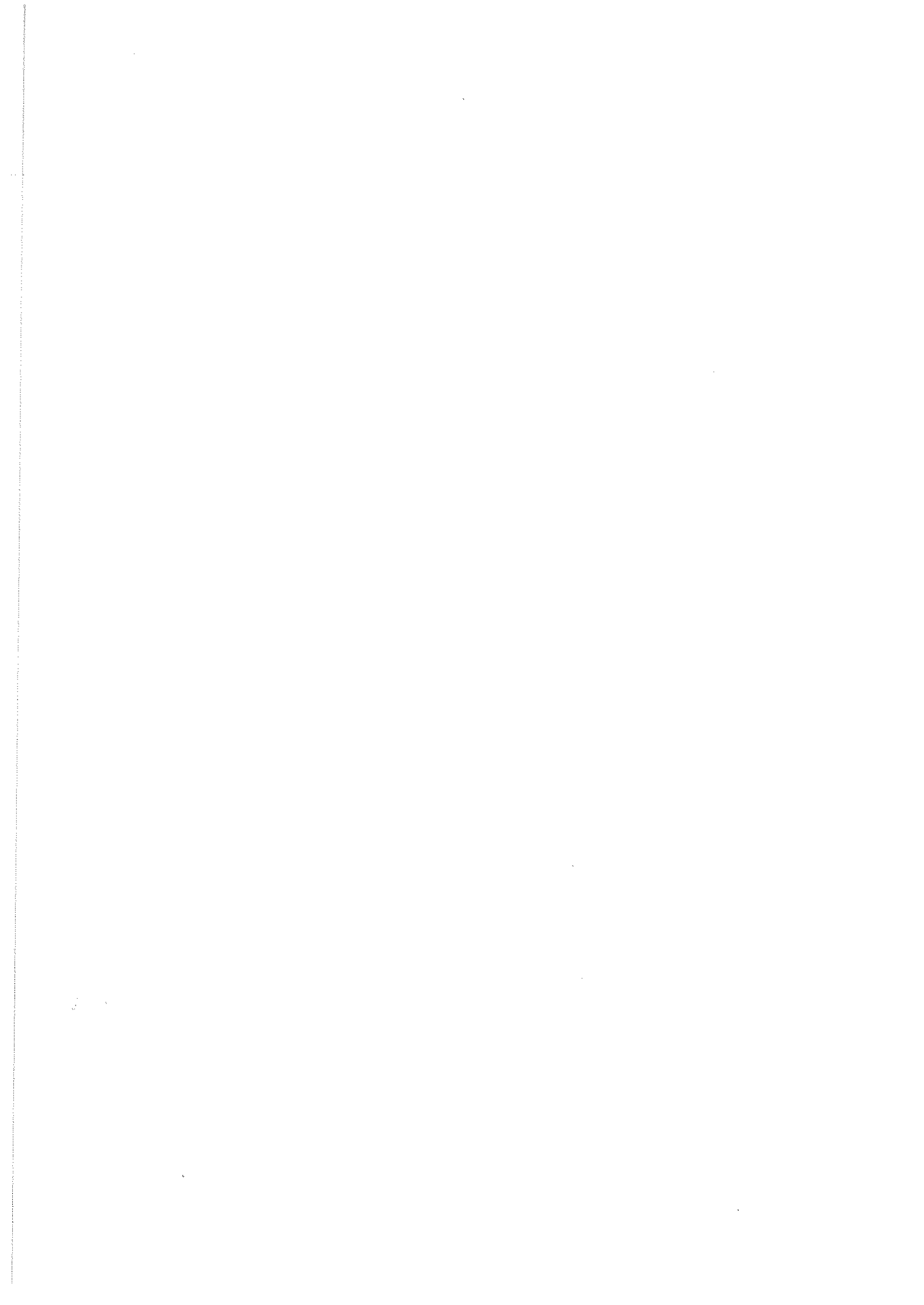
FIG. 25.

Brotthållfasthetens σ_B , sträckgränsens σ_S och elasticitetsmodulens E variation med temperaturen för mjukt konstruktionsstål. [4]

The variation with temperature, for structural mild steel, of the ultimate strength σ_B , the yield point σ_S and the modulus of elasticity E . [4].

En nyanserad brandbelastningskaraktärisering, där bl a ovan skisserade riktlinjer tillämpas har införts i gällande italienska normer, där i en brandcell beräknad brandbelastning multipliceras med en koefficient som kan variera mellan 0,20 och 1,0 beroende på ett stort antal poänggraderade faktorer. Exempel på sådana faktorer är byggnadens höjd, brandcellens area, avstånd mellan utrymningsvägar, avstånd till närliggande byggnader och närmaste brandpost etc. Nackdelen med i dessa normer föreskrivet förfarande är dels att en poänggradering med nödvändighet måste bli subjektiv, dels att vid mycket ogynnsamma förhållanden, dvs många negativa faktorer, normernas utformning är sådan att någon reduktion av brandbelastningen ej erhålles.

Det bör också framhållas, att i diagram och tabeller redovisade maxvärden därvid utgör en övre gräns för brandbelastningen, då tunga och kompakta inredningsenheter i flertalet fall sannolikt har reella förbränningsgrader μ_v , som icke oväsentligt underskrider värdet 1. En systematisk kartläggning av denna förbränningsgrad μ_v skulle möjliggöra ett så realistiskt och ekonomiskt val av brandbelastningen i bostadslägenheter som i dag är praktiskt möjligt.



REFERENSER

- [1] Pettersson, O., 1965, Structural Fire Engineering Research Today and Tomorrow. Acta Polytechnica Scandinavica, Civil Engineering and Building Construction, Series No. 33, Stockholm.
- [2] Pettersson, O., 1964, Den byggnadstekniska brandforskningen i dag och i framtiden. Gullkornet nr 2 och 5, Stockholm.
- [3] Kawagoe, K. - Sekine, T., 1963, Estimation of Fire Temperature - Time Curve in Rooms, (Building Research Institute), Occasional Report No. 11, Tokyo - Kawagoe, K., 1967, Estimation of Fire Temperature - Time Curve in Rooms, (Building Research Institute), Research Paper No. 29, Tokyo.
- [4] Witteveen, J., 1966, Brandveiligheid Staalconstructies. (Centrum Bouwen in Staal), Rotterdam
- [5] Bryson, J.O. - Gross. D., 1968, Techniques for the Survey and Evaluation of Live Floor Loads and Fire Loads in Modern Office Buildings, (National Bureau of Standards) Building Science Series 16. Washington.
- [6] Ödeen, K., 1963, Theoretical Study of Fire Characteristics in Enclosed Spaces. (Division of Building Construction, KTH) Bulletin No. 10, Stockholm
- [7] Ödeen, K., 1968, Experimentellt och teoretiskt studium av brandförlopp i byggnader. (Statens Institut för Byggnadsforskning) Rapport 23:1968, Stockholm.
- [8] Pettersson, O. - Ödeen, K., 1968, Pågående och planerad byggnadsteknisk brandforskning i Sverige. (Statens Institut för Byggnadsforskning) Rapport 34:1968, Stockholm.
- [9] Magnusson, S.E. - Pettersson, O., 1969, Brandteknisk dimensionering av isolerad stålkonstruktion i bärande eller avskiljande funktion. Väg- och vattenbyggaren nr 4, 1969, Stockholm.
- [10] Sjölin, V., 1969, Brand i bostadsrum - antända genom värme-strålning från kärnvapen, Stockholm
- [11] Gross, D., 1962, Experiments on the Burning of Cross Piles of Wood. Journal of Research of the National Bureau of Standards, Vol. 66 C, No. 2, April-June 1962, s 99-105, Washington.
- [12] Tenning, K., 1961, Brandförsök med limmade träbalkar. Väg- och vattenbyggaren H. 2, s. 55, Stockholm.
- [13] Träkonstruktioners brandstabilitet - symposium vid Chalmers Tekniska Högskola den 18 juni 1962. CTH-s handlingar Nr 274, Göteborg
- [14] Gunnars, N-E., 1967, Method of Measurement and Measuring Equipment for Joint Inter-Scandinavian Fire Test on Lining Materials for Buildings at Copenhagen Fire Test House. Acta Polytechnica Scandinavica, Civil Engineering and Building Construction, Series No 43, Stockholm.

- [15] Ashton, L.A. - Malhotra, H.L., 1960, External Walls of Buildings. Part I. The Protection of Openings against Spread of Fire from Storey to Storey. (Department of Scientific and Industrial Research Organization F.R.) Note No. 436.
- [16] Gross, D. - Robertsson, A.F., 1965, Experimental Fires in Enclosures. Tenth Symposium (International) on Combustion, (The Combustion Institute) s. 931 - 942.
- [17] Preprints of Papers to be presented at the Canadian sessions of the Fourth Triennial Congress, volume I. 1968. (International Council for Building Research Studies and Documentation)
- [18] Magnusson, S.E. - Pettersson, O., 1969, Kvalificerad brandteknisk dimensionering av stålbärverk. (Byggmästarens förlag) Byggmästaren nr , Stockholm.

BILAGA

Redovisning av brandbelastningens fördelningskurvor för olika lägenhetstyper avseende Stockholms förorter och innerstad.

Figurer 26 - 44

Tabeller 4 - 6

Sovrum, 2 rok, förort

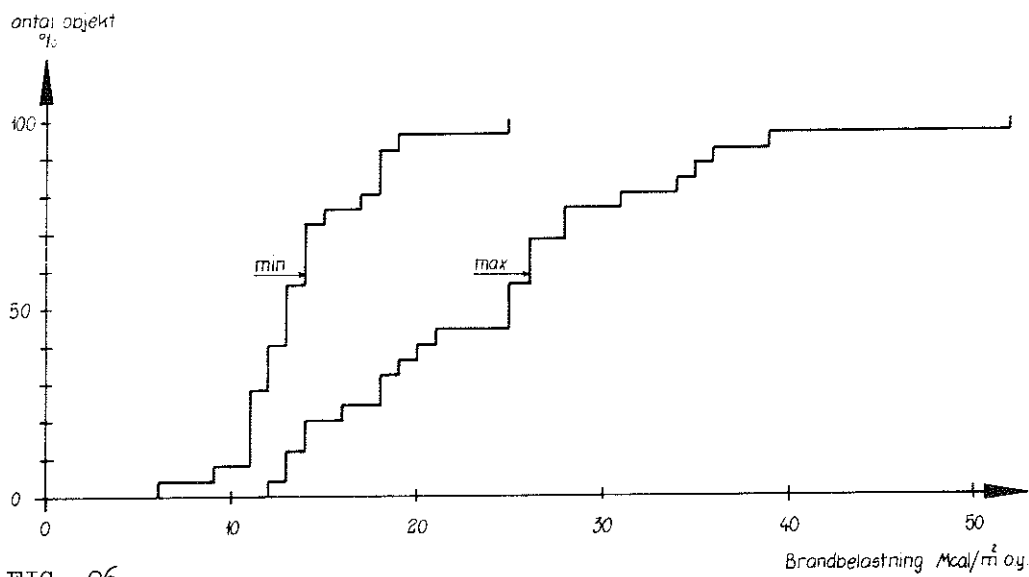


FIG. 26.

Sovrum, 3rok, förort

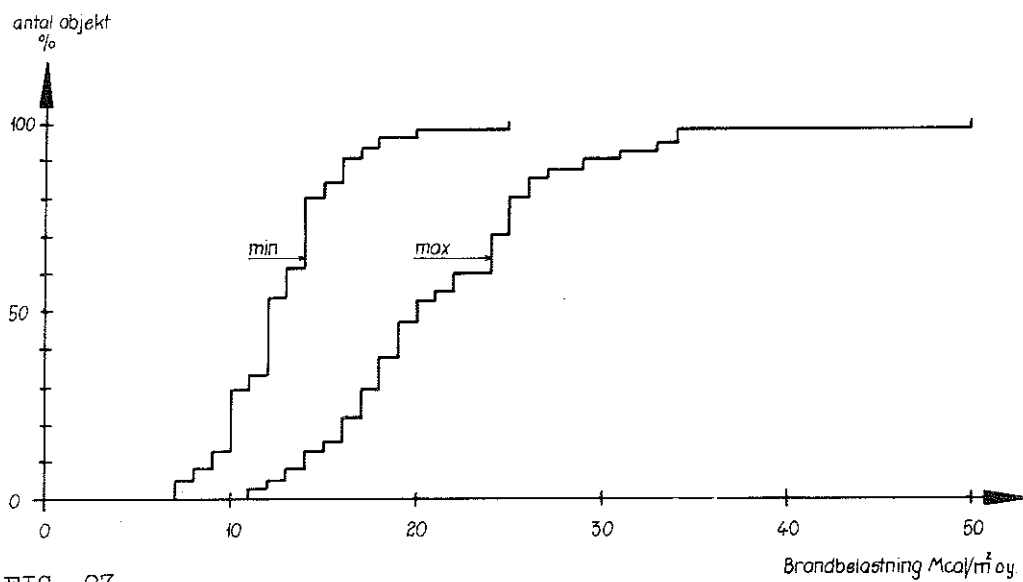


FIG. 27.

Vardagsrum, 2 rok, förort

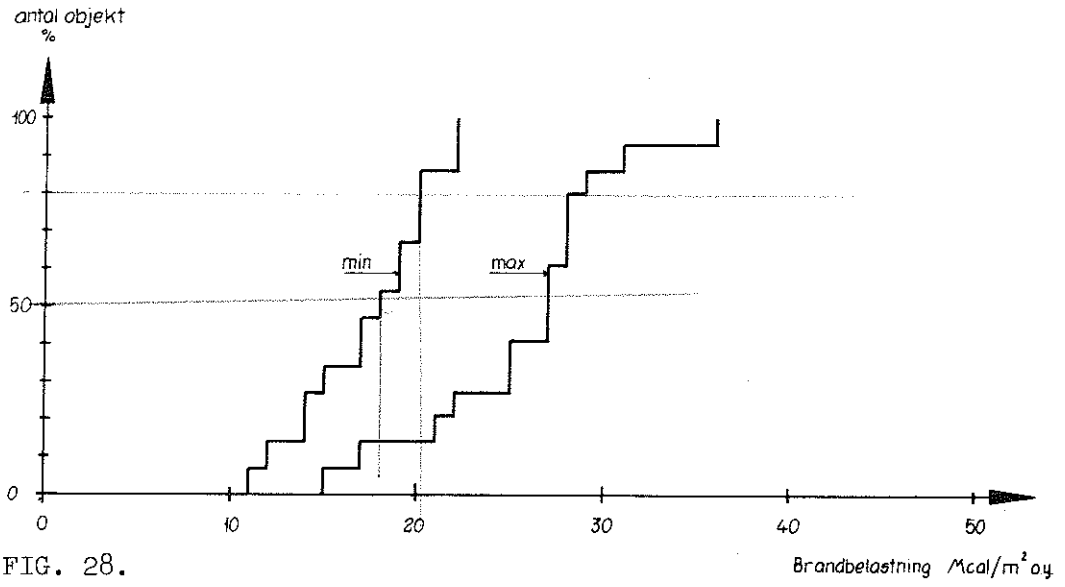


FIG. 28.

Vardagsrum, 3 rok, förort

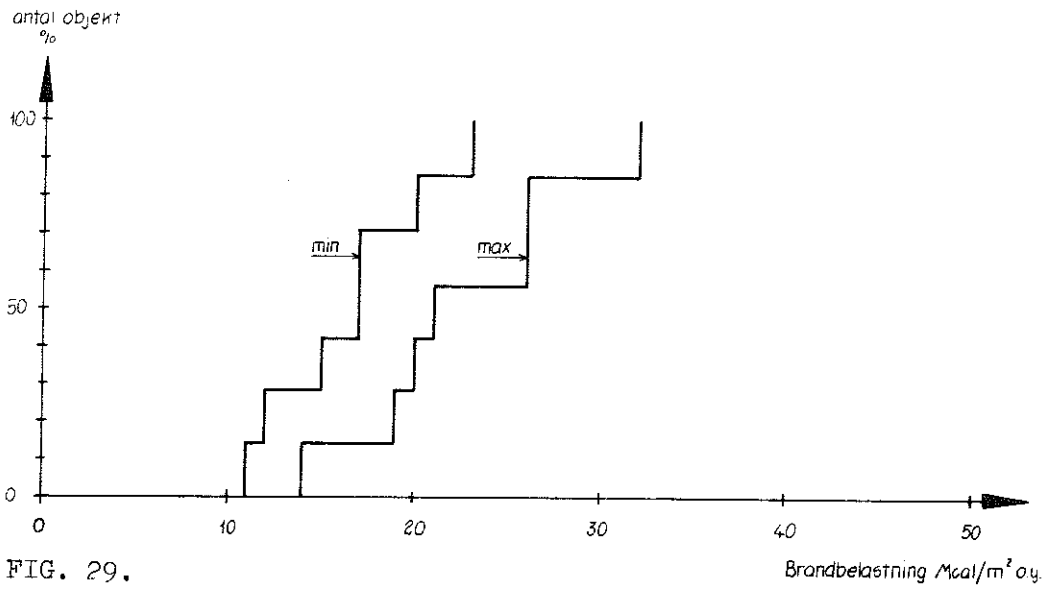
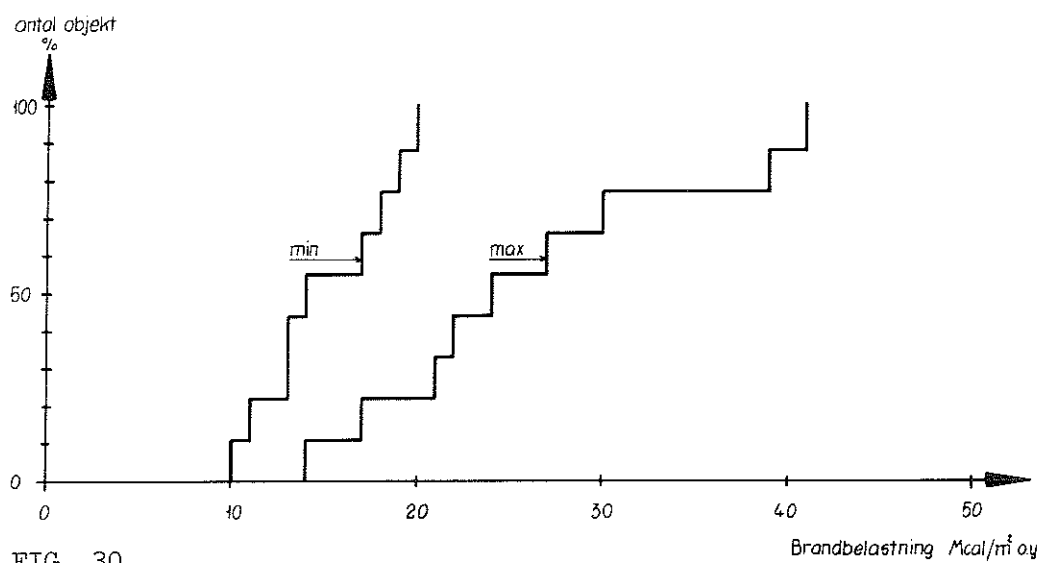
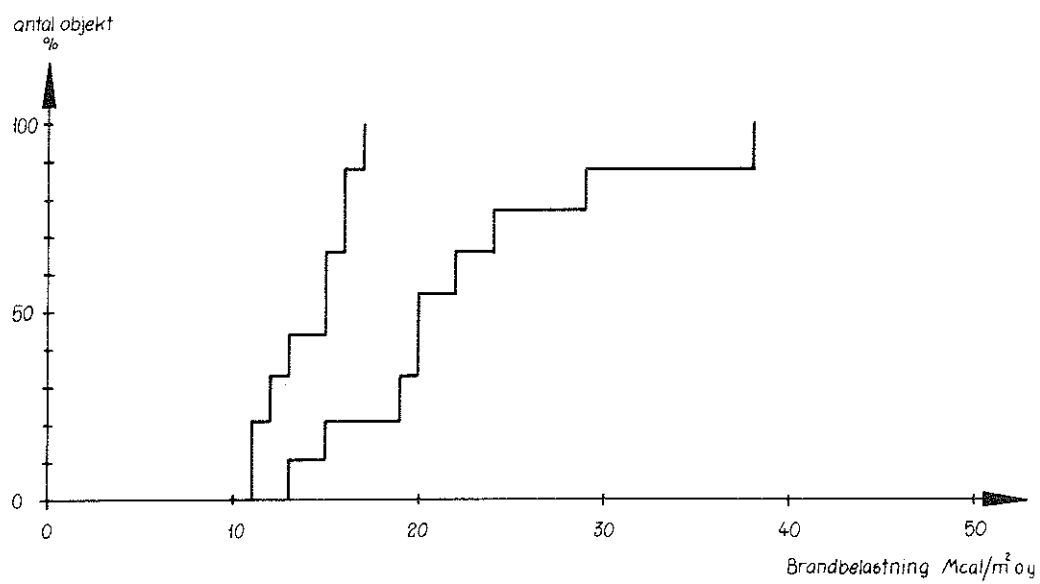


FIG. 29.

Sovrum, 2 rok, innerstad



Sovrum, 3 rok, innerstad



Vardagsrum, 2 rok, innerstad

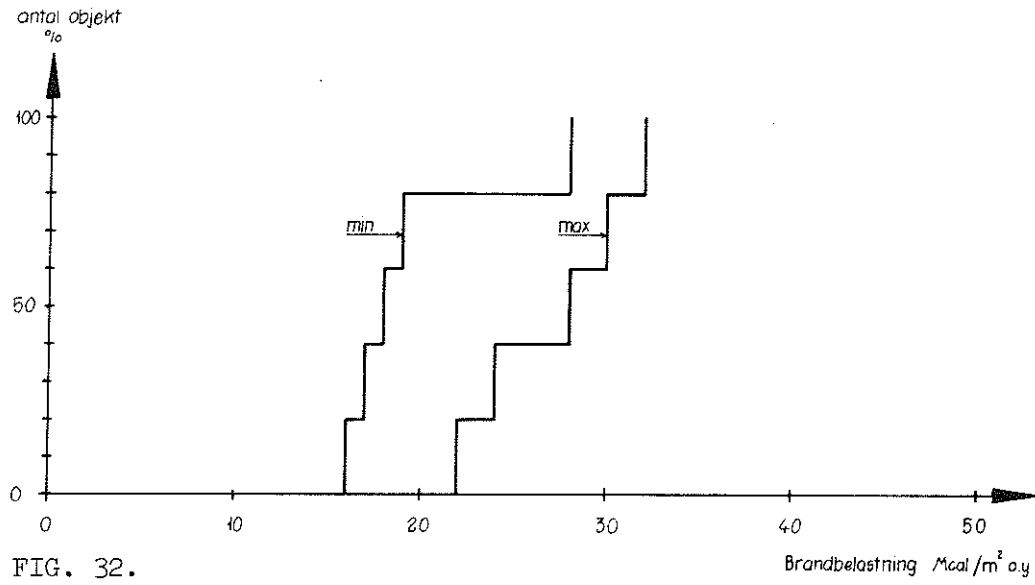


FIG. 32.

Brandbelastning Mcal/m² a.y

Sovrum, 2 rok, förort + innerstad

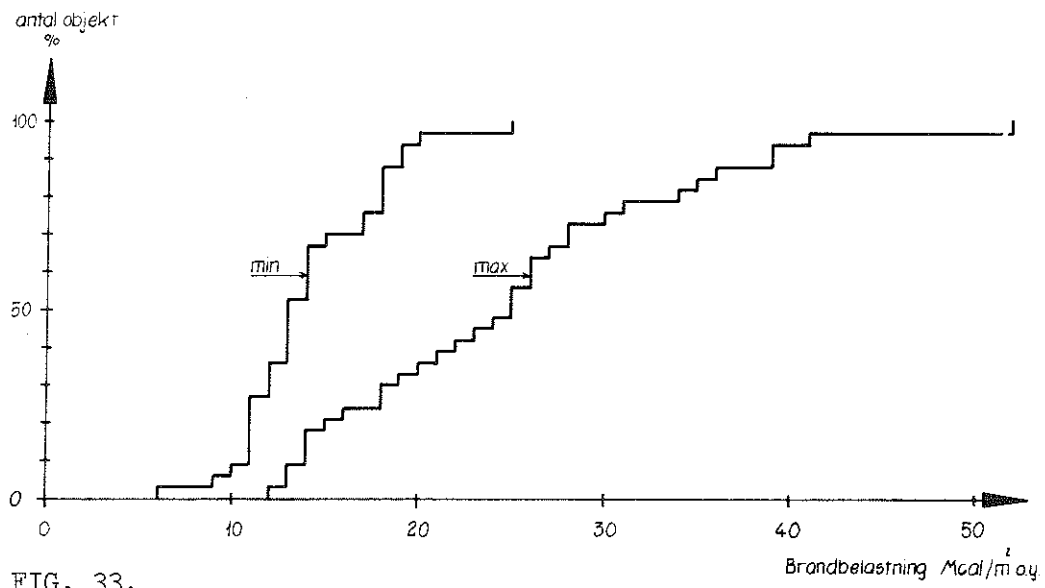


FIG. 33.

Brandbelastning Mcal/m² a.y

Sovrum, 3 rok, förort + innerstad

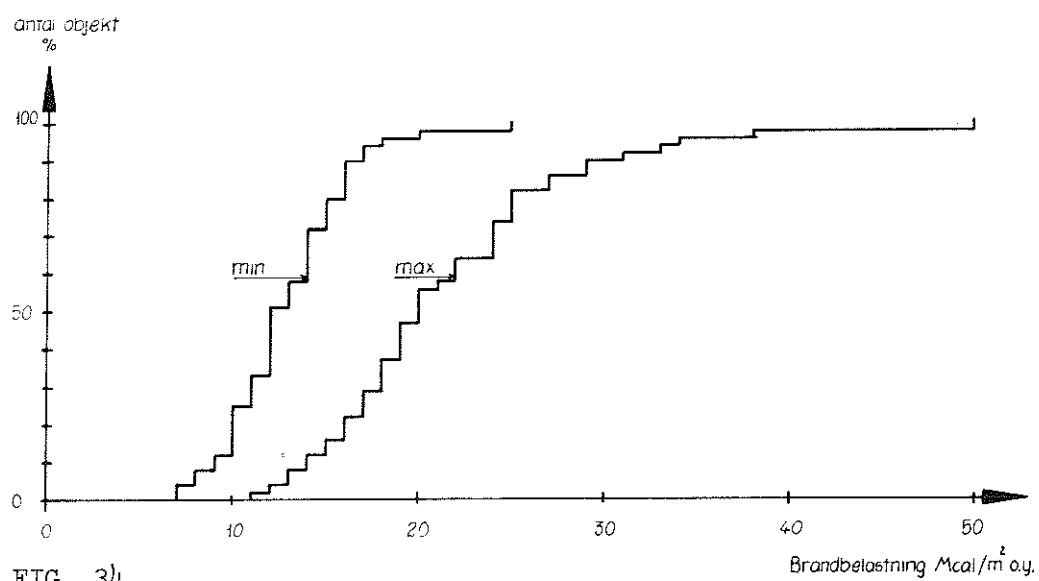


FIG. 34.

Vardagsrum, 2 rok, förort + innerstad

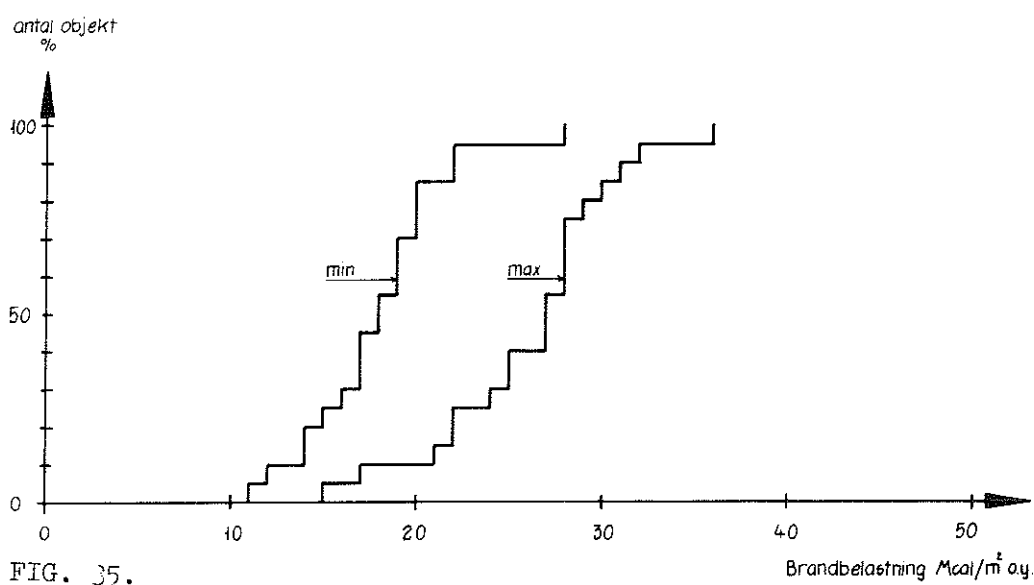
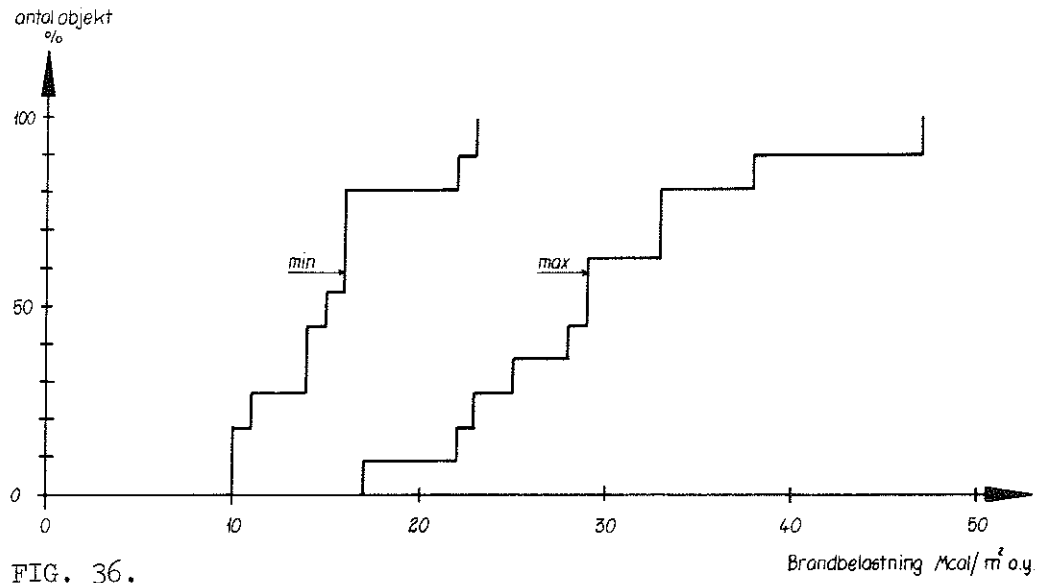
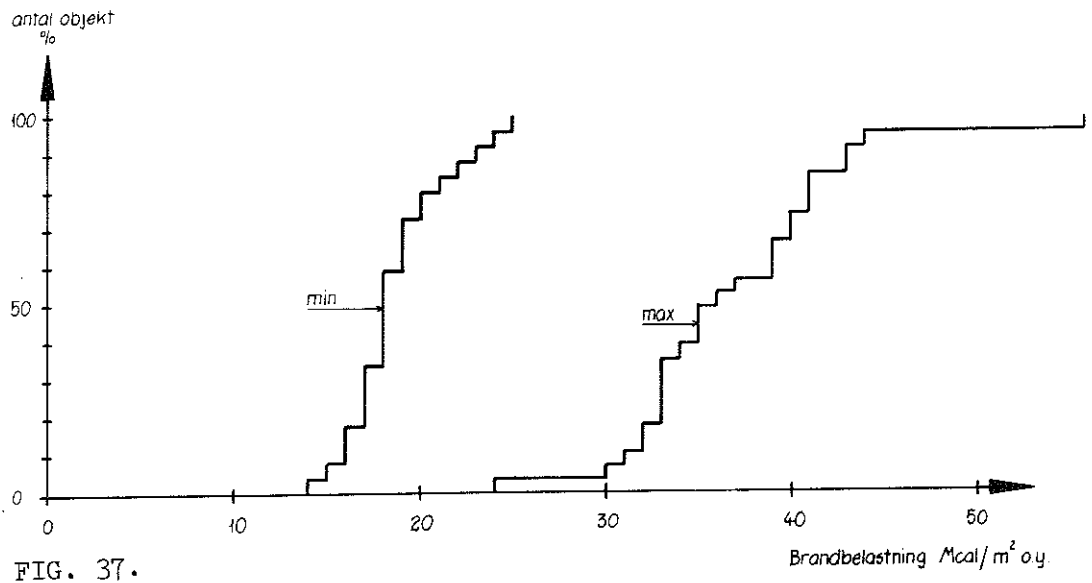


FIG. 35.

Lägenhetstyp, 1 rak, förort



Lägenhetstyp, 2 rak, förort



Lägenhetstyp, 3 rok, förort

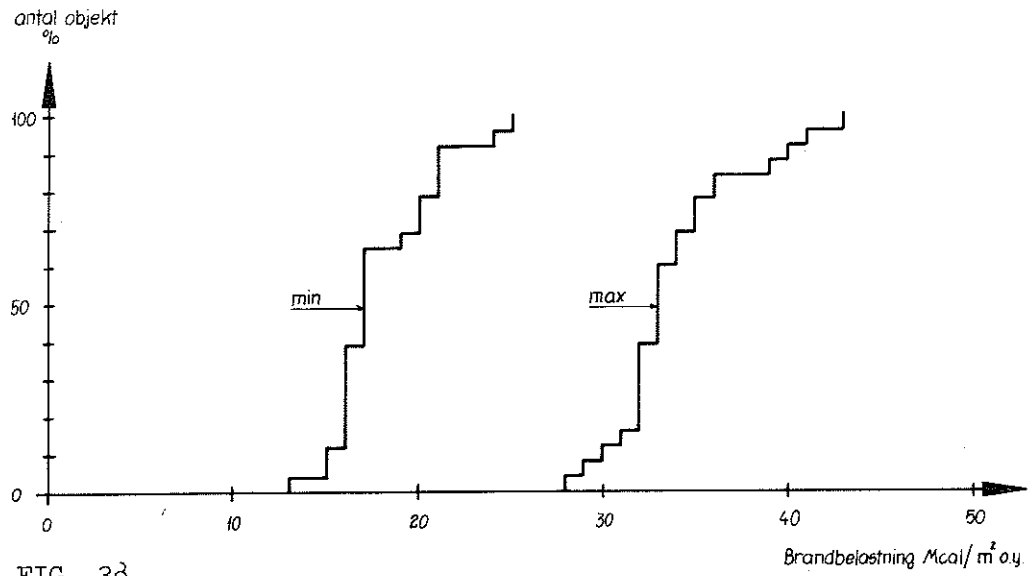


FIG. 38.

Lägenhetstyp, 1 rok, innerstad

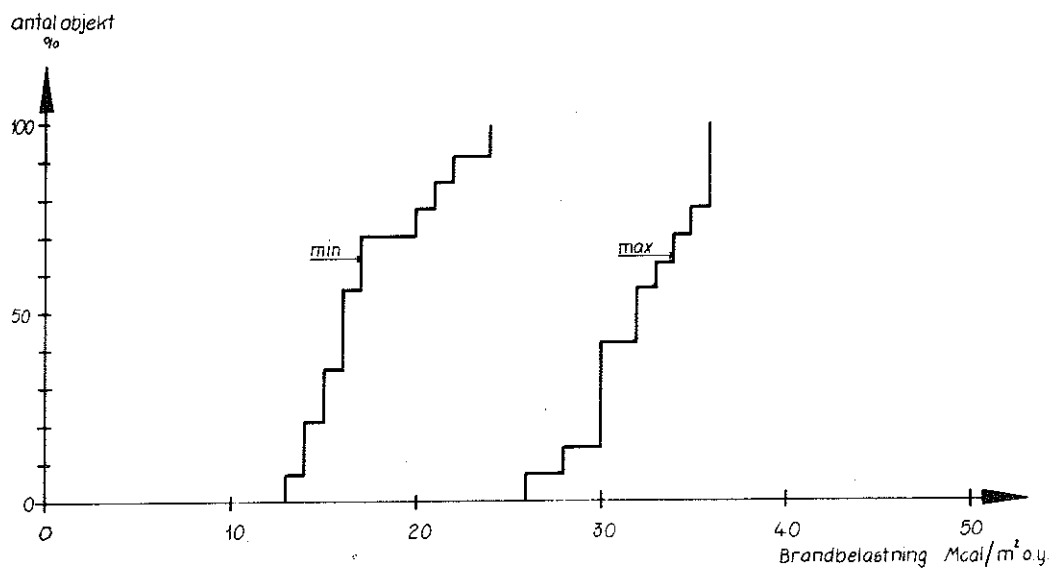


FIG. 39.

Lägenhetstyp, 2 rok, innerstad

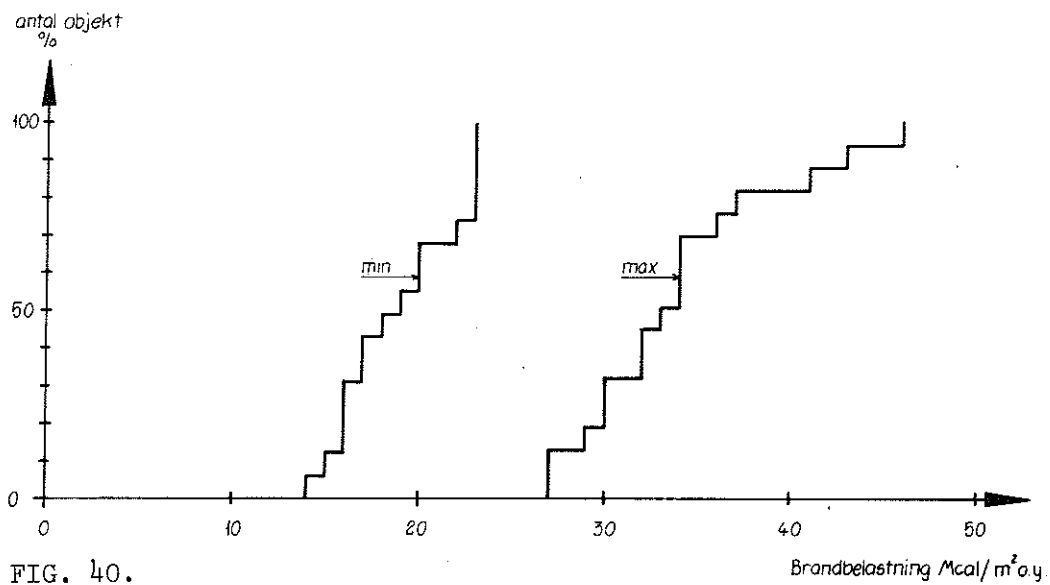


FIG. 40.

Brandbelastning Mcal/m² a.y.

Lägenhetstyp, 3 rok, innerstad

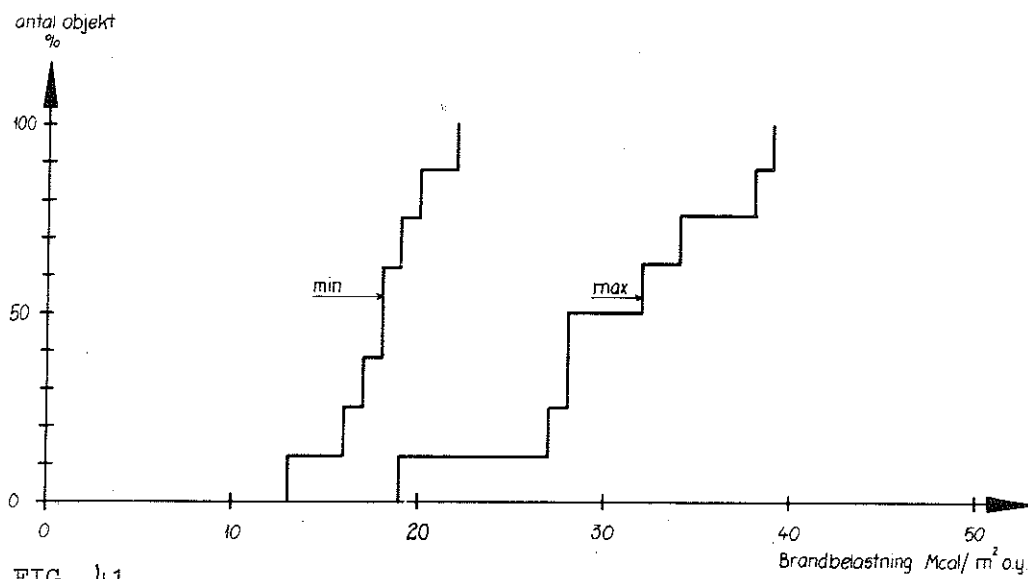


FIG. 41.

Brandbelastning Mcal/m² a.y.

Lägenhetstyp, 1 rok, förort + innerstad

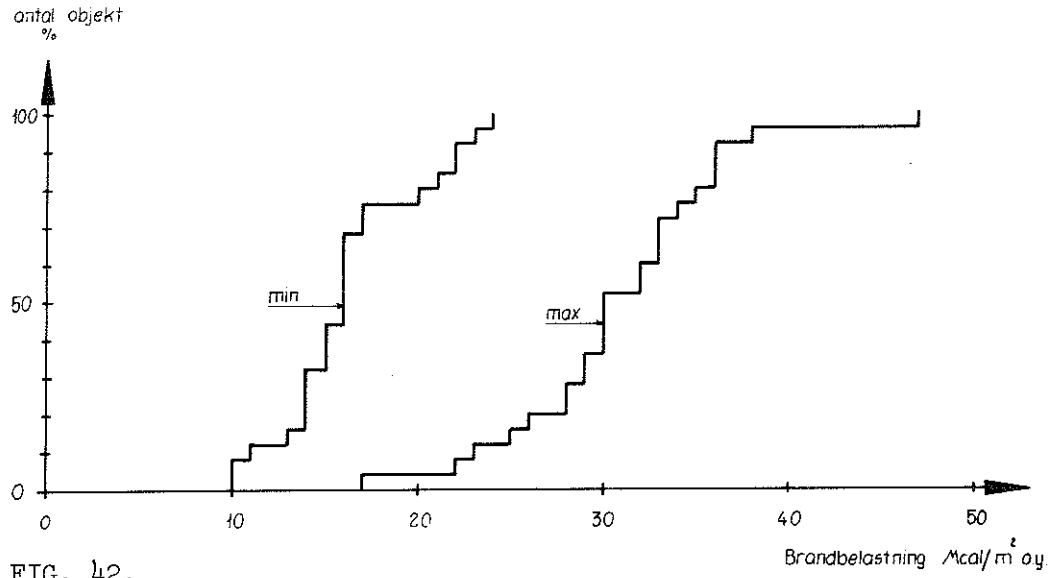


FIG. 42.

Lägenhetstyp, 2 rok, förort + innerstad

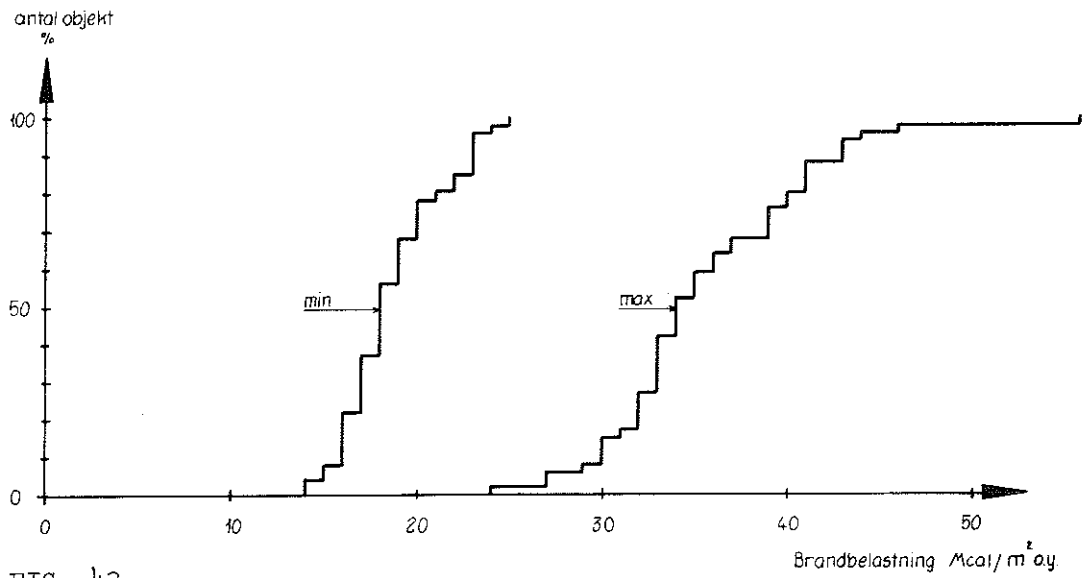


FIG. 43.

Lägenhetstyp, 3 rok, förort + innerstad

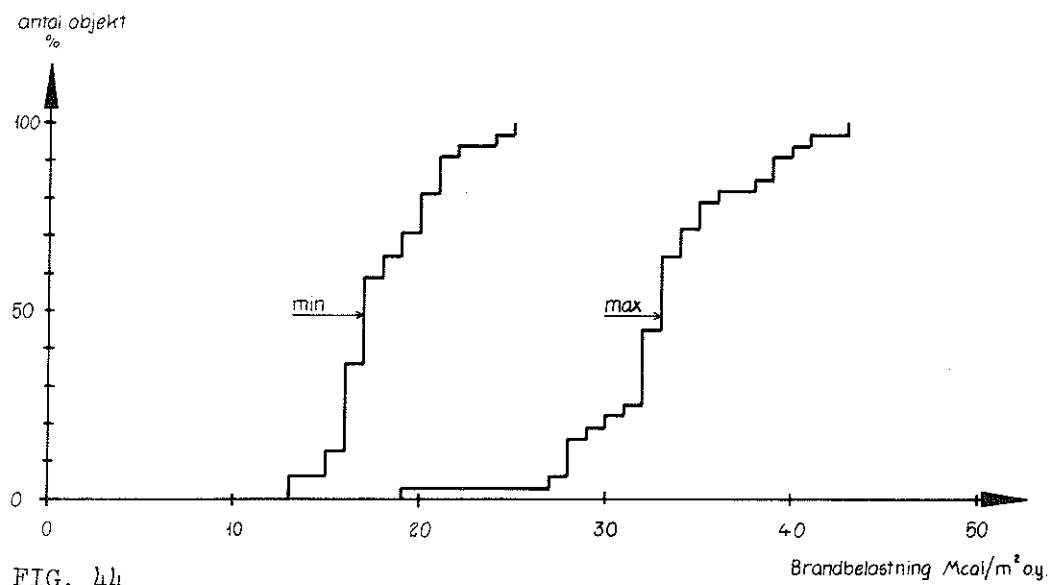


FIG. 44.

Brandbelastning Mcal/m² ay.

TAB. 6

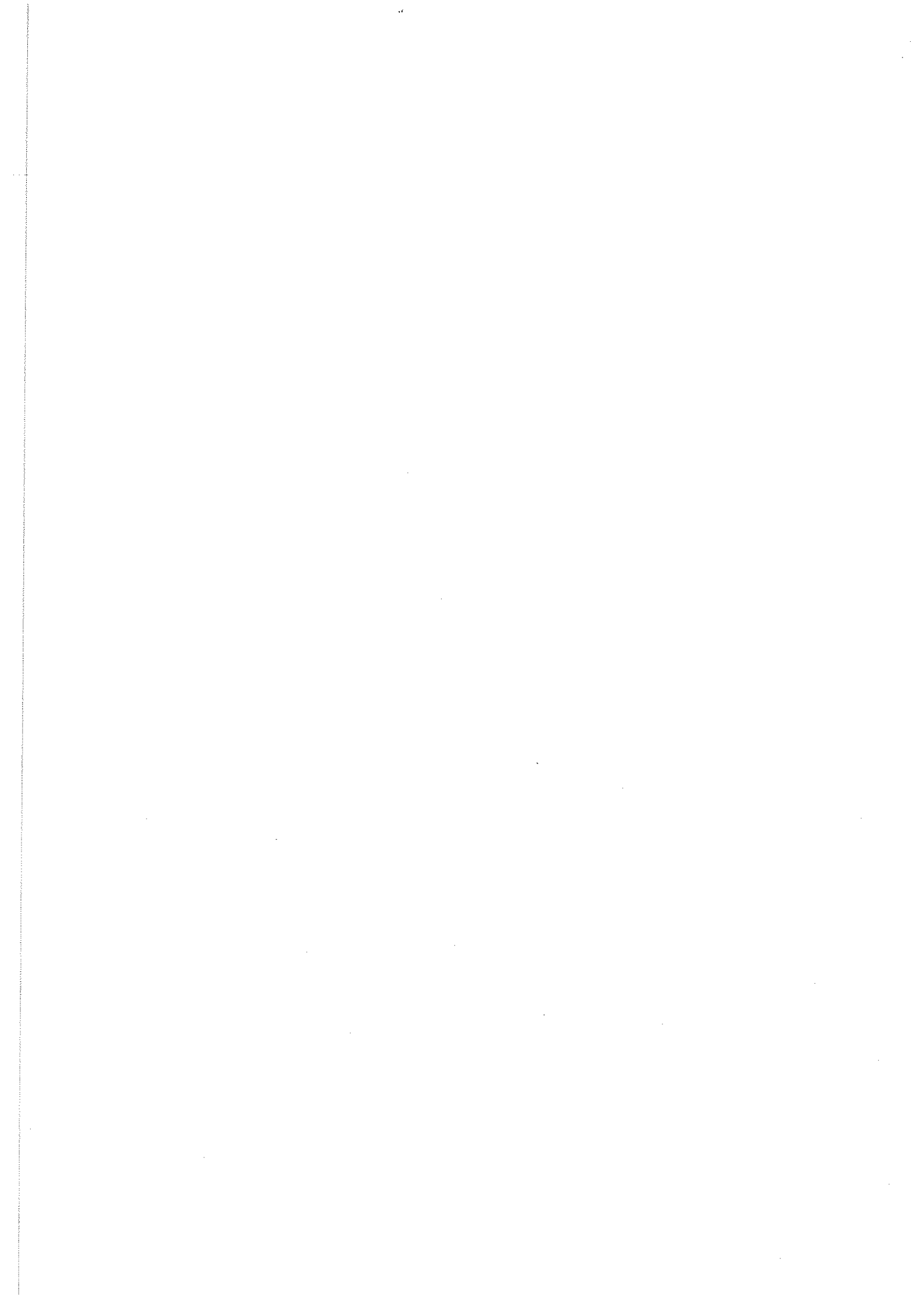
Rums- eller lägenhetstyp	Omslutningsyta A_t (m ²)	Öppningsfaktor $\frac{A\sqrt{h}}{A_t}$ (m ^{1/2})	Brandbelastning q (Mcal/m ² o.y.)
Minimivärde			
Förort + innerstad			
sovrum			
2 rok, 3 rok	60,4 ±10,5	0,026 ±0,07	13,4 ±3,5
vardagsrum			
2 rok, 3 rok	91,8 ±12,4	0,036 ±0,010	17,5 ±4,1
1 rok	146,3 ±30,0	0,031 ±0,006	16,3 ±3,8
2 rok	192,8 ±25,5	0,035 ±0,009	18,6 ±2,8
3 rok	241,7 ±37,0	0,037 ±0,010	18,0 ±2,9
Maximivärde			
Förort + innerstad			
sovrum			
2 rok, 3 rok	-- --	-- --	22,9 ±8,2
vardagsrum			
2 rok, 3 rok	-- --	-- --	24,7 ±5,7
1 rok	148,0 ±30,9	0,049 ±0,007	30,7 ±6,1
2 rok	193,9 ±26,1	0,051 ±0,010	35,8 ±5,9
3 rok	242,9 ±37,7	0,051 ±0,011	33,1 ±4,8

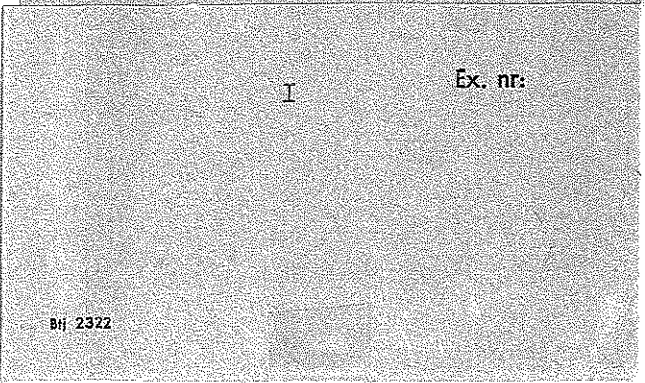
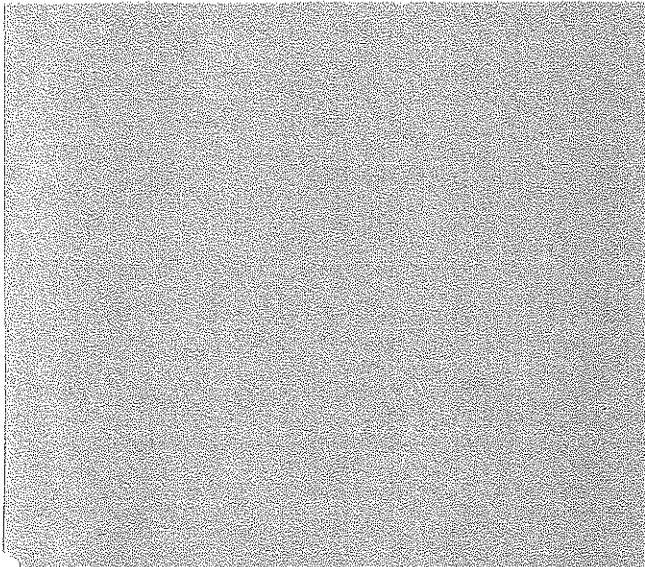
TAB. 4

Lägenhets- typ	Rums- typ	Omslutningsyta A_t (m ²)	Öppningsfaktor $\frac{A\sqrt{h}}{A_t}$ (m ^{1/2})	Brandbelastning	
				q_{min} (Mcal/m ² o.y.)	q_{max} (Mcal/m ² o.y.)
Förort					
2 rok	S	63,0 ±9,9	0,025 ±0,004	13,8 ±3,3	24,7 ±9,6
2 rok	V	91,2 ±8,4	0,037 ±0,012	17,4 ±3,5	25,7 ±5,4
3 rok	S	57,8 ±9,6	0,025 ±0,005	12,6 ±3,4	21,4 ±7,0
3 rok	V	92,5 ±11,2	0,035 ±0,005	16,5 ±4,3	22,4 ±6,2
Innerstad					
2 rok	S	65,3 ±14,4	0,037 ±0,009	14,9 ±3,6	25,9 ±9,6
2 rok	V	90,0 ±22,3	0,035 ±0,010	19,7 ±4,3	27,2 ±3,9
3 rok	S	60,7 ± 9,4	0,026 ±0,012	14,0 ±2,1	22,2 ±7,6
3 rok	V	98,6 ±19,2	0,039 ±0,012	16,0 ±7,3	18,8 ±7,0

TAB. 5

Lägenhetstyp	Omslutningsyta A_t (m ²)	Öppningsfaktor $\frac{A\sqrt{h}}{A_t}$ (m ^{1/2})	Brandbelastning q (Mcal/m ² o.y.)
Minimivärde			
Förort			
1 rok	141,4 ±34,9	0,031 ±0,005	15,1 ±4,2
2 rok	196,8 ±23,1	0,034 ±0,007	18,5 ±2,6
3 rok	223,2 ±17,5	0,037 ±0,008	18,0 ±2,9
Innerstad			
1 rok	150,0 ±26,2	0,032 ±0,006	17,2 ±3,4
2 rok	188,9 ±31,6	0,039 ±0,010	18,9 ±3,2
3 rok	280,5 ±50,8	0,035 ±0,013	18,0 ±2,9
Maximivärde			
Förort			
1 rok	142,4 ±34,8	0,051 ±0,008	29,4 ±8,4
2 rok	196,5 ±22,7	0,050 ±0,008	36,8 ±6,0
3 rok	229,2 ±17,3	0,052 ±0,009	34,0 ±3,8
Innerstad			
1 rok	152,5 ±28,0	0,048 ±0,007	31,8 ±3,2
2 rok	189,2 ±31,4	0,053 ±0,012	34,1 ±5,5
3 rok	282,5 ±52,3	0,048 ±0,015	30,8 ±6,5





I

Ex. nr:

R34:1970

Denna rapport avser anslag nr C 479 från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen för byggnadsstatistik, LTH, Lund

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm
Abonnemangsgrupp: k (konstruktion)**

Pris: 13 kronor

