



# LUND UNIVERSITY

## Brandteknisk dimensionering av isolerad stålkonstruktion i bärande eller avskiljande funktion

Magnusson, Sven Erik; Pettersson, Ove

1969

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Magnusson, S. E., & Pettersson, O. (1969). *Brandteknisk dimensionering av isolerad stålkonstruktion i bärande eller avskiljande funktion*. (Bulletin of Division of Structural Mechanics and Concrete Construction, Bulletin 10; Vol. Bulletin 10). 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

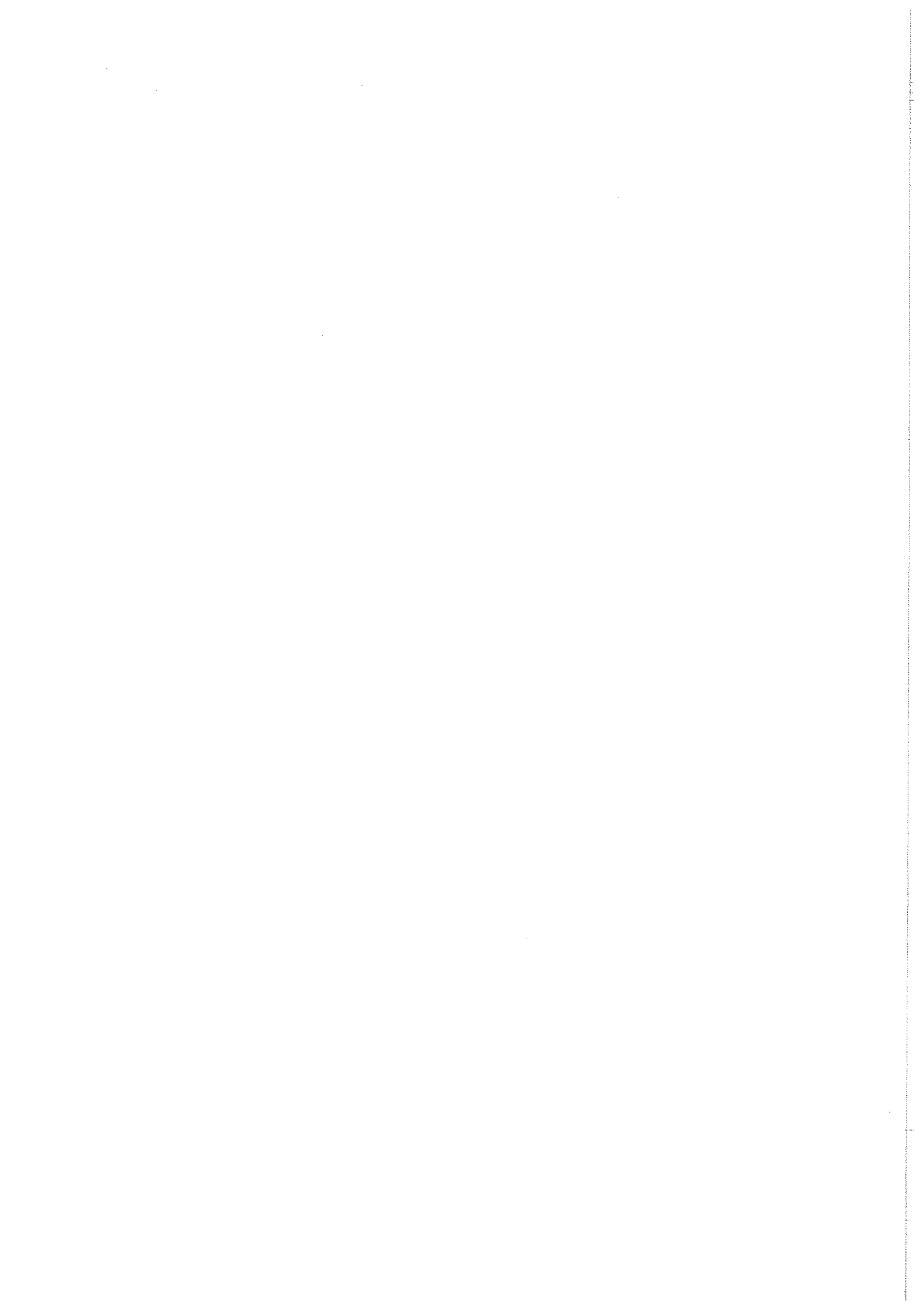
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

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

SVEN-ERIK MAGNUSSON — OVE PETTERSSON

BRANDTEKNISK DIMENSIONERING AV ISOLERAD STÅLKONSTRUKTION  
I BÄRANDE ELLER AVSKILJANDE FUNKTION



# Brandteknisk dimensionering av isolerad stålkonstruktion i bärande eller avskiljande funktion

Av forskningsingenjör, fil mag Sven-Erik Magnusson och professor, tekn dr Ove Pettersson, LTH

Genom brandskyddsavsnitten i försöksnormen "Aluminiumkonstruktioner" och i Svensk Byggnorm 67 har de svenska myndigheterna framsynt öppnat vägen för en angelägen utveckling i riktning mot en i förhållande till det internationella nuläget mera funktionellt betingad, kvalificerad brandteknisk dimensionering av bärande och avskiljande konstruktioner.

Allmänt föreskriver de båda normhandlingarna därvid ett teoretiskt eller experimentellt påvisande av att brandpåverkad konstruktion med hänsyn till gällande karakteristika för brandbelastning, brandförlopp och brandvaraktighet uppfyller ställda krav. För en bärande konstruktion innebär detta ett påvisande av att bärverket ej kollapsar under brandförloppets flamfas eller därpå följande avsvalningsfas. För en avskiljande konstruktion innebär de med hänsyn till brandmotstånd normenligt ställda fordringarna dels ett krav på täthet mot genomsläpp av eldslågor och dels ett krav, för såväl flamfas som avsvalningsfas, beträffande maximal temperaturökning på den från branden vända sidan av konstruktionen. Risken för brandspridning via den avskiljande konstruktionen till angränsande brandcell bedöms därvid vara praktiskt försumbar vid den nämnda temperaturökningen begränsad till 140° C.

Generellt medger de båda normhandlingarna vid brandcell med noggrant kända värden för brandbelastningens sammansättning och förbränningshastighet en behandling baserad på en gastemperatur-tid-kurva för brandförloppet, som bestämts ur värme- och massbalansekvationer eller på annat sätt med hänsyn tagen till de termiska egenskaperna för brandcellens omslutande och inneslutna konstruktioner.

Vidare medger normhandlingarna ett i förhållande till en sådan mera generell behandling något förenklat, nyanserat brandtekniskt dimensioneringsförfarande vid brandcell med förutsebar öppningsfaktor och med brandbelastning, vars förbränningshastighets- och strålningskarakteristika approximativt överensstämmer med de för träbränsle gällande. Så kan anses vara fallet, om brandbelastningens medelförbränningshastighet  $R_{medel}$  ligger inom området

$$(1) \quad 20 A\sqrt{h} \leq R_{medel} \leq 30 A\sqrt{h}$$

Mcal/min

med  $A$  = sammanlagd öppningsyta (fönster, dörrar, rökluckor, ventilationsöppningar och andra öppningar) i m<sup>2</sup> 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  $\vartheta_t$ , som bestäms genom öppningsfaktorn  $A\sqrt{h}/A_t$  enligt fig 1 under en genom sambandet

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

given brandvaraktighet  $T$ . Därvid betecknar  $q$  brandbelastningen i Mcal/m<sup>2</sup> och  $A_t$  brandcellens totala omslutningsyta i m<sup>2</sup>. Figurens gastemperatur-tid-kurvor har beräknats med av Ödeen [1] angiven teori för en brandcell med termiska egenskaper för omslutande konstruktioner, som är för betong, tegel eller lättbetong approximativt representativa, och med en antagen förbränningshastighet, som under brandförloppets antändningsfas växer med tiden  $t$  enligt en polygonformad kurva

och under flamfasen har det konstanta värdet [2]—[4] m fl.

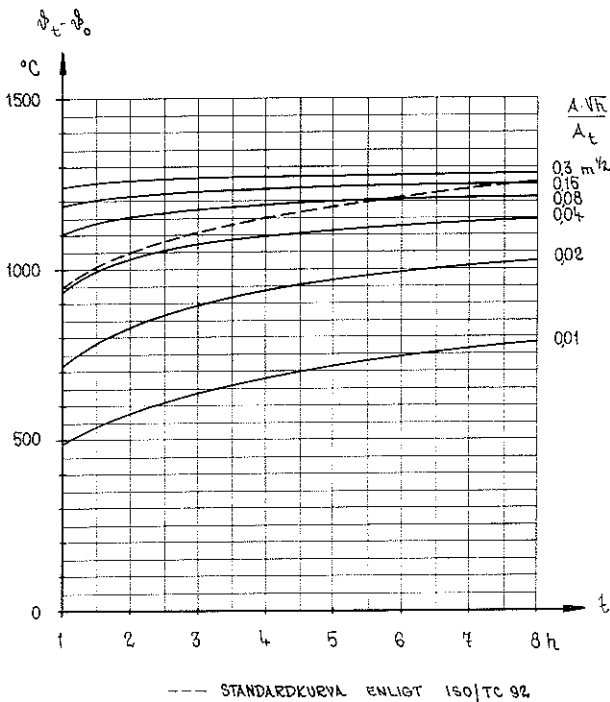
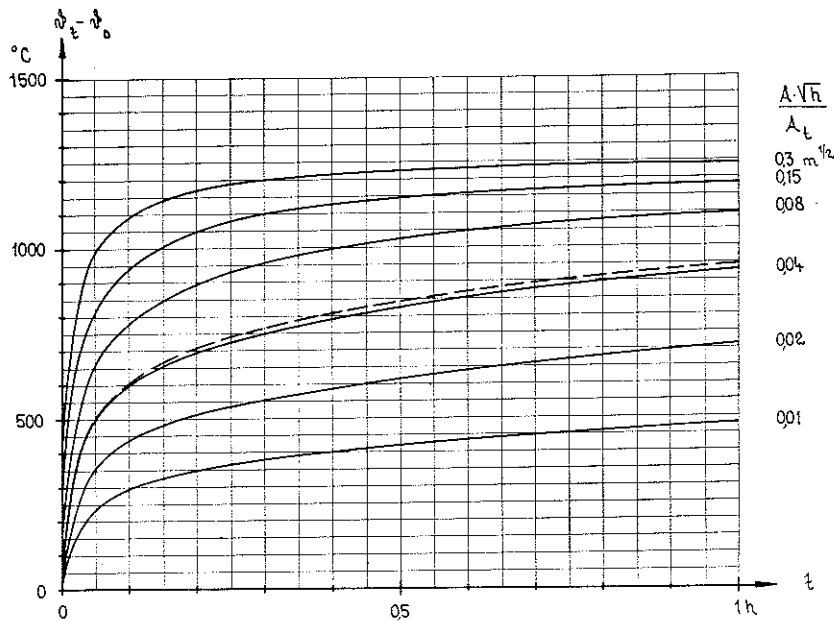
$$(3) \quad R = 5,5 A\sqrt{h} \text{ kg trä/min}$$

I figuren har för jämförelse som streckmarkerad inlagts den till brandteknisk klassificering hörande gastemperatur-tid-kurvan, vilken generellt och onyanserat för närvarande reglerar brandteknisk dimensionering av byggnader och byggnadsdelar i samtliga länder utom Sverige. Av jämförelsen framgår, att kurvan ungefär beskriver en reell träbrand i brandcell med öppningsfaktorn 0,04 m<sup>1/2</sup>.

Någon nyanserad föreskrift eller rekommendation för brandförloppets avsvalningsfas var ej möjlig att utarbeta vid tidpunkten för tillkomsten av försöksnormen "Aluminiumkonstruktioner" eller Svensk Byggnorm 67. Förhållandet har medfört som konsekvens en grov avsvalningsfaskarakterisering genom en linjär temperaturminskning med 10° C/min, generellt tillämpbar för normernas samtliga brandtekniska dimensioneringsalternativ. Då en bärande eller avskiljande konstruktion skall kunna fullgöra sin funktion såväl under brandförloppets uppvärmningsfas som under dess avsvalningsfas, är den rådande normmässiga obalansen mellan de båda fasernas temperatur-tid-karakteristika självfallet i hög grad otillfredsställande. Speciellt för konstruktioner med liten värmetröghet, t ex oisolerade eller lätt isolerade stål-bärverk, är en avsaknad av ett nyanserat dimensioneringsunderlag för brandförloppets avsvalningsfas starkt ogynnsam.

I stora drag kan en normmässigt förankrad, kvalificerad brandteknisk dimensionering av en bärande konstruktion beskrivas genom etapperna [5]—[9].

Fig 1. I försöksnormen "Aluminiumkonstruktioner" och Svensk Byggnorm 67 föreskrivet samband mellan brandcellstemperatur  $\vartheta_t$  och brantid  $t$  för varierande öppningsfaktor  $A\sqrt{h}/A_t$  vid brandbelastning av träbränsletyp.  $\vartheta_0$  = brandcellstemperaturen vid  $t=0$



a) Val av för aktuellt fall representativa förbränningskaraktäristika för i brandrummet förekommande brännbart material (brandbelastningen),

b) Bestämning för dessa förbränningskaraktäristika av tidkurvan för det fullständiga brandförloppets brandrumstemperatur med möjligast noggrant beaktande av brandrumsvolym, storlek och form av fönster- och dörröppningar samt värmetröghets- och strålningsegenskaper för väggar, golv, tak och i brandrummet inneslutna konstruktioner,

c) Teoretisk beräkning för enligt b) bestämd temperatur-tid-kurva för brandrummet av tillhörande temperatur-tid-kurva för av branden påverkat bärverk samt

d) Bestämning på grundval av enligt c) beräknad temperatur-tid-kurva och kunskaper om bärverksmaterialens hållfasthets- och deformationsegenskaper inom för brand aktuellt temperatur-område av den tidpunkt, vid vilken för aktuell arbetsspänning brott inträffar, eller alternativt av den tillgällande brandförlopp hörande minsta bärförmågan för bärverket.

För en avskiljande konstruktion begränsas en motsvarande, kvalificerad brandteknisk dimensionering till etapperna a, b och c.

En brandteknisk dimensionering enligt de skisserade, principiella riktlinjerna är för närvarande praktiskt genomförbar i vissa fall. En angelägen vidgad tillämpning av dimensioneringsförfarandet förutsätter en väsentlig utbyggnad av nuläget kunskapsunderlag inom området. Ett betydelsefullt delproblem för omfattande insatser utgör därvid brandbelastningen, för vilken krävs dels statistiska inventeringar för med hänsyn till användningsområde vanligare lokal- och byggnadstyper och dels förbränningstekniska

Fig 2. För plan 2—5 av Boo Annexsjukhus gällande frekvens av kombinationer öppningsfaktor  $A\sqrt{h}/A_t$ —brandvaraktighet  $T$

A $\sqrt{h}$ A <sub>t</sub>	Brandvaraktighet T i min																								
	5	6	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100	∞	
001																									
002																									
003																									
004																									
005																									
006																									
007																									
008																									
009																									
010																									
012																									
014																									
016																									
018																									
020																									
025																									
030																									

\*) Avser 6 min + brandvaraktighet + 6 min etc.

undersökningar med målsättningen att leda till en detaljerad brandbelastningskaraktisering med en redovisning av såväl värmevärde som tidsvariationen för hela brandförloppet av förbränningshastighet samt flammors, glödande partiklars och rökgasers strålningstal. Ett annat väsentligt delproblem, som med hög prioritet måste lösas för en vidgad tillämpning av det skisserade dimensioneringsförfarandet, utgör en kombinerad teoretisk och experimentell bestämning av nyanserade temperatur-tid-kurvor för brandförloppets avsvältningsfas. Ytterligare delproblem av väsentlig betydelse för en kvalificerad brandteknisk dimensionering av stålkonstruktioner, som fordrar ett omfattande forsknings- och utvecklingsarbete, finns inom områdena isoleringsmaterialens termiska och mekaniska egenskaper vid för brandpåverkan aktuella temperaturer samt de brandpåverkade, statistiskt obestämda stålbärverkens verkningssätt och bärformåga. Av hög angelägenhetsgrad är slutligen teoretiska insatser, som syftar till ett systematiserat, möjligast fullständigt underlag, som för den praktiskt verksamme konstruktören kan underlätta en noggrann och nyanserad bestämning av brandpåverkad konstruktions temperatur-tid-fält och bärformåga.

I avsikt att något mera i detalj belysa en normmässigt förankrad, kvalificerad brandteknisk dimensionering av bärande eller avskiljande konstruktion och också det för en vidgad tillämpning av en sådan dimensionering erforderliga forsknings- och utvecklingsarbetets problemställningar exemplifieras i det följande en av författarna genomförd, noggrann brandteknisk dimensionering av Boo annexsjukhus.

Sjukhuset, vars konstruktiva data

framgår av en summarisk artikel i Väg- och vattenbyggaren 11/1968, har utformats med primärbärning av gipsplattisolerade stålpelare och stålbalkar och med brandavskiljande innerväggar av icke bärande typ, uppbyggda av en lätt stålprofilstomme med på varje sida 2 st 13 mm gipsplattor.

Dimensioneringen bygger på de i försöksnormen "Aluminiumkonstruktioner" och i Svensk Byggnorm 67 för brandförloppets uppvärmningsfas för varierande öppningsfaktor  $A\sqrt{h}/A_t$  angivna gastemperatur-tid-kurvorna (fig 1), kompletterade med ur brandcellens värme- och massbalansekvationer beräknade, redovisningstekniskt något förenklade temperatur-tid-kurvor för brandförloppets avsvältningsfas. Med utgångspunkt från dessa nyanserade temperaturkurvor för brandcellen har sedan genomförts en noggrann beräkning av brandpåverkade bärande och avskiljande konstruktioners temperatur-tid-fält över de till elementindelad konstruktion hörande värmebalansekvationerna i differensform. Därvid har beaktats temperaturberoende för isolerings- och stålmaterialens termiska egenskaper, effekt av i isoleringen initieellt inneslutet vattens bortgång samt kritisk temperatur för gipsplattisoleringens sönderfall. För byggnadens bärande stålpelare och stålbalkar har därpå de bestämda temperatur-tid-sambanden via kunskaper om aktuellt stålmaterials hållfasthets- och deformationsegenskaper vid förhöjd temperatur beräkningsmässigt översatts till bärformåga.

### 1. Dimensioneringsföretsättningar

#### 11. Brandbelastning och brandförlopp

För sjukhusets olika brandceller aktuell brandbelastning illustreras av

den i fig 2 återgivna frekvenssammanställningen, vilken omfattar för sjukhusets plan 2—5 gällande kombinationer av öppningsfaktor  $A\sqrt{h}/A_t$  och brandvaraktighet  $T$ , beräknad ur ekv (2). Av dessa kombinationer har vid den brandtekniska dimensioneringen detaljstuderats 12 st med tillhörande brandförlopps-karakteristika för uppvärmnings- och avsvältningsfas enligt fig 3.

Uppvärmningsperiodens temperatur-tid-kurvor har därvid valts med hänsyn till aktuell öppningsfaktor enligt försöksnormen "Aluminiumkonstruktioner" eller Svensk Byggnorm 67. Till avsvältningen hörande del av temperatur-tid-kurvorna har valts på grundval av resultat från teoretiska beräkningar, baserade på brundrummets värme- och massbalansekvationer. För brandvaraktighet  $\leq 60$  min ger en förenklad tolkning av dessa resultat en avsvältning, som innebär en temperaturminskning av 50 % under avsvältningsfasens första 6 min och därefter en linjär avsvältning, svarande mot en temperaturminskning av 300° C/h. För brandvaraktighet  $> 60$  min har beräkningarna baserats på en linjär avsvältningskurva med en temperaturminskning av 600° C/h.

#### 12. Termiska materialegenskaper

För stålmaterialiets specifika värme  $c_{ps}$  vid beräkningarna tillämpat temperaturberoende har valts enligt litteraturuppgifter; jfr tex [7].

För gipsplattornas värmeledningstal  $\lambda$  har på grundval av bestämmingar, utförda vid Statens Provvningsanstalt och Höganäs AB, valts ett temperaturberoende enligt fig 4a. Vid beräkningarna tillämpat entalpi-temperatursamband för gipsplattorna framgår av fig 4b. Sambandet, vilket differentie-

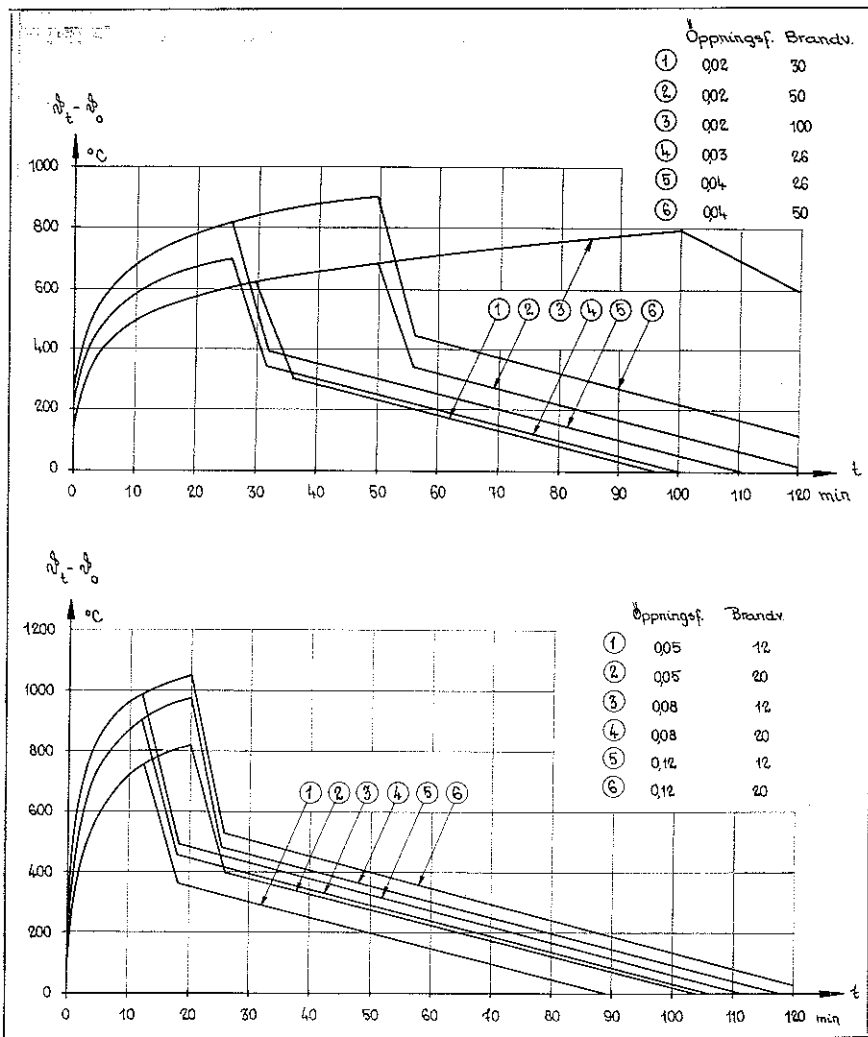


Fig 3. För olika kombinationer öppningsfaktor-brandvaraktighet aktuella kurvsamband mellan brandcellstemperatur  $\vartheta_t$  och brandtid  $t$  för brandförloppets uppvärmnings- och avsvlningsfaser.  $\vartheta_0$  = brandcellstemperaturen vid  $t=0$

Fig 4. Värmeledningstalets  $\lambda$  och entalpins  $I$  variation med temperaturen  $\vartheta$  för gipsplatta

rats med hänsyn till snabb och långsam uppvärmning, har därvid konstruerats på grundval av dels litteraturuppgifter [10] och dels försöksresultat, framtagna vid Statens Provningsanstalt.

För i byggnadens stålbalksbjälklag ingående betongplatta har vid den brandtekniska dimensioneringen tillämpats ett av temperaturen  $\vartheta$  beroende värmeledningstal  $\lambda_b$ , bestämt ur sambandet [11]

$$(4) \quad \lambda_b = 1,4 e^{-0,001 \vartheta} \text{ kcal/mh}^\circ \text{C}$$

och ett specifikt värme  $c_{pb}$ , som på grundval av vid Statens Provningsanstalt utförda provningar getts en linjär variation med temperaturen  $\vartheta$  från 0,20 vid  $0^\circ \text{C}$  till 0,23 kcal/kg $^\circ \text{C}$  vid  $1000^\circ \text{C}$ .

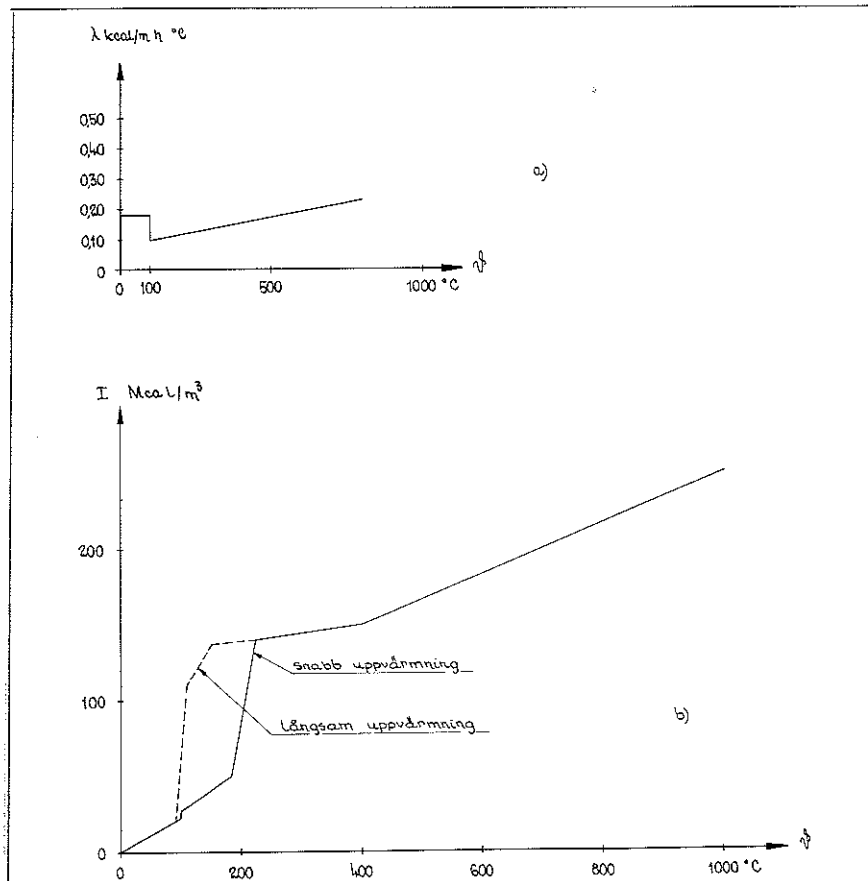
### 13. Värmeövergångsförhållanden

För värmeövergångstalet  $\alpha_i$  vid brandutsatt yta gäller det för ordinära praktiska beräkningar tillräckligt noggranna uttrycket

$$(5) \quad \alpha_i = 25 + \frac{4,96 \varepsilon_r}{\vartheta_t - \vartheta_{su}} \left[ \left( \frac{\vartheta_t + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\vartheta_{su} + 273}{100} \right)^4 \right] \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ \text{C}$$

uppbyggt av en konstant konvektionsandel och en temperaturberoende strålningsandel, bestämd genom Stefan-Boltzmanns strålningslag. I uttrycket betecknar  $\vartheta_t$  brandrumstemperaturen,  $\vartheta_{su}$  brandutsatt ytas temperatur och  $\varepsilon_r$  det resulterande emissionstalet, vilket beror av dels brandgasers, flammors eller glödande partiklars emissionstal  $\varepsilon_f$  och dels brandutsatt ytas emissionstal  $\varepsilon_{su}$  enligt sambandet

$$(6) \quad \frac{1}{\varepsilon_r} = \frac{1}{\varepsilon_f} + \frac{1}{\varepsilon_{su}} - 1$$



Den aktuella dimensioneringsuppgiften har lösts med utgångspunkt från värdena  $\varepsilon_f = 0,3$  och  $\varepsilon_{su} = 0,8$ , vilket enligt ekv (6) för det resulterande emissionstalet innebär  $\varepsilon_r = 0,28$ .

På grundval av litteraturuppgifter och i sammanhanget aktuella provningsresultat har vämeövergångstalet för icke brandutsatt yta av avskiljande vägg och bärande bjälklagskonstruktion  $a_u$  valts enligt sambandet.

$$(7) \quad a_u = 7,5 + 0,028 \vartheta_u \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ \text{ C}$$

#### 14. Kritisk temperatur för gipsplattas sönderfall

Av vid Statens Provningsanstalt utförda försök framgår, att ensidigt brandpåverkad, icke fiberarmerad gipsplatta sönderfaller, då temperaturen på icke brandutsatt sida uppgår till ca  $550^\circ \text{ C}$  vid vertikal applicering och till ca  $500^\circ \text{ C}$  vid horisontal applicering. För fiberarmerade gipsplattor är experimentellt styrkt en motsvarande kritisk temperatur av ca  $550^\circ \text{ C}$  vid horisontal applicering. För vertikalt placerad, fiberarmerad gipsplatta föreligger inga experimentella resultat. Det förefaller dock rimligt att förutsätta en något högre kritisk temperatur än för motsvarande horisontal placering.

För de nedan redovisade beräkningarna har valts en med hänsyn till gipsplattas sönderfall kritisk temperatur på icke brandutsatt sida av  $550^\circ \text{ C}$ , vilket för horisontalt placerad platta förutsätter fiberarmerad variant. För vertikalt placerad gipsplatta innebär beräkningsförutsättningen ett fritt val av antingen fiberarmerad eller icke fiberarmerad gipsplatta. För vissa kombinationer öppningsfaktor—brandvaraktighet har dock, vad gäller vertikalt placerad gipsplatta i vägg- eller pelarsammanhang, utförts en parallell beräkning med en kritisk temperatur av

$600^\circ \text{ C}$  på icke brandutsatt sida — en förutsättning, som syns rimlig vid fiberarmerad gipsplatta.

#### 2. Beräkningsförfarande

Vid beräkning av temperaturfälten för aktuella konstruktioner — avskiljande vägg, bärande pelare och bärande takkonstruktion — gäller i princip att finna en lösning till den endimensionella värmeledningsekvationen

$$(8) \quad c_p(\vartheta) \gamma \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_x(\vartheta) \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \right)$$

Ordinärt tillvägagångssätt är därvid en diskretisering av både rums- och tidsvariabeln  $x$  och  $t$ , varigenom den partiella differentialekvationen (8) förvandlas till ett ekvationssystem, som sedan löses antingen på explicit väg, då speciell uppmärksamhet måste ägnas lösningens stabilitet, eller genom någon lämplig implicit metod, t ex Crank — Nicolson.

Ett sådant tillvägagångssätt medför emellertid i detta fall betydande svårigheter genom att ingående materialkonstanter är starkt temperaturberoende och därigenom gör ekvationssystemet icke-linjärt samt genom att beräkningarna omfattar konstruktionsdelar, sammansatta av olika material, mellan vilka olika slag av värmetransporter förekommer, vilket gör en beskrivning av randförhållandena komplicerad.

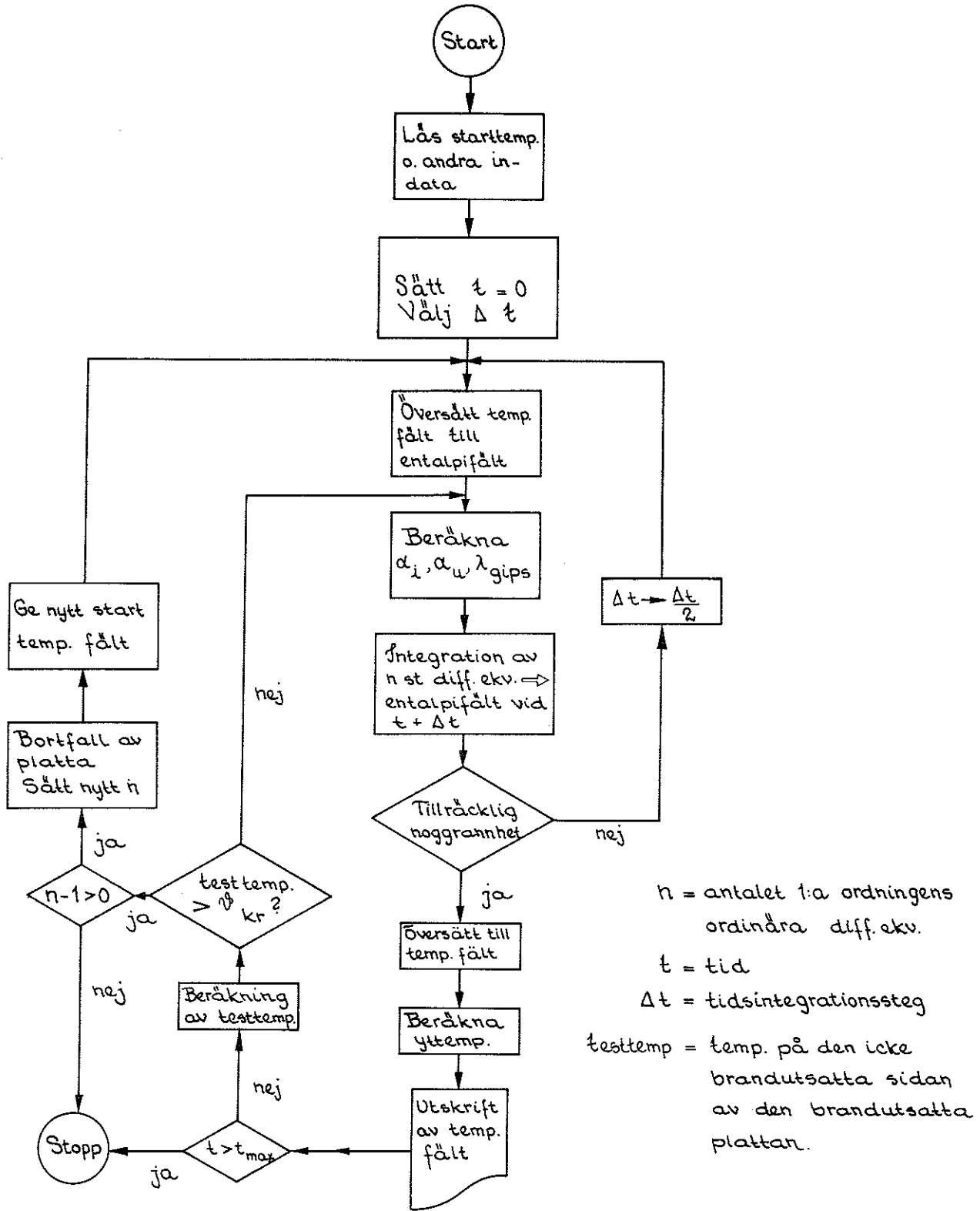
Temperaturfälten har därför i stället beräknats efter principer, som redan 1935 angetts av Odemark [12] och som sedan modifierats och vidareutvecklats för bl a beräkningar på datamaskin av olika författare. Tekniken innebär, att aktuell konstruktion indelas i element — för t ex här föreliggande avskiljande väggkonstruktion naturligen 5 element, nämligen gipsplatta + gipsplatta + luftspalt med stål-

profil + gipsplatta + gipsplatta. För varje element tecknas värmebalans-ekvationen, dvs uttryck uppställs för de värmemängder, som under ett kort tidssteg  $\Delta t$  går in i respektive passerar ut ur elementet, samt för till därvid funnen värmemängdsdifferens hörande uppvärmning eller avsvälning  $\Delta \vartheta$  av elementet [7], [11] och [12]. På detta sätt för den samlade konstruktionen erhållna värmebalanssamband ger ett system av första ordningens differentialekvationer, där antalet ekvationer är lika med antalet element och de obekanta utgörs av temperaturen i varje elements mittnytt. Förfarandet innebär, att i första steget enbart rumsvariabeln diskretiseras.

Det härigenom uppställda systemet av differentialekvationer kan utan svårighet integreras, t ex genom användande av ett Runge-Kutta-förfarande. Eftersom specifika värmeför gips på grund av olika fysikaliska och kemiska förändringar, som äger rum under uppvärmningen, uppvisar diskontinuiteter, blir det nödvändigt att använda elementets totala värmeinhåll eller entalpi som oberoende variabel vid integrationen i stället för temperaturen i elementets mitt. Hän-syn till värmeledningstalets och värmeövergångstalens temperaturberoende kan tas genom att för varje tidssteg vid integrationen insätts de värden för dessa storheter, som gäller för det under närmast föregående tidssteg beräknade temperaturfältet. Därvid erhålls ett visst temperaturfält. Beräkningarna upprepas så med materialegenskaperna beräknade enligt sistnämnda temperaturfält, och iterationen fortsätts, till dess att tillräcklig noggrannhet erhållits. I föreliggande beräkningar visade sig iterationsförfarandet onödigt.



Fig 5. Flödesschema för beräkning av temperaturfältets tidsvariation vid ensidigt brandpåverkad, gipsplattisolerad stålregelvägg.



För dimensioneringsuppgiften utarbetat program är så utformat, att det modifierar sig självt, när för gipsplattas sönderfall kritisk temperatur uppnås på icke brandutsatt sida av brandexponerad platta. Den kritiska temperaturen beräknas därvid med hänsyn tagen till i aktuellt ögonblick gällande temperaturgradient.

På skisserat sätt har för aktuella konstruktionstyper temperaturfältens tidsvariation vid ensidig brandpåverkan beräknats. Därvid har brandrummets temperatur-tid-kurvor förutsatts givna genom öppningsfaktor och brandbelastning enligt avsnitt 11. För värmeövergångstal och med hänsyn till gipsplattans bortfall kritisk temperatur har tillämpats beräkningsförutsättningar enligt avsnitten 13 och 14.

Beräkningsförfarandet belyses exemplifierande genom fig 5, som visar flödesschemat för beräkning av temperaturfältets tidsvariation vid ensidigt brandpåverkad, avskiljande vägg. Tillämpade program är skrivna i Algol och beräkningarna har skett på datamaskinen SMIL vid Lunds Data-central.

### 3. Jämförelse mellan experimentellt och teoretiskt bestämda temperaturfält

Vid Statens Provningsanstalt har för brandpåverkan enligt standardkurva testats dels en avskiljande vägg, uppbyggd av lätt stålstomme, omgiven av 2 st 13 mm, icke fiberarmerade gipsplattor på vardera sidan (fig 6) och dels en med 1, 2 eller 3 st 13 mm fiberarmerade gipsplattor brandisolerad tak- eller bjälklagskonstruktion, uppbyggd av stålprofiler, som uppbär en bjälklagsplatta av armerad betong. Vid de genomförda provningarna har därvid dels noggrant karterats temperatur-tidfält och dels noterats tidpunkterna för sönderfall av gipsplattor.

För brandprovad, avskiljande vägg framgår experimentellt bestämda temperatur-tidssamband av de heldragna kurvorna i fig 7 a och b och tillhörande enligt ovan angivna förutsättningar och enligt ovan beskriven metodik teoretiskt beräknade temperatur-tidssamband genom streckprickade kurvor. I fig a sifferbetecknade, experimentellt upptagna kurvor har därvid referens till mätpunkter med placering enligt fig 6 och i fig b sammanställda, uppmätta kurvsamband referens till på väggens stålprofilstomme placerade mätpunkter. Överensstämmelsen mellan teoretiskt beräknade och experimentellt bestämda temperaturvärden är genomgående anmärkningsvärt god.

Experimentellt bestämda temperatur-tidssamband för den med 1, 2 respektive 3 st 13 mm fiberarmerade gips-

Fig 6. Brandavskiljande innervägg, utformad med en lätt stålprofilstomme med på varje sida 2 st 13 mm icke fiberarmerade gipsplattor

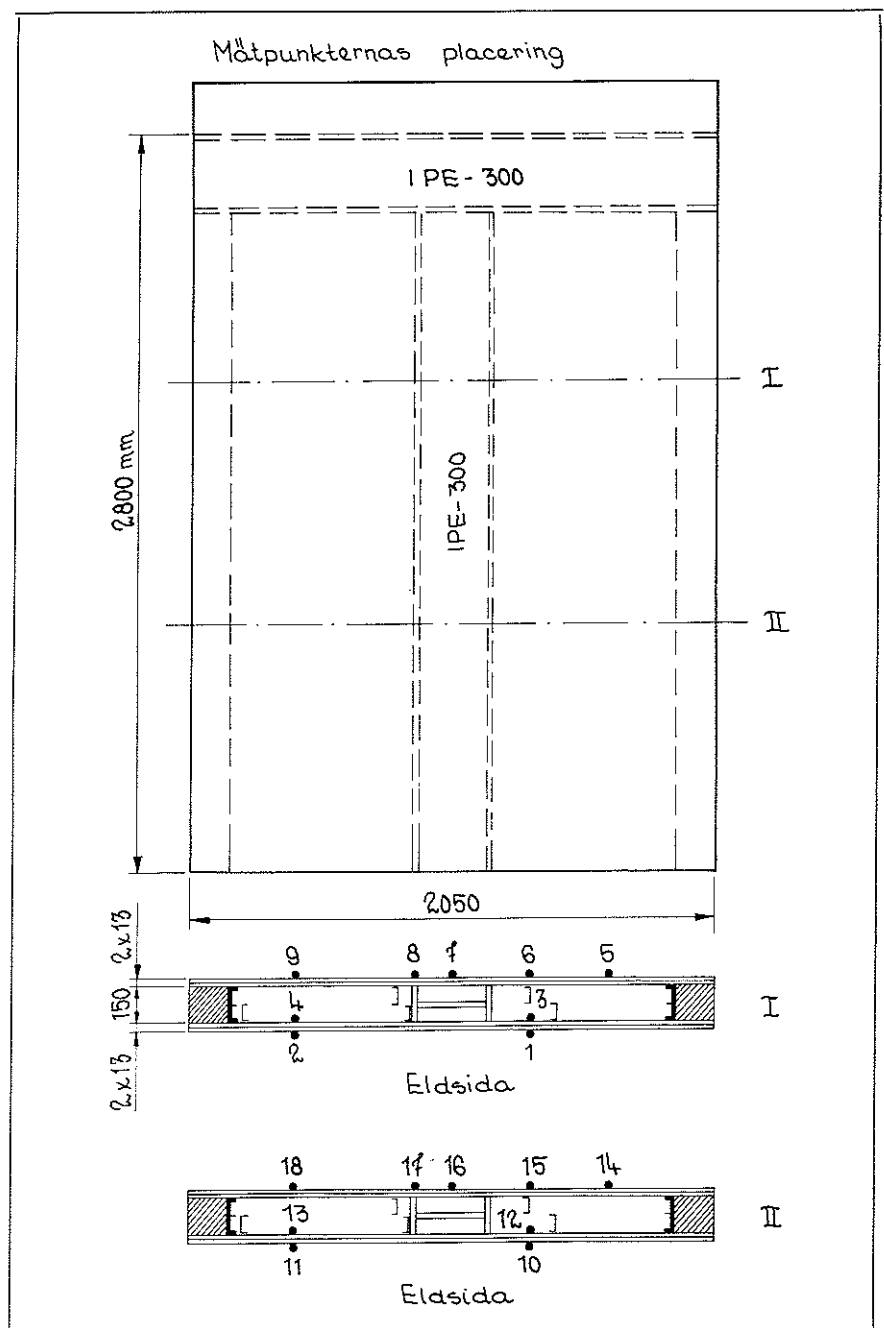
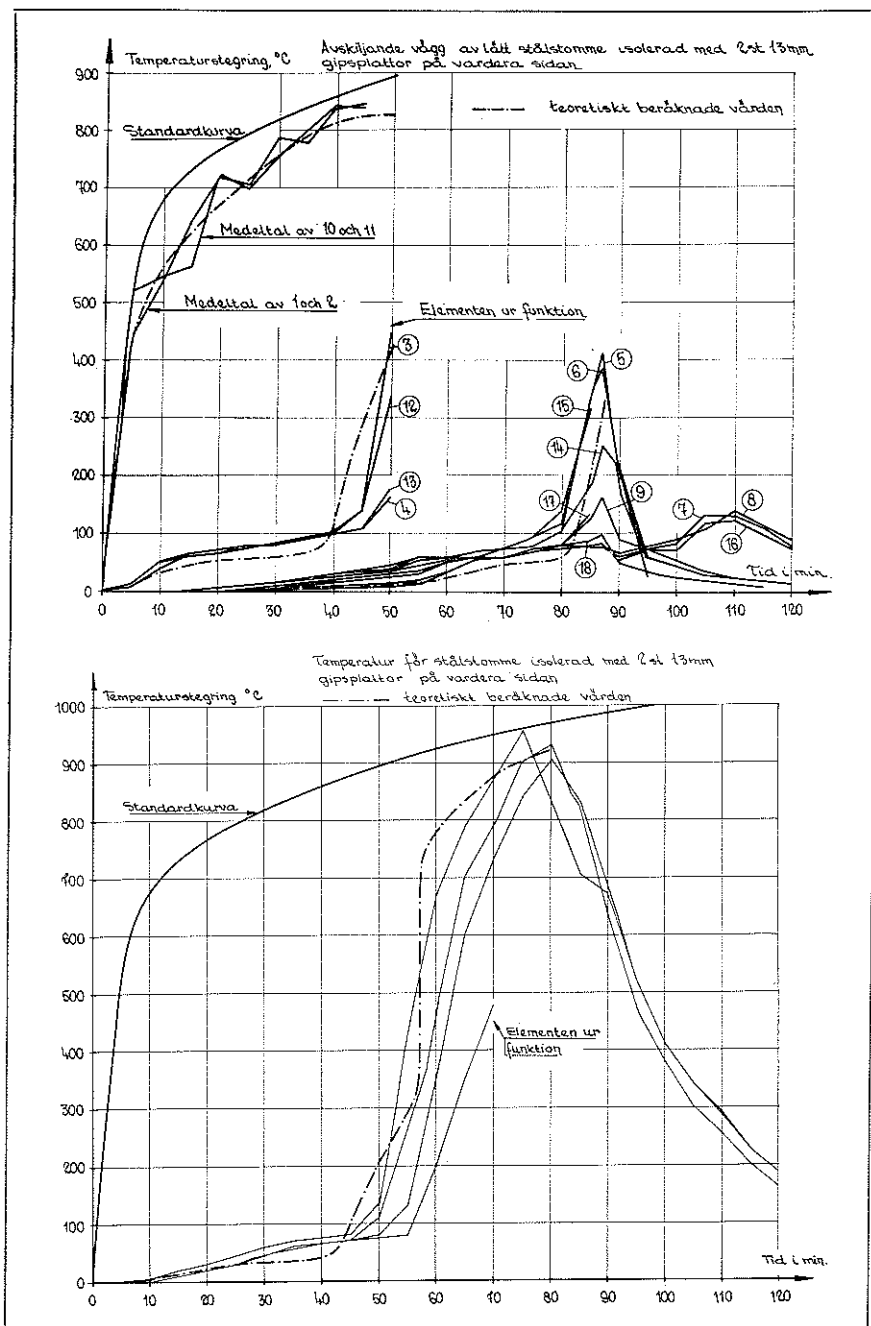


Fig 7 a—b. För enligt standardkurva ensidigt brandpåverkad vägg med utformning enligt fig 6 vid brandprovning experimentellt registrerade temperatur-tid-samband (heldragna kurvor), jämförda med motsvarande teoretiskt beräknade samband (streckprickade kurvor). I fig a sifferbetecknade kurvor refererar till mätpunkter med placering enligt fig 6 och i fig b redovisade kurvor till på väggens stålprofilstomme placerade mätpunkter



plattor brandisolerade takkonstruktionen framgår av heldragna kurvor i fig 8, 9 och 10. Tillhörande teoretiskt beräknade temperaturvärden markeras i figurerna genom streckprickade kurvor. Även för brandisolerad takkonstruktion är, som synes, överensstämmelsen mellan teoretiskt beräknade och experimentellt bestämda temperaturer god. Samma karakteristik gäller också för till gipsplattbortfall hörande tidpunkter.

#### 4. För avskiljande väggkonstruktion beräknade resultat

För med 2 st 13 mm gipsplattor på vardera sidan isolerad, icke bärande, avskiljande mellanvägg beräknade temperatur-tidssamband exemplifieras i fig 11 och 12. I fig 11 a—c redovisas därvid beräknad temperaturökning på icke brandutsatt sida av väggen för 12 kombinationer enligt ovan av öppningsfaktor—brandvaraktighet. De redovisade kurvorna förutsätter en för gipsplattas bortfall kritisk temperatur av 550° C på icke brandutsatt plattyta. För kombinationen öppningsfaktorn 0,02 och brandvaraktigheten 100 min redovisas dock i fig 11 c alternativt beräknad temperaturökning på icke brandutsatt sida av väggen också för en kritisk gipsplatttemperatur av 600° C. Tidpunkter för beräknade bortfall av gipsplattor markeras i figurerna genom ringar.

En mera detaljerad illustration av den ensidigt brandpåverkade innerväggens temperatur-tidfält redovisas i fig 12 a och b för kombinationerna öppningsfaktorn 0,02 och brandvaraktigheten 100 min respektive öppningsfaktorn 0,04 och brandvaraktigheten 50 min. I båda alternativen gäller en vald kritisk temperatur av 550° C för gipsplattas bortfall. I jämförelse be-

Fig 8. För stålbalksbjälklag med undertak av 13 mm fiberarmerad gipsplatta vid brandprovning enligt standardkurva experimentellt bestämda temperatur-tid-samband (heldragna kurvor), jämförda med motsvarande teoretiskt beräknade samband (streckprickade kurvor)

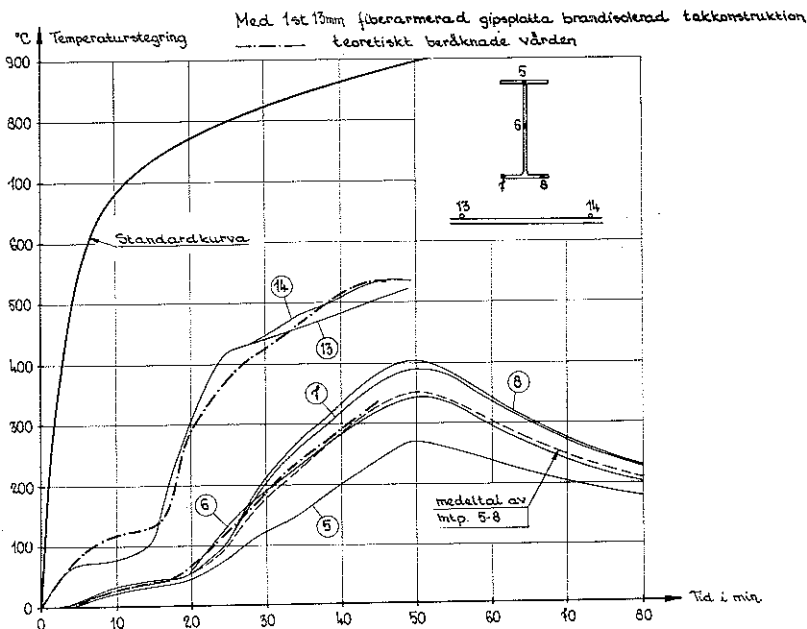
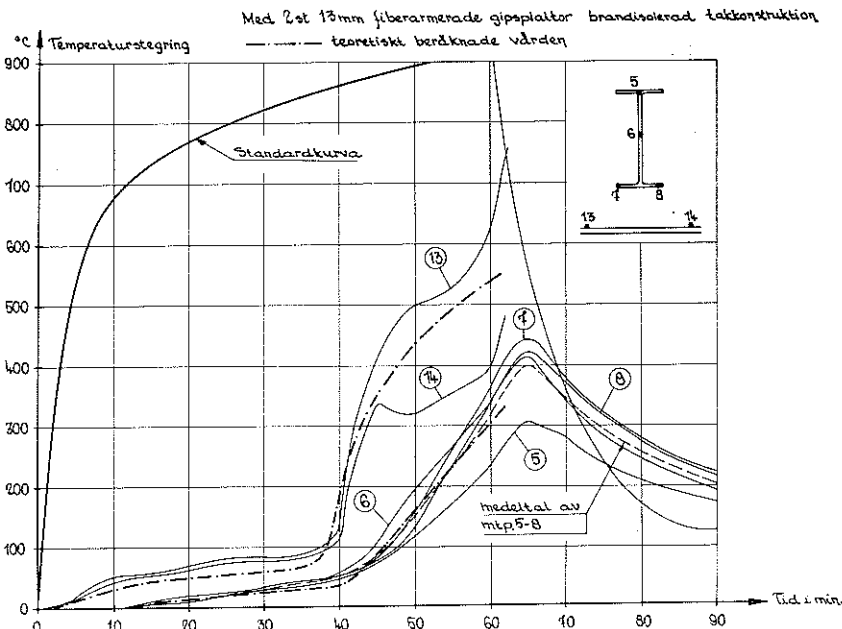


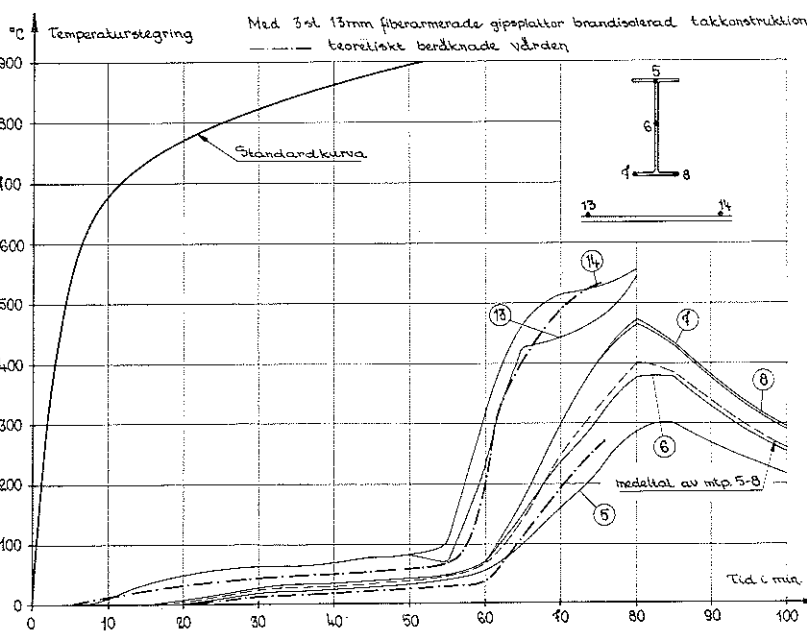
Fig 9. För stålbalksbjälklag med undertak av 2 st 13 mm fiberarmerade gipsplattor vid brandprovning enligt standardkurva experimentellt bestämda temperatur-tid-samband (heldragna kurvor), jämförda med motsvarande teoretiskt beräknade samband (streckprickade kurvor)



lyser de båda delfigurerna effekten av en variation i förbränningshastighet vid konstant brandbelastningsvärde  $q = 50 \text{ Mcal/m}^2$  omslutningsyta av brandcellen — jfr ekv (2).

För det i fig a redovisade alternativet med en långsam förbränning sker beräkningsmässigt ett sönderfall av den yttre gipsplattan på väggens brandpåverkade sida vid en brandtid, som ligger mellan 70 och 71 min. Från den tidpunkten övergår den brandavskiljande väggen till en konstruktion med endast en gipsplatta på den brandpåverkade sidan. Vid en brandtid mellan 84 och 85 min sönderfaller beräkningsmässigt också denna gipsplatta, varigenom den icke bärande stålprofilstommen blir direkt exponerad mot branden. Efter 100 min upphör brandförloppets uppvärmningsfas. Vid denna tidpunkt uppgår temperaturökningen på den från branden vända sidan av väggen till  $45^\circ \text{C}$ . Under den efterföljande avsvlningsfasen för brandcellen sker en omgring i temperaturfördelning inom väggens kvarvarande båda gipsplattor, vilket för den från branden vända sidan av väggen medför till en början en tillväxt och därefter en reduktion i temperaturökning. Maximivärdet uppnås ca 20 min efter uppvärmningsfasens slut och uppgår beräkningsmässigt till  $185^\circ \text{C}$ , dvs till ett större värde än som normalt tillåts ( $140^\circ \text{C}$ ). Ett utbyte av väggens icke fiberarmerade gipsplattor mot fiberarmerade med högre kritisk sönderfallstemperatur ger för den från branden vända väggytan en fördröjd temperaturökning med ett maximivärde, som beräknas till endast ca  $55^\circ \text{C}$ .

Fig 10. För stålbalksbjälklag med undertak av 3 st 13 mm fiberarmerade gipsplattor vid brandprovning enligt standardkurva experimentellt bestämda temperatur-tid-samband (heldragna kurvor), jämförda med motsvarande teoretiskt beräknade samband (streckprickade kurvor)



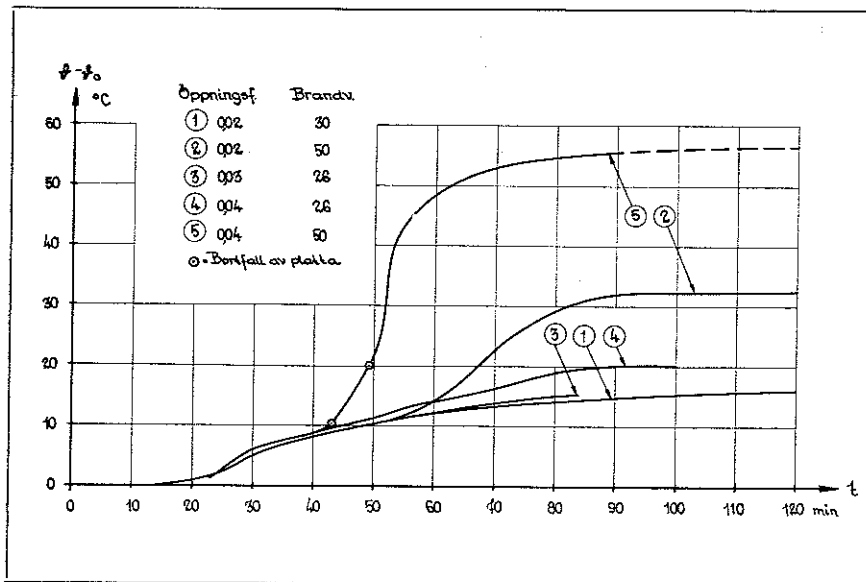
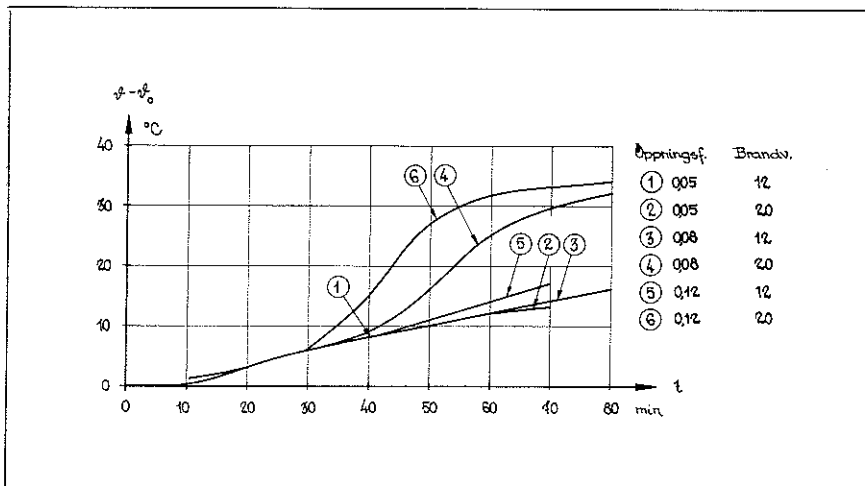


Fig 11 a—c. För brandförlopp enligt fig 3 teoretiskt beräknad temperaturökning  $\theta - \theta_0$  på icke brandutsatt sida av en-sidigt brandpåverkad innervägg, utformad med en lätt stålprofilstomme med på varje sida 2 st 13 mm gipsplattor. För gipsplattans sönderfall kritisk temperatur  $\theta_{kr}$  är för kurvorna i fig a och b samt för kurvan ① i fig c antagen till  $550^\circ\text{C}$  (icke fiberarmerad gipsplatta) och för kurvan ② i fig c till  $600^\circ\text{C}$  (fiberarmerad gipsplatta)



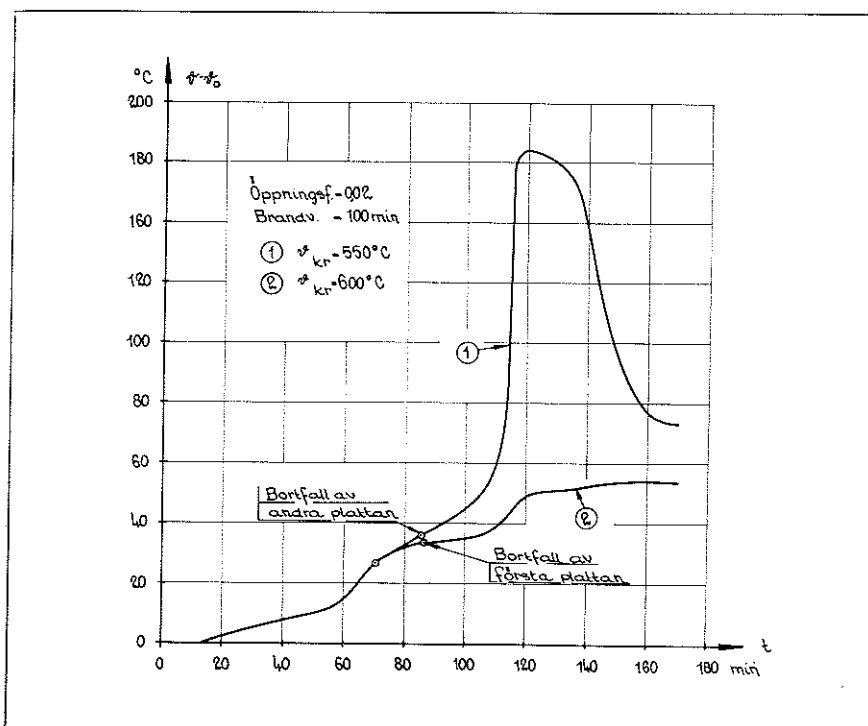
För det i fig b redovisade alternativet, vilket i förhållande till det i fig a återgivna karakteriseras av en dubbelt så stor förbränningshastighet, inträffar beräknat sönderfall för den första gipsplattan vid en brandtid mellan 43 och 44 min och för den andra gipsplattan vid en brandtid mellan 49 och 50 min, dvs ungefär samtidigt med uppvärmningsfasens slut. För alternativet beräknas en maximal temperaturökning för den från branden vända väggytan av  $57^\circ\text{C}$ , vilket värde uppnås ca 60 min efter avslutad uppvärmningsfas. Av de i fig a och b redovisade alternativa förbränningshastigheterna vid lika brandbelastningsvärde ger följaktligen alternativet med långsammare förbränning den mest ogynnsamma brandpåverkan mot den avskiljande väggkonstruktionen.

En summarisk sammanställning av för avskiljande innervägg beräknade resultat ges i tabell 1, vilken för olika kombinationer öppningsfaktor—brandvaraktighet ger beräknad, maximal temperaturökning på väggens icke brandutsatta sida samt tidpunkten för denna maximala temperaturökning inträffande.

### 5. För bärande pelare beräknade resultat

För med 13 mm gipsplattor isolerade, bärande stålpelare beräknade temperatur-tidssamband framgår av fig 13—15 för kombinationer av öppningsfaktor—brandvaraktighet enligt ovan.

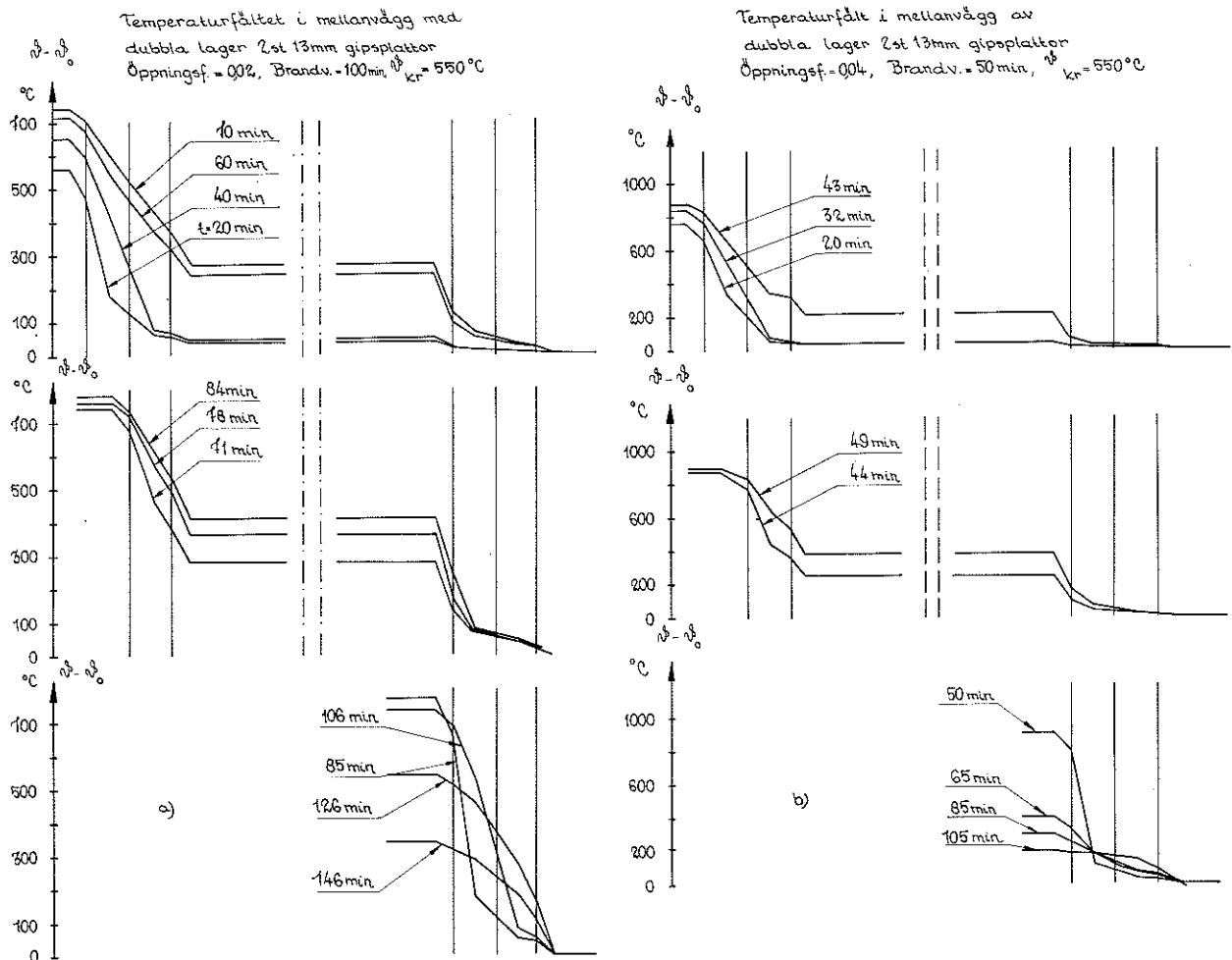
Därvid redovisas i fig 13 a och b beräknade tidkurvor för ökningen av den isolerade stålprofilens temperatur vid brandisolering av dels 1 och dels 2 st 13 mm gipsplattor (streckade respektive heldragna kurvor). Kurvorna omfattar samtliga kombinationer öppningsfaktor—brandvaraktighet utom kombinationerna 0,02—100 min och 0,04—50 min, vilka redovisas i fig 14 respektive 15. Tidpunkter för beräknade bortfall av gipsplattor markeras i figurerna genom ringar.



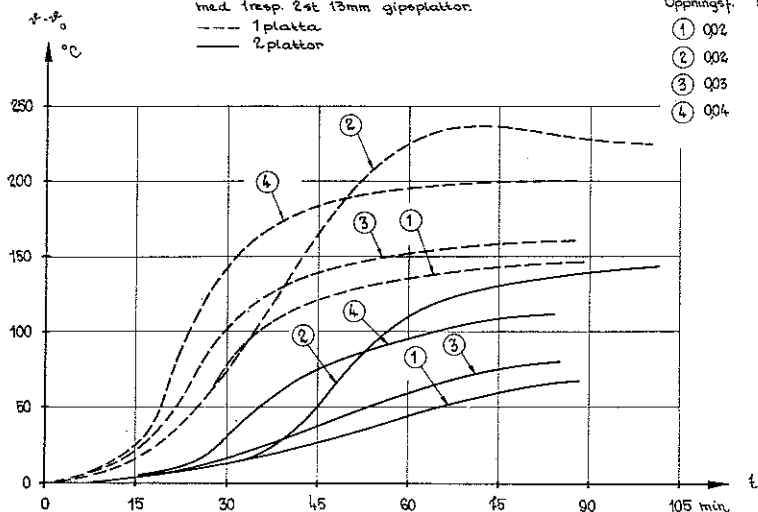
Tabell 1. Avskiljande, icke bärande innervägg

$\vartheta_{kr} = 550^\circ \text{C}$				
Öppningsfaktor $\text{m}^{1/2}$	Brandvaraktighet min	Max temp-ökn på icke brandutsatt väggyta $^\circ\text{C}$	Tidpunkt för max temp-ökning inträffande	Plattbortfall
0,02	30	17	120 min	{ 1 platta efter 70 min 1 platta efter 84 min
0,02	50	33	140 "	
0,02	100	185	122 "	
0,03	26	~ 17	95 "	
0,04	26	~ 20	100 "	
0,04	50	~ 57	110 "	{ 1 platta efter 43 min 1 platta efter 49 min
0,05	12	~ 15	90 "	
0,05	20	~ 18	100 "	
0,08	12	~ 17	95 "	
0,08	20	~ 33	100 "	
0,12	12	~ 20	100 "	
0,12	20	~ 35	105 "	
$\vartheta_{kr} = 600^\circ \text{C}$				
0,02	100	54	170 min	1 platta efter 86 min

Fig 12 a—b. För brandförlopp enligt fig 3 teoretiskt beräknade temperatur-tid-fält för ensidigt brandpåverkad innervägg, utformad med en lätt stålprofilstomme med på varje sida 2 st 13 mm icke fiberarmerade gipsplattor. a) Öppningsfaktorn =  $0,02 \text{ m}^{1/2}$  och brandvaraktigheten = 100 min, b) öppningsfaktorn =  $0,04 \text{ m}^{1/2}$  och brandvaraktigheten = 50 min

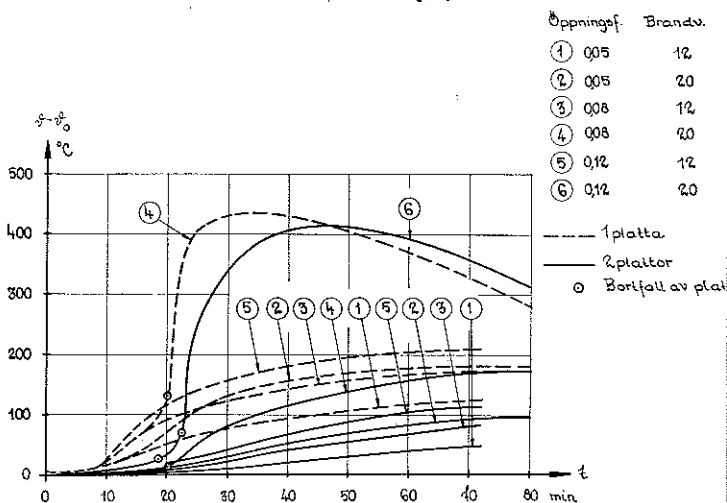


Temperaturökning för stålprofil HE 400 A, isolerad med 1 resp. 2 st 13 mm gipsplattor



Öppningsf.	Brandv.
① 0,02	30
② 0,02	50
③ 0,03	26
④ 0,04	26

Temperaturökning för stålprofil HE 400 A, isolerad med 1 resp. 2 st 13 mm gipsplattor



Öppningsf.	Brandv.
① 0,05	12
② 0,05	20
③ 0,08	12
④ 0,08	20
⑤ 0,12	12
⑥ 0,12	20

Fig 13 a-b. För brandförlopp enligt fig 3 teoretiskt beräknade tidkurvor för temperaturökningen  $\vartheta - \vartheta_0$ , i fyrsidigt brandpåverkad stålpelare av profil HE 400 A, isolerad med 1 st (streckade kurvor) respektive 2 st (heldragna kurvor) 13 mm icke fiberarmerade gipsplattor

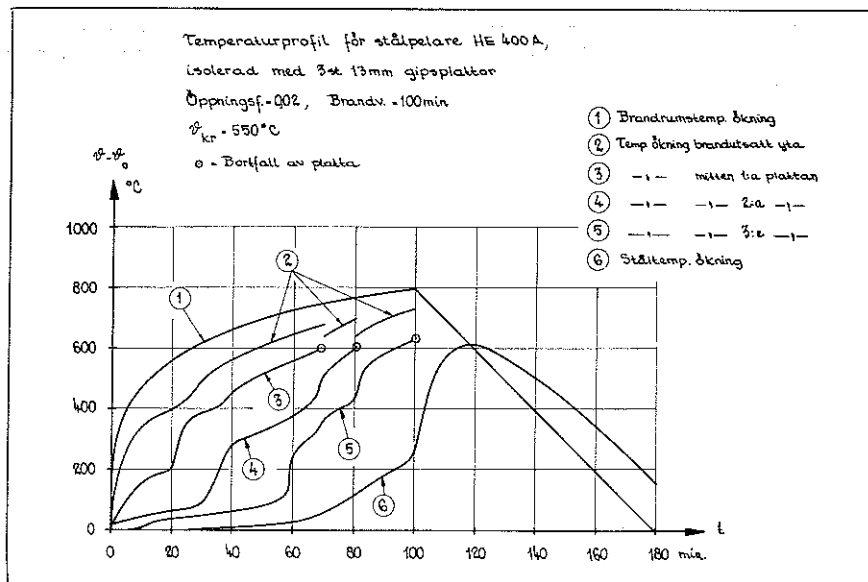


Fig 14 a-b. För till öppningsfaktorn 0,02  $m^{1/2}$  och brandvaraktigheten 100 min hörande brandförlopp enligt fig 3 teoretiskt beräknade tidkurvor för temperaturökningen  $\vartheta - \vartheta_0$  i olika tvärsnittspunkter av en med 3 st icke fiberarmerade (fig a) respektive 3 st fiberarmerade (fig b) 13 mm gipsplattor isolerad, fyrsidigt brandpåverkad stålpelare av profil HE 400 A

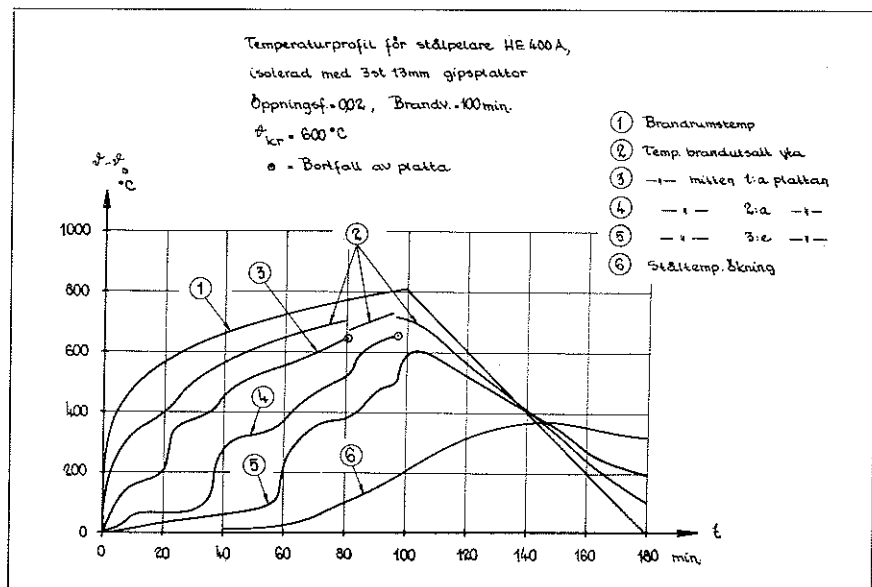


Fig 14 a och b detaljbelyser beräknad tidsvariation av temperaturprofilen för med 3 st 13 mm gipsplattor isolerad stålpelare vid öppningsfaktorn 0,02 och brandvaraktigheten 100 min. Delfigur a gäller därvid för en antagen kritisk temperatur av 550° C för bortfall av gipsplatta, medan delfigur b alternativt belyser förhållandena för en antagen motsvarande kritisk temperatur av 600° C. Fig 15a och b detaljillustrerar motsvarande, beräknade temperaturprofilers tidsvariation för öppningsfaktorn 0,04 och brandvaraktigheten 50 min, varvid delfigur a gäller för en brandisolering av 2 st och delfigur b för en brandisolering av 3 st 13 mm gipsplattor. En jämförelse mellan fig 14 a och 15 b, vilka förutsätter samma brandisolering, samma brandbelastning och samma kritiska temperatur för bortfall av gipsplatta, visar att den till lägre öppningsfaktor hörande långsammare branden medför en väsentligt större ökning av stålprofilens temperatur än den till den högre öppningsfaktorn hörande snabbare branden.

En sammanställning av beräknade resultat ges i tabell 2, i vilken för olika kombinationer öppningsfaktor-brandvaraktighet redovisas beräknad, maximal temperaturökning för stålprofil samt tillhörande tidpunkt för denna temperaturökningens uppträdande.

### 6. För bärande tak- eller bjälklagskonstruktion beräknade resultat

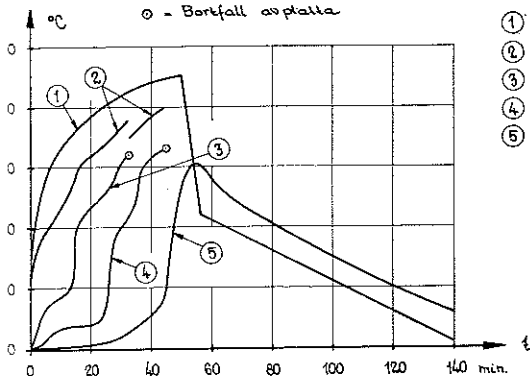
I fig 16 och 17 återges beräknade temperatur-tidkurvor för med 13 mm fiberarmerade gipsplattor brandisolerad takkonstruktion, uppbyggd av bärande stålbalkar och ovanför denna belägen, armerad betongplatta.

Temperaturprofil för stälpelare HE 400A,  
isolerad med 2st 13mm gipsplattor

Öppningsf. = 0,04

Brandv. = 50 min

○ = Bortfall av platta



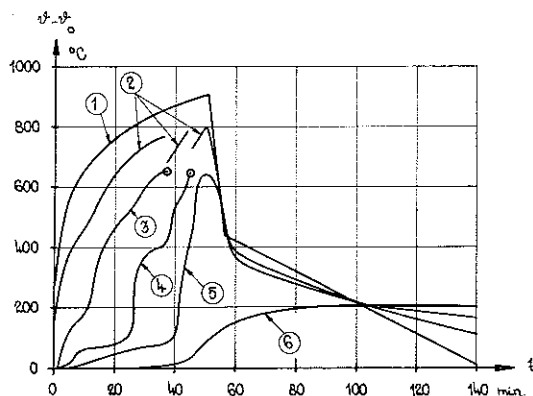
- ① Brandrumtemp
- ② Temp brandsidigt yta
- ③ - - mitten 1:a plattan
- ④ - - mitten 2:a plattan
- ⑤ Stålttemp

Temperaturprofil för stälpelare HE 400A,

isolerad med 3st 13mm gipsplattor

Öppningsf. = 0,04, Brandv. = 50 min

○ = Bortfall av platta



- ① Brandrumtemp ökning
- ② Temp ökning brandsidigt yta
- ③ - - mitten 1:a plattan
- ④ - - - - mitten 2:a - - - -
- ⑤ - - - - mitten 3:e - - - -
- ⑥ Stålttemp ökning

Fig 15 a-b. För till öppningsfaktorn 0,04 m<sup>1/2</sup> och brandvaraktigheten 50 min hörande brandförlopp enligt fig 3 teoretiskt beräknade tidkurvor för temperaturökningen  $\vartheta - \vartheta_0$  i olika tvärsnittspunkter av en med 2 st (fig a) respektive 3 st (fig b) icke fiberarmerade 13 mm gipsplattor isolerad, fyrstidigt brandpåverkad stälpelare av profil HE 400 A

Tabell 2. Isolerad stälpelare

$\vartheta_{kr} = 550^\circ \text{C}$					
Öppningsfaktor m <sup>1/2</sup>	Brandvaraktighet min	Antal 13 mm gipsplattor	Max ståltemp- ökning °C	Tidpunkt för max temp-ökning inträffande	Plattbortfall
0,02	30	1	~ 147	95 min	
0,02	30	2	~ 68	95 "	
0,02	50	1	236	72 "	
0,02	50	2	~ 146	125 "	
0,02	100	3	615	118 "	{ 1 platta efter 68 min 1 platta efter 80 min 1 platta efter 100 min
0,03	26	1	~ 162	90 "	
0,03	26	2	80	90 "	
0,04	26	1	~ 202	90 "	
0,04	26	2	~ 114	95 "	
0,04	50	2	615	54 "	{ 1 platta efter 32 min 1 platta efter 44 min
0,04	50	3	210	116 "	{ 1 platta efter 36 min 1 platta efter 44 min
0,05	12	1	~ 125	75 "	
0,05	12	2	~ 55	85 "	
0,05	20	1	~ 180	80 "	
0,05	20	2	~ 100	100 "	
0,08	12	1	~ 170	75 "	
0,08	12	2	~ 85	80 "	
0,08	20	1	433	34 "	1 platta efter 20 min
0,08	20	2	~ 170	85 "	1 platta efter 20 min
0,12	12	1	~ 208	70 "	
0,12	12	2	~ 115	80 "	
0,12	20	2	413	45 "	{ 1 platta efter 17 min 1 platta efter 22 min
$\vartheta_{kr} = 600^\circ \text{C}$					
0,02	100	3	355	148 min	{ 1 platta efter 80 min 1 platta efter 96 min



Tabell 3. Isolerad tak- eller bjälklagskonstruktion

Öppningsfaktor $m^{1/2}$	Brandvaraktighet min	Antal 13 mm gipsplattor	Max stålblocktemp- ökning $^{\circ}C$	Tidpunkt för max temp-ökning inträffande	Plattbortfall
$\vartheta_{kr} = 550^{\circ}C$					
0,02	30	1	~ 60	100 min	1 platta efter 96 min
0,02	50	1	~ 85	110 "	
0,02	100	2	146	148 "	
0,03	26	1	~ 60	100 "	
0,04	26	1	~ 75	105 "	
0,04	50	2	~ 82	115 "	
0,05	12	1	~ 35	60 "	1 platta efter 44 min
0,05	20	1	~ 64	85 "	
0,08	12	1	~ 50	60 "	
0,08	20	1	~ 85	85 "	
0,12	12	1	~ 63	60 "	
0,12	20	2	~ 41	90 "	

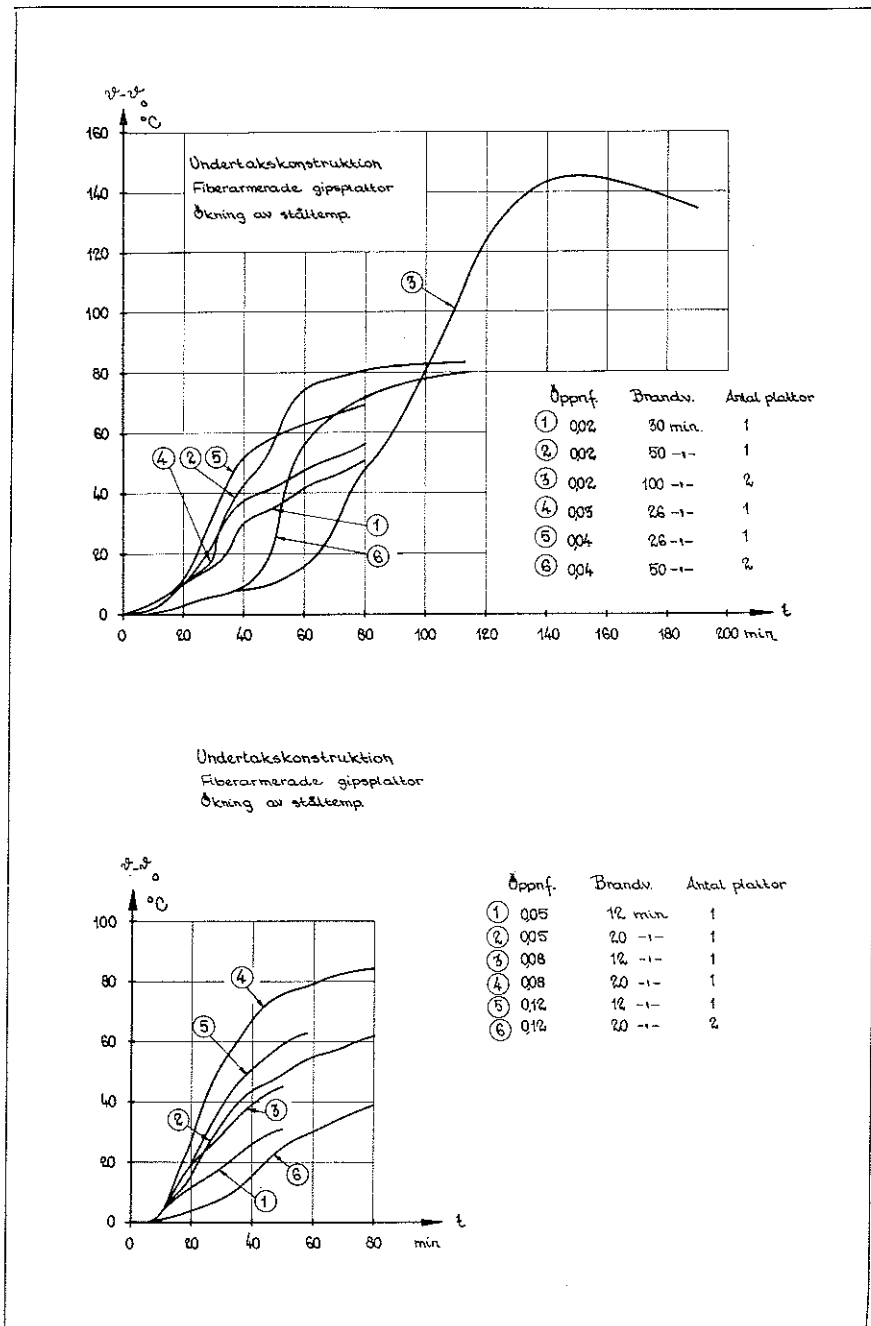
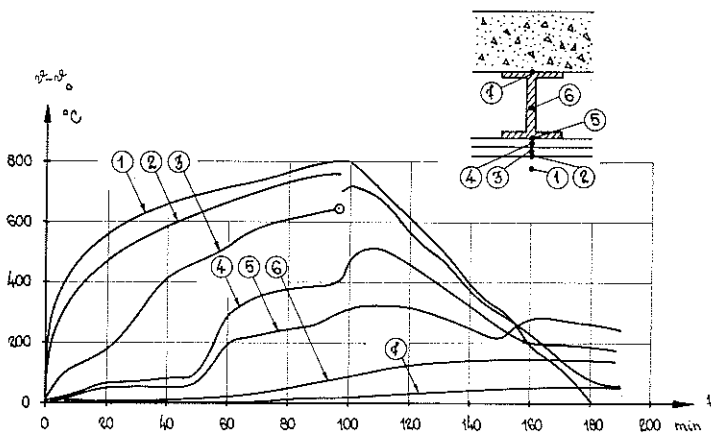


Fig 16 a—b. För brandförlopp enligt fig 3 teoretiskt beräknade tidkurvor för temperaturökningen  $\vartheta - \vartheta_0$  i bärande stålblock, ingående i underifrån brandpåverkad bjälklagskonstruktion med undertak av fiberarmerade 13 mm gipsplattor

Temperaturprofil för undertakskonstruktion  
isolerad med 2 st 13mm fiberarmerade gipsplattor  
Öppningsf. 0,02, Brandv. = 100 min.



Temperaturprofil för undertakskonstruktion  
isolerad med 2 st 13mm fiberarmerade gipsplattor  
Öppningsf. 0,04, Brandv. = 50 min.  
○ = Bortfall av platta

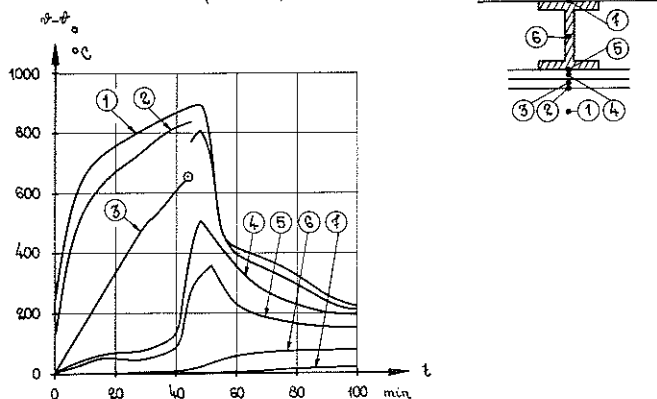


Fig 17 a—b. För brandförlopp enligt fig 3 teoretiskt beräknade tidkurvor för temperaturökningen  $\vartheta - \vartheta_0$  i olika punkter av underifrån brandpåverkat stålbalkbjälklag med undertak av 2 st fiberarmerade 13 mm gipsplattor. a) Öppningsfaktorn  $0,02 \text{ m}^{1/2}$  och brandvaraktigheten 100 min, b) öppningsfaktorn  $0,04 \text{ m}^{1/2}$  och brandvaraktigheten 50 min

I fig 16 a och b redovisas därvid beräknad tidsvariation för ökningen av stålbalktemperaturen vid olika kombinationer av öppningsfaktor-brandvaraktighet enligt ovan och för en isolering med det antal 13 mm gipsplattor, som funnits vara erforderligt för de bärande stålbalkarnas krävda funktion. Den mera detaljerade temperaturprofilens tidsvariation för takkonstruktionen illustreras exemplifierande i fig 17 a och b vid en brandisolering av 2 st 13 mm fiberarmerade gipsplattor, varvid delfigur a gäller för öppningsfaktorn 0,02 och brandvaraktigheten 100 min och delfigur b för öppningsfaktorn 0,04 och brandvaraktigheten 50 min.

En sammanställning av beräknade resultat ges i tabell 3, i vilken för olika kombinationer öppningsfaktor-brandvaraktighet redovisas beräknad, maximal ståltemperaturökning samt tillhörande tidpunkt för denna maximala temperaturökning inträffande.

### 7. Till brandpåverkan hörande bärförmåga

Vid känd temperatur-tid-kurva för brandpåverkat stålbärverk, bestämd enligt ovan översiktligt redovisat fortfarande kan till varje tidpunkt av brandpåverkan hörande bärförmåga beräknas över kunskaper rörande håll-

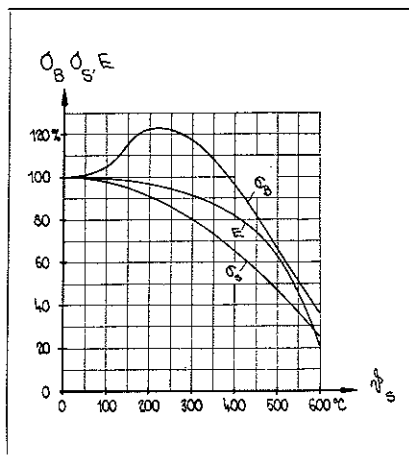


Fig. 18. Brothållfasthetens  $\sigma_B$ , sträckgränsens  $\sigma_s$  och elasticitetsmodulens  $E$  variation med temperaturen  $\theta_s$  för mjukt konstruktionsstål [13]

fasthets- och deformationsegenskapernas temperaturberoende för aktuellt stålmaterial. För mjukt konstruktionsstål illustreras detta temperaturberoende av fig 18, vilken för temperaturområdet 0–600° C visar variationen av brothållfastheten  $\sigma_B$ , sträckgränsen  $\sigma_s$  och elasticitetsmodulen  $E$  [13]. Av de redovisade egenskaperna är sträckgränsen  $\sigma_s$  ensam avgörande för det brandpåverkade bärverkets bärförmåga vid renodlat drag-, tryck- eller höjbrott. Är aktuellt brott av typen elastiskt instabilitetsbrott för initieellt rak och centriskt belastad pelare, avgör i stället elasticitetsmodulen bärförmågan. För tryckt slank stålpelare, som knäckningsdimensioneras under förutsättning av initialkrokighet och initiell, oavsiktlig lastexcentricitet, gäller för den kritiska tryckspänningen  $\sigma_k = P_k/A$ , med  $A$  = tvärsnittsytan, vid initialkrokighet enligt Dutheil sambandet

$$(9) \quad \sigma_k^2 - \sigma_s \left[ \sigma_s + \pi^2 E \left( 4,8 \cdot 10^{-5} + \frac{1}{\lambda^2} \right) \right] = -\frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

varvid  $\lambda$  betecknar pelarens fiktiva slankhetstal. Vid en sådan dimensionering är följaktligen ett brandpåverkat stålbärverks bärförmåga avhängigt av temperaturberoendet för såväl sträckgräns  $\sigma_s$  som elasticitetsmodul  $E$ .

I avsikt att underlätta en praktisk dimensionering redovisas i fig 19 ur

Fig 19 a

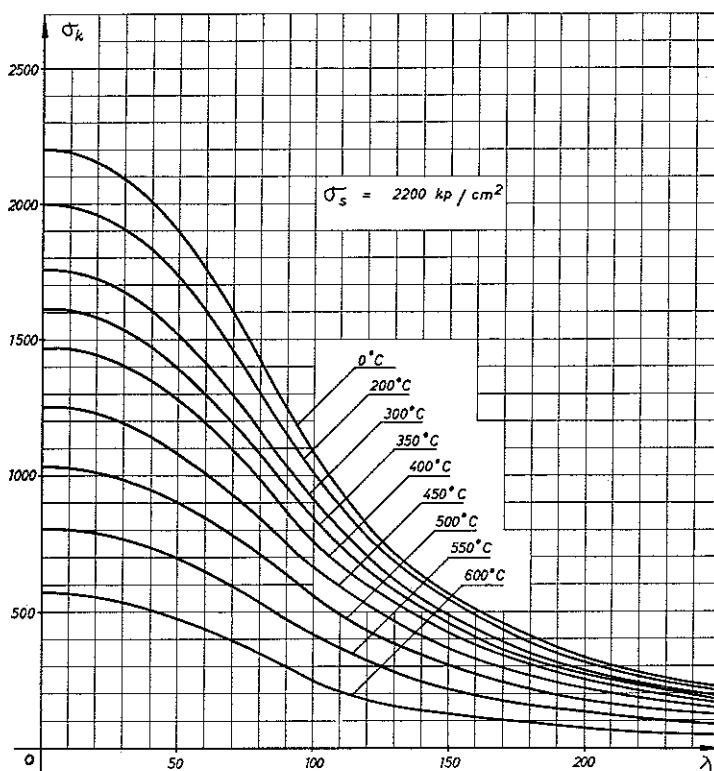


Fig 19 b

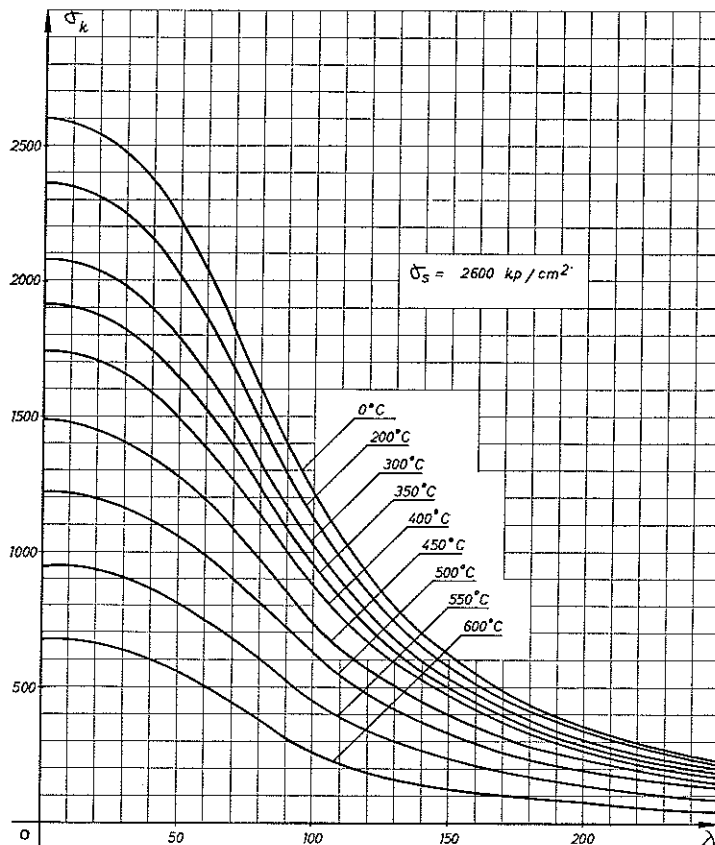


Fig 19 a–c. För varierande ståltemperatur  $\theta_s$  beräknade samband mellan knäckningsspänning  $\sigma_k$  och slankhetstal  $\lambda$  för stålpelare i materialkvalitet, svarande mot till rumstemperatur hörande sträckgräns  $\sigma_s = 2\,200, 2\,600$  och  $3\,200$  kp/cm<sup>2</sup>

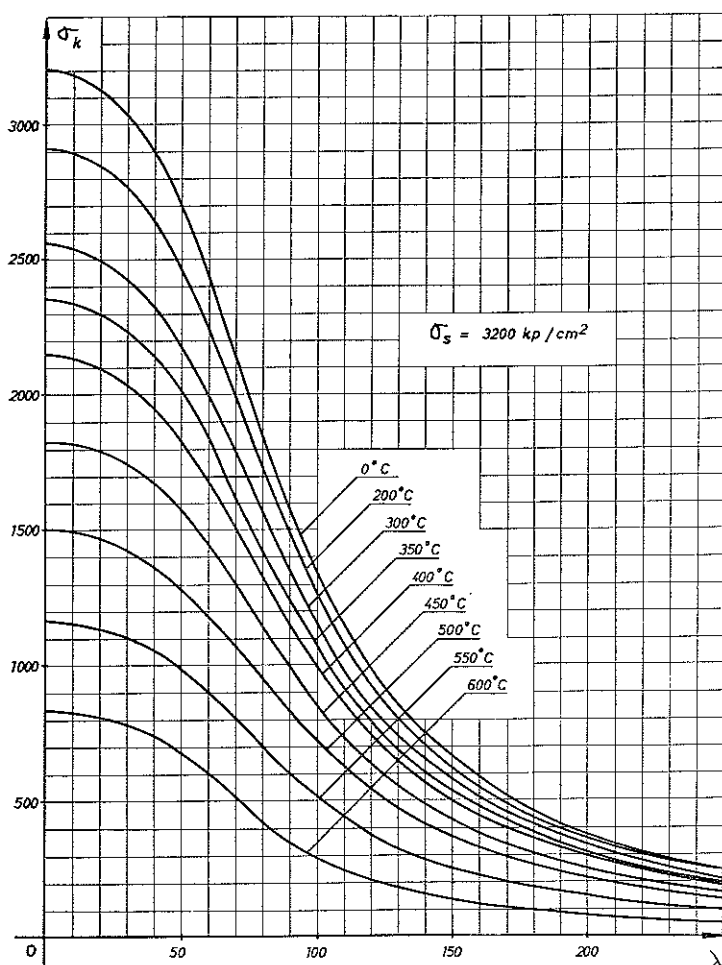
ekv (9) för olika ståltemperaturer  $\vartheta_s$ , beräknade  $\sigma_k - \lambda$ -kurvor med tillämpbarhet för stålpelare i materialkvalitet, svarande mot sträckgräns  $\sigma_s = 2\,200$ ,  $2\,600$  och  $3\,200$  kp/cm<sup>2</sup> vid ordinär rumstemperatur. Kurvorna förutsätter pelare, som vid den av brandpåverkan orsakade uppvärmningen fritt kan längdändras.

### 8. Slutord

Genom den ovan givna, till en aktuell tillämpning knutna redovisningen har belysts, hur med utgångspunkt från nya svenska normföreskrifter rörande byggnadstekniskt brandskydd en kvalificerad brandteknisk dimensionering kan genomföras för isolerad,

bärande eller avskiljande stålkonstruktion. Förfarandet möjliggör ett nyanserat hänsynstagande till aktuell brandcells brandbelastnings- och brandförloppskaraktistika samt till aktuell brandpåverkad konstruktions karaktistika, vad gäller konstruktiv detaljutformning, arbetsspänningens storlek och brotttyp. I förhållande till internationellt konventionell, på schablonregler baserad, brandteknisk dimensionering ger det redovisade förfarandet kraftigt ökade möjligheter för en ur brandteknisk synpunkt konstruktivt-funktionellt genomtänkt och riktig utformning av en byggnad eller byggnadsdel. För i uppsatsen exemplifierad tillämpning har det nyanserade dimensioneringsförfarandet gett icke oväsentliga kostnadsreduktioner.

Fig 19 c



### Litteratur

- [1] *Ödeen, K*: Theoretical Study of Fire Characteristics in Enclosed Spaces. Division of Building Construction, Royal Institute of Technology, Bulletin No 10. Stockholm 1963
- [2] *Kawagoe, K*: Fire Behaviour in Rooms. Building Research Institute, Report No 27. Tokyo 1958
- [3] *Simms, D L - Hird, D - Wright, H G H*: The Temperature and Duration of Fires. Some Experiments with Models with a Restricted Ventilation, Department of Scientific and Industrial Research and Fire Offices' Committee Joint Fire Research Organization, F R Note No 412. 1960
- [4] *Ashton, L A - Malhotra H L*: External Walls of Buildings. Part I. The Protection of Openings Against Spread of Fire from Storey to Storey. Industrial Research and Fire Offices' Committee Joint Fire Research Organization, F R Note No 436. 1960
- [5] *Pettersson, O*: General Programme for Scandinavian Long-Term Fire Engineering Research. Proceedings No 129 of the National Swedish Institute for Materials Testing. Stockholm 1963
- [6] *Pettersson, O*: Utvecklingstendenser rörande brandteknisk dimensionering av stålkonstruktioner. Väg- och vattenbyggaren 1964, Nr 6/7
- [7] *Pettersson, O*: Den byggnadstekniska brandforskningen i dag och i framtiden. Gullkornet 1964, Nr 2 och 5. — Structural Fire Engineering Research Today and Tomorrow. Acta Polytechnica Scandinavica, Ci 33. Stockholm 1965
- [8] *Pettersson, O*: Isolerade metalliska bärverks brandmotstånd. Gyproc-Nytt 1967, Nr 2
- [9] *Pettersson, O - Ödeen, K*: Pågående och planerad byggnadsteknisk brandforskning i Sverige. Rapport 34: 1968 från Statens Institut för Byggnadsforskning, Stockholm
- [10] *Harmathy, T Z*: A Treatise on Theoretical Fire Endurance Rating. National Research Council, Canada, Division of Building Research, Research Paper No 153. Ottawa 1962
- [11] *Ödeen, K*: Teoretisk bestämning av temperaturförloppet i några av brand påverkade konstruktioner. Byggmästaren 1963, Nr 4
- [12] *Schlyter, R - Odemark, N*: Brandsäkerheten hos vissa bjälklagskonstruktioner jämte teoretisk bestämning av brandtemperaturer uppkommande i byggnadskonstruktioner. Statens Provingsanstalt, Meddelande 65. Stockholm 1935
- [13] *Witteveen, J*: Brandveiligheid Staalconstructies. Centrum Bouwen in Staal. Rotterdam 1966

