



LUND UNIVERSITY

Pågående och planerad byggnadsteknisk brandforskning i Sverige

Pettersson, Ove; Ödeen, Kai

1968

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Pettersson, O., & Ödeen, K. (1968). *Pågående och planerad byggnadsteknisk brandforskning i Sverige*. (Bulletin of Division of Structural Mechanics and Concrete Construction, Bulletin 8; Vol. Bulletin 8). Lund Institute of Technology.

Total number of authors:

2

General rights

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

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

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

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

Take down policy

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

LUND UNIVERSITY

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

34/68

Ove Pettersson & Kai Ödeen

Pågående och planerad

byggnadsteknisk brandforskning i Sverige

Brandtekniks IT-Bibliotek, LTH



15000

601228373

1123

991

Rapport 34:1968

UDK 614.841
620.193.5

**Brandteknik
Lunds Tekniska Högskola
Biblioteket**

Pågående och planerad byggnadsteknisk brandforskning i Sverige

*Fire Engineering Research in Sweden
- in progress and under planning*

av professor, tekn.dr Ove Pettersson, LTH, Lund
och docent, tekn.dr Kai Ödeen, Statens Provningsanstalt, Stockholm

Obs! Vissa i rapporten som pågående angivna undersökningar har under publiceringstiden avslutats. Rapportens uppgifter hänför sig till manuskriptets inlämningsdatum den 24 oktober 1967.

Statens institut för byggnadsforskning • Box 27 163 • 102 52 Stockholm 27

Denna rapport utges enligt byggforskningsrådets beslut med medel från fonden för byggnadsforskning; försäljningsintäkterna tillfaller fonden.

Inom ramen för ett långsiktigt program för nordisk brandteknisk forskning har i Sverige under de senaste åren börjat byggas upp ett systematiskt forsknings- och utvecklingsarbete inom området byggnadstekniskt brandskydd. Tyngdpunkten ligger på sådana frågor som är väsentliga för bärande och avskiljande konstruktioners brandmotstånd.

I uppsatsen redovisas summariskt exempel på pågående och planerade undersökningar inom detta forsknings- och utvecklingsarbete. Undersökningarna faller inom huvudgrupperna brandbelastning, brandförlopps-karakteristik, konstruktionsmaterialens egenskaper inom för brand aktuellt temperaturområde, temperatur-tidfält för brandpåverkade konstruktioner samt brandpåverkade konstruktioners bärförmåga och statiska verkningssätt.

Som primärkrav för en karakterisering av brandbelastningen måste gälla att de förbränningstekniska förutsättningarna för en brand beskrivs så fullständigt att brandens temperatur-tidförlopp kan tillfredsställande förutberäknas. Ett steg i en utveckling mot en sådan karakterisering utgör den nya brandbelastningsdefinition som införts i försöksnormen Aluminiumkonstruktioner 1966 och i Svensk Byggnorm 1967. På statistiskt underlag baserade studier pågår, med uppgift att finna metoder för en ytterligare mera nyanserad och kvalificerad brandbelastningsbeskrivning, som inkluderar uppgifter om tidvariationen för förbränningshastighet samt flammors och rökgäasers strålningstal.

För en systematisk kartläggning av brandförloppet i en brandcell har de senaste åren under såvitt möjligt renodlade förutsättningar genomförts förhållandevis omfattande försöksserier i för ändamålet särskilt uppförda byggnader. Undersökningarna har syftat till en bestämning i fullskala av tidvariationen hos förbränningshastighet, temperatur, strålning, gashastighet och gassammansättning för brandförloppets samtliga faser - antändnings-, flam-, glöd- och avsvalningsfas. Ett experimentellt modell- och fullskalestudium pågår av brand- och rök-spridning längs fasad och vertikal ventilationskanal i en flervåningsbyggnad. En teknisk teori har uppställts över värme- och massbalansekvationer, vilken möjliggör en approximativ brandförloppsberäkning, och i uppsatsen redovisas exempel på enligt denna teori beräknade temperatur-tidkurvor för in- och utvändigt brandpåverkade rum.

I de senaste årens brandtekniska forsknings- och utvecklingsarbete i Sverige har teoretiska beräkningar av temperatur-tidfält och bärförmåga för brandpåverkade konstruktioner intagit en förhållandevis framskjuten plats. Därvid angivna metoder och framkomna resultat exemplifieras i uppsatsen för brandpåverkade metalliska bärverk samt bärande konstruktioner i slakarmerad betong och spännbetong.

Avslutningsvis understryks de stora svårigheter som landets synnerligen undermåliga laboratorieresurser för brandteknisk provning och forskning skapar, dels för ett aktivt svenskt deltagande i utarbetat samnordiskt brandtekniskt forskningsprogram, dels för ett kvalificerat utnyttjande av de nya principer för brandteknisk dimensionering som anges i Svensk Byggnorm 1967.

INNEHÅLL

Inledning	5
1 Brandbelastning	8
2 Brandförlopp	12
2.1 Experimentellt studium av brandförlopp i slutet rum	12
2.2 Experimentellt studium av brandspridning och brandförlopp i för bostadslägenheter representativa rum och rumskombinationer	15
2.3 Experimentellt studium av brand- och rökspridning längs fasad och längs vertikala ventilationskanaler i flervåningsbyggnad	20
2.4 Experimentellt och teoretiskt studium av vissa delproblem vid brandventilation	26
2.5 Teoretiskt studium av arkivlokalers motståndförmåga mot brand	29
2.6 I övrigt pågående, teoretiska studier av brandförlopps-karakteristika	32
3 Konstruktionsmaterialens egenskaper vid för brand aktuella temperaturer	34
4 Temperatur-tidfält, statiskt verkningssätt och bärförmåga för brandpåverkade konstruktioner	35
4.1 Teoretisk och experimentell bestämning av temperatur-tidfält samt teoretisk bestämning av bärförmåga för brandpåverkad TF-platta av spännbetong	35
4.2 Teoretisk bestämning av temperatur-tidfält och bärförmåga för några olika typer av bärverk i armerad betong	38
4.3 Förenklad teoretisk bestämning av isolerat, metalliskt bärverks brandmotstånd	41
4.4 Experimentellt studium av statiskt verkningssätt för brandpåverkad, statiskt obestämd, armerad betongkonstruktion	46
5 Slutord	47
Litteratur	49
Concluding remarks	51

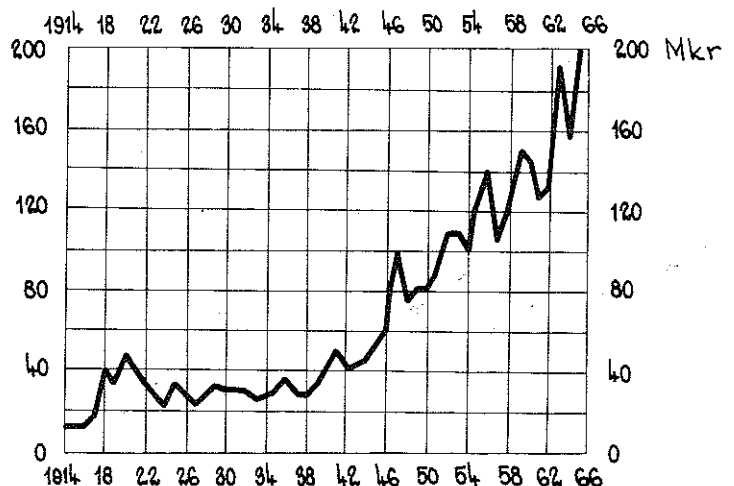
INLEDNING

Under den senaste 50-årsperioden har den årliga kostnadsomfattningen av de direkta brandskadorna i Sverige utvecklats enligt en tidskurva, som för 1915 ger 15 Mkr, 1925 35 Mkr, 1945 55 Mkr, 1955 120 Mkr och 1965 200 Mkr (fig. 1).^{*} Till de direkta kommer de indirekta brandskadekostnaderna från driftstörningar, driftstopp, missade konjunkturen, förlust av människoliv, arbete och bostäder. Dessa indirekta kostnader är svåra att mera noggrant beräkna, men kan grovt uppskattas till att vara av samma storleksordning som de direkta brandskadekostnaderna. Den årliga kostnaden för förebyggande brandskydd uppgår till cirka 2 % av investeringsvolymen för byggnader eller till cirka 200 Mkr. I släckande brandskydd, statligt och kommunalt, investeras i Sverige för närvarande årligen 150-200 Mkr, vartill kommer kostnader för industribrandskydd, sprinkleranläggningar m.m. Läggs här till kostnaderna för den till brandförsäkringsväsendet hörande administrationen, erhålls för de årliga totala brandskydds- och brandskadekostnaderna i Sverige det mycket ungefärliga värdet 1 1/4 miljard kronor.

Mot bakgrunden av en sådan kostnad inställer sig naturligen frågan: Är det nuvarande kunskapsunderlaget sådant att en kvalificerad dimensionering och utformning av det förebyggande och släckande brandskyddet i normalfallet är möjlig? Svaret på denna fråga måste i dag tyvärr bli ett klart nej.

FIG. 1. Den årliga kostnadsomfattningen av de direkta brandskadorna i Sverige för perioden 1914-1965.

Volume of annual direct costs incurred in Sweden by fire damage during the period 1914-1965.



^{*}I figurerna har av praktiska skäl genomgående det tekniska måttssystemet i stället för det numera påbudna SI-systemet tillämpats. I den löpande texten däremot har enheterna enligt SI utmärkts.

Karakteristiskt för brandforskningen har hittills varit en extrem knapphet på teoretiska arbeten och på den experimentella sidan en stark dominans av begränsade provningar, varur väsentliga uppgifter kan hämtas för testad material eller testad konstruktion, men varur däremot ordinärt inga allmängiltiga slutsatser kan dragas. Mera systematiska, långsiktiga forskningsarbeten har hittills varit tunnsådda i litteraturen inom området.

Som en följd härav är vårt kvalificerade vetande inom brandområdet för närvarande starkt otillräckligt, vilket i dag skapar stora svårigheter för en konstruktivt-funktionellt genomtänkt och riktig utformning av det förebyggande och släckande brandskyddet. Förhållandet har framtvingat ett på schablonmässiga föreskrifter och rekommendationer och på enkla tumregler baserat dimensioneringsförfarande, som i flertalet fall resulterar i kostnadskrävande överdimensioneringar och i kostnadsfördelningar inom det totala brandskyddsområdet, som kan ligga långt från de optimala. Det kan bedömas som sannolikt att nuvarande onyanserade dimensioneringsförfarande, i förhållande till ett funktionellt mera korrekt förfarande, innebär årliga kostnadstillskott som för Sverige kan räknas i 100-tals miljoner kronor.

De redovisade förhållandena ger hög prioritet för ett intensifierat brandtekniskt forsknings- och utvecklingsarbete, som genom en stark systematisering och långsiktig planläggning inom rimlig tid kan föra fram till ett mera kvalificerat förfarande, resulterande i såväl en reduktion av de totala årliga brandskydds- och brandskadekostnaderna som en mera optimal fördelning av investeringarna inom detta reducerade belopp.

Från svensk sida har under de senaste åren angivits principerna för ett mera kvalificerat dimensioneringsförfarande för det förebyggande brandskyddet, vilket förfarande kan bedömas som uppnåeligt genom ett rimligt omfattande forsknings- och utvecklingsarbete [1], [2]. För att underlätta ett med hänsyn härtill målmedvetet val av forskningsuppgifter och för att samtidigt också stimulera till en rationell forskningssamverkan över nationsgränser har inom Nordiska Brandlaboratoriernas Samarbetskommitté (NBS) och inom Nordiska Samarbetsgruppen för Nordiska Byggeforskningsmöten (NBM) utarbetats ett långsiktigt program för nordisk brandteknisk forskning [3].

Inom ramen för detta program har i Sverige under de senaste åren börjat byggas upp ett mera systematiskt forsknings- och utvecklingsarbete inom området byggnadstekniskt brandskydd med tyngdpunkten lagd på sådana frågor som har väsentlig betydelse för bärande och avskiljande konstruktioners brandmotstånd. Till behandling har därvid primärt upptagits sådana uppgifter som genom sina resultat snarast skall ge det kompletterande kunskapsunderlag som fordras för en övergång från det ytterligt schablonmässiga dimensioneringsförfarande som ordinärt karakteriserar nuläget till en mera kvalificerad brandteknisk dimensionering av bärande och avskiljande konstruktioner. Som starkt begränsande bivillkor för val av brandtekniska forskningsuppgifter gäller självklart landets synnerligen undermåliga materiella resurser inom området, vilka naturligen inriktat verksamheten mot dels teoretiska arbeten och dels sådana experimentella undersökningar som kan genomföras i för varje särskilt fall, till rimliga kostnader, uppförda försöksbyggnader.

För närvarande i Sverige pågående och planerade arbeten inom den byggnadstekniska brandforskningen kan i stort uppdelas i följande huvudgrupper, vilka samtidigt utgör väsentliga etapper i en kvalificerad brandteknisk dimensionering av bärande och avskiljande konstruktioner:

1. Brandbelastning
2. Brandförloppskaraktistik
3. Konstruktionsmaterialens egenskaper inom för brand aktuellt temperaturområde
4. Temperatur-tidfält för brandpåverkade konstruktioner
5. Brandpåverkade konstruktioners bärförmåga och statistiska verkningssätt.

Nedan ges i anslutning till en sådan huvudgruppering en summarisk redogörelse för några pågående och planerade svenska brandforskningsuppgifter. Redogörelsen kompletteras på vissa punkter av en år 1965 från Statens Provningsanstalts brandtekniska laboratorium utgiven motsvarande sammanställning över vid denna tidpunkt pågående och nyligen avslutade forsknings- och utvecklingsarbeten inom det förebyggande och släckande brandskyddet [4].

Ekonomiska bidrag till de nedan behandlade forskningsuppgifterna har i första hand givits genom Brandförsäkringsbolagens Forskningsnämnd, Kungl. Byggnadsstyrelsen, Försvarets Forskningsanstalt (FOA), Statens Provningsanstalt, Statens Råd för Byggnadsforskning, Städernas Försäkringsbolag och Svenska Cementföreningen.

Som primärt krav för en brandbelastningskaraktisering måste gälla att den så fullständigt beskriver de förbränningstekniska förutsättningarna för en brand att dennas temperatur-tidförlopp med för praktiska förhållanden tillfredsställande noggrannhet skall kunna förutberäknas. Den brandbelastningskaraktisering som för närvarande tillämpas i olika länders föreskrifter och rekommendationer, vilken anger brandbelastningen som den mot förekommande mängd brännbart material svarande, värmevärdesmässigt ekvivalenta mängden trä i kg per m² golvyta av brandcellen, uppfyller icke detta primärkrav. Ett sådant redovisningssätt är alltför onyanserat och därutöver förbränningstekniskt oegentligt genom att storheten bränslemängd per golvytenhet saknar fysikalisk innebörd som en för ett brandförlopp karakteristisk parameter. Redovisningssättet får därför ses som en temporär lösning, som snarast bör överges till förmån för ett förbränningstekniskt bättre underbyggt förfarande.

Ett steg i denna riktning har tagits dels i den nyligen utkomna svenska försöksnormen för bärande aluminiumkonstruktioner [5] och dels i Svensk Byggnorm 1967 genom övergång till ett angivande av brandbelastningen för en brandcell som den sammanlagda värmemängd q (Mcal/m², J/m²) som, 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

$$q = \frac{1}{A_t} \sum m_\nu H_\nu \quad \dots (1)$$

med m_ν = totala vikten i kg och H_ν = effektiva värmevärdet i Mcal/kg (J/kg) för varje enskilt brännbart material ν i brandcellen.

För att en brands temperatur-tidförlopp med hänsyn till brandbelastningen skall bli entydigt bestämt fordras utöver uppgift om den sammanlagda värmemängden q för en brandcell enligt ekv. (1) också uppgifter om tidsvariationen för förbränningshastighet samt flammors och rökgasers strålningstal. Forsknings- och utvecklingsarbeten som på sikt kan resultera i en övergång till en mera nyanserad brandbelastningskaraktisering enligt sådana riktlinjer är starkt angelägna.

På grundval av ett av FOA för civilförsvarsändamål framtaget statistiskt underlag pågår i Sverige för närvarande ett studium av alternativa möjligheter för en nyanserad och kvalificerad brandbelastningskaraktisering. Studien omfattar dels en teoretisk bearbetning och dels en serie grundläggande försök för bestämning av förbränningshastighet och strålningstal vid entydiga förbränningsförutsättningar, kopplade till någon form av ett s.k. normalbrandrum.

Det föreliggande statistiska underlaget 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 karaktärstreck en fönstervägg. Rummen ingår i 120 slumpmässigt utvalda bostadslägenheter, av vilka 50 är belägna i Stockholms innerstad och 70 i Stockholms förorter. Lägenheterna har utvalts i flerlägenhetshus av murad eller gjuten typ. Utöver av detaljerade mått- och materialdata belyses varje i underlaget ingående rum av representativa färgfotografier.

Den pågående bearbetningen av rumsdata har tyvärr ännu icke (1967) fört fram så långt att det här är möjligt att redovisa några mera detaljerade slutresultat för belysning av en nyanserad brandbelastningskaraktärisering. Som exempel på hittills framtagna resultat återges i fig. 2 och 3 i stället några statistiskt beräknade diagram av i huvudsak civilförsvartekniskt intresse [6].

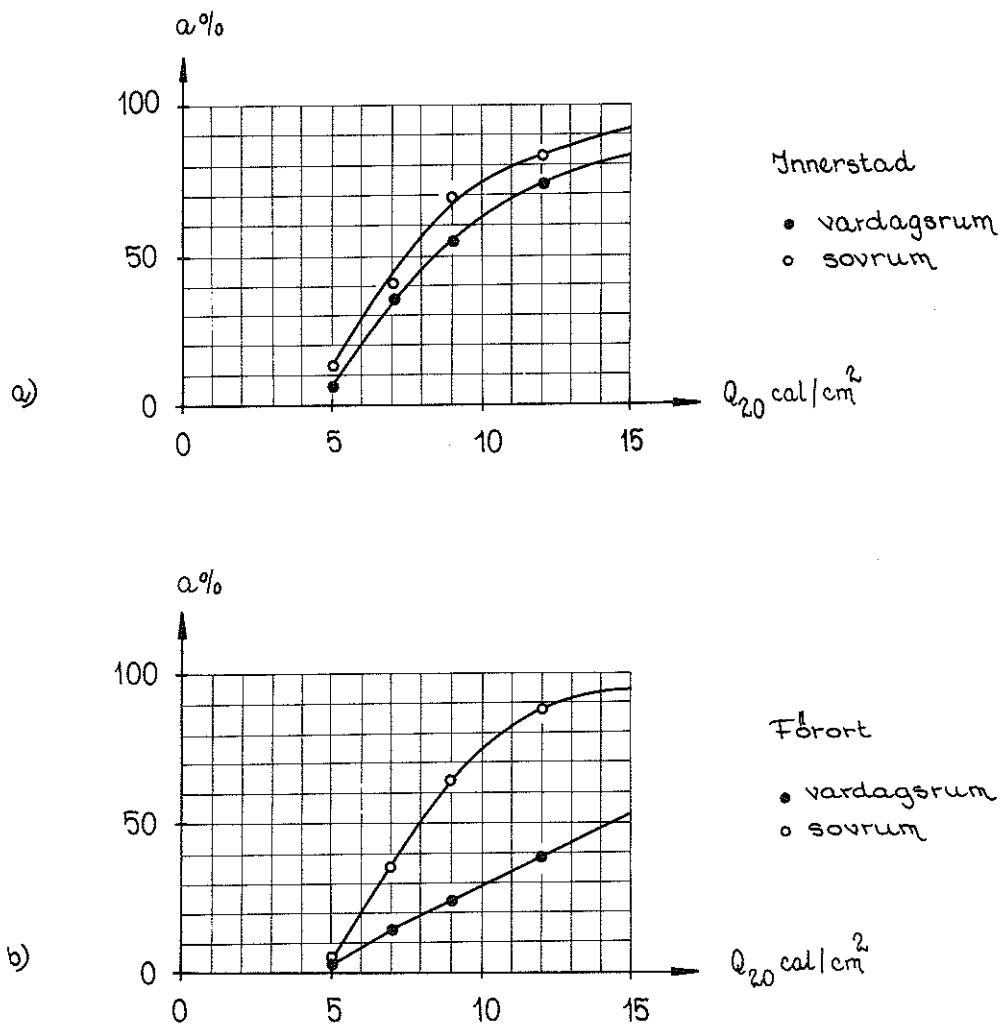
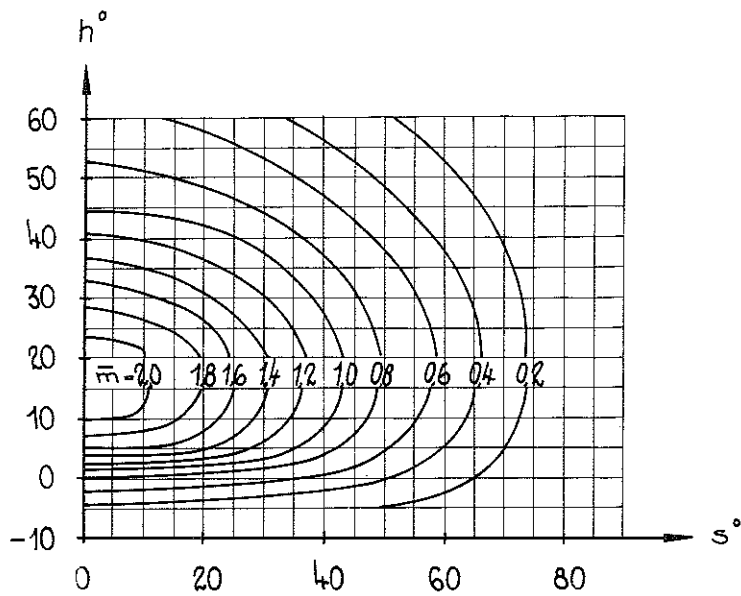
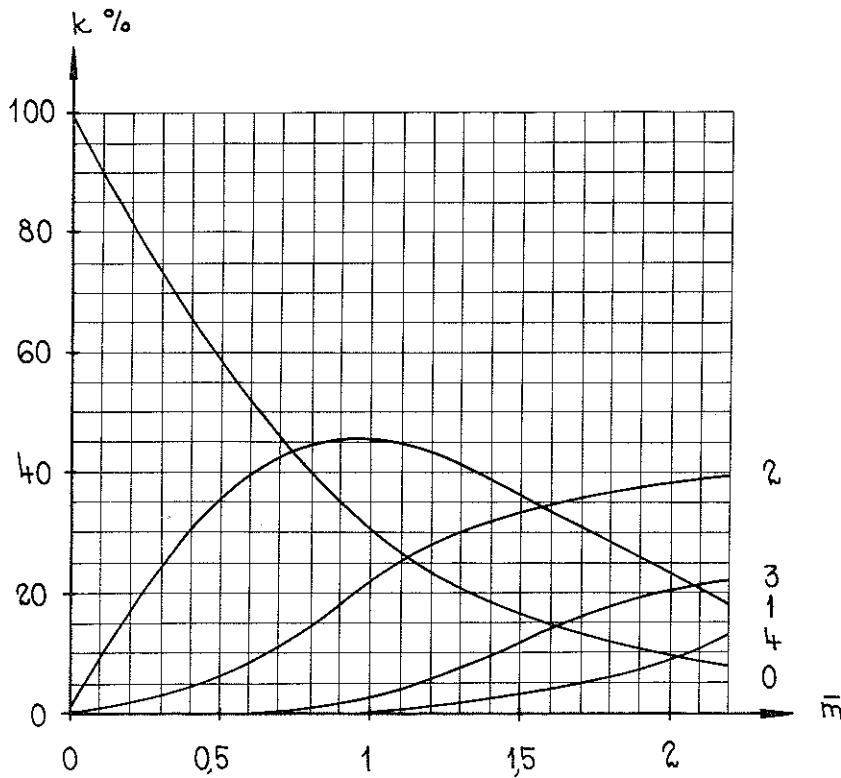


FIG. 2a och b. Samband mellan procentuell andel antända föremål a i vardagsrum och sovrum för innerstad (fig. a) respektive förort (fig. b) och värme-strålningsmängd Q_{20} vid värme-strålning vinkelrätt mot fönstervägg från kärn-explosion med explosionsstyrkan 20 kt [6].

Relationship between percentage a of objects ignited in living rooms and bedrooms in town centres (Fig. a) and suburbs (Fig. b) and the amount of thermal irradiation Q_{20} , when heat from nuclear explosion with a force of 20 kt is radiated at right angles to a window wall [6].



a)



b)

FIG. 3a och b. a) Variationen för förorts och innerstads vardagsrum av genomsnittligt antal bestrålade brandpunkter per rum \bar{m} med strålningsriktningens höjdvinkel h° och strålningsriktningens sidovinkel mot fönsterväggens normal s° . b) Procentuell andel k rum med 0, 1, 2, 3 eller 4 bestrålade brandpunkter som funktion av genomsnittligt antal bestrålade brandpunkter per rum \bar{m} för förorts och innerstads vardagsrum [6].

a) Variation in average number of fire points exposed to radiation \bar{m} per room for living rooms in suburbs and town centre, with h° as angle of elevation for direction of radiation and s° as the angle in azimuth for direction of radiation against the window wall. b) Percentage k of rooms with 0, 1, 2, 3 or 4 fire points exposed to radiation as a function of the average number of exposed fire points \bar{m} per room, for living rooms in suburbs and town centre [6].

Fig. 2 visar hur vid värmestrålning vinkelrätt mot fönstervägg den procentuella andelen antända föremål α i vardagsrum och sovrum för innerstad (fig. 2a) respektive förort (fig. 2b) växer med värmebestrålningens mängd Q_{20} från en kärnexplosion med explosionsstyrkan 20 kt. Kurvsambanden ger liten skillnad i karakteristika mellan innerstad och förort vad gäller sovrum. För vardagsrum däremot uppvisar kurvsambanden väsentlig avvikelse i antändningssannolikhet för innerstad och förort. Skillnaden beror på att relativt svårantändliga grova ylletyger dominerar möbelklädseln i förorts vardagsrummen, medan i innerstadens vardagsrum tunnare tyger, ofta av bomull, är vanliga. Som komplement till fig. 2 ger fig. 3a för förorts och innerstads vardagsrum variationen av genomsnittligt antal bestrålade brandpunkter per rum \bar{m} med strålningsriktningens höjdvinkel över horisontalplanet h° och strålningsriktningens sidovinkel mot fönsterväggens normal s° . I fig. 3b redovisas - likaså för förorts och innerstads vardagsrum - den procentuella andelen k rum med 0, 1, 2, 3 eller 4 bestrålade brandpunkter per rum \bar{m} . Den genom fig. 2 och 3 exemplifierade statistiska studien av brandrisken i bostadsrum vid värmebestrålning från kärnladdningsexplosioner understryker starkt behovet av kompletterande experimentella undersökningar för en mera slutgiltig lösning av problemet. Som angelägna uppgifter framstår därvid dels en bestämning av största brandspridningsavstånd mellan möbler av olika typer och dels en bestämning av erforderlig mängd brännbart material för övertändning av ett rum vid varierande rumsstorlek, rumsgeometri och ventilation.

2 BRANDFÖRLOPP

För ett studium av ett brandförlopps karakteristika står för närvarande tre vägar öppna, nämligen fullskaleförsök, modellförsök samt teoretiska beräkningar över problemets värme- och massbalanskvationer. I Sverige pågående och planerad forskning inom området är i huvudsak knuten till fullskaleförsök och teoretiska beräkningar, medan experimentella studier i modell hittills inkluderats endast i mycket liten utsträckning.

Nedan ges några summariska exemplifieringar av pågående och planerade arbeten inom området brandförloppsstudier.

2.1 Experimentellt studium av brandförlopp i slutet rum

I en för ändamålet vid institutionen för konstruktionslära vid KTH uppförd betongelementtunnel av halvcylindrisk form med 20 cm tjock betongvägg, 75 m^2 total omslutningsyta och 46 m^3 innesluten volym har sedan 1962 pågått en systematisk bestämning av de till brandförloppets olika faser (antändningsfas, flamfas, glödfas och avsvalningsfas) hörande temperatur-tidkurvorna vid bränder med noggrant kontrollerade förutsättningar (fig. 4). Försöksserien har omfattat dels träbränsle och dels flytande bränsle (fotogen). Utöver bränsletyp har vid försöksserien också varierats bränslemängd, bränslets finfördelning samt per tidsenhet tillförd volym förbränningsluft, vilken reglerats och uppmätts genom vid tunnelns båda ändar placerade förkalibrerade fläktsystem.

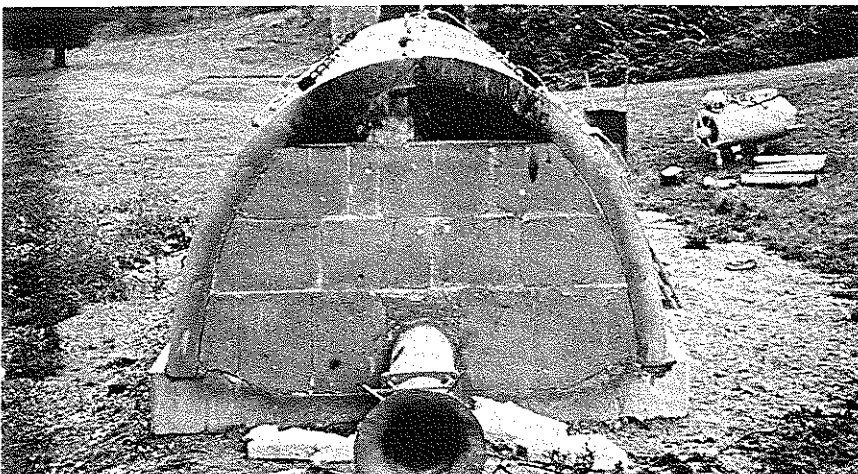


FIG. 4. För brandförloppsstudier vid KTHs institution för konstruktionslära uppfört brandrum.

Test room built for fire studies at the Division of Building Construction, the Royal Institute of Technology in Stockholm.

Undersökningen, vilken letts av tekn.dr Kai Ödeen, kompletteras i sin experimentella del av en parallell teoretisk behandling, varvid försöken med flytande bränsle, vilka karakteriseras av ett väl definierat förbränningsförlopp, erbjuder ett speciellt gynnsamt underlag för jämförelse mellan experimentellt erhållna och teoretiskt beräknade resultat.

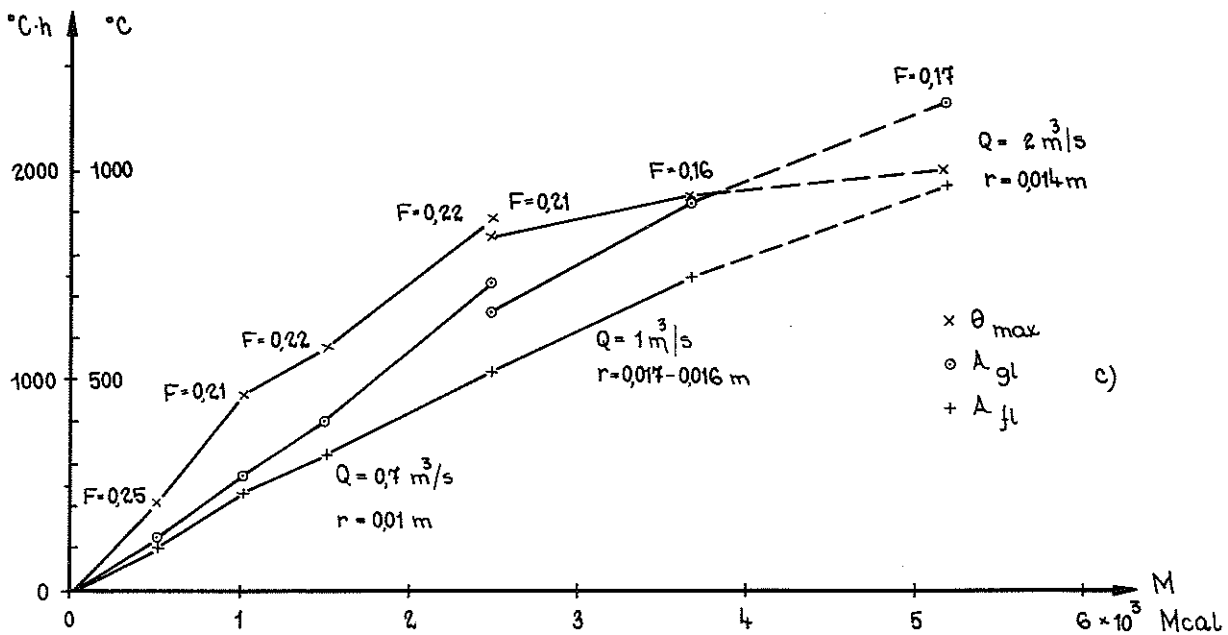
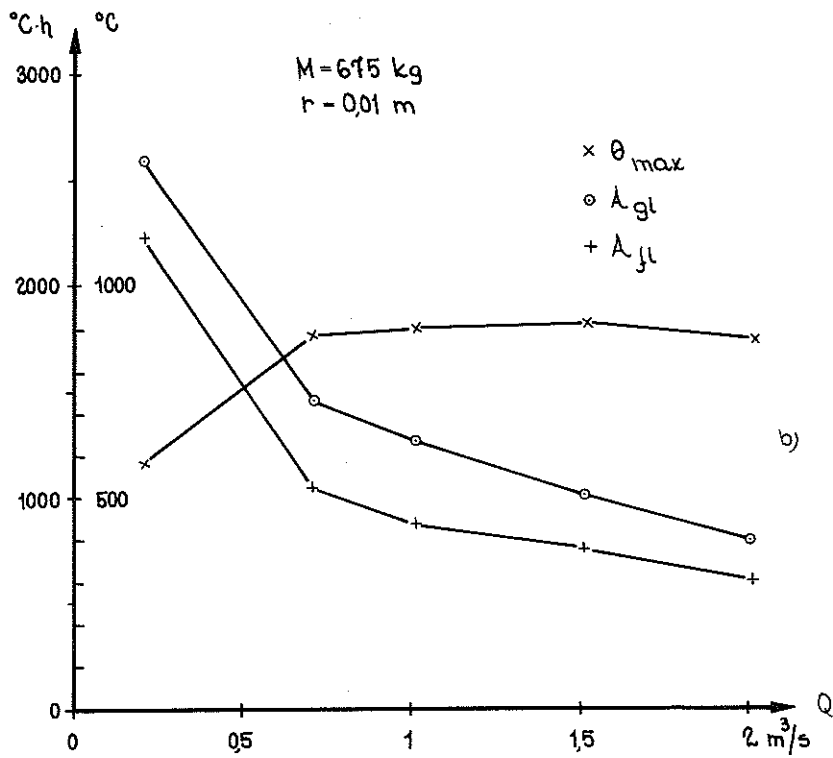
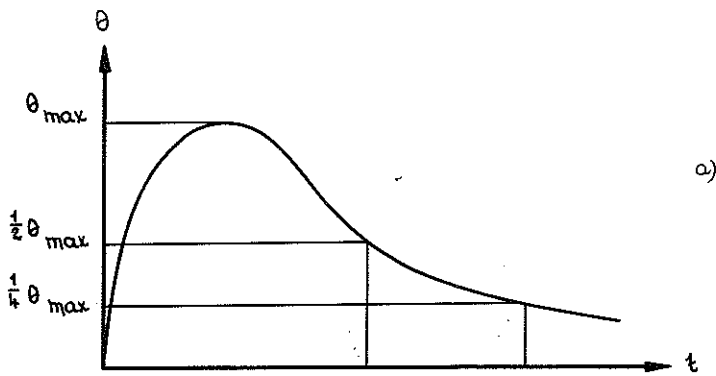
Fragmentariska resultat från undersökningen har tidigare givits i [1], [2] och [7]. Som ytterligare exemplifiering redovisas här genom fig. 5 några vid undersökningens experimentella del för träbränsle funna brandförloppsegenskaper. Figuren beskriver variationen med per tidsenhet tillförd volym förbränningsluft (fig. b), sammanlagd bränslemängd (fig. c) och bränslets finfördelningsgrad (fig. d) av brandförloppets maximala rökastemperatur Θ_{\max} samt av ytterligare två brandförloppskaraktiserande storheter A_{f1} och A_{g1} , definierade som innesluten yta mellan temperatur-tidkurvan $\Theta-t$ och tidsaxeln t inom området $t=0$ till t , svarande mot $\frac{1}{2} \Theta_{\max}$ respektive $\frac{1}{4} \Theta_{\max}$ på temperatur-tidkurvans nedåtgående del (fig. a). Approximativt markerar därvid dessa båda sistnämnda tidpunkter slutet av brandförloppets flamstadium respektive glöd stadium.

Av fig. 5b framgår att vid i övrigt konstanta förutsättningar medför en ökning av mängden per tidsenhet tillförd förbränningsluft en kontinuerlig minskning av storheterna A_{f1} och A_{g1} , vilket är en effekt av ett tidsmässigt successivt reducerat brandförlopp. För Θ_{\max} medför en ökning av mängden tillförd förbränningsluft inom området 0-0,75 m³/s en kontinuerlig höjning upp till cirka 900°C. Vid ett förbränningsluftsflöde av cirka 0,75 m³/s är förbränningen inom flamstadiets mest intensiva skede fullständig, och en ytterligare ökning av förbränningsluftsflödet ger därför ej någon ytterligare tillväxt i maximal rökastemperatur Θ_{\max} .

Vid det luftflöde som markerar övergång till fullständig förbränning resulterar en ökning av brandrummets sammanlagda bränslemängd inom studerat område enligt fig. 5c i en kontinuerlig tillväxt av A_{f1} , A_{g1} och Θ_{\max} , varvid för maximala rökastemperaturen Θ_{\max} en anslutning till ett asymptotvärde indikeras.

De brandförloppsbeskrivande storheternas Θ_{\max} , A_{f1} och A_{g1} beroende av bränslets finfördelningsgrad belyses av fig. 5d med finfördelningsgraden definierad genom hydrauliska radien $r =$ förhållandet mellan bränslets totala volym och mot förbränningsluften exponerad total yta av bränslet. Ur de i figuren redovisade värdena kan utläsas en, för given kombination bränslemängd-lufttillförsel, lägsta grad av finfördelning, under vilken maximitemperaturen Θ_{\max} sjunker radikalt till följd av ofullständig övertändning. Denna iakttagelse är intressant bl.a. från den synpunkten att maximitemperaturen härigenom sjunker ner mot värden vid vilka ett flertal byggnadsmaterial - t.ex. betong och mjuka konstruktionsstål - har kvar en avsevärd del av sin hållfasthet.

De båda storheterna A_{f1} och A_{g1} påverkas inom hela det vid försöken studerade området endast i ringa utsträckning av finfördelningsgraden, vilket vid enligt ovan ofullständig övertändning är en följd av den i motsvarande grad ökade brandtiden.



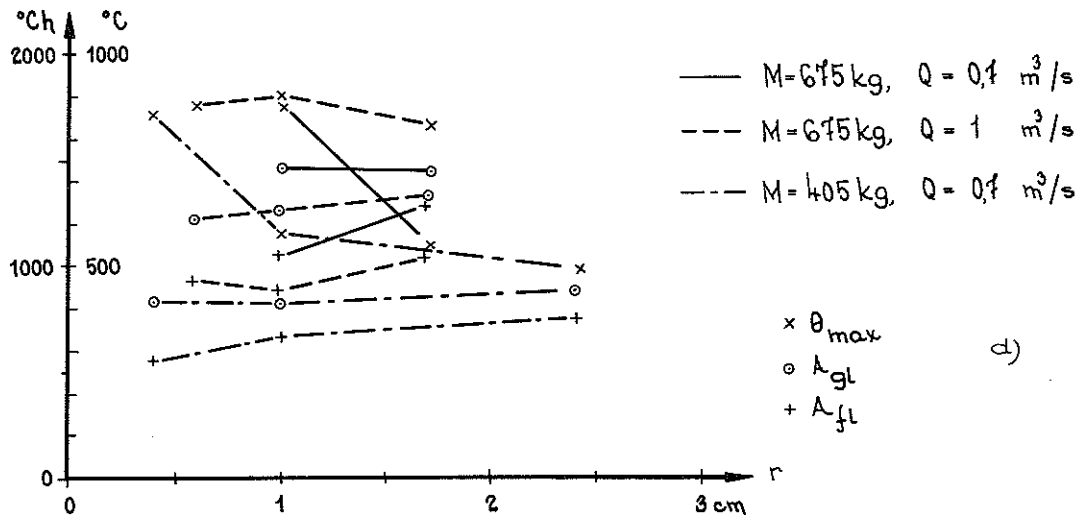


FIG. 5a-d. a) Brandförloppets temperatur-tidkurva, definierande maximal gastemperatur Θ_{\max} samt gastemperaturvärdena $\frac{1}{2} \Theta_{\max}$ och $\frac{1}{4} \Theta_{\max}$ för kurvans nedåtgående del. b) Variation med per tidsenhet tillförd volym för förbränningsluft av

$$\Theta_{\max} \text{ samt } A_{f1} = \int_0^{\frac{1}{2} \Theta_{\max}} \Theta dt \quad \text{och} \quad A_{g1} = \int_0^{\frac{1}{4} \Theta_{\max}} \Theta dt.$$

c) Variationen av Θ_{\max} , A_{f1} och A_{g1} med sammanlagd bränslemängd. d) Variationen av Θ_{\max} , A_{f1} och A_{g1} med bränslets finfördelningsgrad.

a) Temperature-time curve of fire development defining the maximum gas temperature Θ_{\max} and gas temperature values $\frac{1}{2} \Theta_{\max}$ and $\frac{1}{4} \Theta_{\max}$ for the downward sweep of the curve.

b) Variation of

$$\Theta_{\max} \text{ and } A_{f1} = \int_0^{\frac{1}{2} \Theta_{\max}} \Theta dt \quad \text{and} \quad A_{g1} = \int_0^{\frac{1}{4} \Theta_{\max}} \Theta dt$$

with volume of supply air for combustion. c) Variation of Θ_{\max} , A_{f1} and A_{g1} with total amount of fuel. d) Variation of Θ_{\max} , A_{f1} and A_{g1} with the degree of atomization of the fuel.

2.2 Experimentellt studium av brandspridning och brandförlopp i för bostadslägenheter representativa rum och rumskombinationer

På uppdrag av FOA har i ett försökshus i Rosersberg under ledning av rektor Wilhelm Sjölin genomförts en försöksserie för ett detaljerat studium av brandspridning och brandförlopp i rum och rumskombinationer med utformning och möblering, som är för bostadslägenheter representativa. Rumsgeometri och möblering har därvid valts på grundval av det i avsnitt 1 summariskt beskrivna statistiska underlaget för möblering och inredning av förorts- och innerstadslägenheter i Stockholm. Försöksserien syftar primärt till en möjligast noggrann kartläggning av brandförloppets samtliga faser med viss prioritering för antändningsfasen, vilken är i sammanhanget speciellt betydelsefull med hänsyn till uppdragsgivarens intresse att utnyttja framkomna resultat i civilförsvarssammanhang. Sekundärt har försöksserien som mera begränsade målsättningar i avsnitt 1 antydda bestämmingar av största brandspridningsavstånd mellan möbler av olika typer och av erforderlig mängd brännbart material för övertändning av ett rum vid varierande rumsstorlek, rumsgeometri och ventilation.

Försökshuset har bjälklag av betong och väggar av betong eller lättbetong. Det har en starkt flexibel uppbyggnad, som möjliggör rums- och lägenhetsbildning med betydande variationer i skalorna 1:1, 1:2 och 1:4.

Vid försöksserien har registrerats tidsvariationer av temperatur och gashastighet i karakteristiska punkter, strålning, gassammansättning via kontinuerlig CO-skrivare och gaskromatografi samt förbränningshastighet genom kontinuerlig vägning av bränslemängden i brandrummet. Förbränningshastighetsbestämningen har därvid möjliggjorts genom att brandrummets golvkonstruktion upplagts på en horisontell stålram, som vilar på fyra utanför själva försökshuset placerade mätidosor med hög känslighet. Med koncentration på antändningsfasen har därutöver vid några försök brandförloppet detaljregistrerats genom filmning.

Lösryckt illustration av vid försöksserien erhållna resultat ger fig. 6-10. Fig. 6-8 redovisar några för ett tvåpersoners sovrum upptagna brandförloppskarakteristika och fig. 9 och 10 analogt några brandförloppskarakteristika för ett enpersons sovrum. Detaljerad möblering och övrig inredning framgår av fig. 6a för tvåpersonersovrummet, vars brandbelastning uppgår till 17,3 kg trä/m² golvyta eller 3,5 kg trä/m² total omslutningsyta, och av fig. 9a för enpersonssovrummet, vars brandbelastning är 12,0 kg trä/m² golvyta eller 2,4 kg trä/m² total omslutningsyta.

Det till tvåpersonersovrummet hörande brandförloppet belyses i fig. 6b genom temperatur-tidkurvor för rökgaserna i olika punkter av brandrummet samt i fig. 7 och 8 genom tidkurvor för brandrummets halt av O₂, CO₂ och N₂. Redovisningen av halten N₂ är därvid begränsad till brandförloppetets flamstadium. Den punktvisa antändningen av brandrummets möblering och inredning, vilken valts för att simulera effekten av värmestrålning från en kärnexplosion, leder, som framgår av figurerna, till en övertändning av brandrummet efter cirka 45 min.

Karakteristika för enpersonssovrummets brandförlopp ger fig. 9b, vad avser temperatur-tidkurvorna för rökgaserna i olika punkter av brandrummet, och fig. 10, vad avser förbränningshastighetens tidsvariation. Erhållna tvåpuckliga temperatur-tidkurvor med väsentligt lägre maximal rökgastemperatur är för tvåpersonersovrummets brandförlopp visar att enpersonssovrummets brandbelastning är alltför gles för att en övertändning av brandrummet skall kunna möjliggöras. Brandförloppet kännetecknas i stället av en gruppvis, successiv förbränning av brandrummets möblering och inredning.

Understrykas skall att redovisade resultat är upptagna för brandrum med en fönsteröppning, vars fönster förutsatts från början helt krossat genom detonationsvågen från en kärnexplosion.

I försökshuset har en första försöksserie, omfattande enstaka rum och kombinationer av rum i skala 1:1, avslutats. Resultaten från denna försöksserie är för närvarande (1967) under slutbearbetning, och en rapport från försöksserien kan förväntas inom snar framtid.

Allmänt

2-personsovrums: $10,4 \text{ m}^2$
Brandbelastning: $17,3 \text{ kg/m}^2$ g.y.
 $3,5 \text{ kg/m}^2$ o.y.
Fönsteryta: $1,16 \text{ m}^2$
Antändning: c:a $1,5 \text{ m}^2$ av sängens översida och sida mot fönstret

Inredning:

Dörr:	8 kg	4200 kcal/kg
Linoleum:	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:

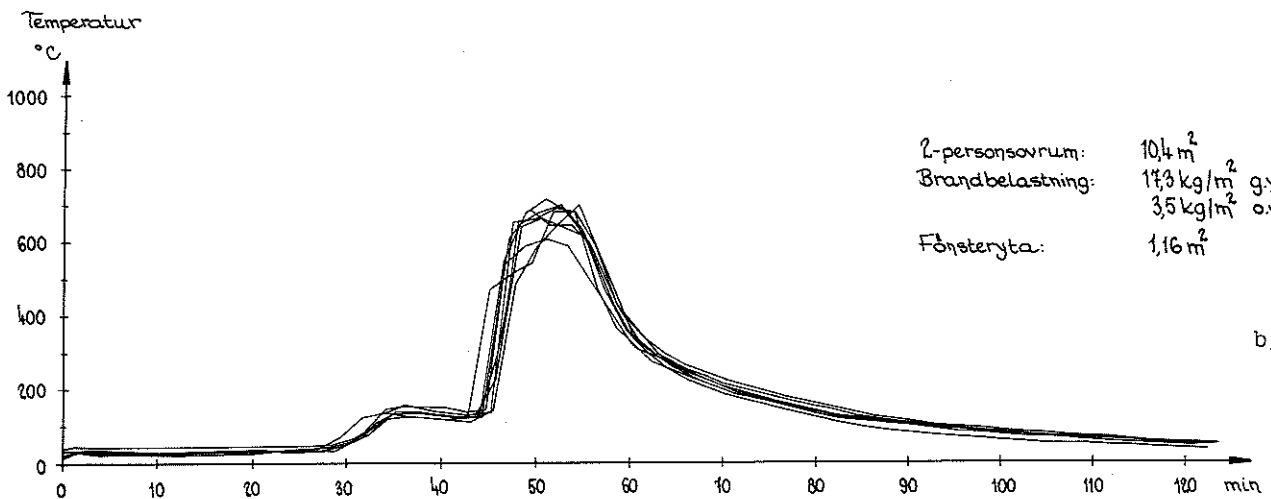
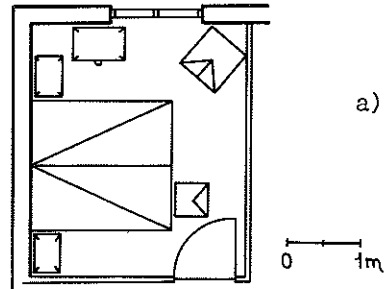


FIG. 6a och b. I olika punkter av tvåpersoners sovrums med rums- och inredningskaraktäristika enligt fig. a bestämd tidsvariation för gastemperaturen (fig. b) [Sjölin].

Variation of the gas temperature with time (Fig. b), determined at different points in a double bedroom with the characteristics of a room and its fittings according to Fig. a [Sjölin].

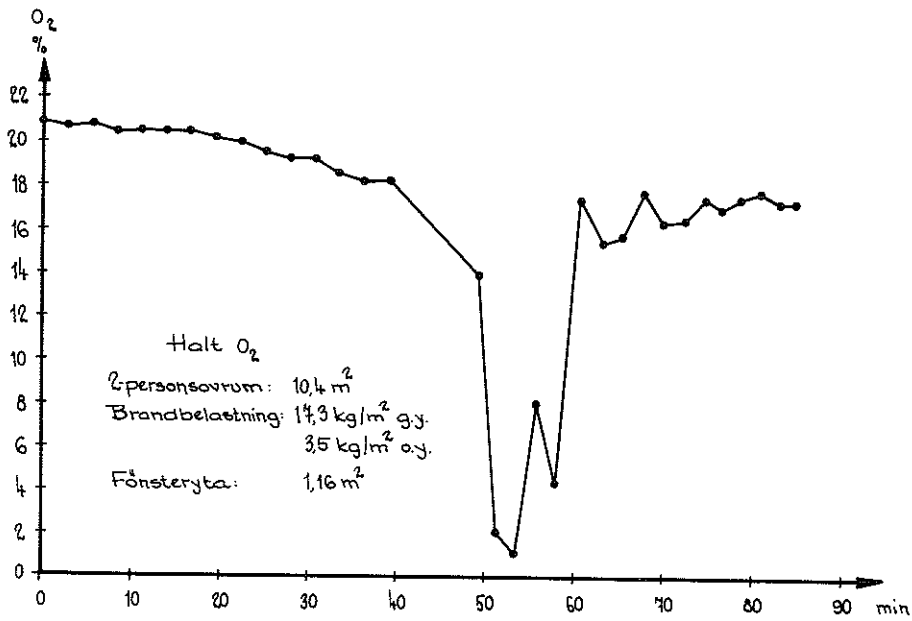


FIG. 7. Vid brandförlopp enligt fig. 6 bestämd tidsvariation av O_2 -halt [Sjölin].

Variation of the O_2 content with time determined for fire development according to Fig. 6 [Sjölin].

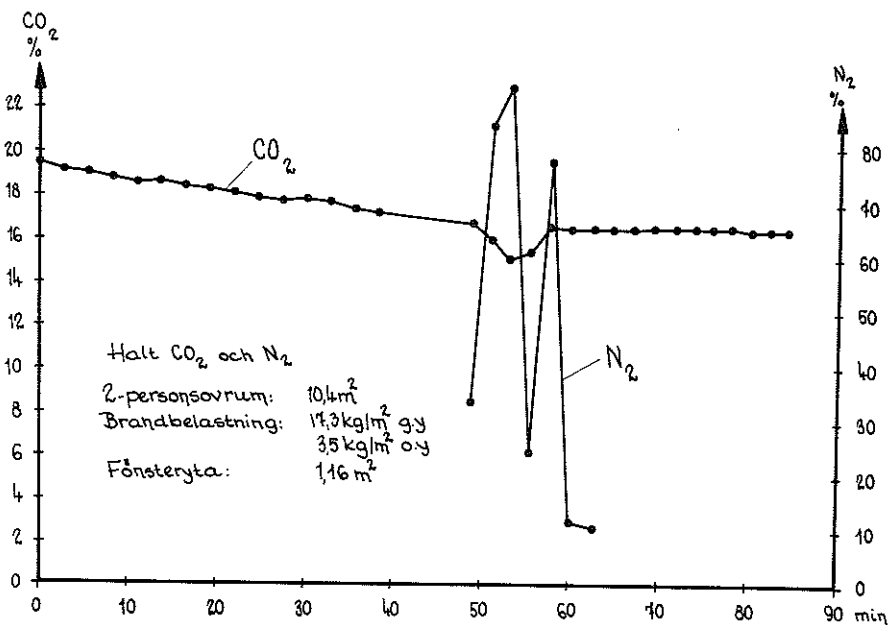


FIG. 8. Vid brandförlopp enligt fig. 6 bestämd tidsvariation av CO_2 - och N_2 -halt (N_2 -haltredovisningen begränsad till brandens flamstadium) [Sjölin].

Variation of proportion of CO_2 - and N_2 - with time (proportion given for N_2 only during the flame phase of the fire) determined for fire development according to Fig. 6 [Sjölin].

Allmänt

1-personsovrums: $10,4 \text{ m}^2$
Brandbelastning: $12,0 \text{ kg/m}^2$ g.y.
 $2,4 \text{ kg/m}^2$ 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
Fåtölj:	9 kg	4500 kcal/kg
Sängbord:	4 kg	4200 kcal/kg
Byrå:	12 kg	4200 kcal/kg
Textilier:	25 kg	4900 kcal/kg

Möblering:

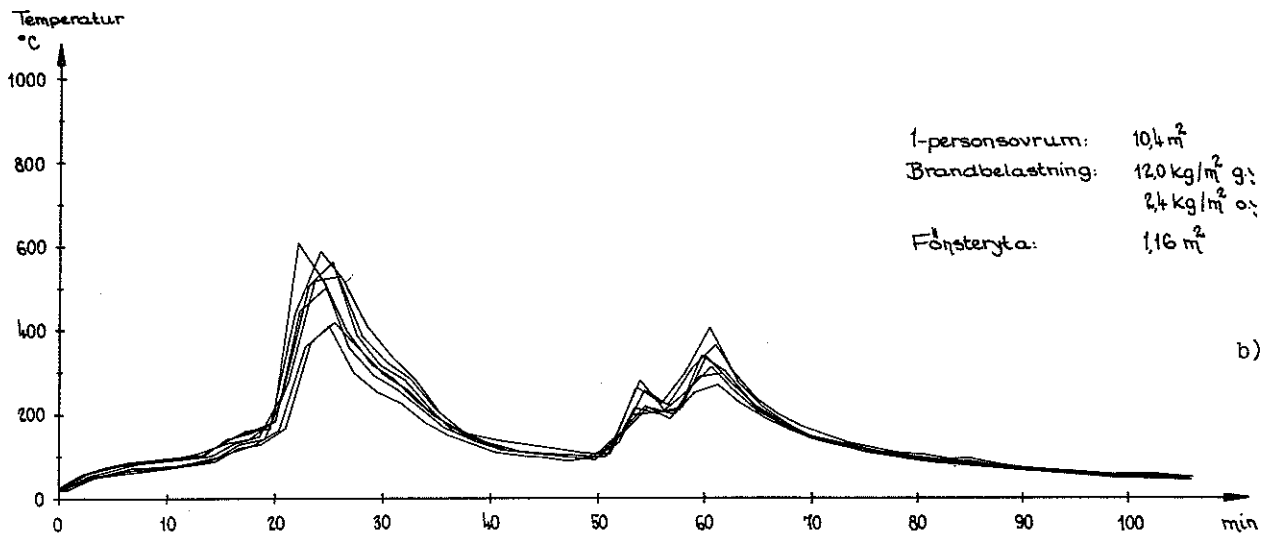
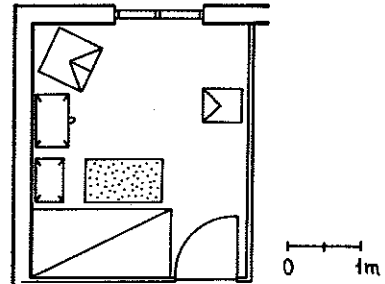


FIG. 9a och b. I olika punkter av enpersons sovrums med rums- och inredningskaraktäristika enligt fig. a bestämd tidsvariation för gastemperaturen (fig. b) [Sjölin].

Variation of the gas temperature with time (Fig. b), determined at different points in a single bedroom with the characteristics of a room and its fittings according to Fig. a [Sjölin].

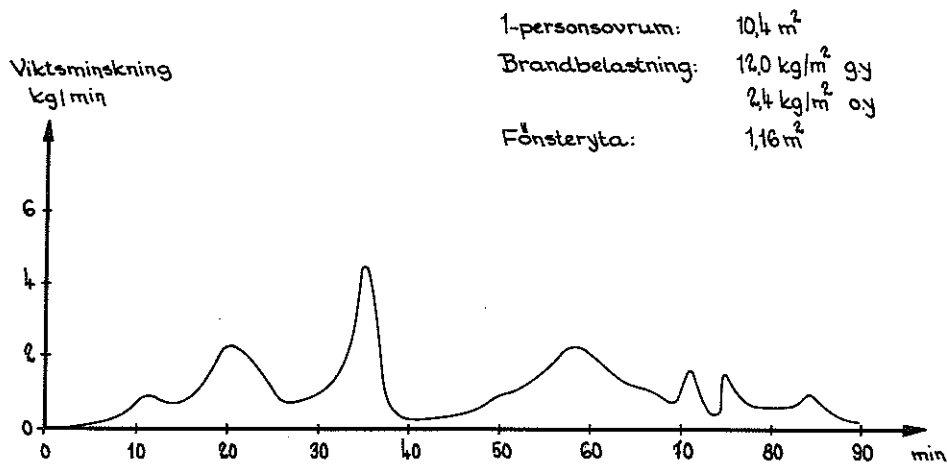


FIG. 10. Vid brandförlopp enligt fig. 9 bestämd tidsvariation av förbränningshastigheten [Sjölin].

Variation of the rate of combustion with time, determined for fire development according to Fig. 9 [Sjölin].

2.3 Experimentellt studium av brand- och rökspridning längs fasad och längs vertikala ventilationskanaler i flervåningsbyggnad

För att i framtiden en bedömning av en fasad eller en vertikal ventilationskanal med avseende på brand- och rökspridningsrisk skall kunna bli möjlig, utan den mycket omfattande fullskaleprovning som i dag är nödvändig i varje enskilt fall, fordras en systematisk kartläggning av de temperatur- och strålningsfält som en sådan byggnadsdel blir utsatt för vid brand i en enstaka våning. Isolerade, starkt begränsade undersökningar av problemet rapporteras i brittisk, japansk och svensk litteratur. Däremot saknas det mera systematiskt framtagna underlag som på sikt bör kunna möjliggöra en lösning av hithörande frågor på grundval av rimligt omfattande teoretiska beräkningar, eventuellt i kombination med enklare laboratorieundersökningar.

För att vidga kunskapsunderlaget inom området har, under ledning av författarna, Statens Provningsanstalt inlett en förhållandevis omfattande försöksserie i ett för ändamålet uppfört försökshus inom AB Atomenergis område i Studsvik. Försökshuset, vars utformning närmare framgår av fig. 11 och 12, har en totalhöjd av cirka 10,5 m och är utfört med en bärande stomme i stål, vilken uppbär tre på varandra ställda rum med väggar och bjälklag av lättbetong. Huset har en i sidled kraftigt utkragande fasad med konstruktiv utformning som lätt kan förändras från försök till försök. Genom de båda övre rummen går i ett särskilt lättbetongschakt vertikala ventilationskanaler, vilka står i direkt förbindelse med försökshusets nedre rum. Även dessa ventilationskanaler kan lätt bytas från försök till försök.

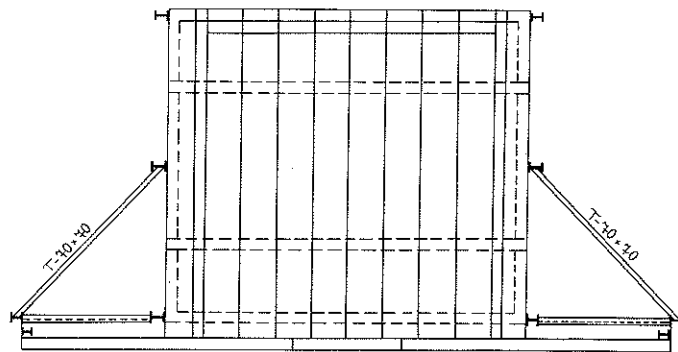
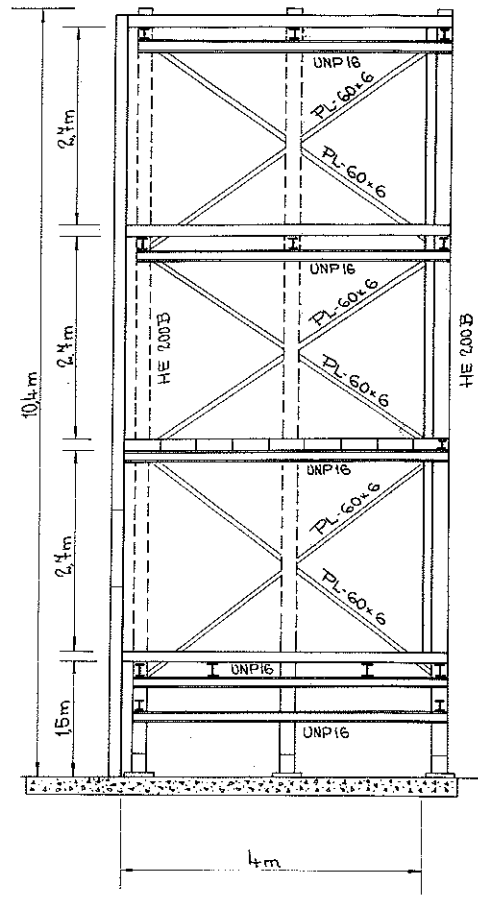
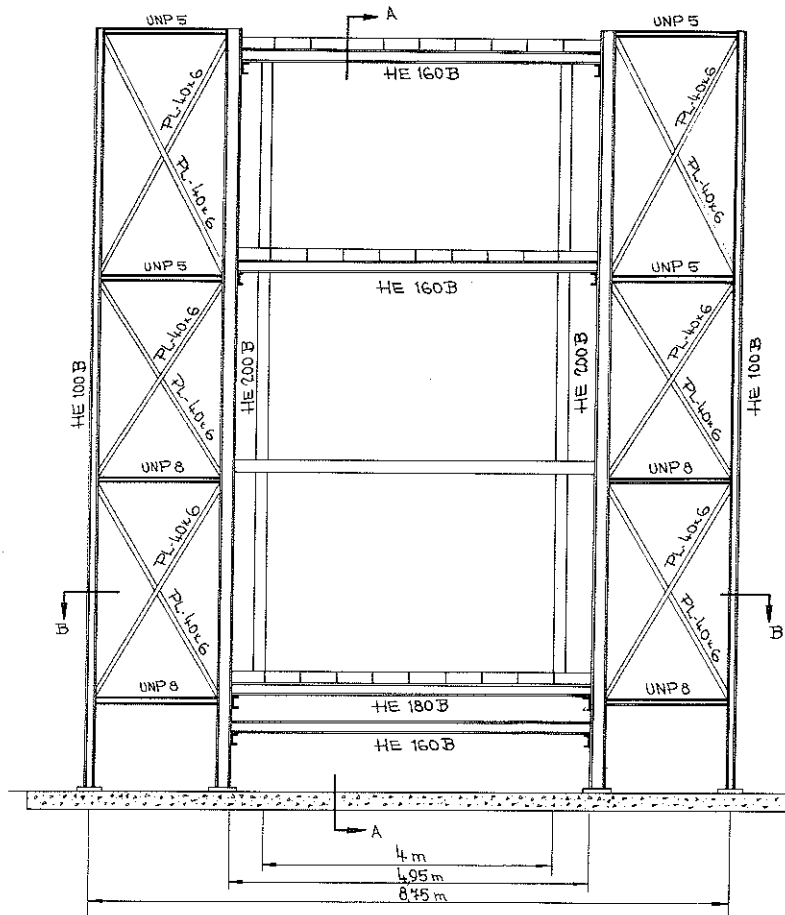
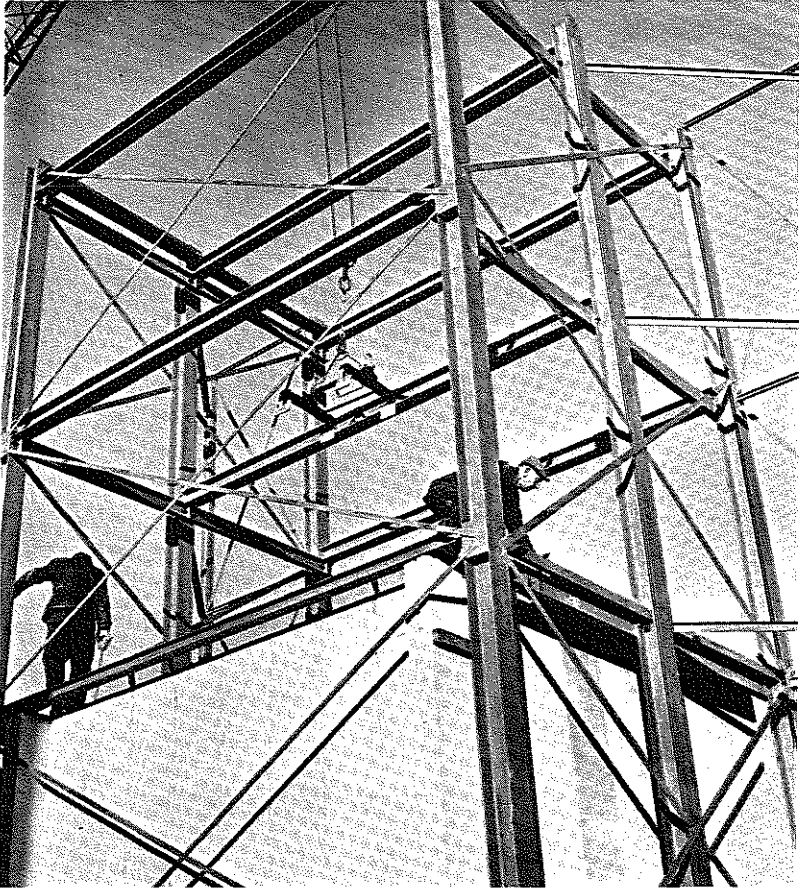
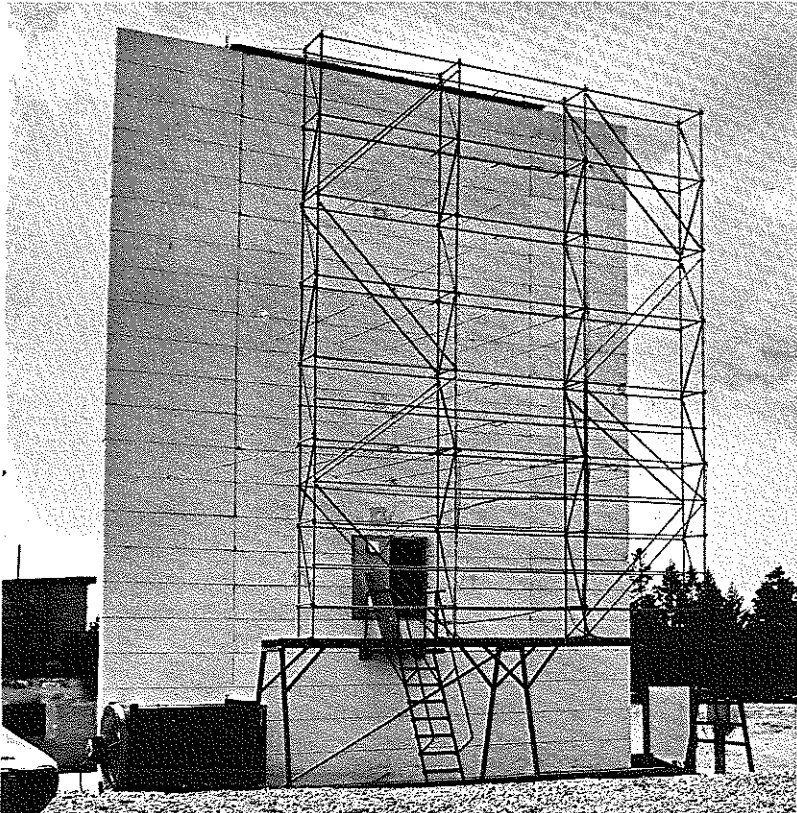


FIG. 11. Utformning av försöks hus för studium av brand- och rökspridning längs fasad och vertikal ventilationskanal vid brand i en viss våning i en flervåningsbyggnad.

Design of test building for the study of spread of fire and smoke along front and vertical ventilation duct when there is a fire on a particular floor of a multi-storey building.



a)



b)

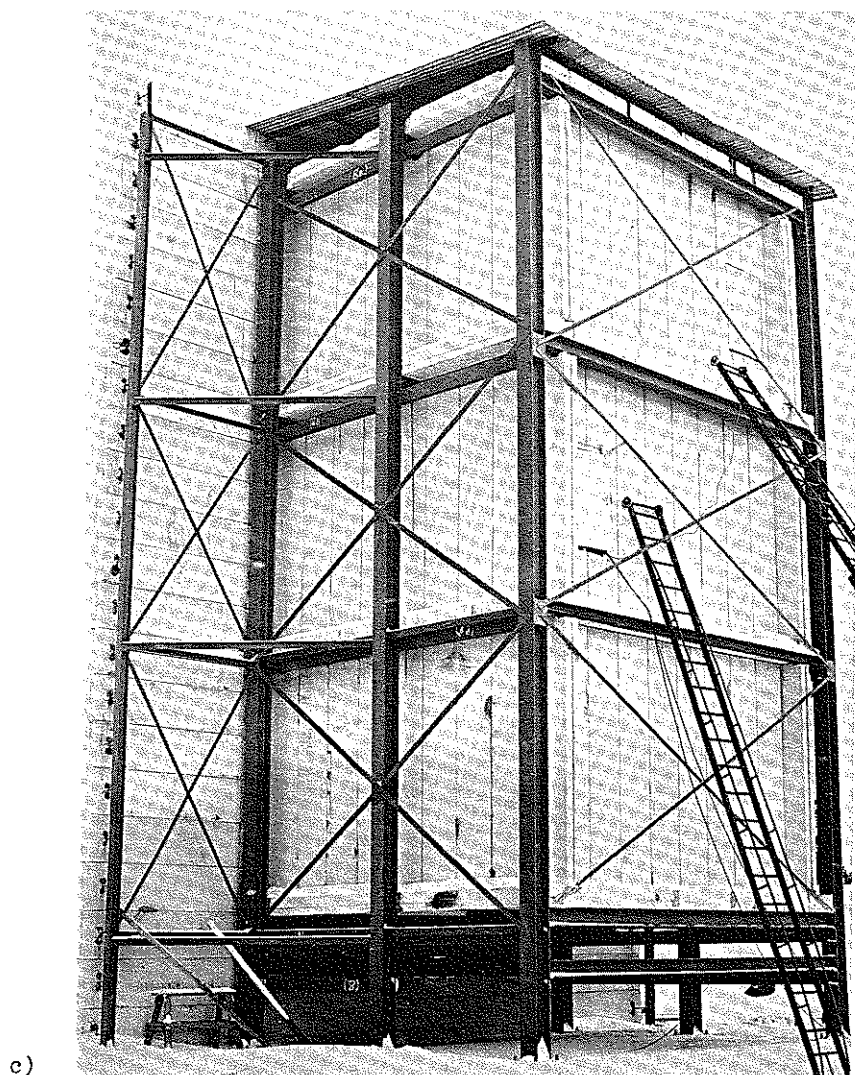


FIG. 12a-c. Foton av försökshus enligt fig. 11. a) Montering av lättbetongelement i bärande stålstomme, b) försökshusets fasadsida och c) försökshusets rumssida.

Photographs of the test building according to Fig. 11. a) Erection of lightweight concrete units on a load-bearing steel framework, b) at the front of the test building and c) at the back of the test building.

Den valda, starkt flexibla, utformningen av försökshuset möjliggör förhållandevis lätt t.ex. en förändring av rumsgeometrin och rummens skala. I planerad försöksserie ingår i ett tidigt skede en undersökning av möjligheterna att i modellskala studera den termiska påverkan mot fasad och ventilationskanal med jämförande försök i modellskalorna 1:1, 1:2 och 1:4.

Vid försöken arrangeras noggrant karakteriserade bränder i försökshusets nedre fönsterförsedda rum. Härvid alstrade lågor och varma rökgaser ger mot fasadens utsida och mot ventilationskanalernas innerytor en termisk påverkan, som noggrant kartläggs genom temperatur- och strålningsmätningar. Därutöver registreras hastigheten för rökgasströmningen utanför fasad och inuti ventilationskanaler.

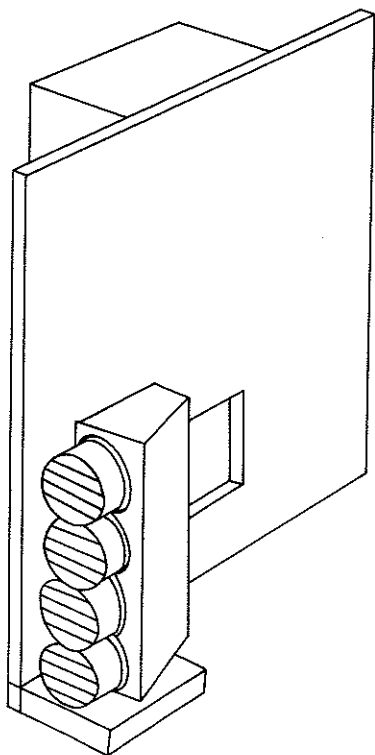


FIG. 13. Skiss över fläktsystem för alstring av kontrollerad vind längs fasad av försöksnäs enligt fig. 11 och 12.

Sketch of fan system for production of controlled wind along the front of the test building in accordance with Figs. 11 and 12.

Genom ett speciellt fläktsystem med uppbyggnad enligt skissen fig. 13, vilket system kan placeras horisontellt eller vertikalt, kan en till hastighet och riktning kontrollerad vind längs försökshusets fasad alstras.

Det till studium upptagna problemet innehåller ett stort antal variabler, som måste inkluderas i en systematisk undersökning. För brandrummet karakteristiska variabler utgör bränslemängd, bränslets lagringstäthet, bränslets fördelning, rummets geometri och skala, fönsterstorlek och fönsterform samt byggnadsteknisk detaljutformning i anslutning till fönster. För fasadutformningen väsentliga variabler utgör fasadmaterialets brännbarhetssegenskaper, fasadytans emissionssegenskaper och värmetröghet för fasadens ytskikt. Väsentlig ytterligare variabel utgör vindhastigheten. För ventilationskanalerna avgörande variabler utgör brännbarhetssegenskaper, diameter, väggjocklek, kanalväggens termiska egenskaper, intagsöppningens placering, kanallängd och storlek av sekundär-luftstillförsel.

I en första delserie, vilken för närvarande (1967) pågår, studeras vid obrännbart material i fasad och ventilationskanaler modellagarnas tillämplighet vid varierande förbränningshastighet eller varierande förhållande mellan viskös och turbulent gasströmning. I fullskala bestäms den termiska påverkan mot fasad och ventilationskanal vid fullständig förbränning av väldefinierade trästaplar med bränslemängdsvärdet 115, 200, 350 och 1 150 kg trä vid fönsteröppningsytan 0,8 x 0,8, 1,0 x 1,0, 1,3 x 1,3 respektive 2,0 x 2,0 m². Valda brandbelastningskarakteristika innebär för samtliga fyra fullskaleförsök en beräknad brandvaraktighet av cirka 40 min. I modellskalorna 1:2 och 1:4 genomförs därpå motsvarande försök med från fullskaleförsöken bibehållen respektive brandbelastning per m² total omslutningsyta av brandrummet.

Resultaten från dessa förberedande försök blir avgörande för den detaljerade uppläggningsen av den fortsatta undersökningen, vilken i sin första del kommer att koncentreras kring alternativet obrännbart material i fasad och ventilationskanal för att i en senare del behandla också det fall att brännbart material ingår i dessa byggnadsdelar.

En första delrapport från undersökningen behandlande försöksseriens mätutrustning har publicerats [8]. För denna utrustning må här följande summariska synpunkter anföras.

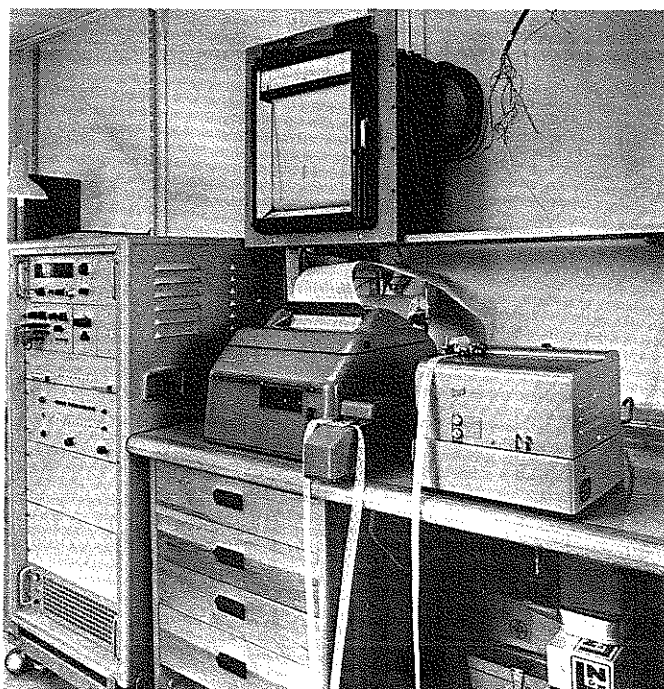
Huvudsyftet med de utförda observationerna är att genom tillräckligt omfattande mätningar kvantitativt kunna beskriva brandens värme- och massbalans. En sådan beskrivning bildar en god grundval för konstruktion av en sådan teoretisk modell som är nödvändig för att de gjorda iakttagelserna skall kunna ges generell tillämpning. För brandrummet bestäms således fortlöpande förbränningshastighet, vägg- och bjälklagstemperaturer, rökgastemperaturer, mot fasaden infallande värmestrålning, rökgashastigheter samt rökgassammansättning med avseende på väsentliga komponenter.

Av väsentligare delar i mätsystemet kan nämnas elektroniskt, digitalt mät- och registreringsystem för automatisk registrering av upp till 250 termoelement, elektronisk vågutrustning för fortlöpande registrering av bränslets vikt förlust under branden samt ett system för registrering av sådana statiska och dynamiska tryck varur sedan rökgashastigheterna kan bestämmas. Strålningsmätningarna utförs med en för liknande ändamål särskilt utvecklad typ av totalstrålningspyrometer, och för gasanalysen används i första hand gaskromatograf, vilken dock möjligen kommer att kompletteras med exempelvis en paramagnetisk syrgasanalysator.

I fig. 14 visas ett översiktsfoto av en del av mätutrustningen.

FIG. 14. Översiktsfoto över del av mätutrustningen i anslutning till studier enligt avsnitt 2.3. Från vänster centralenhet för temperaturdatasamlingssystem med bl.a. digital voltmeter, scanner, klocka och lineariseringsenhet för omvandling av termospänningar till motsvarande gradtal, därefter automatisk skrivmaskin med remsläsare och längst till höger remsstans. Skrivaren ovanför skrivmaskinen tillhör gaskromatografen.

Photograph of a part of the measuring equipment used at the studies described in section 2.3. From left to right; central unit in the system for logging of temperature data, including a digital voltmeter, scanner, clock and linearizing unit for converting thermoelectric voltage to the corresponding temperature, automatic typewriter, tape reader and finally on the extreme right a tape punch. The recorder above the typewriter belongs to the gas chromatograph.



2.4 Experimentellt och teoretiskt studium av vissa delproblemen vid brandventilation

Med uppgift att utarbeta en för konstruktörer lämpad handbok för dimensionering och konstruktiv utformning av brandventilation i närmast enplans industri- och lagerlokaler verkar för närvarande i Sverige en särskild brandventilationskommitté.¹⁾

I sitt arbete utgår kommittén från litteraturuppgifter inom området och därvid framför allt från det värdefulla underlag som föreligger genom en av Thomas och Kinkley [9], delvis på grundval av modellstudier, utarbetad approximativ beräkningsteknik. Denna möjliggör vid känd brandstorlek en beräkning av brandgasskiktets tjocklek, temperaturen under taket samt ventilerad värmenängd vid varierande taköppningsyta och vid varierande flamskärmsutformning; jfr fig. 15.

För komplettering av föreliggande kunskapsunderlag har brandventilationskommittén tagit initiativ till en serie delundersökningar, omfattande

- a) experimentell bestämning av förbränningskaraktäristika för vissa material med hög frekvens i förekomst, såsom högstaplade varor i form av wellpappkartonger och skumplastemballage samt elkablar med PVC-isolering,
- b) experimentellt studium av funktionssättet för olika typer av plastluckor och plastkupoler, utnyttjade som brandventilatorer samt
- c) teoretisk beräkning, över värme- och massbalansekvationer, av vissa för problemet aktuella temperatur-tidkurvor för brandrummets brandgaser.

I kommitténs arbete ingår vidare en inventering av existerande typer av brandventilationsluckor med avsikt att redovisa typritningar för lämpliga luckkonstruktioner. Eventuellt kommer pågående arbete att experimentellt avslutas med något fullskaleförsök för dels en noggrann kartering av samspelet mellan brandventilation och termiska förhållanden för brandrummet och dels ett funktionsstudium av några framtagna typer av brandventilationsluckor.

- 1) I brandventilationskommitténs arbete deltar eller har deltagit följande personer:

Direktör Arne Hägglund, Svenska Brandförsvarsföreningen, ordförande
Civilingenjör Björn Östlin, Svenska Skadeförsäkringsföreningen, sekreterare
Brandingenjör Jan Billvik, Stockholms Brandkår
Överingenjör Kaare Brandsjö, Svenska Brandförsvarsföreningen
Säkerhetsingenjör Gunnar Danielsson, AB Atomenergi
Riksbrandinspektör Sven Hultquist, Statens Brandinspektion
Civilingenjör Tore Kristoffersson, Städerna-Hänsa
Direktör Bertil Lundin, Sveriges Plastförbund
Direktör Christer Möller, Svenska Brandförsvarsföreningen
Brandingenjör Gustav Rennéus, Svenska Brandförsvarsföreningen
Civilingenjör Erik Skogby, Ohlsson & Skarne AB
F.d. riksbrandinspektör Ingvar Strömdahl
Ingenjör Gunnar Tengdahl, Sveriges Industriförbund
Dr ing. Bert Wikström, Sveriges Industriförbund
Brandingenjör Curt Örth, Skandiakoncernen

samt författarna.

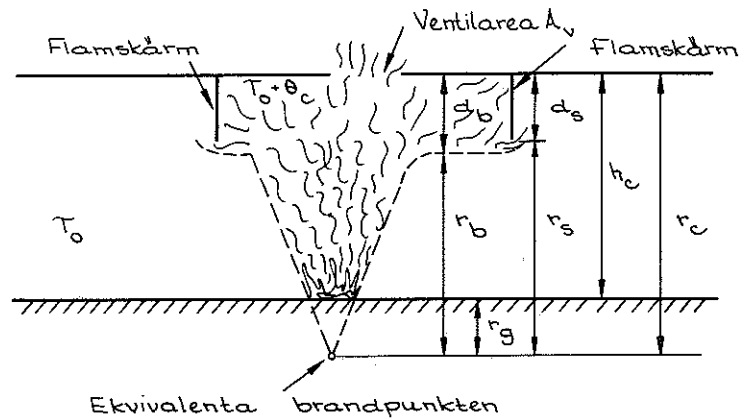
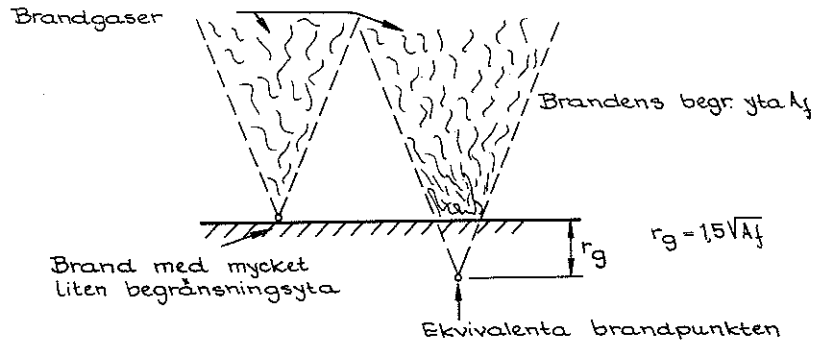


FIG. 15. Principfigur för brandventilation, definierande bl.a. ekvivalent brandpunkt, öppnings- eller ventilarea A_v , flamskärm samt brandgasskiktets tjocklek d_b [9].

Basic sketch for fire ventilation defining equivalent fire point, area of openings or ventilators A_v , roof screen and thickness of the layer of combustion gases d_b [9].

Av ovan nämnda delundersökningar är a) planerad och i begränsad omfattning påbörjad, b) i huvudsak avslutad och c) pågående. Som isolerad illustration av hittills erhållna resultat redovisas i fig. 16 teoretiskt beräknade samband mellan brandgastemperatur θ och tid t vid förbränning av träbränsle med de konstanta förbränningshastigheterna 440, 880, 1 320 och 1 760 kg trä/h i parallelepipediskt rum med volym 1 700 m³, total omslutningsyta 900 m², sammanlagd öppningsyta cirka 30 m² samt väggar och tak av antingen 25 cm lättbetong med densitet 500 kg/m³ eller 15 cm diabasull med densitet 100 kg/m³. I lättbetongalternativet förutsätter de beräknade resultaten ett resulterande emissionstal ϵ_p för flammor och inneryta av väggar och tak av 0,8 (—) eller 0,1 (---) och i diabasullsalternativet ett resulterande emissionstal $\epsilon_p = 0,8$ (---). Av kurs sambanden framgår den förhållandevis ringa effekten på rögkastemperaturen av variationer i resulterande emissionstal samt den mycket kraftiga ökning i rögkastemperaturen som en övergång från en relativt tung vägg- och takkonstruktion av typen lättbetong till en lättare och mera högisolerande innebär. Denna kraftiga ökning i rögkastemperatur medför för brandventilationen som konsekvens krav på en icke oväsentligt ökad kapacitet hos brandventilationssystemet.

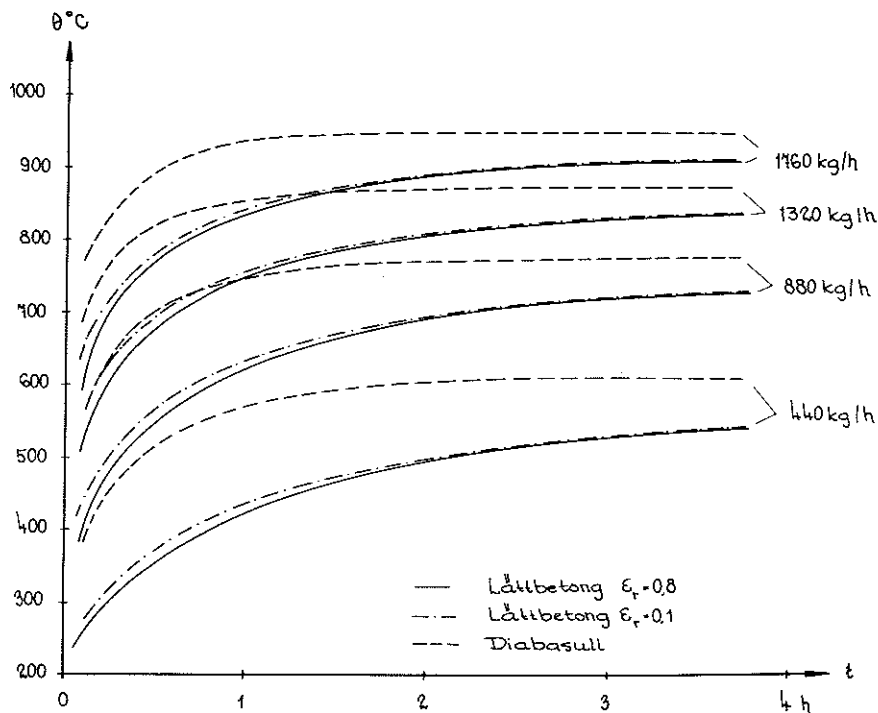


FIG. 16. Teoretiskt beräknade kurvsamband mellan brandgastemperatur Θ och tid t vid förbränning av träbränsle med de konstanta förbränningshastigheterna 440, 880, 1 320 och 1 760 kg/h i parallelepipediskt rum med volym 1 700 m³, total omslutningsyta 900 m², sammanlagd öppningsyta 30 m² samt väggar och tak av antingen 25 cm lättbetong med densitet 500 kg/m³ eller 15 cm diabasull med densitet 100 kg/m³. Resultierande emissionstal för flammor och inneryta av väggar och tak 0,8 (—) eller 0,1 (---) för lättbetongalternativet och 0,8 (— · —) för diabasullsalternativet [ur examensarbete av teknolog Stig Norberg].

Theoretically calculated curve relationship between temperature of the combustion gases Θ and time t when burning wood fuel with the constant combustion rates of 440, 880, 1 320 and 1 760 kg/h in a parallel epipedic room with a volume of 1 700 m³, total perimeter area of 900 m², total area of openings 30 m² and walls and ceiling of either 25 cm thick lightweight concrete with a density of 500 kg/m³ or 15 cm of diabase wool with a density of 100 kg/m³. The resulting emissivity for flames and inside surface of walls and ceiling is 0.8 (—) or 0.1 (---) for the lightweight concrete alternative and 0.8 (— · —) for the diabase wool [from an examination thesis by Stig Norberg].

De i fig. 16 redovisade temperatur-tidkurvorna är väl representativa för förhållandena vid en brand i en industri- eller lagerlokal med dimensionerna 15 x 15 x 7,5 m³. Av intresse är att jämföra dessa temperatur-tidkurvor med de i fig. 17 återgivna [10], vilka med angivna konstanta förbränningshastigheter i kg trä/h beräknats för ett brandrum med volym 46 m³, total omslutningsyta 75 m² samt väggar, golv och tak av antingen 20 cm betong (—) eller 20 cm mineralull (--). Jämförelsen verifierar den kraftiga influensen på brandrummets temperatur-tidkurvor av förändringar i brandrummets volym och geometri. Vid jämförelsen skall dock beaktas att till en större brandrumsvolym ordinärt hör en större förbränningshastighet.

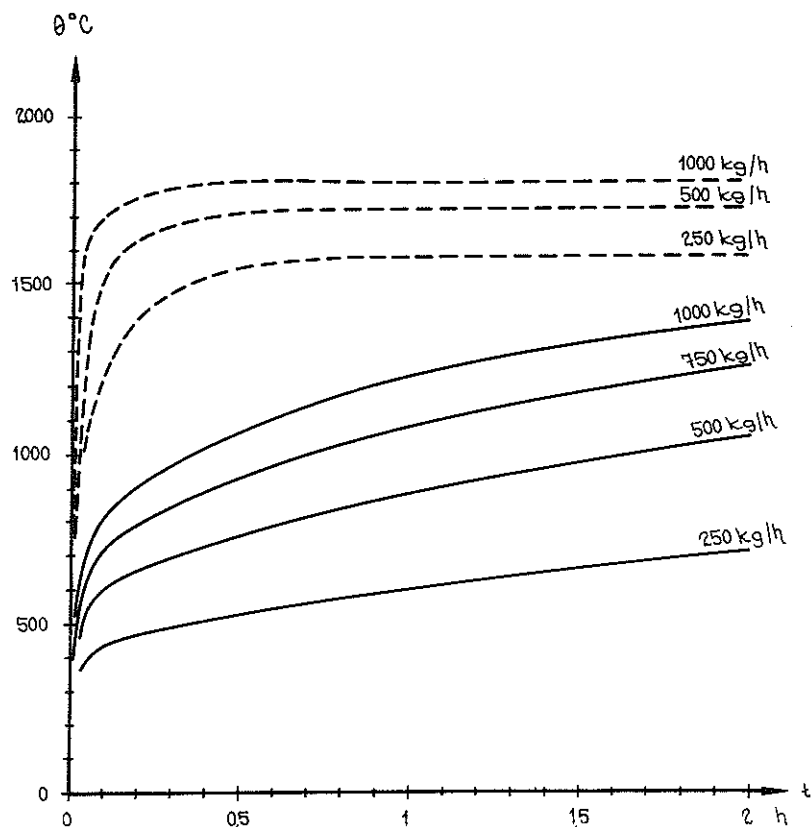


FIG. 17. Teoretiskt beräknade kurvsamband mellan brandtemperatur Θ och tid t vid förbränning av träbränsle med de konstanta förbränningshastigheterna 250, 500, 750 och 1 000 kg/h i brandrum med volym 46 m^3 , total omslutningsyta 75 m^2 samt väggar, golv och tak av antingen 20 cm betong (—) eller 20 cm mineralull (---). Resultande emissionstal för flammor och inneryta av väggar, golv och tak 0,6 [10].

Theoretically calculated curve relationship between fire temperature Θ and time t when burning fuel with the constant combustion rates of 250, 500, 750 and 1 000 kg/h in an enclosed room with a volume of 46 m^3 , total perimeter area 75 m^2 and walls, floor and ceiling of either 20 cm thick concrete (—) or 20 cm of mineral wool (---). Resulting emissivity for flames and inside surface of walls, floor and ceiling is 0.6 [10].

2.5 Teoretiskt studium av arkivlokalers motståndsförmåga mot brand

För att ge underlag för normer rörande arkivlokalers brandmotstånd har teoretiska beräkningar genomförts av de temperatur-tidförhållanden som uppkommer inuti en arkivlokal då denna utvändigt påverkas av brand mot en eller flera omslutande ytor. Beräkningarna bygger på den tekniska teori baserad på problemets värme- och massbalanskvationer som framlagts av Ödeen [10]. Parametrar som varierar i undersökningen utgör

- a) arkivlokalens volym,
- b) golvytans sidoförhållande,
- c) omgivande väggars termiska karakteristika,
- d) antal brandpåverkade ytor,
- e) brandens varaktighet,
- f) värmetröghet för i arkivlokalen inneslutna arkivalier samt
- g) till ventilation hörande per tidsenhet omsatt luftvolym.

Exempel på framräknade resultat ger fig. 18-20. I fig. 18 redovisas därvid beräknade lufttemperatur-tidförlopp i en utifrån, av normenligt brandprov, påverkad arkivlokal under förutsättning av utvändigt brandangrepp mot en, två angränsande samt fyra väggytor. Plannmätt och väggutformning framgår av i figuren inlagd detalj och rumshöjden har förutsatts vara 2,5 m. Det normenliga brandprovet har antagits ha de alternativa varaktigheterna $T = 1, 3$ och 8 h med i samtliga fall efterföljande diskontinuerlig nedgång till utgångstemperaturen 20°C , vilket ger de i figuren markerade, mot respektive brandvaraktighet svarande avsvåningskurvorna. Av intresse är att temperaturen inuti lokalen - speciellt vid korta brandtider - kan fortsätta att stiga avsevärt efter det att upphetningen på utsidan avbrutits.

Inverkan av lokalens volym samt av golvytans sidoförhållande har belysts genom beräkning av motsvarande temperatur-tidförlopp för lokaler med samma rumshöjd som ovan, men med plannmätten 2×4 respektive $3 \times 4 \text{ m}^2$. Beräkningar har genomförts under förutsättning av varierande utformning av lokalens väggar. Således har - förutom det i fig. 18 illustrerade fallet med $\frac{1}{2}$ -stens tegelväggar - även alternativt förutsatts 1-stens (25 cm) tegelväggar, 10, 20 och 30 cm betongväggar samt väggar av 10, 20 och 30 cm lättbetong med densiteten 500 kg/m^3 .

För varje material har hänsyn tagits till temperaturberoendet för materialets värmeledningstal och specifika värme.

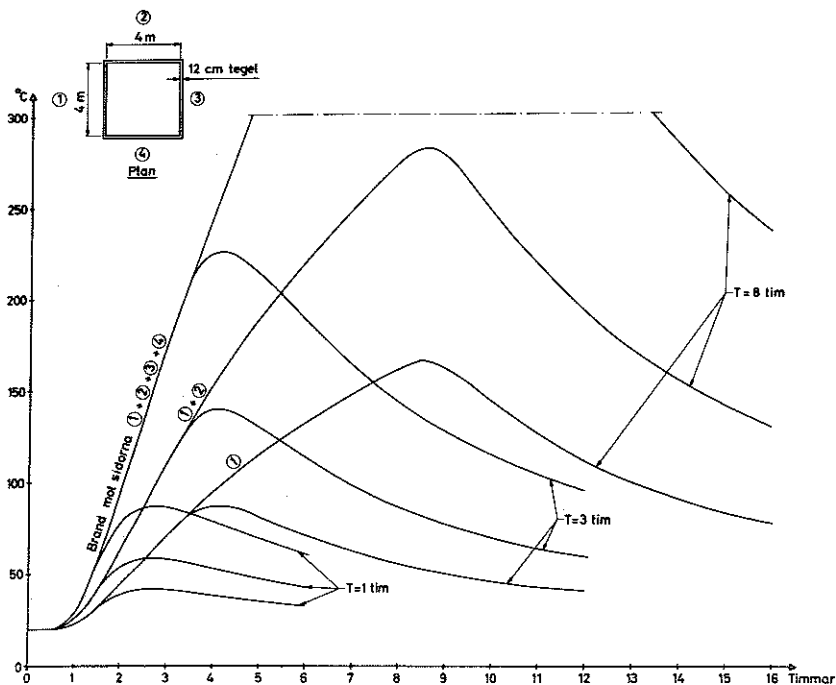


FIG. 18. Beräknade temperatur-tidförlopp i arkivlokal, utifrån ut-satt för normenligt brandprov av varierande varaktighet. Bjälklagen har genomgående förutsatts bestå av 25 cm betong.

Calculated temperature-time process in a room subjected from the outside to a standard fire test of varying duration. The floor slabs have been assumed to consist of 25 cm thick concrete.

Inverkan av de i det föregående angivna faktorerna f) och g) har studerats för det ovan nämnda fallet med väggtufförning i $\frac{1}{2}$ -stens tegel. I fig. 19 visas de till 3 timmars brandvaraktighet, vid brandpåverkan mot en väggyta, svarande temperatur-tidförloppen under förutsättning av varierande luftomsättning. För samma lokalutförning visas i fig. 20 den approximativa effekten av en i arkivlokalen befintlig mängd värmenagaserande arkivalier, vars inverkan på lufttemperatur-tidförloppet har beaktats genom antagande av ett fiktivt, förhöjt värde på rumsluftens värmekapacitet.

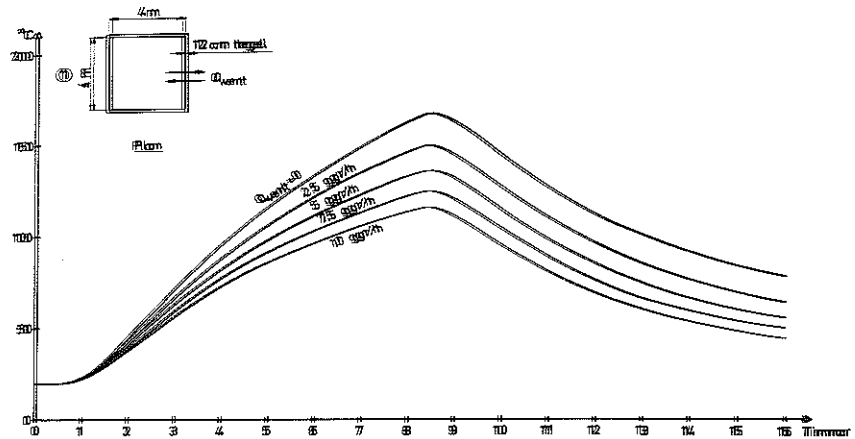


FIG. 19. Inverkan på temperatur-tidförloppet i en arkivlokal av varierande luftomsättning vid brand med varaktigheten 3 timmar mot en väggyta.

Effect of varying rates of air change on the temperature-time process in a room in the case of a fire with a duration of 3 hours against one wall surface.

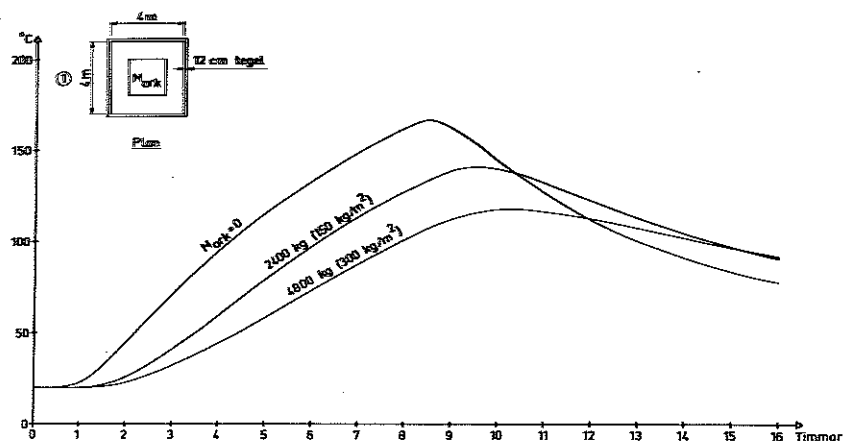


FIG. 20. Inverkan på temperatur-tidförloppet i en arkivlokal av i lokalen förvarad mängd värmenagaserande arkivalier vid i övrigt lika förutsättningar som i fig. 19.

Effect of a quantity of heat retaining files in the room on the room temperature-time process where conditions are otherwise similar to those in Fig. 19.

2.6 I övrigt pågående, teoretiska studier av brandförlopps-karakteristika

Den nyligen genomförda revisionen av anvisningarna till byggnadsstadgan (Svensk Byggnorm 1967) har för brandteknisk dimensionering och utformning av byggnader och byggnadsdelar fört fram till ett detaljerat förslag, som på ett stort antal väsentliga punkter avviker från anvisningarna i BABS 1960. Vad avser bärande konstruktioner har förslaget huvudprinciper med Kungl. Byggnadsstyrelsens tillstånd inarbetats i den år 1966 publicerade försöksnormen "Aluminiumkonstruktioner" [5], [11].

I nämnda publikationer införd ny brandbelastningskarakterisering har översiktligt berörts i avsnitt 1. För brandförloppet medger de båda handlingarna generellt för brandcell med noggrant kända värden för brandbelastningens sammansättning och förbränningshastighet en behandling baserad på en gastemperatur-tidkurva, som bestäms ur värme- och massbalansekvationer eller på annat sätt med hänsyn tagen till de termiska egenskaperna för brandcellens omslutande konstruktioner.

Ett i förhållande till en sådan mera generell behandling förenklat, nyanserat förfarande medges för brandcell med förutsebar öppningsfaktor och med brandbelastning, vars förbränningshastighets- och strålningskarakteristika approximativt överensstämmer med de för träbränsle gällande. Så anses vara fallet, om brandbelastningens medelförbränningshastighet R_{medel} ligger inom området $20 \sqrt{h} \leq R_{medel} \leq 30 \sqrt{h}$ Mcal/min ($390 \sqrt{h} \leq R_{medel} \leq 580 \sqrt{h}$ J/s) med $A =$ sammanlagd öppningsyta (fönster, dörrar, rökluckor, ventilationsöppningar och andra öppningar) i m^2 och $h =$ ett med hänsyn till respektive delyta vägt medelvärde av öppningshöjd i m för brandcellen. Förfarandet innebär att en bestämning av en byggnads eller byggnadsdels brandmotstånd får ske med utgångspunkt från en tidkurva för brandcellens gastemperatur θ_t , som bestäms genom öppningsfaktorn \sqrt{h}/A_t enligt fig. 21 under en genom sambandet

$$T = \frac{q_t^A}{25A\sqrt{h}} \text{ min} \quad \dots (2)$$

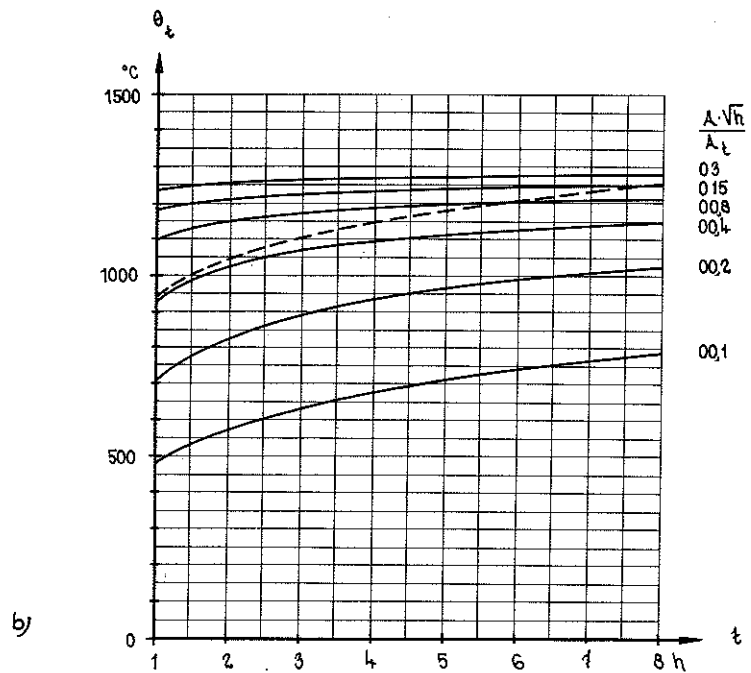
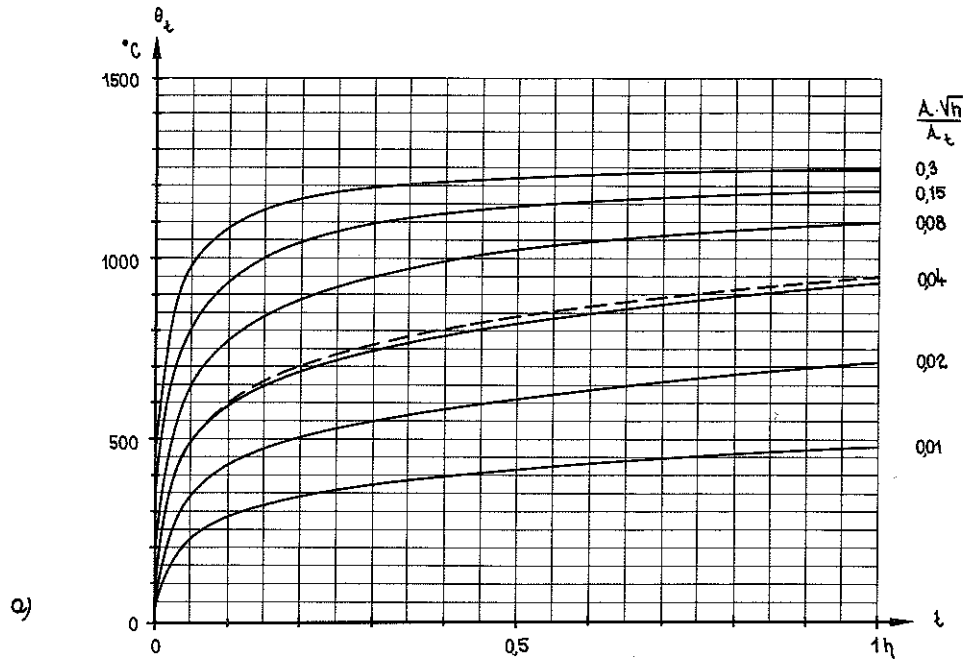
given brandvaraktighet T . Figurens gastemperatur-tidkurvor har beräknats med av Ödeen angiven teori [10] med en antagen förbränningshastighet, som under antändningsfasen tillväxer med tiden t enligt en polygonformad kurva och under flamfasen har det konstanta värdet

$$R = 5,5 \sqrt{h} \quad \text{kg trä/h} \quad \dots (3)$$

Allmänt medges därutöver som alternativ till de ovan summariskt beskrivna förfarandena en bestämning av en byggnads eller byggnadsdels brandmotstånd på grundval av starkt förenklade brandpåverkansförutsättningar, givna genom INSTA-kurvan för brandcellens gastemperatur θ_t , dvs.

$$\theta_t - \theta_0 = 1325 - 430 e^{-0,2 t} - 270 e^{-1,7 t} - 625 e^{-19 t} \quad \dots (4)$$

med $t =$ tiden i h och $\theta_0 =$ brandcellstemperaturen i $^{\circ}\text{C}$ vid tiden $t = 0$. Kurvan, som inlagts streckmarkerad i fig. 21, överensstämmer med god precision med den temperatur-tidkurva, som av ISO rekommenderas för brandteknisk provning av byggnader och byggnadsdelar.



--- STANDARDKURVA ENLIGT ISO/TC 92

FIG. 21a och b. I försöksnormen Aluminiumkonstruktioner [5], [11] samt i Svensk Byggnorm 1967 föreskrivet samband mellan brandcellstemperatur Θ_t och brandtid t för varierande öppningsfaktor $A\sqrt{h}/A_t$ vid brandbelastning av t i huvudsak träbränsletyp. A_t = brandcellens totala omslutningsyta, A = sammanlagd öppningsyta (fönster, dörrar, rökluckor, ventilationsöppningar och andra öppningar), h = ett med hänsyn till respektive delyta vägt medelvärde av öppningshöjd för brandcellen.

Relationship prescribed in the provisional norm Aluminiumkonstruktioner [5], [11] and in Svensk Byggnorm 1967 between temperature in enclosed space Θ_t and time for burning t for varying opening factors $A\sqrt{h}/A_t$ with a fire load of mainly wood fuel. A_t = total perimeter area of the enclosed room, A = total area of openings (windows, doors, smoke hatches, vents), h = a mean value of the height of openings in the enclosed room weighted with consideration for the respective sub-area.

Inom detta område pågående och planerad svensk brandteknisk forskning är av liten omfattning och i huvudsak begränsad till två problem, nämligen

- a) utveckling av laboratoriemetod för karakterisering av byggnadsmaterial ur brandbelastningssynpunkt och
- b) experimentellt studium av värmeledningstal och specifikt värme för betong med varierande sammansättning.

Till dessa undersökningar må här följande kommentarer fogas.

För en teoretisk beräkning av tidkurvan för ett brandrums gastemperatur är kunskaper om bl.a. byggnadsmaterialens värmevärde, erforderlig luftmängd för fullständig förbränning samt rökgasernas värmeinnehåll vid varierande rökgastemperatur av väsentlig betydelse. Dessa materialegenskaper kan laboratoriemässigt framtagas genom en metod, som innehåller dels en kalorimetrisk bestämning och dels en elementaranalys. Den kalorimetriska bestämningen ger därvid materialets värmevärde och elementaranalysen ett underlag rörande materialets sammansättning, varur för fullständig förbränning erforderlig luftmängd och rökgasernas värmeinnehåll vid varierande rökgastemperatur kan beräknas. Undersökningens utvecklingsarbete, inkluderande ett test av metoden i utslagsgivande fall, är i stort avslutat.

Under b) nämnt experimentellt studium är nyligen påbörjat. Det avses omfatta en systematisk laboratoriebestämning i vid Statens Provvningsanstalts laboratorium A 3 förefintlig utrustning av betongens värmeledningstal och specifika värme inom för brandpåverkan aktuellt temperaturområde vid för betongen varierande vattencementtal, cementlimsmängd och typ av ballastmaterial.

4 TEMPERATUR-TIDFÄLT, STATISKT VERKNINGSSÄTT OCH BÄRFÖRMÅGA FÖR BRANDPÅVERKADE KONSTRUKTIONER

Teoretiska beräkningar av till brandpåverkan hörande temperatur-tidfält för bärande och avskiljande konstruktioner har intagit en förhållandevis framskjuten plats i de senaste årens brandtekniska forsknings- och utvecklingsarbete i Sverige. Resultatexemplifieringar ges i [1], [2], [7] och [12] - [16].

Resultaten bygger antingen på i elektronisk räkneautomat genomförda lösningar av mot värmeledningsekvationen svarande differensekvationer för det icke-stationära fallet med beaktande av temperaturberoende termiska materialegenskaper eller på närmelösningar, baserade på förenklade värmebalansstudier. Nedan kompletteras de i de nämnda publikationerna redovisade resultaten med fragmentariska exempel och kommentarer rörande pågående och planerad forskning inom området.

4.1 Teoretisk och experimentell bestämning av temperatur-tidfält samt teoretisk bestämning av bärförmåga för brandpåverkad TT-platta av spännbetong [17]

En vid uppförande av stonmar för kontors- och lagerlokaler i Sverige och utlandet frekvent typ av bjälklags-element är s.k. TT-plattor av oftast spännarmerad betong. Sådana element tillverkas i ett flertal storlekar och uppbyggs av två vertikala liv, till vilkas nedre delar huvudarmeringen koncentreras, samt en ovenförliggande tunn betongplatta. Ett utförandeexempel visas i fig. 22. En naturlig strävan vid dimensioneringen av sådana element är att göra vikten och därmed tvärsnittsytan så liten som möjligt. I konsekvens härmed ges de olika delarna ofta mycket små tvärsnittsmått, vilket vid en brand leder till förhållandevis snabb genomvärmning och därav följande reduktion av bärförmågan.

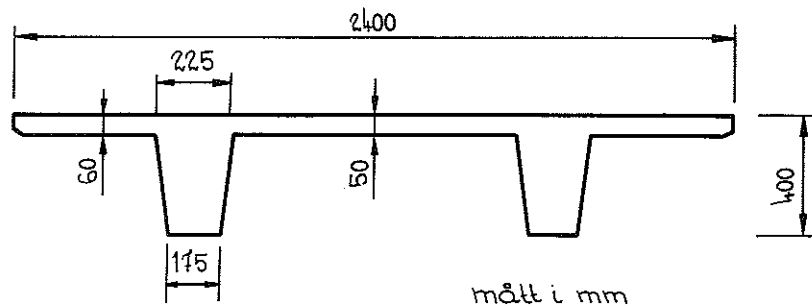


FIG. 22. Exempel på tvärsnittsutförande av TT-platta av betong.
Example of cross section of a double T concrete slab.

Av ekonomiska och andra skäl är det önskvärt att beräkningsmässigt kunna bestämma brandmotståndet för de aktuella konstruktionstyperna och därigenom undvika kostnadskrävande och svårkontrollerbara provningar. På uppdrag av AB Strängbetong och A-Betong AB har därför utvecklats en beräkningsmetod, i vilken som huvuddel ingår en beräkning med elektronisk räkneautomat av de temperaturfält som vid olika tidpunkter under en brand uppkommer i konstruktionen. Beräkningsmetoden tar hänsyn till materialets verkliga, temperaturberoende termiska data - vilka bestäms i en särskild delundersökning - varvid speciellt även effekten av ett initieellt vatteninnehåll i materialet kan beaktas.

De starkt temperaturberoende värmeövergångstalen vid konstruktionens brandutsatta ytor är tidigare i väsentliga avseenden ytterst ofullständigt kartlagda. Av denna anledning har vissa bestämningar av värmeövergångstal α utförts på ett element av den aktuella typen under provning på bjälklagsugnen vid Statens provningsanstalts brandtekniska laboratorium. Resultat från dessa bestämningar - vilka utfördes genom noggrann kartering av temperaturförloppet i konstruktionens yt- och gränsskikt - visas i fig. 23, ur vilken som speciellt intressant iakttagelse kan utläsas en markant skillnad mellan värmeövergångsförhållandena vid konstruktionens vertikala respektive horisontella ytor. I figuren har även inlagts värden på värmeövergångstal, vilka beräknats enligt ett approximativt förfarande, vari utnyttjats strålningens dominerande inflytande på värmeövergångstalets storlek vid högre temperaturer.

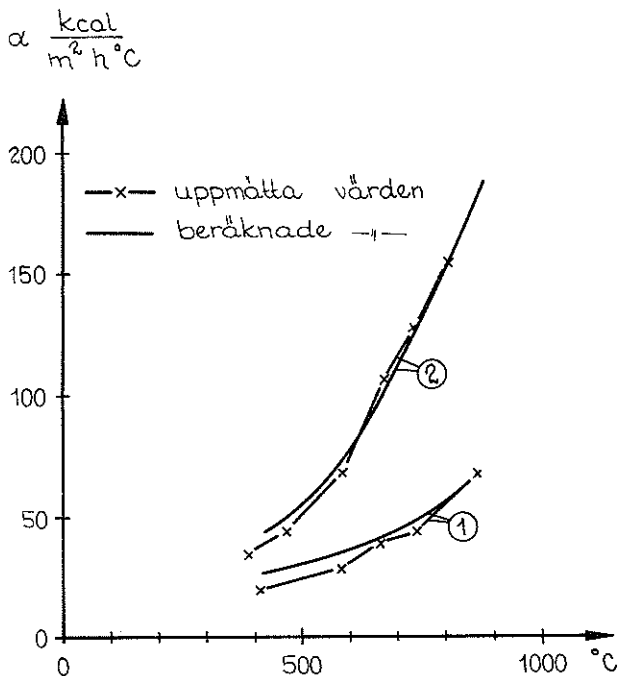
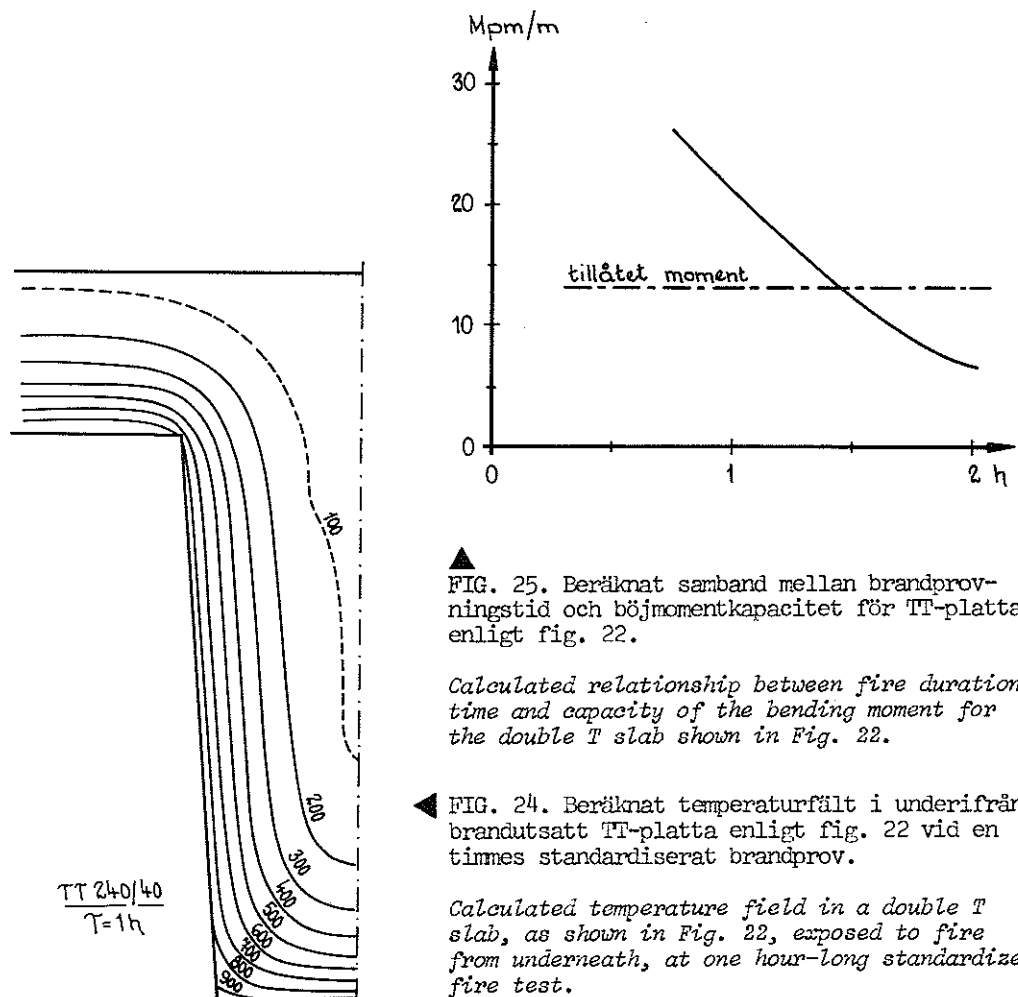


FIG. 23. Uppmätta respektive beräknade värmeövergångstal vid sido- (1) respektive underyta (2) av ett liv i betongelement enligt fig. 22.

Recorded and calculated heat transfer coefficients on the lateral and lower surfaces of a stem in a slab in accordance with Fig. 22.

Med ovan nämnd metodik har temperaturfälten för ett stort antal tvärsnitt beräknats under förutsättning av att brandrumstemperaturen följer det standardiserade sambandet enligt ekv. (4). Som lösryckt exempel på framtagna resultat visas i fig. 24 beräknat temperaturfält i ett element enligt fig. 22, utsatt underifrån för standardiserat brandprov under 1 h.

En översättning av de framräknade temperaturfälten till motsvarande bärförmåga (böjmomentkapacitet) för tvärsnittet kräver kännedom om hållfasthets- och deformationsegenskaper för ingående material. Även om kunskaperna om dessa i dagens läge är bristfälliga, har de dock möjliggjort härledning av approximativa böjmoment samband. Som exempel visas i fig. 25 beräknat samband mellan brandprovningstid och böjmomentkapacitet för det i fig. 22 angivna elementet. En jämförelse mellan de beräknade värdena och för elementet tillåtet moment indikerar ett brandmotstånd för av dimensionerande last påverkat element av cirka 1,5 h. Det bör dock poängteras att värdena är baserade på enligt ovan i viss mån ofullständigt kunskapsunderlag, varför framtida - i hög grad angelägna - framtagna materialdata kan komma att medföra modifieringar.



▲ FIG. 25. Beräknat samband mellan brandprovningstid och böjmomentkapacitet för TT-platta enligt fig. 22.

Calculated relationship between fire duration time and capacity of the bending moment for the double T slab shown in Fig. 22.

◀ FIG. 24. Beräknat temperaturfält i underifrån brandutsatt TT-platta enligt fig. 22 vid en timmes standardiserat brandprov.

Calculated temperature field in a double T slab, as shown in Fig. 22, exposed to fire from underneath, at one hour-long standardized fire test.

4.2 Teoretisk bestämning av temperatur-tidfält och bärförmåga för några olika typer av bärverk i armerad betong

Delvis i anslutning till den genomförda revisionen av anvisningarna till byggnadsstadgan samt inom ISO pågående arbete rörande brandteknisk provning av byggnader och byggnadsdelar genomförs för närvarande (1967) ett systematiskt upplagt beräkningsarbete för en nyanserad bestämning av temperatur-tidfält och bärförmåga vid brandpåverkan för armerade betongbärverk av typen balkar, pelare, väggar och plattor.

För beräkningsarbetet har valts en förhållandevis bred uppläggning för att genom erhållna resultat möjliggöra bl.a. en kritisk värdering av nuvarande brandtekniska provningsförfarande för byggnader och byggnadsdelar. Av denna anledning varieras i beräkningarna utöver upphettningens periodens gastemperatur-tidkurva och varaktighet också avsvältningsfasens karakteristika, flammors och gasers emissionstal samt bärverkets initiella fuktinnehåll. Variationen av upphettningens periodens temperatur-tidkurva väljs som beroende av öppningsfaktorn \sqrt{h}/A_t enligt fig. 21.

Belysande för några av de nämnda influenserna är fig. 26, vilken redovisar en serie för ensidigt brandpåverkad, 13 cm tjock betongplatta eller betongvägg framtagna resultat [13]. Upphettningens periodens brandpåverkan är därvid förutsatt beskriven genom en gastemperatur-tidkurva enligt ekv. (4). Figurens olika kurvor ger för respektive förutsättningar gällande maximalt temperaturvärde Θ_{\max} för varierande avstånd x från betongplattans eller betongväggs brandutsatta yta. Vid given brandvaraktighet uppträder ett sådant Θ_{\max} -värde för olika x -värden vid olika tidpunkter. Kurvorna visar alltså ej till viss tidpunkt hörande temperaturfördelning i den brandpåverkade konstruktionens djupled.

Fig. 26a illustrerar för en brandvaraktighet av 0,5 h primärt inverkan av varierande emissionstal för flammor och gaser ϵ_{fl} och sekundärt effekten av en avsvältningsperiod, beskriven genom en linjär avsvältning av $600^\circ\text{C}/\text{h}$. De hel-dragna kurvorna beaktar inverkan av den omfördelning i temperatur som sker inom betongplattan eller betongväggen efter upphettningens periodens slut vid nämnda avsvältningsfaskarakteristika. De streckmarkerade kurvorna gäller för avsvältningsfasen ej beaktad, dvs. är begränsade till de temperaturförhållanden som råder inom den brandpåverkade konstruktionen under upphettningens perioden. Av kurvorna framgår att inverkan av variationer i flammornas och gasernas emissionstal minskar, medan effekten av en avsvältningsperiod ökar med ökat avstånd från brandutsatt yta av konstruktionen.

En mera fullständig illustration av inverkan av förändringar i avsvältningsfasens egenskaper ger fig. 26b, vilken för en brandvaraktighet av 0,5 h och ett emissionstal $\epsilon_{fl} = 0,7$ ger $\Theta_{\max} - x$ -kurvor för en linjär avsvältningsfas med de alternativa avsvältningshastigheterna 300, 600, 1 200 och $\infty^\circ\text{C}/\text{h}$. Som streckmarkerad redovisar figuren som komplement den $\Theta_{\max} - x$ -kurva, som erhålls, om endast förhållandena under upphettningens perioden beaktas. Kurvorna understryker betydelsen av att avsvältningsfasen beaktas och därvid detaljkaraktiseras vid en brandteknisk dimensionering eller provning.

FIG. 26a-d. Teoretiskt beräknat temperaturvärde Θ_{max} för varierande avstånd x från brandpåverkad yta vid 18 cm tjock betongplatta eller betongvägg, utsatt för ensidig brandpåverkan med gastemperatur-tidkurva enligt ekv. (4).

Theoretically calculated temperature value Θ_{max} for varying distance x from the surface exposed to fire when a 18 cm thick concrete slab or wall is subjected to fire on one side with gas temperature-time curve in accordance with equation (4).

FIG. 26 a) Θ_{max} - x -kurvor vid $\frac{1}{2}$ h brandvaraktighet, linjär avsvälning 600° C/h och varierande emissionstal för flammorna ϵ_{fl} för dels alternativet avsvälningssfasen beaktad (—) och dels alternativet avsvälningssfasen ej beaktad (---).

a) Θ_{max} - x curves for $\frac{1}{2}$ h fire duration, linear cooling 600° C/h and varying emissivity of flames ϵ_{fl} for the cooling phase alternative under consideration (—) and also for the cooling phase alternative not under consideration (---).

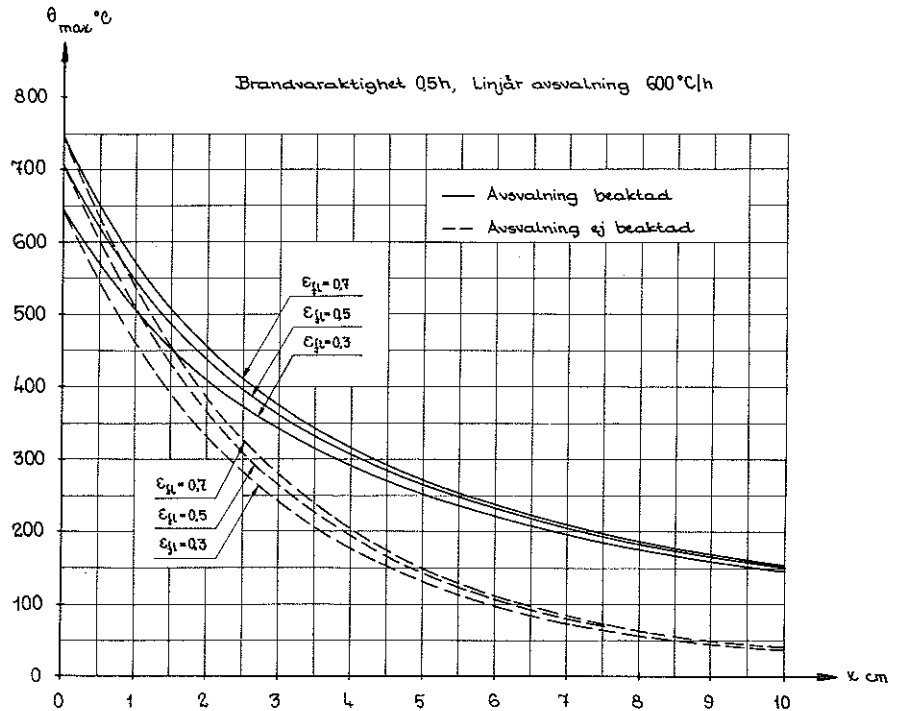


FIG. 26 b) Θ_{max} - x -kurvor vid $\frac{1}{2}$ h brandvaraktighet, linjär avsvälning med varierande avsvälningss hastighet och emissionstal för flammorna $\epsilon_{fl} = 0,7$ för dels alternativet avsvälningssfasen beaktad (—) och dels alternativet avsvälningssfasen ej beaktad (---).

b) Θ_{max} - x curves for $\frac{1}{2}$ h fire duration, linear cooling with varying rates of cooling and emissivity of the flames $\epsilon_{fl} = 0.7$ for the cooling phase alternative under consideration (—) and also the cooling phase alternative not under consideration (---).

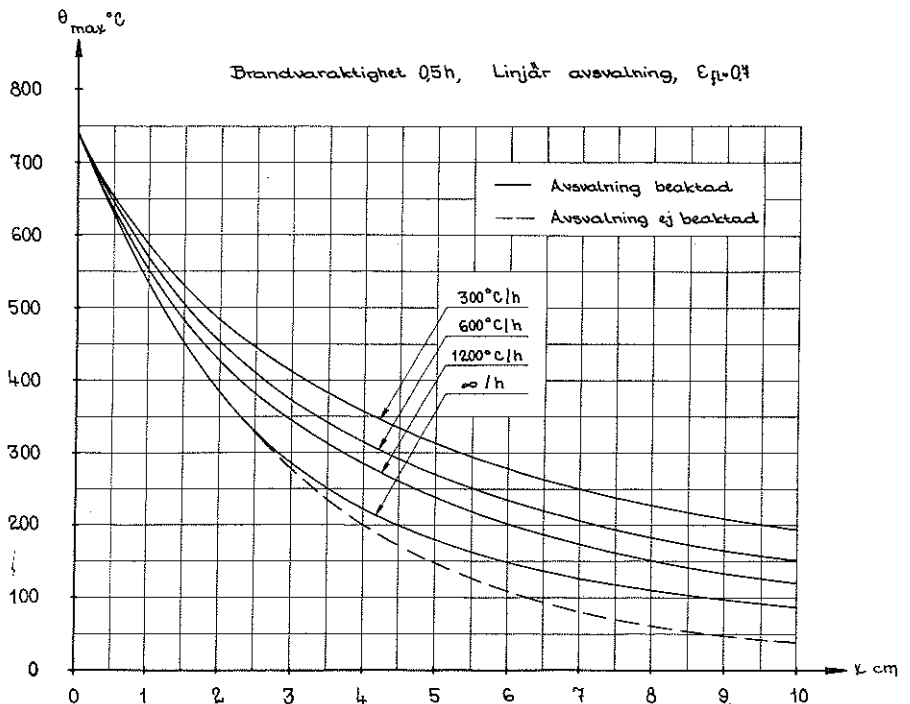


FIG. 26 forts.

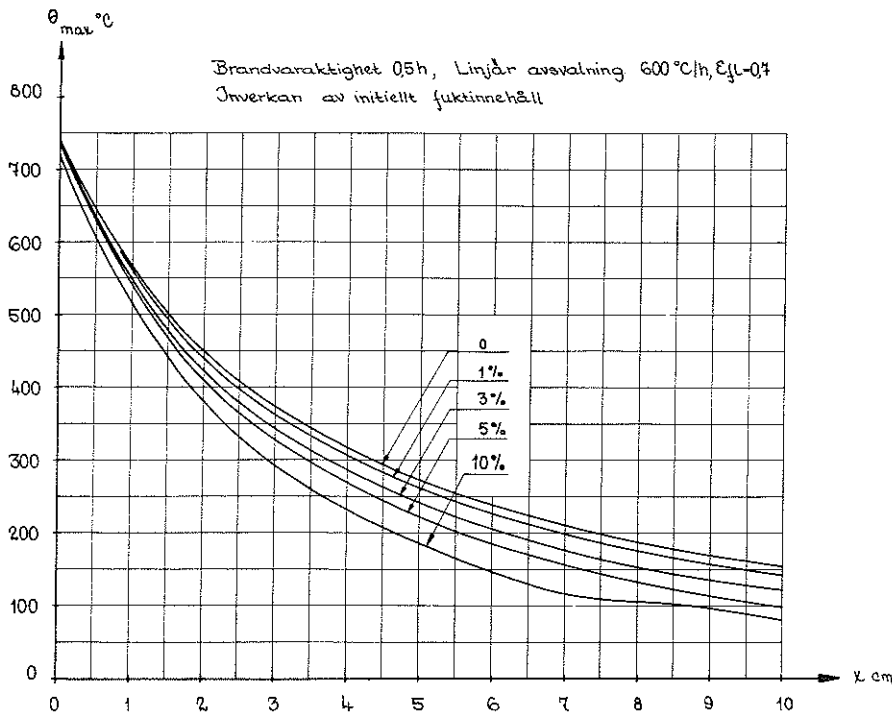


FIG. 26 c) θ_{max} - x-kurvor vid $\frac{1}{2}$ h brandvaraktighet, linjär avsvälning 600°C/h, emissionstal för flammorna $\epsilon_{fl} = 0,7$ och varierande initialt fuktinnehåll, angivet i viktprocent.

c) θ_{max} - x curves for $\frac{1}{2}$ h fire duration, linear cooling 600°C/h, emissivity of flames $\epsilon_{fl} = 0.7$ and varying initial moisture content, given as percentage by weight.

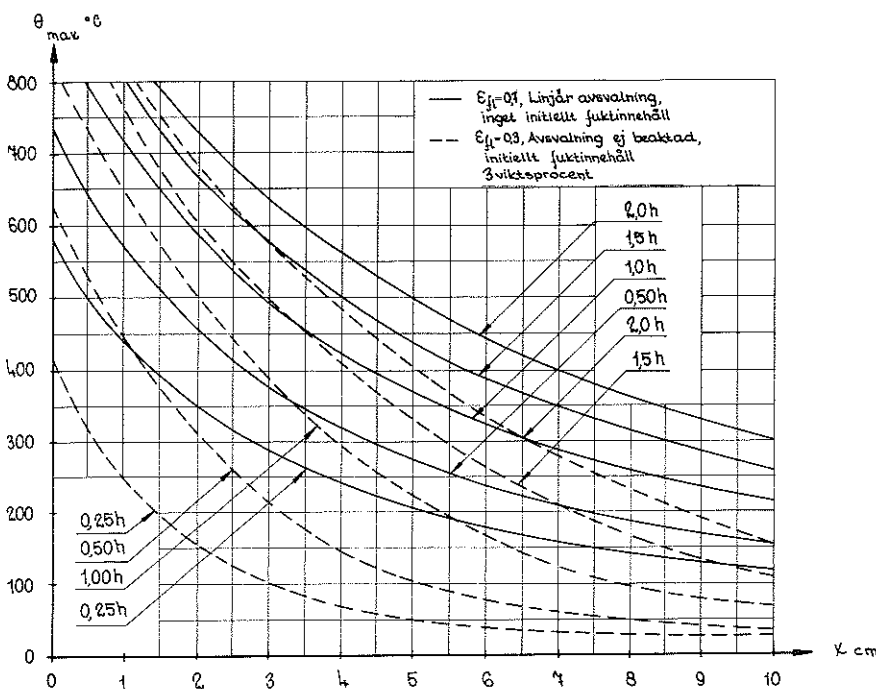


FIG. 26 d) θ_{max} - x-kurvor vid varierande brandvaraktighet, linjär avsvälning 600°C/h, emissionstal för flammorna $\epsilon_{fl} = 0,7$ och inget initialt fuktinnehåll (—), jämförda med motsvarande θ_{max} - x-kurvor vid emissions-talet för flammorna $\epsilon_{fl} = 0,3$, 3 viktprocent initialt fuktinnehåll och avsvälningssfasen ej beaktad (---) [18].

d) θ_{max} - x curves for varying fire duration, linear cooling 600°C/h, emissivity of flames $\epsilon_{fl} = 0.7$ and no initial moisture content (—), compared with corresponding θ_{max} - x curves when emissivity of the flames $\epsilon_{fl} = 0.3$, 3 per cent by weight initial moisture content and the cooling phase not under consideration (---) [18].

Effekten av variationer i initieellt fuktinnehåll för en brandpåverkad betongplatta eller betongvägg framgår i storleksordning av fig. 26c, vilken för en brandvaraktighet av 0,5 h, ett emissionstal $\epsilon_{f1} = 0,7$ och en linjär avsvalningsfas med en temperaturminskning av $600^{\circ}\text{C}/\text{h}$ redovisar de till initieellt fuktinnehåll 0, 1, 3, 5 och 10 viktprocent hörande Θ_{\max} - x -kurvorna. Figuren verifierar önskvärdheten av möjligast noggrant stipulerade konditioneringsförhållanden för byggnadsdelar, som skall underkastas en brandteknisk provning.

En jämförelse av summaeffekter från de diskuterade influenserna ger fig. 26d, vilken vid brandvaraktigheterna 0,25, 0,5, 1, 1,5 och 2 h ger den brandpåverkade betongplattans eller betongväggens Θ_{\max} - x -kurvor för dels alternativet $\epsilon_{f1} = 0,7$, linjär avsvalningsfas med temperaturminskning $600^{\circ}\text{C}/\text{h}$ och inget initieellt fuktinnehåll (heldragna kurvor),

och dels alternativet $\epsilon_{f1} = 0,3$, endast upphettningssperioden beaktad och initieellt fuktinnehåll av 3 viktprocent (streckmarkerade kurvor).

Figuren visar att en addition av de nämnda influensernas effekter kan ge upphov till mycket stora förändringar i en brandpåverkad konstruktions temperaturtillstånd.

Det pågående beräkningsarbetet för bestämning av brandpåverkade armerade betongkonstruktioners temperatur-tidfält och bärförmåga syftar till en resultatredovisning, som ger konstruktören underlag för en möjligast nyanserad brandteknisk dimensionering. Ett exempel på en sådan resultatredovisning ger fig. 27, vilken för en ensidigt brandpåverkad, 18 cm tjock, armerad betongplatta redovisar sambandet mellan brandvaraktighet T och maximal temperatur Θ_{\max} på varierande djup x från brandutsatt yta vid en brandpåverkan med karakteristika, som approximativt överensstämmer med de för en konventionell, normenlig brandteknisk provning gällande. I kombination med data för aktuellt armeringsstål rörande sträckgränsens variation med temperaturen möjliggör figurens kurvor en beräkning av plattans bärförmåga som enkelspänd eller korsarmerad vid varierande täcksiktstjocklek och varierande brandvaraktighet.

4.3 Förenklad teoretisk bestämning av isolerat, metalliskt bärverks brandmotstånd

I [13] framläggs en närmetod för bestämning av temperaturen Θ_s i brandskyddsisolerad metallkonstruktion vid brandpåverkan, som följer en gastemperatur-tidkurva enligt ekv. (4). Metoden förutsätter

- a) en linjär temperaturgradient i isoleringen, vilket gäller bättre ju mindre isoleringstjockleken är,
- b) för såväl metallbärverk som isolering temperaturoberoende värmeledningstal och specifikt värme - en approximation, för vilken i viss utsträckning kan kompenseras genom val av för aktuella temperaturområden representativa medelvärden,
- c) för isoleringen endimensionell värmeledning, vilket gäller bättre ju mindre höreffekterna är.

Närmetodens tillämpning har nu utvidgats till att omfatta brandförloppets samtliga av öppningsfaktorn $A\sqrt{h}/A_t$ bestämda gastemperatur-tidkurvor enligt fig. 21. Därutöver har resultatredovisningen givits en längre driven grad av systematisering.



Armering: St 44, $\sigma_s = 2600 \text{ kp/cm}^2$ vid $\theta_a = 0^\circ\text{C}$, $\sigma_{a_{\text{till}}} = 1500 \text{ kp/cm}^2$
 vid $\theta_a = 0^\circ\text{C}$, $\lambda_a = 1 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\mu = 1\%$ vid $h = 17 \text{ cm}$)
 Betong: K 250, $\sigma_{b_{\text{till}}} = 80 \text{ kp/cm}^2$ vid $\theta_b = 0^\circ\text{C}$

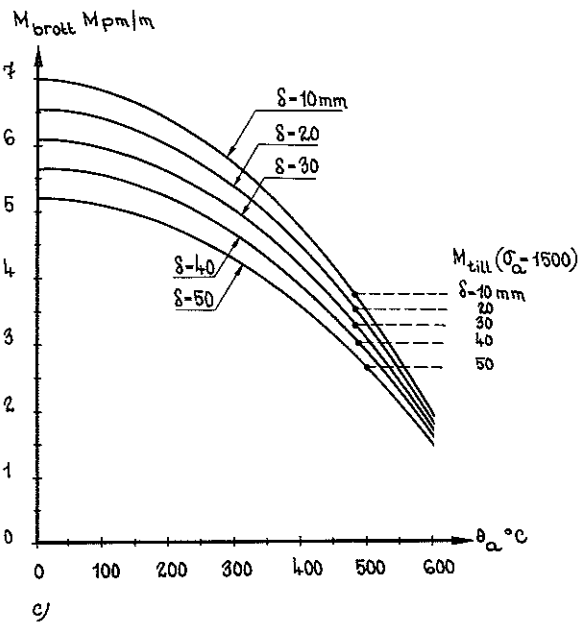
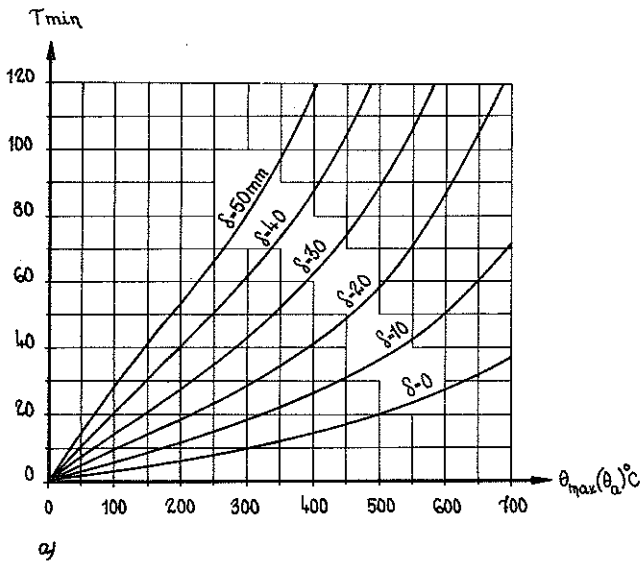
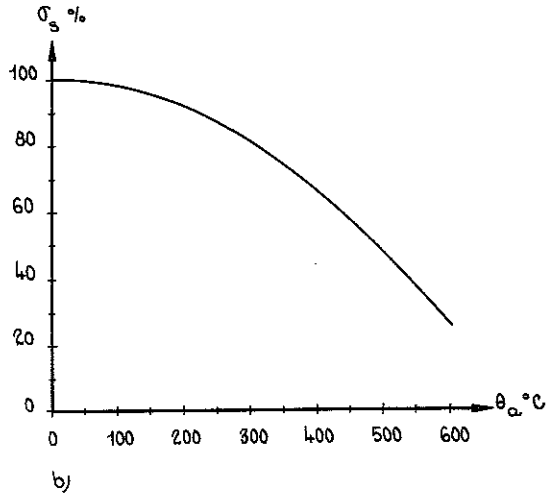


FIG. 27a-c. a) Beräknat samband mellan armeringsstångstemperatur θ_{max} (θ) och brandvaraktighet T vid varierande avstånd δ mellan armeringsstångscentrum och brandutsatt yta för 18 cm tjock betongplatta, ensidigt brandpåverkad vid karakteristiska, som approximativt överensstämmer med de för konventionell, normenlig brandteknisk provning gillande. b) För mjukt armeringsstål gällande, experimentellt bestämt samband mellan varmsträckgräns σ_s och temperatur θ_a . c) För enkelspänd, enkelarmerad betongplatta med tjocklek 18 cm beräknat samband mellan brottböjmoment M_{brott} och armeringsstångstemperatur θ_a vid varierande armeringsstångsnivå δ . Sambandet förutsätter betong av kvaliteten K 250 och armering av St 44 med sträckgräns $\sigma_s = 2600 \text{ kp/cm}^2$ (260 N/mm^2) vid $\theta_a = 0^\circ\text{C}$ och armeringsmängd 1 % vid den effektiva höjden $h = 17 \text{ cm}$. I figuren markeras också för temperaturen 0°C tillåtet böjmoment M_{till} vid tillåten betongtryckspänning $\sigma_b = 80 \text{ kp/cm}^2$ (8 N/mm^2) och tillåten armeringsdragspänning $\sigma_a = 1500 \text{ kp/cm}^2$ (150 N/mm^2).

a) Relationship calculated between temperature of reinforcing bars θ_{max} (θ) and fire duration time T at varying distances δ between the centre of the reinforcing bars and the exposed surface of a 18 cm thick concrete slab, affected by fire on only one side, revealing characteristics which coincide approximately with those of the conventional standardized fire tests. b) Experimentally determined relationship between yield strength in a heated state σ_s and temperature θ_a . c) Calculated relationship between ultimate bending moment M_{brott} and temperature of reinforcing bars θ_a for an 18 cm thick concrete slab stressed and reinforced in one direction only where the level of the reinforcing bars δ varies. The relationship holds provided that the quality of the concrete is K 250 and the reinforcement St 44 with yield limit $\sigma_s = 2600 \text{ kp/cm}^2$ ($\approx 260 \text{ N/mm}^2$), when $\theta_a = 0^\circ\text{C}$ and quantity of reinforcement 1 % when the effective height $h = 17 \text{ cm}$. The permissible bending moment M_{perm} for the temperature 0°C when the permissible stress of concrete under compression $\sigma_b = 80 \text{ kp/cm}^2$ ($\approx 8 \text{ N/mm}^2$) and the tensile stress in the reinforcing bars $\sigma_a = 1500 \text{ kp/cm}^2$ ($\approx 150 \text{ N/mm}^2$) is also indicated in the diagram.

Illustration av framtagna resultat ger fig. 28, vilken för brandpåverkan enligt dels standardbrandkurvan enligt ekv. (4) (fig. a) och dels en gastemperatur-tidkurva, bestämd genom öppningsfaktorn $A\sqrt{t}/A_t = 0,02$ enligt fig. 21 (fig. b) ger sambandet mellan den isolerade metallkonstruktionens temperatur θ_s och brandtiden t vid varierande parametervärden t_1 och RQ . Därvid betecknar

$$Q = Q_s + Q_i + Q_1 \quad \dots (5)$$

$$R = \frac{\delta_i}{\lambda_i \circ_i} \quad \dots (6)$$

$$t_1 = \frac{1}{2} R Q_i \quad \dots (7)$$

$$Q_p = \text{metallkonstruktionens värmekapacitet per längdenhet} = \gamma_s A_s c_{ps} \quad \dots (8)$$

γ_s = det metalliska bärverksmaterialets densitet

A_s = metallkonstruktionens tvärsnittsytta

c_{ps} = det metalliska bärverksmaterialets specifika värme

$$Q_i = \frac{1}{3} \gamma_i \delta_i \circ_i c_{pi} \quad \dots (9)$$

γ_i = isoleringsmaterialets densitet

δ_i = isoleringens tjocklek

\circ_i = omkretsen av isoleringens medellinje

c_{pi} = isoleringsmaterialets specifika värme

λ_i = isoleringsmaterialets värmeledningstal

$$Q_1 = \bar{\alpha}_{pl} V_1 \quad \dots (10)$$

V_1 = mellan isolering och metallbärverk per längdenhet innesluten luftvolym

$\bar{\alpha}_{pl}$ = till volymsenhet hörande specifikt värme för luften.

Via kunskaper för aktuellt bärverksmaterial om sträckgränsens (0,2-gränsens) och elasticitetsmodulens temperaturberoende möjliggör kurvsamband av den refererade typen en snabb beräkning av till godtyckligt vald brandvaraktighet hörande bärförmåga för det isolerade, metalliska bärverket, om detta är statistiskt bestämt.

Vid statistiskt obestämd konstruktionsutförande tillkommer icke oväsentliga komplikationer genom av brandpåverkan orsakade tvångskrafter och genom under brandpåverkan inträdande successiva momentomlagringar i konstruktionen. Problem av denna typ är för närvarande föremål för ett mera ingående studium i ett licentiatarbete av civilingenjör Ali Hosseini, vid institutionen för byggnadsstatik vid LTH, vilket arbete också omfattar en mera noggrann bestämning av vid brandpåverkan uppträdande temperatur i isolerat metalliskt bärverk.

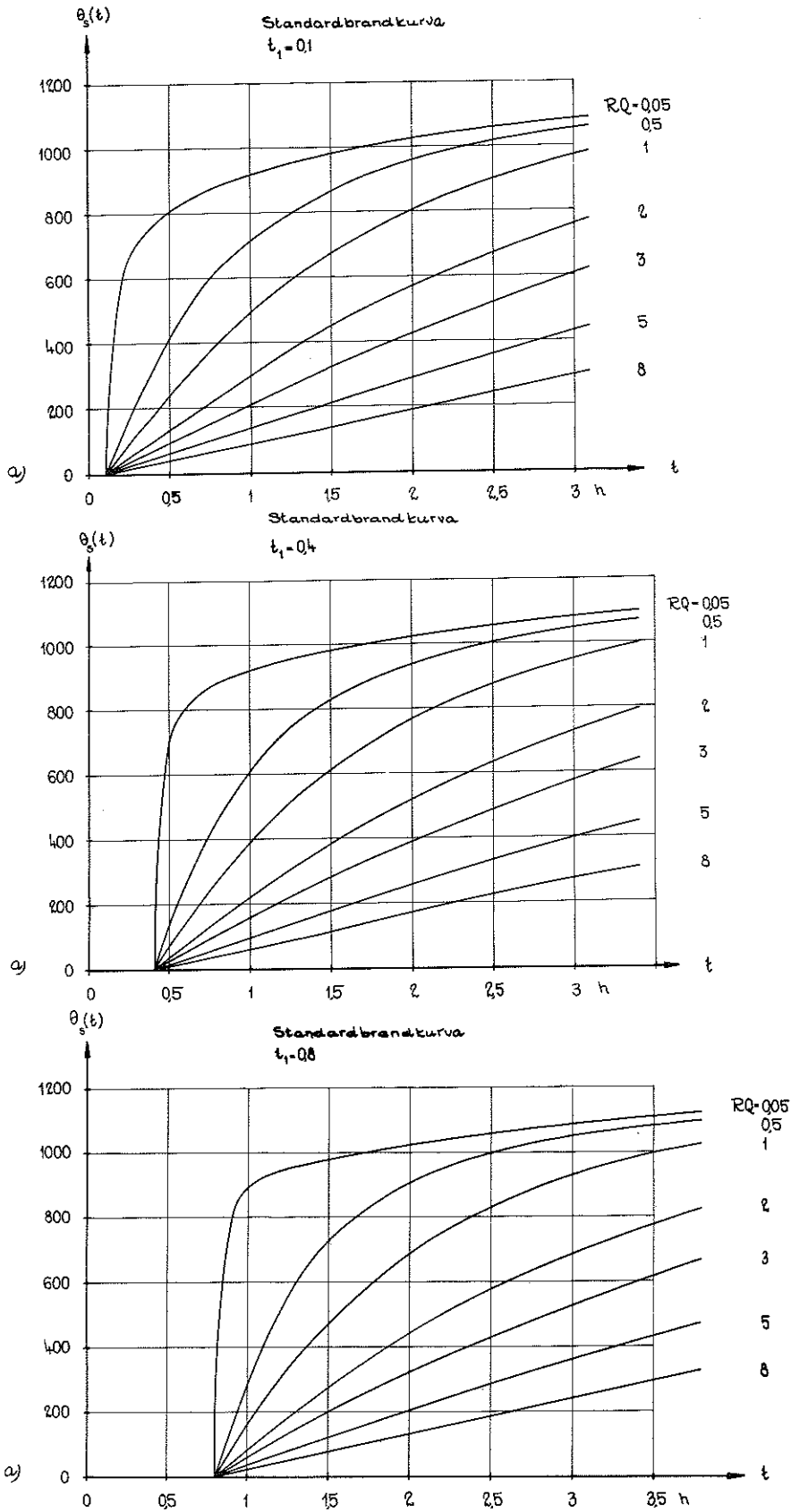


FIG. 28a och b. Teoretiskt beräknat samband mellan metalltemperatur θ_s och brandtid t för isolerat, metalliskt bärverk, utsatt för brandpåverkan med gas-temperatur-tickkurva enligt ekv. (4), fig. 28a, eller enligt den i fig. 21 för öppningsfaktorn $A\sqrt{h}/A_c = 0,02$ angivna kurvan, fig. 28b. Valda parametrar t_1 och RQ definieras ur ekv. (5) - (10) [16].

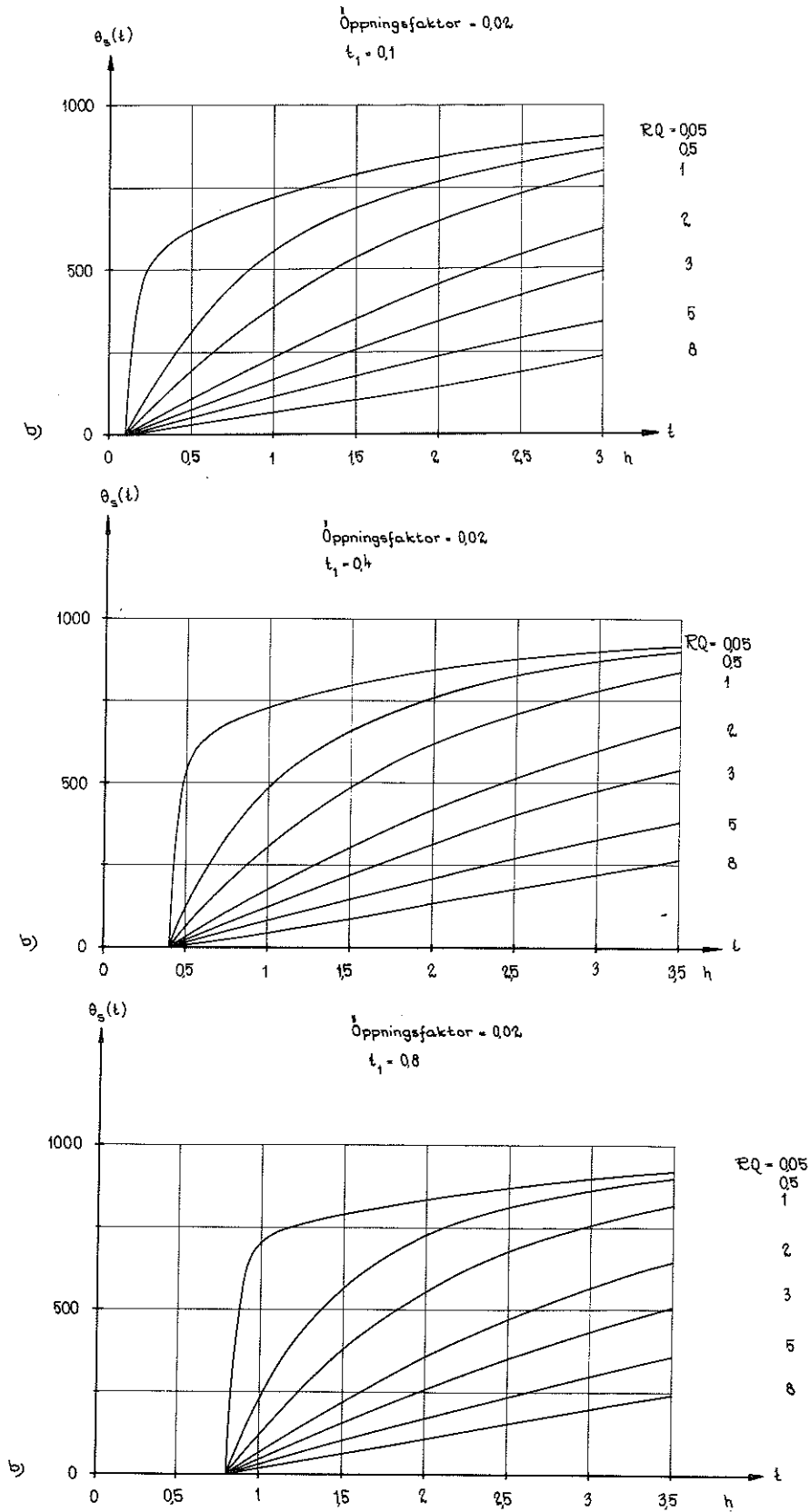


FIG. 28. Theoretically calculated relationship between temperature of metal θ_s and fire duration t for insulated metal structure exposed to fire with gas temperature-time curve in accordance with equ. (4), Fig. 28 a), or in accordance with the curve plotted in Fig. 21 for the opening factor $A\sqrt{h}/A_t = 0.02$, Fig. 28 b). The parameters t_1 and RQ selected are defined using equ. (5) - (10) [16].

4.4 Experimentellt studium av statistiskt verkningssätt för brandpåverkad, statistiskt obestämd, armerad betongkonstruktion

I litteraturen redovisade undersökningar av armerade betongkonstruktioners beteende vid brandpåverkan är med några få undantag, t.ex. [19] och [20], begränsade till att omfatta endast konstruktioner av statistiskt bestämd typ.

En för statistiskt obestämd, armerad betongkonstruktion komplicerande faktor utgörs av tvångskrafter och tvångsmoment som orsakas av en till brandpåverkan hörande, som regel inhomogen, uppvärmning av konstruktionen. Dessa tvångskrafter och tvångsmoment är avhängiga av bl.a. konstruktionens styvhetsfördelning, vilken för en armerad betongkonstruktion vid brandpåverkan kontinuerligt förändras genom av uppvärmning orsakad, successivt tillväxande sprickbildning i dragen betong och successiv minskning av betongens och armeringens elasticitetsmoduler. Likartade omlagringar sker genom en brandpåverkan av det till en yttre belastning hörande kraft- och momenttillståndet. Ytterligare komplikationer ger de genom den kraftiga uppvärmningen starkt accelererade krymp- och krypfenomenen.

För en första principiell detaljanalys av den skisserade problematiken har planerats en experimentell undersökning av ett extremt renodlat fall, nämligen den tvåsidigt mot rotation fast inspända och mot axiell förskjutning helt fria armerade betongplattstrimlan under ensidig brandpåverkan. Inspänningen mot rotation avses därvid provningstekniskt bli realiserad genom kontrollerbara yttre punktmoment. Genom ett sådant arrangemang möjliggörs en kontinuerlig bestämning av den brandpåverkade konstruktionens inspänningsmoment och böjstyvhetsmoment. I undersökningen kommer att varieras brandförlopps-karakteristika, plattjocklek, betongsammansättning, armeringsprocent och täckskiktstjocklek. Såväl utvändigt obelastade som av konstant yttre last påverkade plattstrimlor kommer att ingå i den planerade undersökningen.

Ovan redovisas summariskt med exemplifieringar pågående och planerat, svenskt forsknings- och utvecklingsarbete inom området byggnadstekniskt brandskydd. Redovisade undersökningar faller inom områdena brandbelastning, brandförlopp, materialegenskaper inom för brandpåverkan aktuellt temperaturområde, temperatur-tidfält för brandpåverkade konstruktioner samt brandpåverkade konstruktioners bärförmåga och statistiska verkningssätt.

Den givna redovisningen, vilken på vissa punkter kompletteras av en år 1965 från Statens Provningsanstalts brandtekniska laboratorium utgiven, motsvarande sammanställning över vid denna tidpunkt pågående och nyligen avslutade forsknings- och utvecklingsarbeten inom det förebyggande och släckande brandskyddet [4], kan allmänt sammanfattas på följande sätt.

Som primärkrav för en karakterisering av brandbelastningen måste gälla att de förbränningstekniska förutsättningarna för en brand beskrivs så fullständigt att brandens temperatur-tidförlopp kan tillfredsställande förutberäknas. Ett steg i en utveckling mot en sådan karakterisering utgör den nya brandbelastningsdefinition som införts i försöksnormen Aluminiumkonstruktioner 1966 och i Svensk Byggnorm 1967. På statistiskt underlag baserade studier pågår med uppgift att finna metoder för en ytterligare mera nyanserad och kvalificerad brandbelastningsbeskrivning, som inkluderar uppgifter om tidvariationen för förbränningshastighet samt flammors och rökgasers strålningstal.

För en systematisk kartläggning av brandförloppet i en brandcell har de senaste åren under så renodlade förutsättningar som möjligt genomförts förhållandevis omfattande försöksserier i för ändamålet särskilt uppförda byggnader. Undersökningarna har syftat till en bestämning i fullskala av tidvariationen hos förbränningshastighet, temperatur, strålning, gashastighet och gassammansättning för brandförloppets samtliga faser - antändnings-, flam-, glöd- och avsvalningsfas. Ett experimentellt modell- och fullskalestudium pågår av brand- och rökspredning längs fasad och vertikal ventilationskanal i en flervåningsbyggnad. En teknisk teori har uppställts över värme- och massbalanskvationer, vilken möjliggör en approximativ brandförloppsberäkning, och i uppsatsen redovisas exempel på enligt denna teori beräknade temperatur-tidkurvor för in- och utvändigt brandpåverkade rum.

I de senaste årens brandtekniska forsknings- och utvecklingsarbete i Sverige har teoretiska beräkningar av temperatur-tidfält och bärförmåga för brandpåverkade konstruktioner intagit en förhållandevis framskjuten plats. Därvid angivna metoder och framkomna resultat exemplifieras i uppsatsen för brandpåverkade metalliska bärverk samt bärande konstruktioner i slakarmerad betong och spännbetong.

Pågående och planerade forskningsuppgifter har valts inom ramen för ett på nordiskt initiativ inom Statens Provningsanstalts brandtekniska laboratorium utarbetat långsiktigt program för nordisk brandteknisk forskning. Detta program tjänar

primärt två syften, nämligen dels att stimulera till nordisk forskningssamverkan inom området, dels att styra ett val av forskningsuppgifter i sådan riktning att framkomna resultat i direkt praktisk tillämpning blir väsentliga steg på vägen mot det framtida kvalificerade brandtekniska dimensioneringsförfarande som utgör en nödvändig förutsättning för ekonomiskt optimala lösningar inom ett område av utomordentligt stor samhällsekonomisk betydelse.

För svenskt vidkommande försvåras starkt ett aktivt deltagande i en brandteknisk forsknings- och utvecklingsverksamhet med denna målsättning genom landets synnerligen undermåliga laboratorieresurser för brandteknisk provning och forskning. Statens Provningsanstalts brandtekniska laboratorium, vilket är identiskt med landets samlade, fasta resurser inom området, har i dag lokaler, utrustning och personalomfattning som gör det på ett uppseendeväckande sätt underlägset de brandtekniska laboratorierna i praktiskt taget varje annat land i världen. Icke minst i internationella samarbetssammanhang har detta förhållande under de senaste åren vid ett flertal tillfällen väckt berättigad förvåning.

Författarna till denna redogörelse vill därför avsluta med en innerlig vädjan till statsmakterna att snarast bevilja medel för det nya brandtekniska laboratorium som tidigare äskats och för vilket viss detaljplanering föreligger. Utan ett välutrustat brandtekniskt laboratorium är det icke möjligt att inom landet genomföra det stora antal brandtekniska provningar av byggnadsdelar som inom mycket snar framtid kommer att bli nödvändiga om anvisningarna i Svensk Byggnorm 1967 skall kunna följas. Utan ett välutrustat brandtekniskt laboratorium är det i framtiden icke möjligt för Sverige att på ett fruktbart sätt delta i nordiskt och internationellt brandtekniskt forskningssamarbete. Utan ett välutrustat brandtekniskt laboratorium förlorar Sverige mycket snart det synnerligen gynnsamma utgångsläge för påverkan av den internationella brandtekniska forskningen som landet nu tillskapat sig genom att ange nya principer för en mera funktionellt betingad brandteknisk dimensionering.

LITTERATUR

- [1] Pettersson, O., Den byggnadstekniska brandforskningen i dag och i framtiden. Gullkornet nr 2 och 5, Stockholm 1964.
- [2] Pettersson, O., Structural Fire Engineering Research Today and Tomorrow. Acta Polytechnica Scandinavica, Civil Engineering and Building Construction Series No. 33, Stockholm 1965.
- [3] Pettersson, O., General Programme for Scandinavian Long-Term Fire Engineering Research. National Swedish Institute for Materials Testing, Proceeding No. 129, Stockholm 1964.
- [4] Larsson, G. & Pettersson, O., Summarisk redogörelse över i Sverige pågående och nyligen avslutade forsknings- och utvecklingsarbeten rörande förebyggande och släckande brandskydd. Statens Provningsanstalt, brandtekniska laboratoriet, Stockholm 1965.
- [5] Aluminiumkonstruktioner - försöksnorm och kommentarer, utarbetade av SVRs Aluminiumnormkommitté. Stockholm 1966.
- [6] Önermark, B. & Altvall, L.E. & Bergström, G. & Götherskjöld, L., Brandrisken i bostadsrum efter värmebestrålning från kärnladdningsexplosioner. FOA 4, Rapport A 4404-4612, Stockholm, december 1964.
- [7] Ödeen, K., Teoretisk bestämning av temperaturförloppet i några av brand påverkade konstruktioner. Byggnästaren nr 4, Stockholm 1963.
- [8] Ödeen, K. & Nordström, Å., Brand- och rökspridning längs fasader och i ventilationskanaler. Delrapport I, Instrumentering. Statens Provningsanstalt, brandtekniska laboratoriet 1967:2, Stockholm 1967.
- [9] Thomas, P.H. & Hinkley, P.L. et al. Investigations into the Flow of Hot Gases in Roof Venting. Fire Research Technical Paper No. 7, London 1963. - Design of Roof-Venting Systems for Single-Storey Buildings. Fire Research Technical Paper No. 10, London 1964.
- [10] Ödeen, K., Theoretical Study of Fire Characteristics in Enclosed Spaces. Division of Building Construction, Royal Institute of Technology, Bulletin No. 10, Stockholm 1963.

- [11] Pettersson, O., Pågående arbete med normer för aluminiumkonstruktioner. Väg- och vattenbyggaren nr 6, Stockholm 1967.
- [12] Ödeen, K., Betongfasaders motståndsförmåga mot brand. Nordisk Betong nr 2, Stockholm 1964.
- [13] Pettersson, O., Utvecklingstendenser rörande brandteknisk dimensionering av stålkonstruktioner. Väg- och vattenbyggaren nr 6, Stockholm 1964.
- [14] Ödeen, K., Beräkning av icke-stationär, tvådimensionell värmeledning i brandutsatta konstruktioner. Väg- och vattenbyggaren nr 11, Stockholm 1964.
- [15] Lindblad, A. & Pettersson, O. & Schmidt, B. & Ödeen, K., Brand i magasin 6 i Stockholms Frihamn. Väg och vattenbyggaren nr 12, Stockholm 1966.
- [16] Pettersson, O., Isolerade metalliska bärverks brandmotstånd. Gyproc-Nytt nr 2, 1967.
- [17] Ödeen, K., Brandmotstånd hos TF-plattor. Rapport U63-3856 C, Brandtekniska laboratoriet, Statens Provningsanstalt, Stockholm 1967.
- [18] Magnusson, S.E. & Pettersson, O., Preliminary Report of Some Theoretical Studies for Structural Elements of the Effect on Their Fire Resistance of Variations of Time-Temperature Curve for the Cooling Down Period. Lund 1967.
- [19] Carlson, C.C. & Selvaggio, S.L. & Gustaffero, A.H., A Review of Studies of the Effects of Restraint on the Fire Resistance of Prestressed Concrete. Feuerwiderstandsfähigkeit von Spannbeton. Ergebnisse einer Tagung der FIP in Braunschweig, Juni 1965. Wiesbaden-Berlin 1966.
- [20] Elm, H. & von Postel, R., Versuche an Stahlbetonkonstruktionen mit Durchlaufwirkung unter Feuerangriff. Feuerwiderstandsfähigkeit von Spannbeton. Ergebnisse einer Tagung der FIP in Braunschweig, Juni 1965. Wiesbaden-Berlin 1966.
- Fire Resistance of Prestressed Concrete Double T. Units. Acta Polytechnica Scandinavica, Civil Engineering and Construction Series No. 48, Stockholm 1968.

CONCLUDING REMARKS

This report provides a summary description and examples of Swedish research and development work on fire protection in the field of structural engineering. The investigations described fall under the headings fire load, the process of fire development, properties of materials within the temperature range due to an effect produced by fire, temperature-time zone, load-bearing capacity and static behaviour of structures exposed to fire.

The account given of this work can be supplemented on certain points by a similar description of research and development projects then in progress or recently completed on preventing and extinguishing of fire [4], published by the Fire Engineering Laboratory at the National Swedish Institute for Materials Testing in 1965 and can be summed up as follows.

A primary requirement when describing a fire load is that it gives the condition for a fire from the point of view of combustion engineering so completely that its temperature-progress in terms of time can be precalculated satisfactorily. One step in the development towards such a description is the new definition of fire load which was introduced into the standard, Aluminiumkonstruktioner 1966 (Aluminium Constructions 1966), and into Svensk Byggnorm 1967 (Swedish Building Norm 1967). Studies based on statistical data are in progress, the object of which is to find methods of obtaining an even more detailed and qualified description of fire load, including particulars of the variation in time for the rate of burning and radiation coefficient of flames and flue gases.

In recent years, relatively extensive series of tests have been carried out under the purest possible conditions in specially erected buildings, for the purpose of making a systematic survey of the process of fire development in an enclosed space. The aim of the investigation was to achieve a full-scale definition of rate of burning, temperature, radiation, speed of the gaseous products of combustion and their composition for all phases in the process of fire development, i.e. ignition, flames, smouldering and cooling. An experimental full-scale model study of spread of fire and smoke along the front and up the vertical ventilating duct of a multi-storey building is now in progress. A technical theory has been put forward for heat and mass balance equations which makes it possible to achieve an approximate calculation of the process of fire development. Examples are given in the report of temperature-time curves for rooms exposed to fire both inside and out, which were calculated according to this theory.

Theoretical calculations of temperature-time range and load-bearing capacity of structures exposed to fire have assumed a relatively prominent place

in Swedish fire engineering research and development work in recent years and examples are given in this paper of methods and results from this relating to metal structures and structures in ordinary reinforced and prestressed concrete exposed to fire.

Research projects, both those in progress and these still at the planning stage have been chosen with regard to a long-term programme for Scandinavian fire engineering research drawn up on Scandinavian initiative by the Fire Engineering Laboratory at the National Swedish Institute for Materials Testing. This programme serves, in the first place, two purposes; it stimulates Scandinavian co-operation in research on this subject and it also guides the choice of research projects in such a direction that the results obtained in direct practical application are important steps on the road to the future qualified dimensioning process for fire engineering which is a necessary condition for the best economic solutions in a field of particular importance for national economy.

As far as Sweden is concerned, active participation in fire engineering research and development activity is heavily difficult as a consequence of the acute deficiencies in laboratory resources for fire engineering tests and research. The Fire Engineering Laboratory at the National Swedish Institute for Materials Testing, which corresponds to the total permanent resources in this field in the country, has today facilities regarding premises, equipment and staff which make it scandalously inferior to the fire engineering laboratories in practically every other country in the world. This situation has aroused justifiable astonishment on several occasions during the last few years, not least in cases of international collaboration.

The authors of this paper would like, therefore, to conclude with a serious appeal to the government authorities to grant funds as soon as possible for the new fire engineering laboratory which has been requested and for which some detailed planning has already been done. Without a well-equipped fire engineering laboratory, it is impossible to carry out the large number of fire tests on structural elements, which will be made necessary in this country in the very near future through the Svensk Byggnorm (Swedish Building Norm) 1967, published by the National Swedish Board of Urban Planning. Without a well-equipped fire engineering laboratory, it will be impossible for Sweden to participate in future Scandinavian and international joint fire engineering research. Without a well-equipped fire engineering laboratory, Sweden will soon lose the particularly favourable initial position for influencing international fire engineering research which she has acquired by publishing new principles for a more functional dimensioning for fire engineering.

Brandtekniks IT-Bibliotek, LTH

