



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R20:1980

**Sandwichelement av
uretancellplast**

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	80-0457
Plac	Ser

Brandtekniska egenskaper

Julia Ondrus

R/08

Byggeforskningsrådet

R20:1980

SANDWICHELEMENT AV URETANCELLPLAST
BRANDTEKNISKA EGENSKAPER

Brandprovningar utförda vid Statens Provnings-
anstalt, Laboratoriet för brandteknik i Borås.

Julia Ondrus

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
771364-0 från Statens råd för byggnadsforskning
till Avd för husbyggnadsteknik, CTH, Göteborg.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R20:1980

ISBN 91-540-3194-X
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

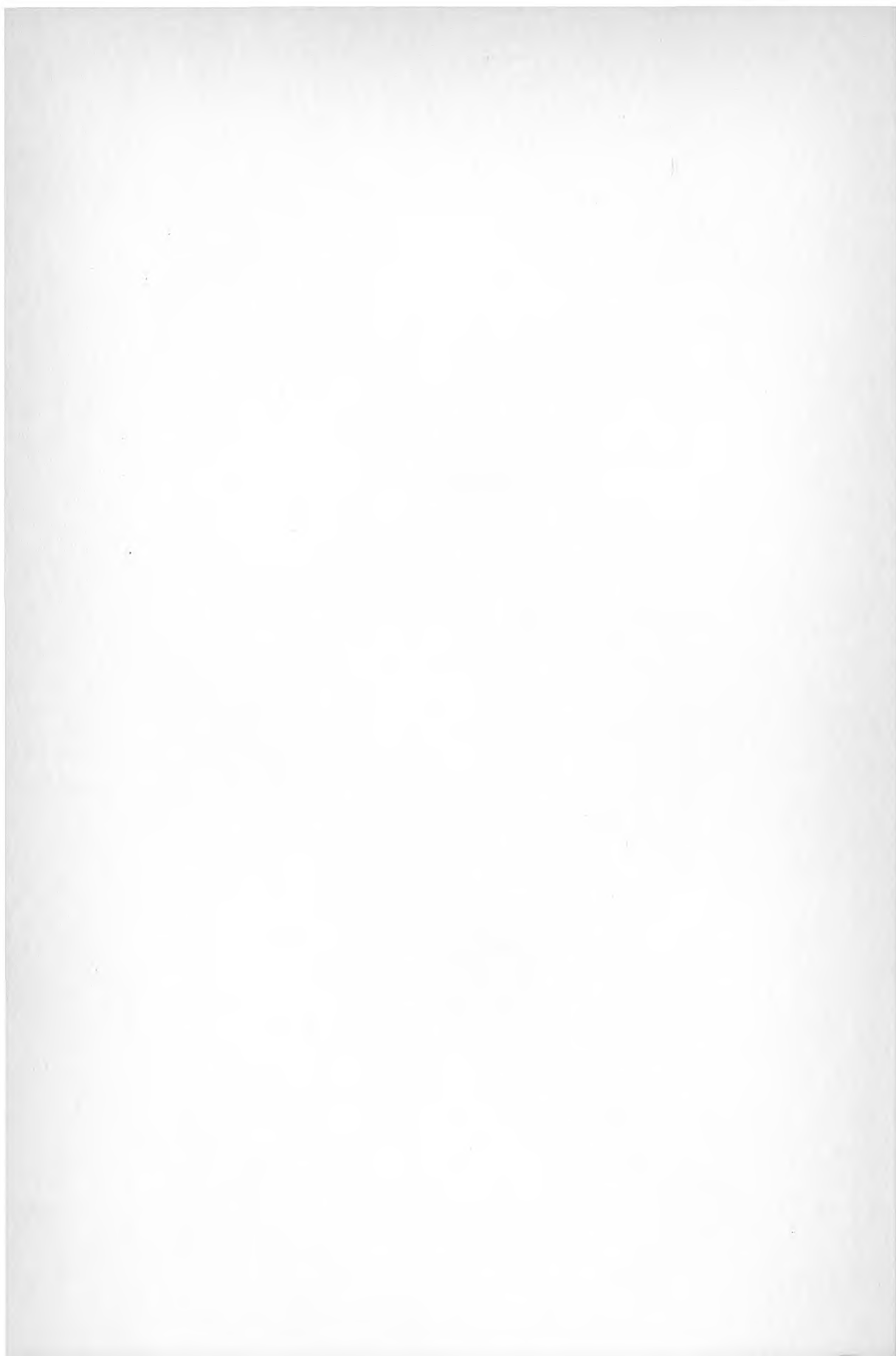
LiberTryck Stockholm 1980 050724

INNEHÅLL

FÖRORD	7
SAMMANFATTNING	9
INLEDNING	17
SYFTE	19
1. STANDARDBRANDPROVNINGAR	21
1.1 Konstruktionsbeskrivning - allmänt	21
1.2 Bjälklagskonstruktion	22
1.3 Väggkonstruktion	24
1.4 Provning	27
1.4.1 Placering av termoelement	27
1.4.2 Försöksutförande	26
1.4.21 Påförda laster	26
1.4.3 Provningsanordning	38
1.4.4 Provningsförfarande	40
1.4.41 Konditionering	40
1.4.42 Densitet och fuktkvot	40
1.4.43 Observationer	40
1.4.44 Inspänning	41
1.4.45 Temperaturer	41
1.5 Resultat	42
1.5.1 Densitet	42
1.5.2 Fuktkvot	42
1.5.3 Observationer	43
1.5.31 Bjälklagskonstruktion	43
1.5.32 Väggkonstruktion	47
1.5.4 Temperaturer	49
1.5.41 Bjälklagskonstruktion	49
1.5.42 Väggkonstruktion	58
1.6 Slutsatser från inledande försök	72

2.	FÖRSÖK MED MODIFIERAD VÄGGKONSTRUKTION	73
2.1	Konstruktionsbeskrivning	73
2.2	Provning	75
2.2.1	Termoelement	75
2.2.2	Försöksutförande	75
2.2.3	Provningsanordning	75
2.2.4	Provningsutförande	75
2.3	Resultat	76
2.3.1	Densitet	76
2.3.2	Fuktkvot	76
2.3.3	Observationer	77
2.3.4	Temperaturer	78
2.4	Slutsatser från brandprovning med modifierad konstruktion	91
3.	BRANDFÖRSÖK MED SANDWICHKONSTRUKTIONER FRÅN ANDRA LÄNDER	93
3.1	Brandmotstånd för träkonstruktioner och sandwichelementväggar - fullskaleförsök från USA	93
3.2	Sandwichelement - brandegenskaper (Kanada)	96
3.3	Föreskrifter och krav i USA för väggelement där cellplast ingår	100
4.	ALTERNATIVA YTSKIKT	103
4.1	Allmänt	104
4.2	Tändskyddande beklädnader	104
4.2.1	Träbaserade skivor	105
4.2.2	Obrännbara skivor	105
4.2.3	Kombinerade skivor	106
4.3	Bedömning	107
5.	NEDBRYTNING AV URETANCELLPLAST - RÖKGASER OCH DERAS GIFTIGHET	109
5.1	Grundegenskaper	109
5.2	Rökutveckling	109
5.3	Nedbrytning	110
5.4	Förbränningsprodukter - toxicitet	115

5.4.1	Kolmonoxid (CO)	115
5.4.2	Cyanväte (HCN)	115
BILAGA 1	- Bilder från brandprovning av bjälk- lagskonstruktion	121
BILAGA 2	- Bilder från brandprovning av vägg- konstruktion	129
BILAGA 3	- Bilder från brandprovning av den modifierade väggkonstruktionen	135
LITTERATUR		139



FÖRORD

Brandförsöken beskrivna i föreliggande rapport var ett led i den forskning om cellplastisoleringar som i flera år har bedrivits inom Avdelningen för Husbyggnadsteknik vid Chalmers Tekniska Högskola.

I syfte att tillgodose kommande bestämmelser avseende brandskydd i småhus och allmänna behov av kunskaper om byggnadskonstruktioner med plastisoleringar i samband med brand, startades i januari 1978 ett forskningsprojekt med titeln "Sandwichelement av uretancellplast. Brandteknisk undersökning".

Material- och arbetskostnader i samband med tillverkning av provelement, samt de första standardbrandprovningar bekostades av industrin. Instrumentering och utvärdering av standardbrandprovningar som underlag för kartläggning av brandbeteendet hos denna typ av konstruktioner samt brandprovning av alternativ konstruktionslösning bekostades med medel från Statens Råd för Byggnadsforskning.

I projektet var engagerade följande institutioner och personer:

Sten Flodin, Statens Råd för Byggnadsforskning

Sven Erik Magnusson, Institutionen för Byggnadsstatik, LTH, som står under ledning av professor Ove Pettersson

Bo Elenfalk, IFO Bygg AB, Östhammar

Evert Mejstedt, Stavån AB, Laxå

Åke Thorn, Masonite AB, Rundviksverken

Curt Kristiansson, Statens Provningsanstalt i Borås, Laboratoriet för brandteknik med ansvariga Göte Larsson och Åke Nordström

Julia Ondrus, Avdelningen för Husbyggnadsteknik, CTH, som står under ledning av professor Lars-Erik Larsson.

Lars-Erik Larsson har varit projektledare,
Sven-Erik Magnusson teknisk ledare och konsult.

Element, avsedda för standardbrandprovning, tillverkades av IFO Bygg AB:s fabrik i Östhammar. Alternativ väggkonstruktion tillverkades hos Stavån AB i Laxå. Flera av båda industrins personal medverkade vid framställningen och monteringen.

Provningar utfördes vid Laboratoriet för brandteknik, SP i Borås. Fotografering, observationer och utskrift av temperaturkurvor står Laboratoriets personal för.

Administration och organisation av projektet samt utvärdering och rapportering skedde vid Avdelningen för Husbyggnadsteknik, CTH. Valborg Ekman har renritat figurerna, Annika Grönvall står för utskriften.

I samband med projektet har ett stipendium ur Hjalmar Granholms minnesfond på 1000 Skr. tilldelats mig personligen. Det utnyttjade jag för ett besök hos SINTEF, Norges Branntekniske Laboratorium i Trondheim. Där fick jag ta del av bl.a. systematiska undersökningar av cellplasternas brandbeteende, sönderdelningsprodukter, rökgasernas beskaffenhet m.m.

Jag vill tacka alla, som på olika sätt bidragit vid projektets genomförande för ett gott samarbete.

Göteborg, september 1979

Julia Ondrus

SAMMANFATTNING

Föreliggande rapport behandlar brandegenskaper hos sandwichelement med kärna av uretancellplast. I rapporten beskrivs huvudsakligen egna brandförsök utförda vid Brandtekniska laboratoriet, Statens Provningsanstalt i Borås. Litteraturuppgifter om en del fullskaleförsök från andra länder redovisas. Alternativa ytskikt och deras lämplighet som brandskydd, nedbrytning av uretancellplast vid höga temperaturer samt rökgaser och deras giftighet diskuteras.

Kapitel 1 behandlar standardbrandprovningar av sandwichelement med uretancellplast som värmeisolering, ingående i ett bygg-system för småhus.

Byggnadsdelar i systemet är bärande element som består av masonite-reglar, två ytskikt och däremellan insprutad uretancellplast. Någon spikning förekommer inte. På byggplatsen fogas elementen samman med enkomponent fogskum.

Undersökningen omfattade en bjälklags- och en väggkonstruktion. Provningar skulle leda till brandteknisk klassificering av konstruktionen.

Den för brandprovning avsedda bjälklagskonstruktionen bestod av 2 st element med bredden 1200 mm, längden 4500 mm och tjockleken 181 mm. Utrymmet mellan en ram av 150 mm höga masonite-balkar med träflänsar 45x45 mm och 8 mm livsamt ytskikt av 22 mm spånskiva på ovasidan och 9 mm gipsplatta på undersidan var fyllt med 150 mm uretancellplastisolering av densiteten 45 kg/m^3 .

Väggkonstruktionen hade en något modifierad uppbyggnad. Den bestod av 3 st sammanfogade element med höjden 2500 mm och tjockleken 150 mm. Ramen var av 110 mm masonite-reglar med träflänsar 35x45 mm och 6 mm liv.

Insidans ytskikt bestod av 13 mm glasfiberarmerad gipsskiva (5% glasfibrer inblandade i gipsmassan vid tillverkningen). Utsidans ytskikt var av 9 mm tjock träfiberskiva med 18 mm gles panel på.

Skall en konstruktion klassificeras som bärande brandavskiljande byggnadsdel, skall den enligt de kommande kraven för småhus på brandklass B30, motstå brandpåverkan i 30 minuter samt inte förlora sin bärförmåga under därefter följande avsvälning (SBN 75, 37:114).

Brandmotstånd bestämdes enligt i ISO 834 angiven provningsmetod.

Bjälklagskonstruktionen	motstod	branden	i	20 min	10 s.
Väggkonstruktionen	"	"	"	i	27 min 15 s.

I detta utförande uppfyllde de alltså inte kraven på brandteknisk klass B30.

Standardbrandprovningar kompletterades med extra instrumentering för att kunna belysa brandbeteendet hos den här typen av konstruktioner vad det gäller reglarnas bärförmåga, ytskiktens tändskyddande funktion samt cellplastens sönderdelningsegenskaper.

Försöksresultat sammanfattades på följande sätt:

- Så länge ytskikten skyddar cellplasten ifrån direkt antändning, sker ingen nedbrytning av cellplasten - inga höga temperaturer bakom tändskyddande skikt.
- Nedbrytning av cellplasten efter att elden angriper den, sker successivt. Plasten sönderdelas och förvandlas till rökgaser och kolskelett. Man kan konstatera att i de utförda försöken skedde förkolningen av cellplasten med en hastighet av 1,5 cm/min.
- Rökutvecklingen var mycket kraftig och i slutskedet explosionsartad.

- Konstruktionen förlorade sin bärförmåga p.g.a. att masonite-livet i reglarna har brunnit genom.
- Glasfiberarmeringen i gipsskivan bidrar klart till att gipsskivan håller ihop längre tid och därmed skyddar bakomliggande cellplast mot antändning.

Den instrumentering med vilken standardbrandprovningar kompletterades, var mycket värdefull. Den gav anvisning om svaga punkter i konstruktionen och möjliggjorde noggrann utvärdering av provningarna. Det fanns goda förutsättningar för att konstruktionen efter rimlig modifikation skulle uppfylla uppställda funktionskrav.

Efter analys av standardbrandprovningarna beskrivna i kap. 1, utformades konstruktionen vidare. Fortsatt arbete koncentrerades till väggkonstruktionen.

Följande åtgärder vidtogs i uppbyggnaden av den modifierade konstruktionen:

- 13 mm tjock glasfiberarmerad gipsskiva som inre ytskikt byttes ut mot en 15 mm tjock sådan
- tjockleken på masonite-liven i reglarna ökades från 6 mm till 8 mm
- reglarna behandlades med brandskyddsfärg i två strykningar (ca 300 g/m²)

I övrigt var konstruktionen identisk med den för standardbrandprovningen avsedda och i kap. 1 beskrivna. Den bestod av 3 st sammanfogade element med höjden 2500 mm och tjockleken 138 mm (istället för fasadpanel med total tjocklek 27 mm användes nu en 13 mm gipsskiva för utvändigt bruk). Ramen var av 110 mm masonite-reglar med träflänsar 35x45 mm och med som ovan nämndes 8 mm liv. På insidan utgjordes ytskiktet av 15 mm glasfiberarmerad gipsskiva (5% glasfiber inblandade i gipsmassan vid tillverkningen).

Motståndsförmågan mot brand bestämdes som förut enligt i ISO 834 angiven brandprovningmetod. Försökets utförande var identiskt med det i kap. 1 beskrivna.

Resultaten visar att den modifierade väggkonstruktionen uppfyllde kraven på brandteknisk klass B30 som bärande och brandavskiljande byggnadsdel. Efter 35 min - då försöket avslutades - hade den sin bärförmåga kvar och temperaturen på den från elden vända sidan steg inte alls.

Brandprovning med modifierad väggkonstruktion enligt kap. 2 kan sammanfattas på följande sätt:

- Det inre ytskiktets brandmotstånd var avgörande för hela konstruktionens brandmotstånd. Ett skydd mot antändning av cellplasten på mellan 20 och 22 min. tros vara tillräckligt.
- Nedbrytning av uretancellplasten under begränsad lufttillförsel (så länge ytskiktet är intakt) sker långsammare - rökutvecklingen blir också betydligt mindre.
- Större tjocklek hos masonite-liven i reglarna bedöms som bidragande för väggens stabilitet under en brand. Det förekom nämligen ingen synlig deformation (utbuktning) hos väggen under hela brandförloppet, till skillnad från det tidigare försöket, då väggen bågnade ut ca 15 cm och trycktes ihop ca 2 cm vertikalt. (Se bilderna i bildbilaga 2 och 3 och jämför!)
- Behandling av masonite-reglar med brandskyddsfärg var en åtgärd som visade sig överflödig.

Gemensamt för försöken var, att genombränningstiden för gipsskivan var lika lång oavsett om gipsskivan låg an mot träregeln eller mot uretancellplasten. Cellplasten förorsakar alltså inte högre genombränningshastighet hos gipsskivan.

I kapitel 3 beskrivs några brandförsök från USA och Kanada som är av intresse i samband med sandwichkonstruktioner med kärna av uretancellplast. Brandförsöken utförda i USA ger även en jämförelse med traditionella träregelväggar. Träregelväggar med 90 mm mineralull och olika ytskikt klarar nätt och jämnt de svenska kraven på brandteknisk klass B30. Element av ren sandwichtyp i de aktuella försöken kollapsade efter några få minuter då samverkan mellan ytskikten och kärnan upphörde. Med ett tillräckligt brandskydd på den för elden exponerade ytan erhöles då tillfredsställande resultat. Vid försöken i USA användes brandskydd i form av gipsskiva eller brandskyddande cementpasta av svällande typ.

Kombinationen sandwichelement - regelvägg av den typ som provats inom ramen för detta projekt, kan betraktas som en från brandsynpunkt realistisk konstruktionslösning, speciellt som bärande byggnadsdel.

Som ytskikt eller extra brandskydd rekommenderas allmänt i litteraturen gipsskiva. Det är gipsskivans förmåga att binda värme genom hydratisering (utan att krympa) som är så fördelaktig.

Kapitel 3 innehåller även beskrivning av brandförsök med element för främst industribyggnader enligt en metod kallad "Corner Test". På det sättet undersöktes i full skala element med metallytskikt. På grund av dessa och liknande försök finns i USA sedan 1975 vissa bestämmelser för utformning av sandwichelement med kärna av cellplast och deras användning i byggnader. En del av bestämmelserna återges i kapitel 3. Ganska stor vikt läggs på flamspridningsegenskaper hos cellplastkärnan. Det bör nämnas att cellplaster idag även i Sverige innehåller brandhämmande, (flamskyddande) medel som gör dem "svårantändliga" under vissa provningsbetingelser. (SIS 02 48 21, NORDETEST brandprovningssmetod nr 2, se Brandriskutredningen).

Kapitel 4 visar hur läget är i Sverige och vad som kan väntas angående krav på tändskyddande beklädnad för konstruktioner där cellplast ingår. Alternativa ytskikt i form av träbaserade skivor, obrännbara och kombinerade material beskrivs närmare. Några exempel ges på lämpliga ytskiktsmaterial som finns på den svenska marknaden. Det bör beaktas att obrännbara ytskikt inte alltid behöver utgöra den bästa lösningen.

Nedbrytning av uretancellplast vid höga temperaturer samt rökgaser och deras giftighet i samband med uretancellplastens nedbrytning diskuteras i kapitel 5. Rökutvecklingen bestäms i s.k. röktäthetskammare (Smoke Density Chamber) och nedbrytningen genom att på olika sätt bestämma massförlust vid uppvärmning. Några resultat från Norges Branntekniske Laboratorium i Trondheim samt från projektarbeten på CTH redovisas. Vid en temperatur mellan 300 °C och 400 °C förlorar uretancellplast på 5 min under laboratorieförhållanden 50% av sin vikt. Andra plaster som t.ex. styrencellplast förlorar inte så mycket i vikt, men desto mera i volym - de smälter.

En jämförande undersökning mellan uretancellplast och trä gjordes i England. Vid en jämförelse av massförlusten i g per ytenhet avger uretancellplast före övertändning (i början av ett brandförlopp) mindre mängd brännbara gaser än trä. Nedbrytning av uretancellplast sker dock mycket hastigt. Vid högre termisk påverkan (vid fullt utvecklade brand) är förhållandet omvänt. Det är kanske värt att nämna att vissa plaster vid begränsad ventilation har stark rökutveckling som ökar med ökad ventilation, vilket innebär att man inte kan vädra bort röken. Förloppet skiljer sig från det man är van vid, då traditionella material brinner. Rökproduktionen för t.ex. trä vid begränsad ventilation är stor och minskar med ökad ventilation.

Vid förbränning av uretancellplast bildas huvudsakligen:

- kol och syre i form av koldioxid (CO_2) och kolmonoxid (CO)
- kväveföreningar som cyanväte (HCN), nitroösa gaser ($\text{NO}+\text{NO}_2$) och ammoniak (NH_3)
- klorföreningar som klorväte (HCl)
- fosforföreningar, mest fosforpentoxid (P_2O_5)

De två senare härstammar från brandhämmande medel som ingår i cellplasten. Kolmonoxid (CO) bildas vid en brand genom ofullständig förbränning av alla brännbara material. I kapitel 5 redovisas några litteraturuppgifter vad gäller de uppmätta koncentrationer av kolmonoxid från uretancellplast vid laboratorie- och fullskaleföroök. Hur människan reagerar på olika kolmonoxidhalter i andningsluften redovisas också. I förbränningsgaser från uretancellplast vid laboratorieföroök har vid $800\text{ }^\circ\text{C}$ och 21% O_2 (syre) uppmätts högst 7900 ppm CO. 10000 ppm CO anges som dödlig mängd efter 1 min. 3000 ppm CO är farlig mängd vid inandning under 1/2 timme.

Vid korttidsexponering har kolmonoxid inga kända bestående effekter. Den undantränger syre från hemoglobinet i blodet och därigenom tillförsel av syre till vävnader. Vid exponering under längre tid medför syrebrist sekundära vävnadsskador. Dödsorsak är inre kvävning.

Cyanväte (HCN) har dödlig effekt i mycket mindre koncentrationer än kolmonoxid (CO). 30-40 gånger mindre koncentration av HCN än av CO behövdes då 50% av försöksråttor hade dött vid djurföroök utförda i USA. Den uppmätta mängden av HCN vid förbränning av uretancellplast är också mycket mindre än mängden av CO.

Enligt norska föroök vid förbränning av uretancellplast vid temperaturer upp till $600\text{ }^\circ\text{C}$ bildas inte något cyanväte alls. Vid en tillbakablick på temperaturkurvor från brandföroök med den aktuella sandwichväggen,

ser man att under de första 20 minuterna då cellplasten är skyddad av gipsskiva, stiger inte temperaturen i cellplasten mera än 200 °C. En temperatur på 600 °C i cellplasten uppnås efter 28 - 30 min. Det tyder på att uretancellplast inbyggd i en konstruktion med tillräckligt brandskyddande ytskikt för att klara kraven på B30, kan bedömas under de 30 minuterna som riskfri, vad gäller utveckling av cyanväte.

Det var planerat att inom ramen för detta projekt jämföra utförda provningar med teoretiska beräkningar. Ett vid Institutionen för Byggnadsstatik, LTH i Lund, befintligt dataprogram skulle användas. Detta program bygger på att stora bitar av gipsskivan ramlar av och att elden angriper uretancellplast efter en förhållandevis kort tid. Så var inte fallet i de aktuella försöken och därför kunde inte det färdiga dataprogrammet användas. Att utarbeta ett nytt dataprogram bedömdes som orimligt inom ramen för detta projekt.

INLEDNING

Efter energikrisen hösten 1973 då hårdare krav på värmeisolerings orsakade ökade tjocklekar och därmed även ökade kostnader hos mineralullisolerade konstruktioner, började nya byggsystem med andra isoleringsmaterial utvecklas.

Ett av dem är den aktuella sandwichkonstruktionen med värmeisolerings av uretancellplast. Uretancellplast hör till de bästa, hittills kända värmeisoleringsmaterialen och är dessutom mycket lämplig vid fabrikstillverkning av sandwichelement.

Konstruktionen är uppbyggd av bärande bjälklags-, vägg- och takelement. Elementen består av en ram av masonitereglar och två ytskikt sammanhållna med insprutad uretancellplast. På byggplatsen fogas elementen samman med enkomponent fogskum.

Systemet är huvudsakligen avsett för småhus, där vägg- och bjälklagselement skall fungera som bärande byggnadsdelar. Hållfasthetsegenskaper under brand är beroende av de bärande masonitereglarna, men i stor utsträckning även av sammanhållningen mellan reglar, skivmaterial och cellplastkärna. Skall konstruktionen klassificeras som bärande brandavskiljande byggnadsdel, skall den enligt de kommande kraven för småhus på brandklass B30, motstå brandpåverkan i 30 minuter samt inte förlora sin bärförmåga under därefter följande avsvälning (SBN 75, 37:114)

I föreliggande rapport beskrivs dels standardbrandprovningar av en bjälklags- och en väggkonstruktion av sandwichelement enligt ovan beskrivna byggsystem, dels brandprovning av en modifierad väggkonstruktion som kan ligga till grund för utformning av liknande konstruktioner.



SYFTE

Totalt utfördes tre försök. I de två inledande försöken (kap. 1) undersöktes motståndsförmågan vid brand för en bjälklags- och en väggkonstruktion av sandwichtyp med värmeisolering av uretancellplast.

Syftet med dessa försök var att:

- vid standardbrandprovning samt extra instrumentering få anvisning om svaga punkter i konstruktionen
- med hjälp av noggrann utvärdering avgöra om konstruktionen har förutsättningar att uppfylla uppställda funktionskrav ev. efter rimlig modifikation

Efter noggrann utvärdering av de inledande försöken med hjälp av erhållna nya kunskaper om brandegenskaper hos den inbyggda cellplasten, tändskyddande skikt m.m. utformades en sandwichkonstruktion för ett tredje försök (kap. 2).

Syftet med det tredje försöket var att:

- bestämma om konstruktionen kan klassificeras som bärande brandavskiljande byggnadsdel enligt de kommande kraven för småhus på brandklass B30
- bestämma vilka av vidtagna åtgärder som är avgörande för att konstruktionen uppfyller uppställda krav

Hela arbetet syftade dessutom till att även allmänt belysa brandbeteendet hos konstruktioner med brännbart isoleringsmaterial, speciellt cellplast (kap. 5).

1. STANDARDBRANDPROVNINGAR

1.1 Konstruktionsbeskrivning - allmänt

För brandprovning utvalda byggnadsdelar ingår i ett byggsystem, som består av golv-, vägg- och takelement. Elementen med bredden 120 cm är uppbyggda av masonite-reglar i form av en ram och två ytskikt av skivmaterial. Utrymmet mellan skivmaterialen är fyllt med värmeisolering av uretancellplast.

Elementen tillverkas horisontellt i en press. Polyuretansprutas in under högt tryck, jäser och hårdnar till cellplast, allt medan elementen fortfarande befinner sig i pressen. Någon spikning mellan skivor och regler förekommer inte. Det är uretancellplast med sin höga vidhäftningsförmåga som binder samman ramen och ytskikten. På det sättet får man en stabil sandwichkonstruktion. Sammanfogning av elementen till hela konstruktioner sker på byggplatsen med hjälp av enkomponent fogska.

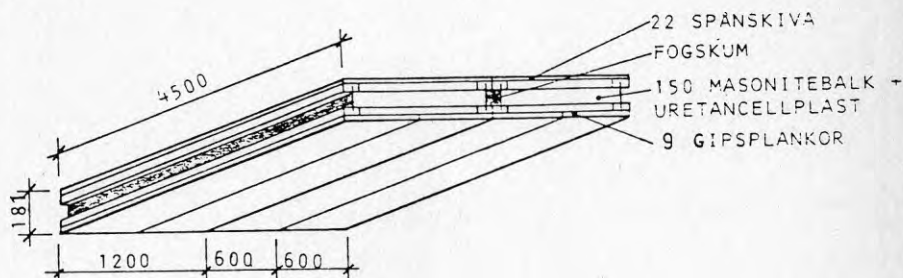
Den inledande brandundersökningen omfattade en bjälklags- och en väggkonstruktion, vilka provades var för sig.

1.2 Bjälklagskonstruktion

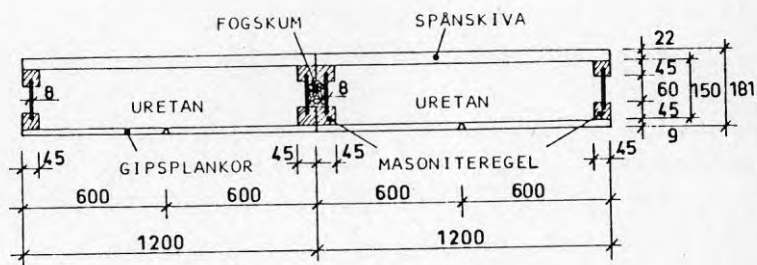
Bjälklaget för brandprovning bestod av 2 st. element vardera uppbyggt av en ram av 150 mm höga masonite-balakar med 22 mm spånskiva på ovansidan och 9 mm gipsplankor, 60 cm breda, på undersidan. Mellanutrymmet var fyllt med värmeisolering av uretancellplast med en nominell densitet 45 kg/m^3 . Spännvidden var 4500 mm, bredden på elementen 1200 mm och tjockleken 181 mm. Bjälklagskonstruktionen visas närmare i Fig. 1.21.

Elementen sammanfogades med enkomponent fogskum vid monteringen. På eldsidan spacklades med sandspackel över fogen.

Bilder över monteringen finns i bildbilagan, bild nr. 1.1 och 1.2.



BJÄKLAGSKONSTRUKTION FRÅN ELDSIDAN



SAMMANFOGADE BJÄKLAGSELEMENT

mått i mm

Fig. 1.21 Bjälklagskonstruktion för brandprovning

1.3 Vägghkonstruktion

Väggen för brandprovning bestod av 3 st. väggelement vardera 1200 mm breda, 2500 mm höga och 150 mm tjocka, sammanfogade till en hel vägg. Bredden anpassades till brandugnens öppning genom att såga bort ca 300 mm från kantelementen.

Ursprungligt utförande

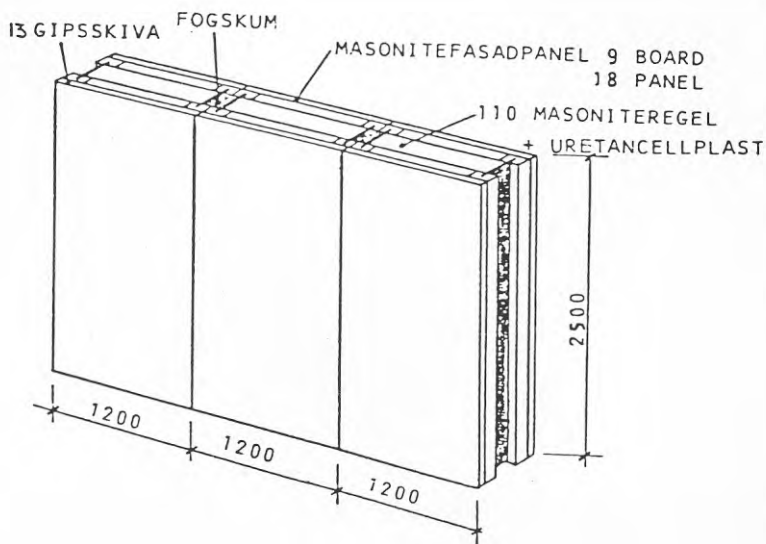
Väggelement i sitt ursprungliga utförande hade en ram av masonite-reglar, masonite-fasadpanel (9 mm board och 18 mm panel) på utsidan, 13 mm standardgipsskiva på insidan och 110 mm uretancellplast med densitet 45 kg/m^3 mellan ytskikten. Uppbyggnaden framgår av Fig. 1.31.

Provväggen - utförande

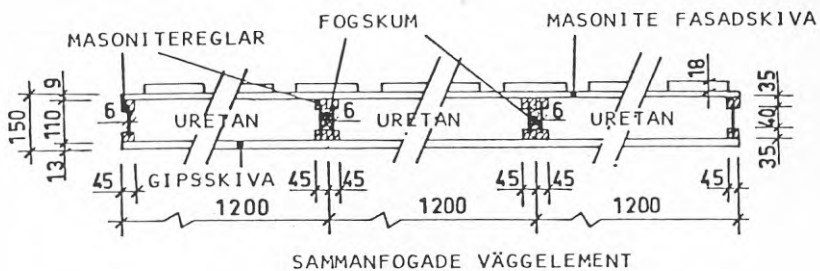
Efter bedömning att väggen i dess ursprungliga utförande inte skulle klara brandbelastning under 30 min. och därmed inte uppfylla de kommande kraven på brandteknisk klass B 30, utsatte man för brand en något modifierad väggkonstruktion. Modifikationen bestod i att man bytte ut standardgipsskivan mot en 13 mm tjock glasfiberarmerad sådan av fabrikat Danogips. Andra delar av väggelementen var identiska med det ursprungliga utförandet. Se Fig. 1.31.

En standardgipsskivas kärna består huvudsakligen av gips och kristallbundet vatten ($\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Vid högre temperaturer frigörs det kristallbundna vattenet, gipsskivan förlorar successivt sin stabilitet och förvandlas till pulver. För en glasfiberarmerad gipsskiva blir tiden för total pulverisering längre, tack vare förbindningar mellan glasfibrer och gips. Glasfiberarmeringen hos en sådan skiva består av korta mycket tunna glasfibrer, vilka blandas i själva gipsmassan vid tillverkningen.

Elementen sammanfogades med enkomponent fogskum och på eldsidan spacklades med sandspackel. Bilder från monteringen återfinnes i bilaga 2, bild nr. 2.2 - 2.4.



VÄGGKONSTRUKTION FRÅN ELDSIDAN



mått i mm

Fig. 1.31 Väggekonsruktion för brandprovning

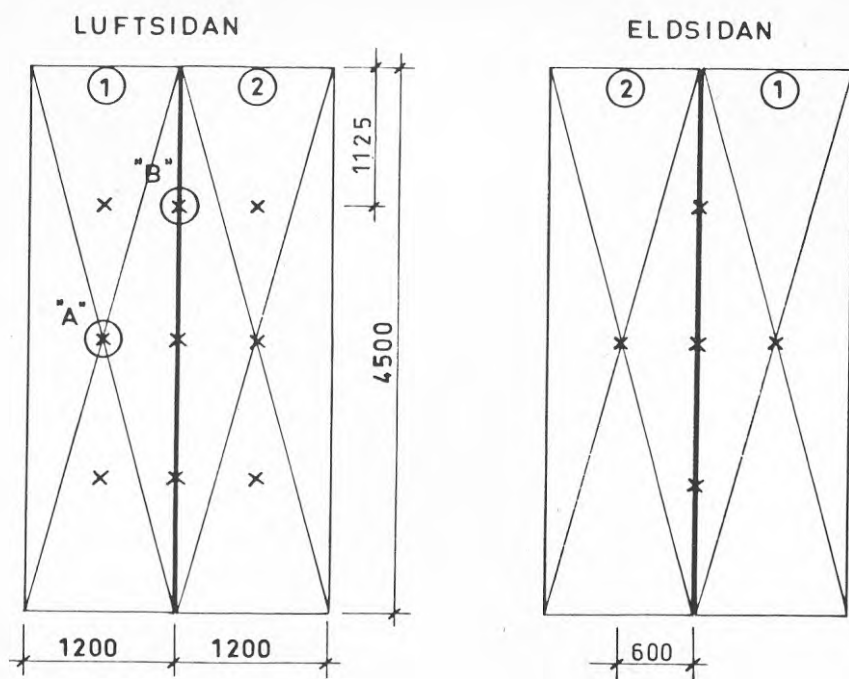
1.4 Provning

1.4.1 Placering av termoelement

Avsikten var att följa temperaturutvecklingen under brandprovningen så noga som möjligt. Temperaturen på yttre och inre ytor, på olika nivåer i cellplastisoleringen samt i skarvarna på reglarnas ytor och i fogsrummet uppmättes. En del termoelement placerades direkt vid tillverkningen. Före brandprovningen borrades genom yttre ytskikt i de färdiga elementen små hål, och termoelementen placerades i cellplasten på 3 olika nivåer. Hål för termoelementen för temperaturmätning i cellplasten borrades med 1 cm mellanrum i horisontalled. I fogen placerades termoelementet i masonite-livet, mellan flänsarna och i skummet. Allt detta vid monteringen. Fig. 1.41 och 1.42 visar den exakta placeringen av alla termoelement. Nummering av temperaturmätningarna visas i Fig. 1.43 och 1.44, och återkommer vid redovisning av resp. temperaturkurvor.

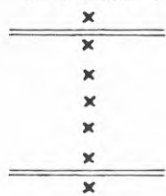
För temperaturmätning användes termoelement av typen Chromel-Alumel (ChAl) och termoelementtråd \varnothing 0,55 mm typ K. För dessa gäller följande toleranser vid olika temperaturer:

Temperatur i $^{\circ}\text{C}$	Tolerans
+ 18 + 275	$\pm 2,2$ $^{\circ}\text{C}$
+ 275 + 563	$\pm 3/4$ %
+ 565 + 1200	$\pm 3/4$ %



DETALJ "A"

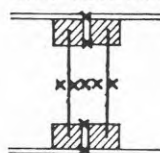
LUFTSIDAN



ELDSIDAN

DETALJ "B"

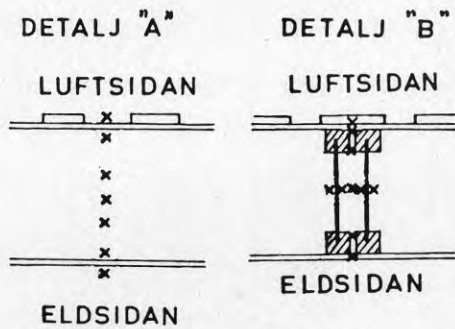
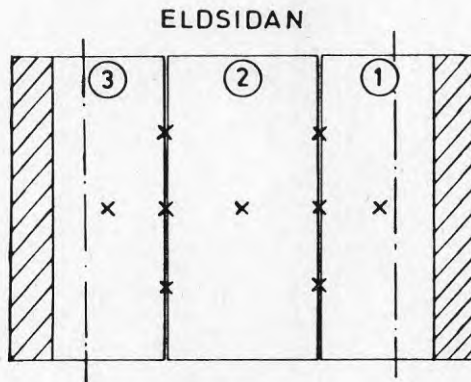
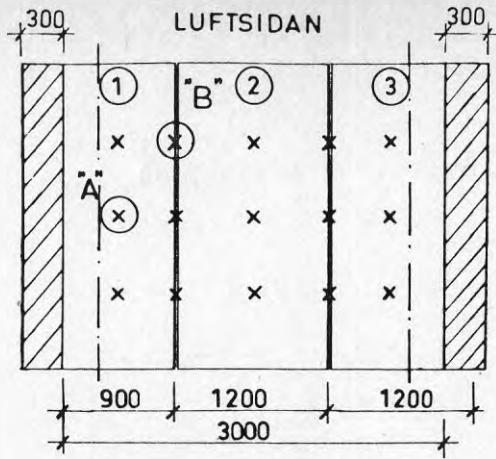
LUFTSIDAN



ELDSIDAN

mått i mm

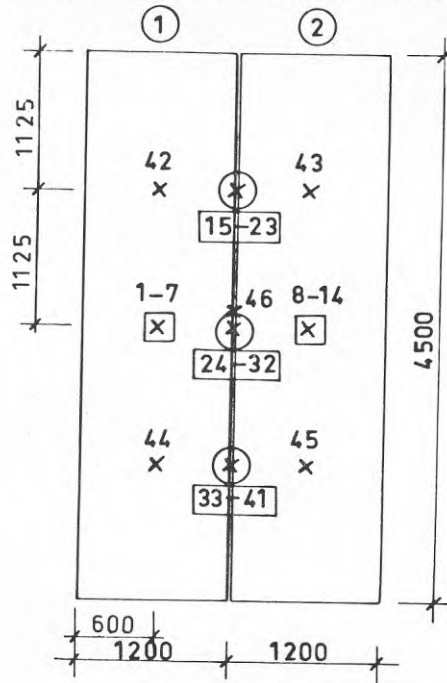

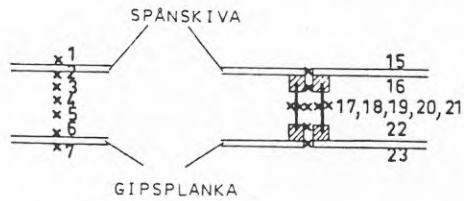

Fig. 1.41 Bjälklagskonstruktion. Placering av termoelement.



mått i mm

Fig. 1.42 Vägghkonstruktion. Placering av termoelement.

BJÄKLKLAGET FRÅN LUFTSIDAN

DETALJ AV DETALJ AV 

mått i mm



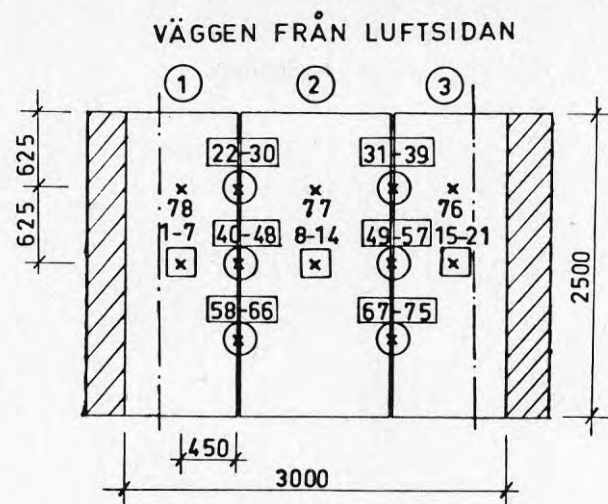
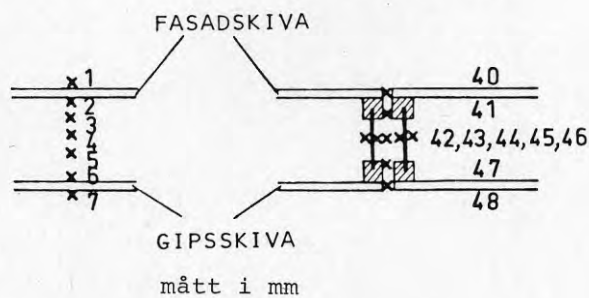
-  genomgående i fogen
-  genomgående mitt i elementet
- x enbart på ytan

Fig. 1.43 Bjälklagskonstruktion. Numrering av temperaturmätningarna.



DETALJ AV x

DETALJ AV x



- x genomgående i fogen
- x genomgående mitt i elementet
- x enbart på ytan

Fig. 1.44 Vägghkonstruktion. Numrering av temperaturmätpunkterna.

Termoelement för mätning av yttemperaturer monterades med hjälp av en kopparbricka \varnothing 12 mm och $t = 0,2$ mm. Den täcktes med isolering (30 x 30 x 2) mm av Navilite N och fästes med hållare och skruv till ytan. Se Fig. 1.45.

Temperaturer på inre ytor, på regler och i cellplasten, mättes med termoelement av typ Quick-Tip från USA, s.k. kula. Se Fig. 1.45.

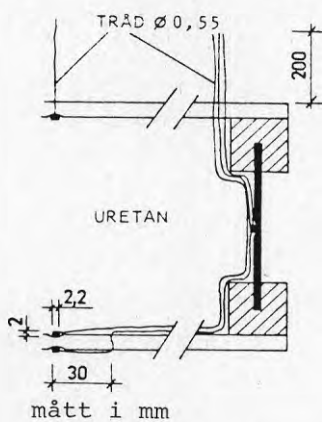
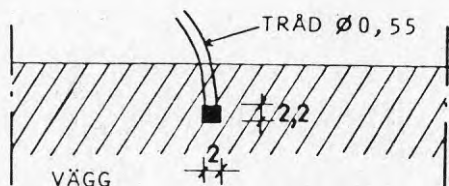
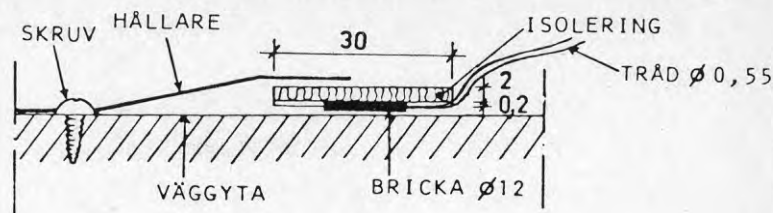


Fig. 1.45 Infästning av termoelement.

Överst: Termoelement för mätning av yttemperaturer.

Mitten: Termoelement för mätning av temperaturer i cellplasten, s.k. kula.

Underst: Detalj av termoelementplacering på inre ytor. (Gjort vid tillverkningen).

1.4.2 Försöksutförande

Eftersom bägge de aktuella konstruktionerna representerar i praktiken bärande byggnadsdelar skall de vid brandprovning enligt Svensk Standard SIS 024820 ISO 834 "... belastas så, att påkänningarna i kritiska snitt blir ungefär desamma som byggnadsdelen eller elementet - i full skala - normalt beräknas få".

1.4.21 Påförda laster

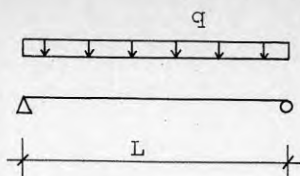
För framtagning av laster tillämpades följande förutsättningar:

Vanlig nyttig last på bjälklag enligt SBN 75:

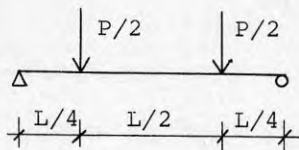
vilande	0,5 kN/m ²
+ rörlig	1,0 "
Σ	<u>1,5 kN/m²</u>

Bjälklag

Av praktiska skäl belastades bjälklaget med två linjelaster istället för jämnt utbredd last. För att tillgodose den tidigare omnämnda "Svensk Standard" räknades vanlig nyttig last 1,5 kN/m² om till två linjelaster enligt följande:



$$M_q^{\max} = \frac{qL^2}{8}$$



$$M_P^{\max} = \frac{P \cdot L}{2 \cdot 4} = \frac{PL}{8}$$

$$M_q^{\max} = M_P^{\max} = \frac{qL^2}{8} = \frac{PL}{8}$$

$$P = q \cdot L/m$$

Elementbredd = 1,20 m; Teoretisk längd = 4,50 m

Upplagens bredd motsvarar väggens tjocklek $b = 132$ mm.

$$L = 4,50 \text{ m} - b$$

$$L = 4,50 \text{ m} - 0,132 \text{ m} = 4,37 \text{ m (Mellan upplag)}$$

$$P = 1,50 \cdot 1,20 \cdot 4,37 = 7,87 \text{ kN}$$

Lasten påfördes i form av två linjelaster vardera 7,86 kN i 1/4 punkterna.

För ändamålet specialgjutna betongbalkar kördes från Chalmers Tekniska Högskola till SP i Borås. Belastningssätt framgår av Fig. 1.4.21 och synes även på bild nr. 1.3 och 1.4 i bilaga 1.

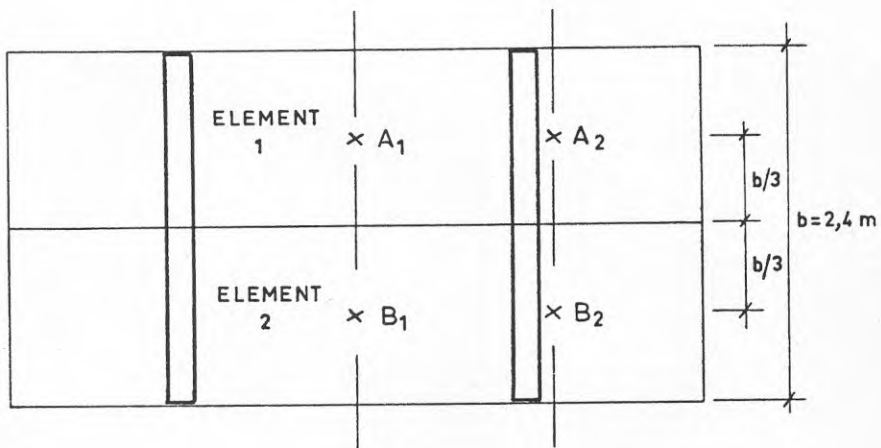
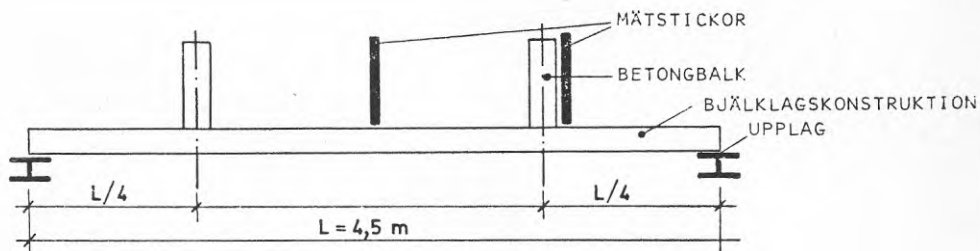


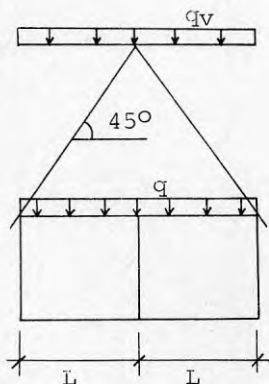
Fig. 1.4.21 Belastningsätt och mätpunkter för deformationsmätning vid brandprovning av bjälklagskonstruktion.

Vägg

Väggkonstruktionen belastades vertikalt med jämnt utbredd last enligt följande:

Elementbredd = 1,20 m; Höjd = 2,50 m; Tjocklek = 0,132 m

Antaganden:



q_v = Snölast

q = Nyttig last

$L = 4,50$ m

- 1) Snölast på tak med 45° lutning för snözon A
- 2) Egenvikt tak
- 3) Egenvikt bjälklag
- 4) Vanlig nyttig last enligt SBN 75.

$$1) \text{ Snölast snözon A } q_v = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{För taklutning } 45^\circ q_v = 0,5 \cdot 2,5 \text{ kN/m}^2$$

- 2) Egenvikt tak

Betongtakpannor 400 N/m^2

Läkt 15 ''

Papp 4 ''

Takelement

$$0,013 \cdot 2600 + 0,15 \cdot 45 + 0,009 \cdot 850 + \frac{2 \cdot 0,045^2 \cdot 600}{0,60} =$$

$$= 523 \text{ N/m}^2 = 0,523 \text{ kN/m}^2$$

Totalt

$$400 + 15 + 4 + 523 = 942 \text{ N/m}^2 = 0,95 \text{ kN/m}^2$$

3) Egenvikt bjälklag

Element:

$$0,022 \cdot 700 + 0,15 \cdot 45 + \frac{2 \cdot 0,045^2 \cdot 600}{0,60} + 0,013 \cdot 2600 =$$

$$= 600 \text{ N/m}^2 = 0,60 \text{ kN/m}^2$$

4) Nyttig last på bjälklag enligt SBN 75

$$1,5 \text{ kN/m}^2$$

Total last på vägg

$$(0,5 \cdot 2,5 + 0,95 \cdot \sqrt{2 + \frac{1,5}{2} + \frac{0,6}{2}}) 4,50 = 16,4 \text{ kN/m}$$

Väggen bestående av 3 st. element kapades till en bredd av 3 m (brandugnens öppning) och belastades över hela 3 m med 16,4 kN/m, dvs. 49,2 kN. För att åstadkomma last av den storlek användes SP:s belastningsanordning för vertikalugn. Se bild nr 2.1 i bildbilagan.

1.4.3 Provningsanordning

Provningsen utfördes vid Laboratoriet för brandteknik (A4) vid Statens Provningsanstalt i Borås.

Väggkonstruktionen provades i vertikalugn och bjälklagskonstruktionen i horisontalugn. Vid provning av brandmotstånd för byggnadsdelar tillämpades den internationella brandprovningssmetoden ISO 834.

Brandprovningssugarna har murade väggar 230 mm tjocka av tegelstenar, "Hiporos 85". Ugnarna uppvärms med oljebrännare, vilka tänds med propangas. Det finns 12 st. oljebrännare i horisontalugnen och 6 st. i vertikalugnen. Vertikalugnens dimensioner är: (bredd x höjd x djup) 3 m x 3 m x 1,8 m; horisontalugnens 5,1 m x 3 m x 2,25 m.

Ugnarna styrs automatiskt efter en i förväg uppritad

tid - temperaturkurva. Då provningarna utfördes i enlighet med de i ISO 834 angivna riktlinjerna, motsvarades det styrande tid - temperaturförloppet av standardbrandkurvan. Det finns även möjlighet till manuell styrning förutom för ugnstemperatur också för tryck, extraluft, oljetryck och hydrauliskt oljetryck. Dessa värden registreras på skrivare.

I horisontalugnen finns öppningar för 2 st. ugnskameror, i vertikalugnen för en sådan. Med hjälp av dessa kan brandförloppet från eldsidan följas på en TV-skärm placerad utanför provningshallen. Brandförloppet kan även spelas in på film.

Alla mätinstrument är kopplade till en scanner, som läses av datorn PDP 11/34, 48 K med en hastighet av 10 kanaler per sekund. Mätvärdena registreras kontinuerligt och skrivs ut på radskrivare, bildskärmsterminal eller plotter.

Förutom mätvärdesinsamling används datorn för teoretiska beräkningar och analys av mätvärden.

1.4.4 Provningsförfarande

1.4.41 Konditionering

Provobjekten levererades till Brandtekniska Laboratoriet 4 veckor före provningen. De lagrades fram till provningen i konstant klimat, 25°C och 60% R.F.

1.4.42 Densitet och fuktkvot

Densitet och fuktkvot för ingående komponenter bestämdes strax före provningen. Fuktprover från alla ingående material torkades under 1 dygn vid 105°C. Dessutom bestämdes gipsskivans fuktkvot vid 60°C.

1.4.43 Observationer

Observationer och fotografering utfördes fortlöpande. För bjälklagskonstruktioner följdes även deformationernas förlopp. Vid mitten och vid ena 1/4-delspunkten på var och en av bjälklagselementen mättes nedböjning i vissa tidsintervall med hjälp av mätstickor. Se Fig. 1.4.21 och bild nr. 1.4 i bildbilagan.

1.4.44 Inspänning

Bjälklagskonstruktionen var fritt upplagd på 2 st. upplag med 132 mm bredd (upplagens bredd motsvarade väggens tjocklek). Vid långsidan byggdes upp en mur av lättbetongblock och utrymmet mellan muren och bjälklaget tätades med mineralull. Se bild nr. 1.3 och nr. 1.5 i bildbilagan.

För väggkonstruktionen sammanfogades 3 st. element. Därefter sågades bort 30 cm från kantelementen för att få en 3 m bred provvägg som skulle passa i brandugns öppning. Väggen placerades i en stålkonstruktion med betongram och belastningsanordning. (Se bild nr. 2.1 i bildbilagan). Provväggen tätades mot betongramen med lös mineralull. Stålkonstruktionen med provväggen i, flyttades sedan tätt intill öppningen. Belastningen påfördes en 1/2 timme före brandprovet. Hela väggens tjocklek utom gips-skivan belastades med jämnt utbredd last.

1.4.45 Temperaturer

Temperaturer i alla mätpunkter registrerades fortlöpande. Likaså ugnens temperatur med 6 st. termoelement placerade i ugnen. Alla temperaturer registrerades som temperaturstegring från det ursprungliga läget vid rumstemperaturen innan oljebrännarna tändes.

1.5 Resultat

1.5.1 Densitet

Uretancellplastens densitet bestämdes till:

36 kg/m³ i bjälklagselementen
40 kg/m³ i väggelementen

1.5.2 Fuktkvot

Efter sanwichelementenas konditionering i konstant klimat (25°C och 60% RF) bestämdes fuktkvoten för alla ingående material. Efter torkning vid 105°C under 1 dygn var fuktkvoten:

<u>Bjälklagselementen</u>	Gipsskiva	19 vikt-%
	Uretancellplast	2 "
	Regel-fläns	10 "
	Masonite-liv	8 "
	Spånskiva	7 "

Gipsskiva efter torkning vid 60°C 3 "

<u>Väggelementen</u>	Gipsskiva (fiberarmerad)	20 vikt-%
	Uretancellplast	4 "
	Vertikal regel- fläns	12 "
	Horisontell regel- fläns	6 "
	Masonite-liv	8 "
	Träfiberskiva	8 "

Gipsskiva efter torkning vid 60°C 1 "

1.5.3 Observationer1.5.31 BjälklagskonstruktionObservationer från eldsidan

00 min 00 s	Start
2 min 10 s	Fast eld i pappskiktet på gipssidan
3 min 25 s	Små sprickor i gipsskivorna
8 min 30 s	Gipsskivorna är delvis borta. Fast eld i cellplasten
10 min 30 s	Kraftig eld i cellplastisoleringen
11 min 00 s	Gipsskivorna har fallit ner
14 min 00 s	Hela ugnen är rökfylld. Observationer går inte längre att utföra

Observationer från luftsidan

00 min 00 s	Start
12 min 00 s	Rökutvecklingen börjar vid långsidorna genom otätheter mellan elementen och lättbetongmuren
12 min 30 s	Rökutvecklingen ökar. Sticklågor vid långsidorna. Kraftiga "puffar" med mycket rök av grå-grön ibland gul färg
15 min 00 s	Avtagande rökutveckling - nästan ingen ny rök synlig
17 min 30 s	Ny rökutveckling, kraftiga explosioner. Eldkvastar slår ut vid långsidorna
19 min 00 s	Avtagande rökutveckling
19 min 30 s	Bjälklaget sjunker
20 min 10 s	Bjälklaget knäcks och faller ner i ugnen

Efter ca 11 minuter, då elden spred sig i cellplastisoleringsen, brann konstruktionen så kraftigt att brännaren stängdes av helt. Brännbara gaser exploderade och eldkvastar slog ut även genom explosionsluckor. Hela ugnen var rökfylld och rökutvecklingen kan bedömas som mycket kraftig.

Brandförloppet från luftsidan kan följas steg för steg i bildbilagan fr.o.m. bild nr 1.4 t.o.m. bild nr 1.12.

Deformationer

Uppmätta deformationer illustreras i diagramform i Fig. 1.5.31. Den största registrerade nedböjningen mätt efter 17 minuter var 44 mm för element 1 och 45 mm för element 2. Deformationshastigheten varierade något. Under första 5 min var tillväxten av nedböjningen ca 2 mm/min; mellan 5:e och 10:e min endast 0,2 mm/min; mellan 10:e och 14:e min 1,3 mm/min. Den största tillväxten skedde mellan 14:e och 17:e min, 5 mm/min. Se även bild nr 1.9, 1.11 och 1.12.

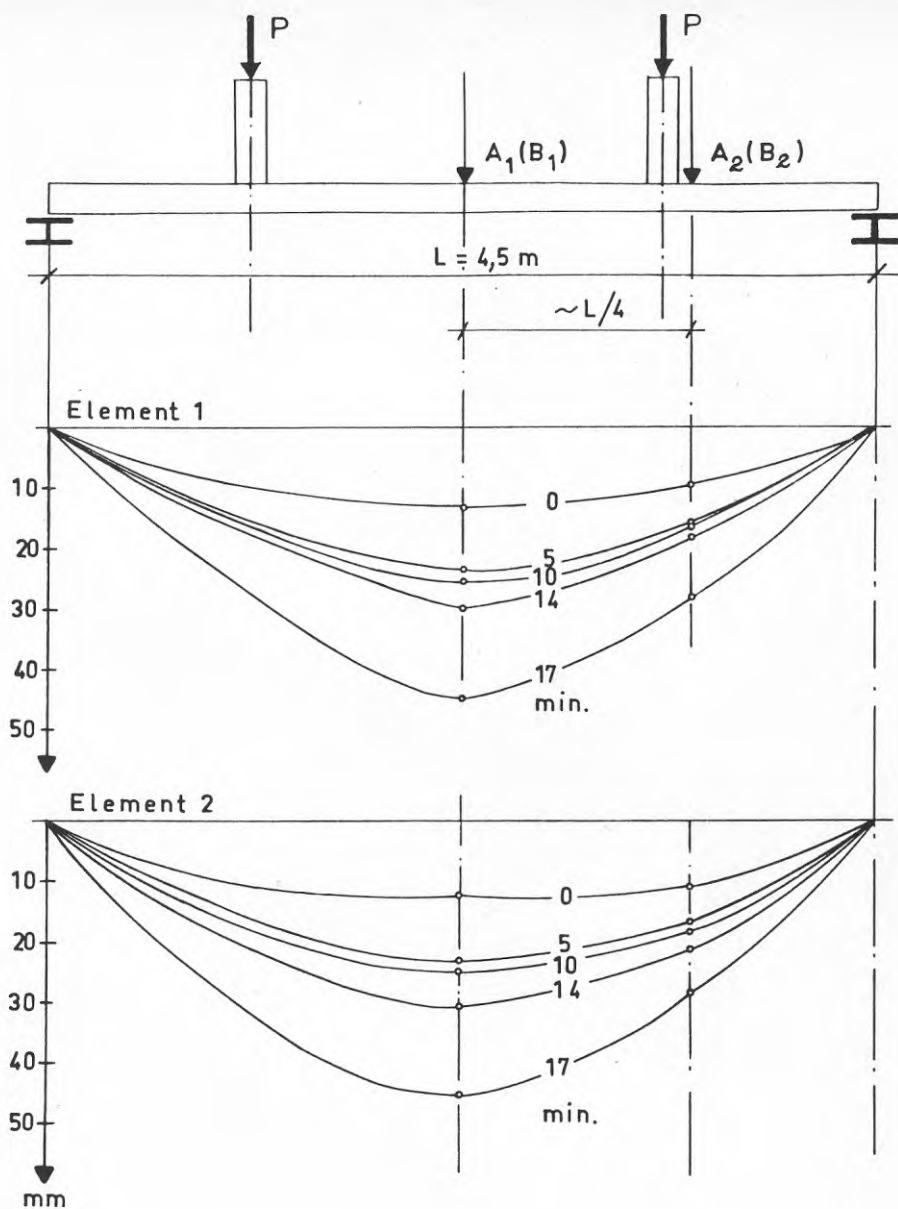


Fig. 1.5.31 Bjälklagskonstruktion. Deformation under brandprovning.

1.5.32 VäggkonstruktionObservationer från eldsidan

00 min 00 s	Start
02 min 30 s	Gipsskivornas papp antänds
03 min 45 s	Sprickmönster på gipsskivorna framträder. Skarvarna är kraftigt missfärgade
04 min 30 s	Sprickbildningen på gipsskivorna ökar
16 min 00 s	Sticklågor från skarvarna
17 min 00 s	Fast eld i ena skarven. Gips-skivorna glider isär något men sitter fortfarande kvar
18 min 00 s	Fast eld i den andra skarven
18 min 20 s	Småbitar av de uppspruckna gips-skivorna ramlar ner. Isoleringen antänds och ugnen rökfylls. Observationer går inte längre att utföra

Observationer från luftsidan

00 min 00 s	Start
05 min 00 s	Rökutvecklingen börjar. Röken syns komma vid ena övre kanten mellan elementen och betong- ramen
12 min 05 s	Rökutvecklingen ökar
18 min 00 s	Rökutvecklingen är kraftigare, fortfarande kommer röken ut vid betongramen
19 min 30 s	Röken kommer ut även på andra sidan av elementväggen
20 min 30 s	Rökpuffar från båda sidor
23 min 00 s	Rökutvecklingen ökar
24 min 58 s	Sticklågor på ena sidan
26 min 00 s	Tilltagande rökutveckling
26 min 30 s	Väggen bågnar ut ca 4 cm
27 min 00 s	Väggen bågnar ut ca 15 cm
27 min 15 s	Väggen kollapsar under belast- ningen. Den hade tryckts ihop ca 2 cm vertikalt

Här beskrivna observationer kan ses på bild nr. 2.5
t.o.m. bild nr 2.9 i bilaga 2.

1.5.4 Temperaturer

1.5.41 Bjälklagskonstruktion

Ugnstemperatur

Ugnstemperaturen registrerades med hjälp av 6 termoelement, vilka var placerade jämnt fördelat i ugnens horisontalplan. Den uppmätta ugnstemperaturen som funktion av tiden redovisas i Fig. 1.5.41a. Medeltemperatur av alla termoelement i ugnen visar Fig. 1.5.41b. Som referens finns standardbrandkurvan inritad. Det är det tid - temperaturförhållande som anges i NORDTEST brandprovningmetod 5A (SIS 024820 utgåva 2, ISO 834). Temperaturen i ugnen styrdes efter den kurvan så länge det gick. Figurerna visar att så fort cellplasten började brinna (efter ca 10 min) steg temperaturen okontrollerat, trots att oljebrännarna stängdes av helt.

Temperaturer i mitten av elementen

Temperaturer över tjockleken mättes mitt i varje bjälklagselement. Fig. 1.5.41c och Fig. 1.5.41d visar tid - temperaturförhållanden på yttre och inre ytor, och på olika nivåer i cellplasten. För element 2 saknas temperatur på ytan från eldsidan (punkt 14). Tidsmässigt stämmer temperaturerna för element 1 och 2 överens. De mest intressanta är temperaturer bakom tändskyddande ytskikt, dvs. bakom gipsskivan (punkt 6 och 13). Temperaturen där når 200 - 300°C efter ca 10 min. Då börjar plastens nedbrytning. Det första skiktet bryts ned och förvandlas delvis till rökgaser. Sedan tar det 2 - 3 min tills temperaturen stiger kraftigt vid nästa termoelement (punkt 5 och 12). Så fortsätter temperaturen att stiga kraftigt med 2 - 3 minuters mellantid genom cellplasten. Avståndet mellan enstaka termoelement var ca 4 cm. Efter 19 - 20 minuter har elden gått genom cellplasten och angriper

spånskivan (punkt 2 och 9).

Så fort plasten börjar brinna - efter ca 10 min - blir det på eldsidan fråga om mycket höga temperaturer och kraftig rökutveckling.

Temperaturer i fogen

I fogen mättes temperaturer på 3 olika ställen och i många punkter för att kunna avgöra vidare utformning av konstruktionen, samt kartlägga brandbeteendet hos denna typ av konstruktion. Fig. 1.5.41e och Fig. 1.5.41g visar tid - temperaturförlopp i olika punkter i fogen i mätområdena vid 1/4-delspunkterna. Fig. 1.5.41f är ett diagram med tid - temperaturkurvor i mitten av elementen - inom maximalmoment området.

Temperaturutveckling bakom gipsskivan var den samma som utanför fogen. Om man betraktar kurvorna närmare, ser man att temperaturen på masonite-liven inifrån elementen (punkt 26, 30, 35 och 39) börjar stiga tidigare - efter ca 16 min - än alla andra i fogen. Det betyder att masonite-liven blir angripna av elden från insidan av elementen innan elden når dem genom fogen. När masonite-liven brinner genom brister bjälklaget.

Yttertemperaturer på luftsidan

Eftersom konstruktionen skulle bedömas även som brandavskiljande, följde man temperaturen på den från branden vända ytan. Medeltemperaturen på denna yta får, enligt normen, inte öka mer än 140 °C. Maxtemperaturen får inte, i någon punkt på samma yta, öka mer än 180 °C. I Fig. 1.5.41b ser vi att efter 20 min, då bjälklaget kollapsade, var yttertemperaturen på luftsidan fortfarande densamma som begynnelsestemperaturen.

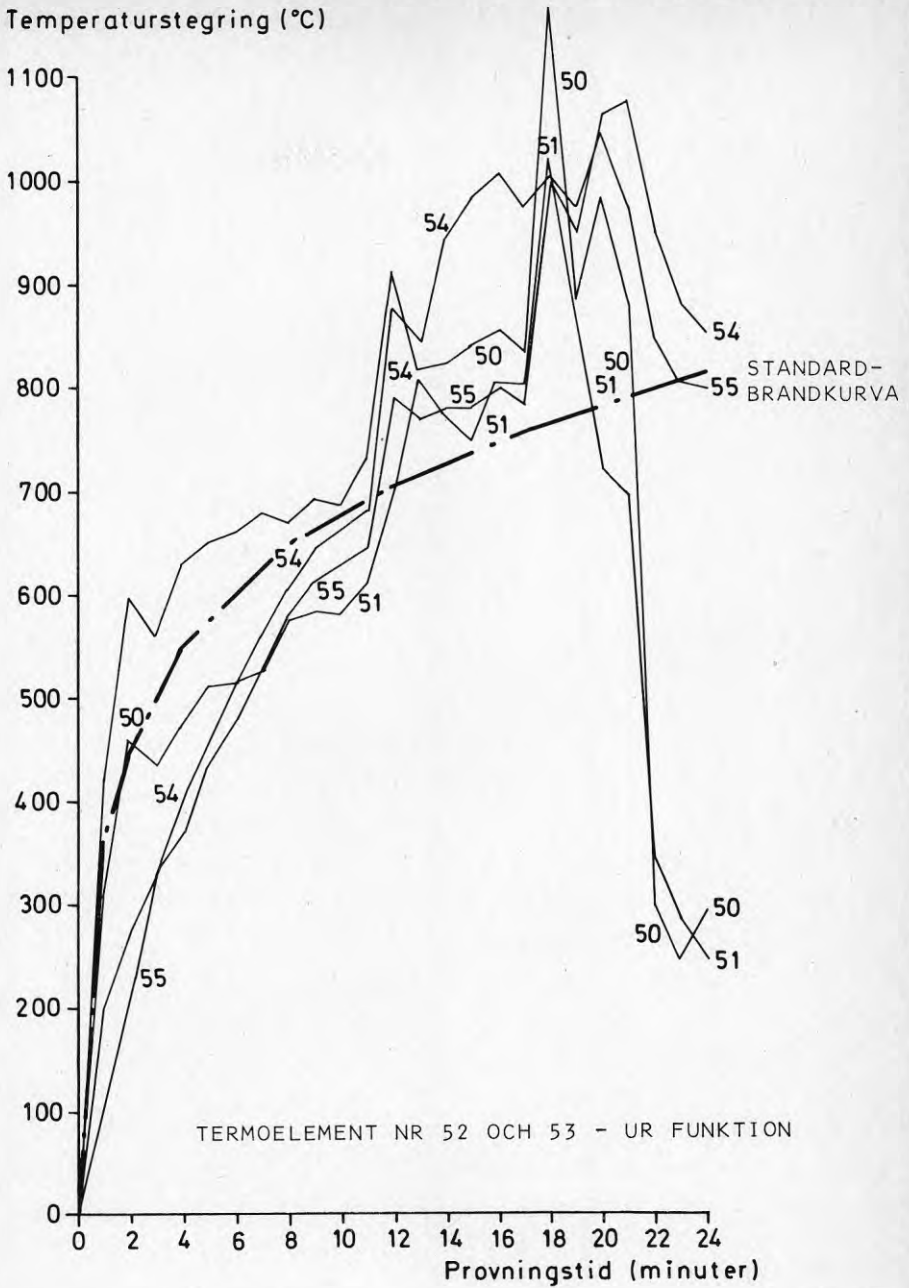


Fig. 1.5.41a Bjälklagsprovning.
 Tid - temperaturförlopp i ugnen.
 Termoelement 50-55.

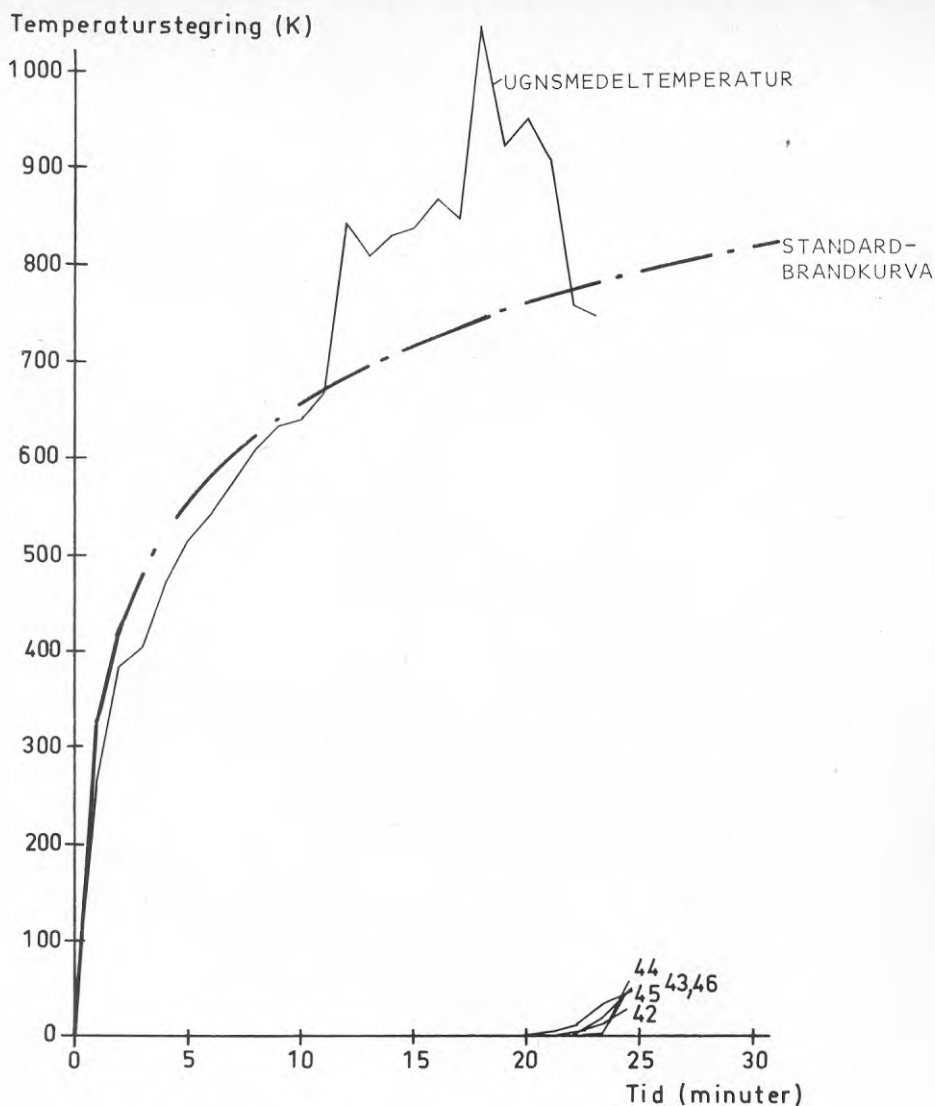


Fig. 1.5.41b Bjälklagsprovning.
 Ugnsmiddeltemperatur och maxtemperatur på den
 från branden vända ytan.
 Termoelement 42-46.

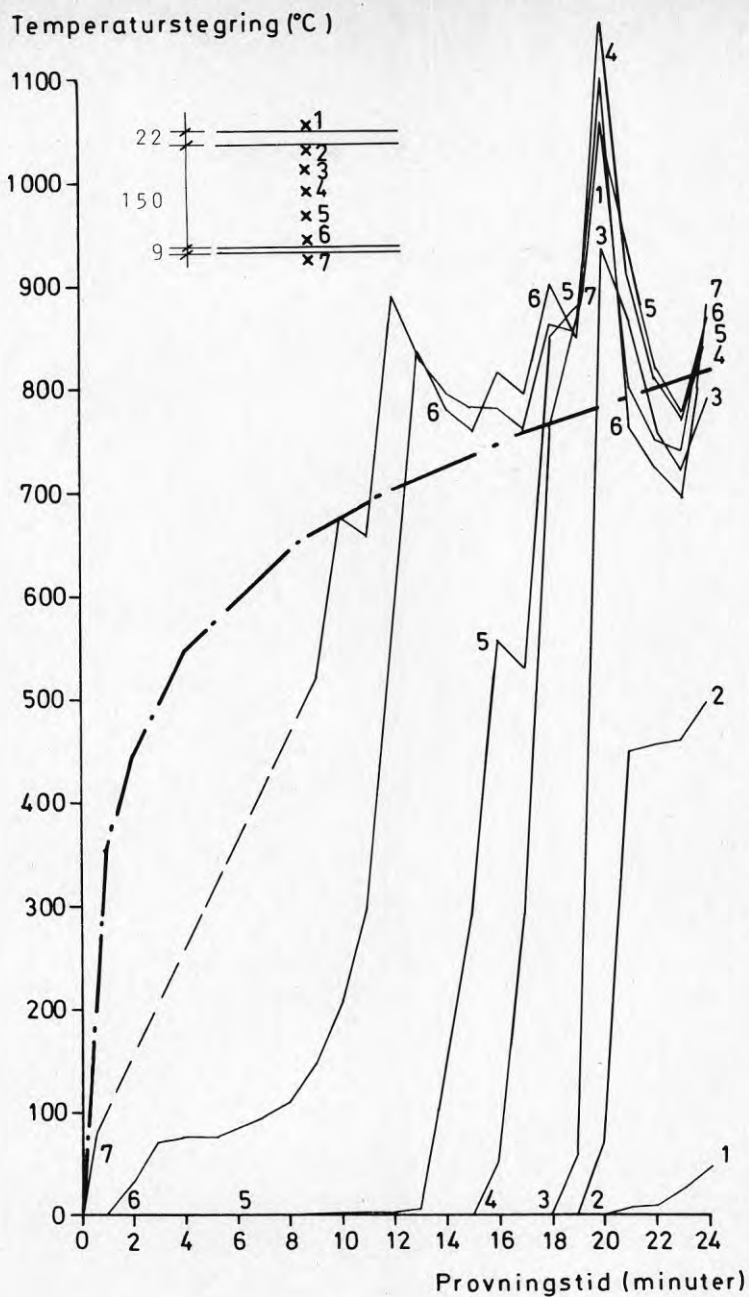


Fig. 1.5.41c Bjälklagsprovning.
 Tid - temperaturförlopp i mitten av element 1.
 Termoelement 1-7.

Temperaturstegring (°C)

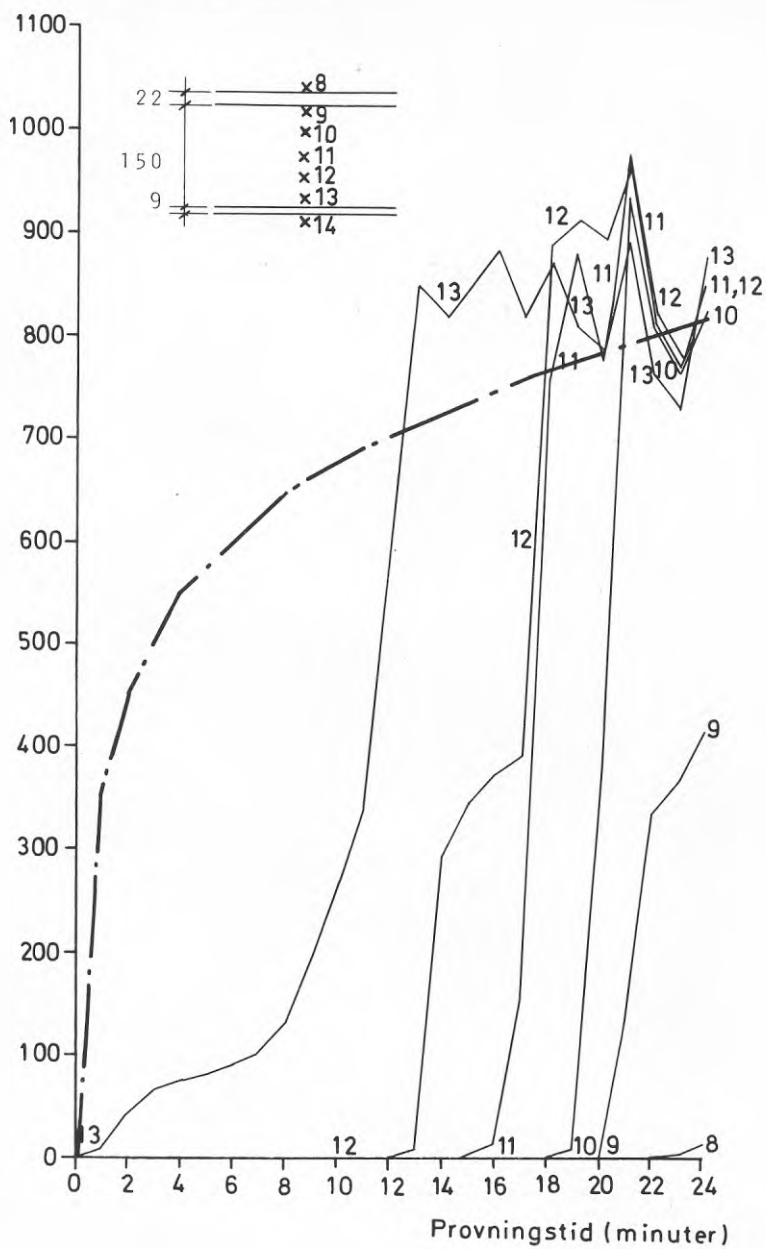


Fig. 1.5.41d Bjälklagsprovning.
 Tid - temperaturförlopp i mitten av element 2.
 Termoelement 8-13.

Temperaturstegring (°C)

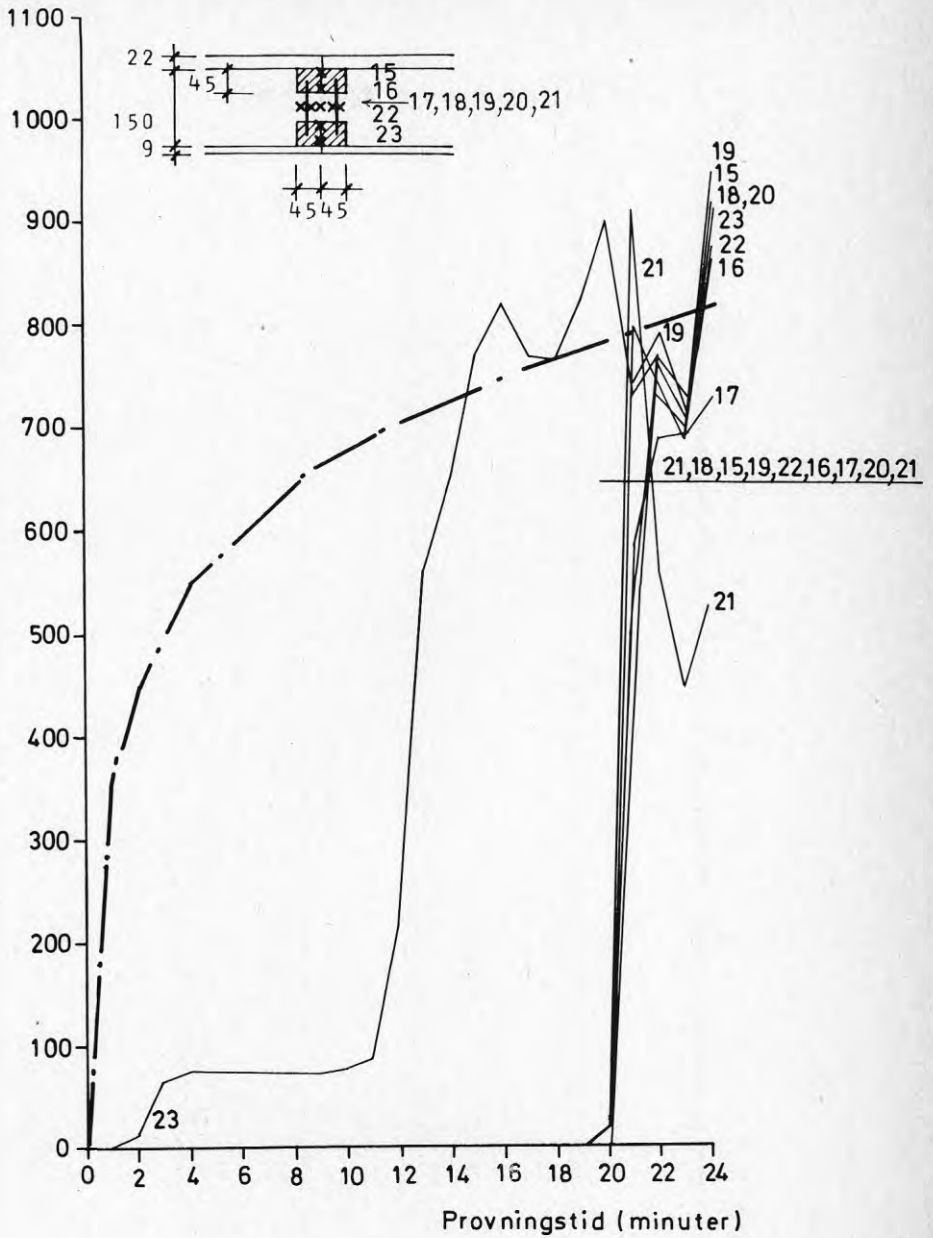


Fig. 1.5.41e Bjälklagsprovning.
 Tid - temperaturförlopp i fogen.
 Termoelement 15-23.

Temperaturstegring (°C)

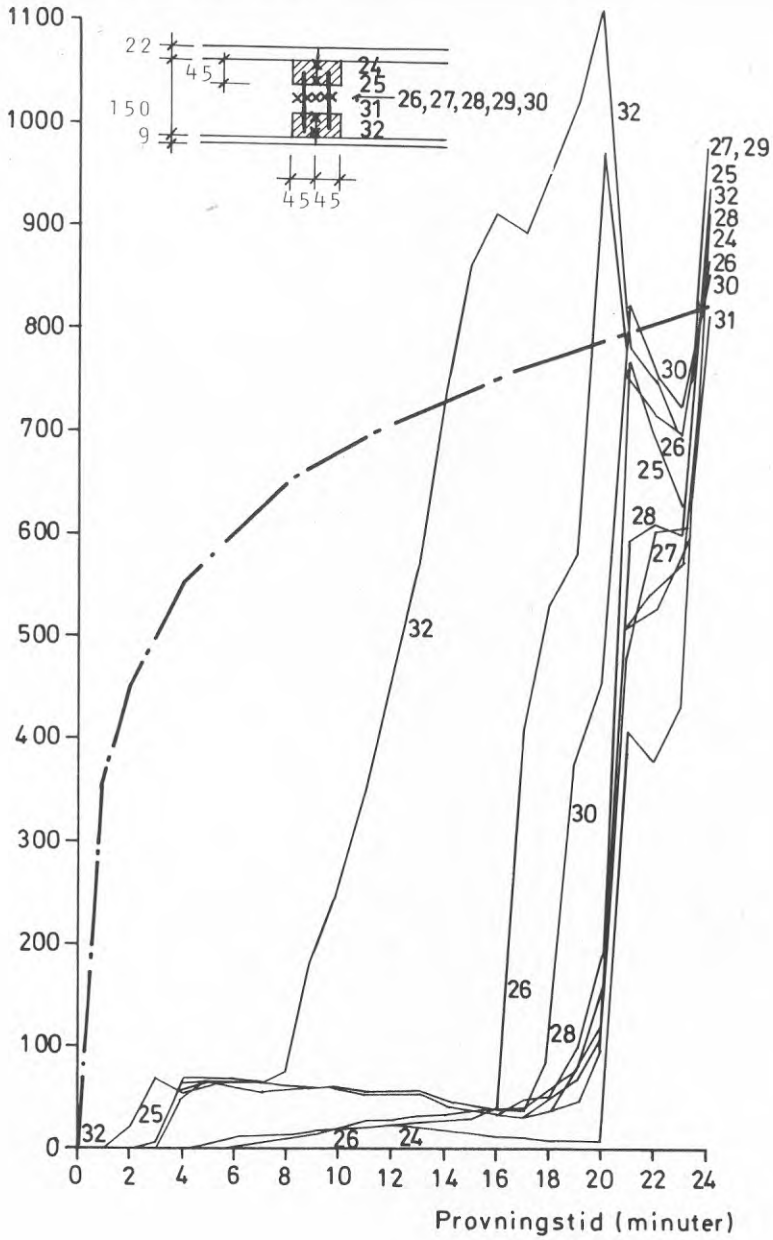


Fig. 1.5.41f Bjälklagsprovning.
 Tid - temperaturförlopp i fogen.
 Termoelement 24-32.

Temperaturstegring (°C)

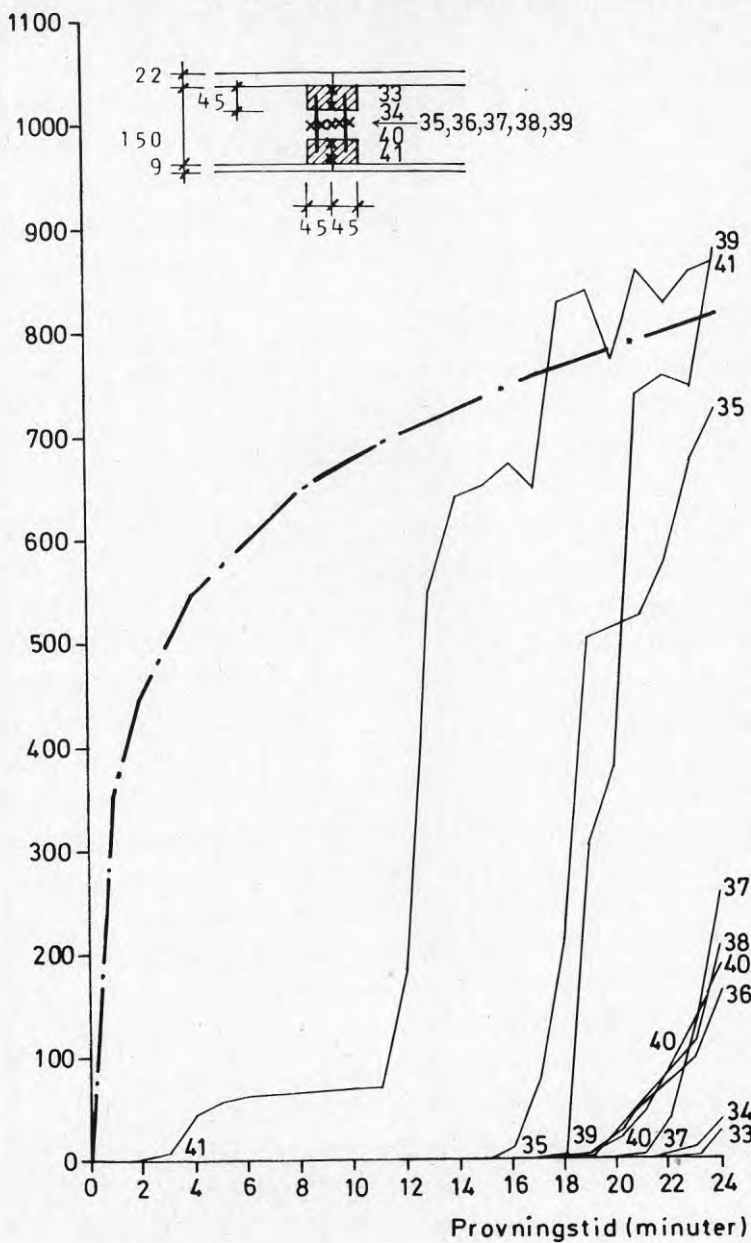


Fig. 1.5.41g Bjälklagsprovning.
 Tid - temperaturförlopp i fogen.
 Termoelement 33-41.

1.5.42 Vägghkonstruktion

Ugnstemperatur

Temperaturen under försöket i vertikalugnen redovisas i Fig. 1.5.42a som tid - temperaturförlopp. Där finns även standardbrandkurvan inritad som referens. Upp till ca 18 minuter följer den verkliga ugnstemperaturen standardbrandkurvan. Sedan stiger temperaturen trots att oljebrännarna stängdes av helt. Detta sker på grund av värmertilskott från brinnande cellplast. I Fig. 1.5.42b visas ugnsmedeltemperatur i förhållande till tiden.

Temperaturer i mitten av elementen

I mitten av varje väggelement registrerades temperaturförlopp över väggen i 7 punkter. På inre och yttre yta av ytskikten, samt i 3 punkter inne i cellplasten. Avståndet mellan termoelementen inne i cellplasten var ca 3 cm. Figurerna 1.5.42c, 1.5.42d och 1.5.32e visar tid - temperaturförlopp i mitten av elementen.

Punkterna 7, 14 och 21 på gipsskivans yta mot elden följer ugnens temperatur. Tidsskillnad mellan temperaturstegring i punkterna 7 och 6, 14 och 13 samt 21 och 20 svarar mot gipsskivans brandmotstånd i minuter, vilket gör ca 18 minuter.

Övriga mätpunkter berättar om hur branden spred sig in i cellplasten och mot yttre ytskikt. Vi ser att det tog mellan 1 och 2 minuter från mätpunkt till mätpunkt, dvs. över ca 3 cm cellplast. Detta tyder på en relativt långsam nedbrytning av uretancellplasten och en successiv förvandling till rökgaser och kolskelett.

Temperaturen på inre ytan av yttre ytskiktet (träfiber-skivan) började stiga efter ca 25 min. (Punkt 2, 9 och 16).

Temperaturen på ytan från elden (punkt 1, 8 och 15) visar praktiskt taget ingen förändring under hela brandförloppet.

Temperaturer i fogar

I den aktuella väggkonstruktionen ingick två fogar. Temperaturmätning var koncentrerad till 3 olika områden i varje fog. Sammanlagt fanns det 6 mätområden. Termoelementen var placerade i två punkter på flänsarna, på masonite-liven samt i fogskummet. Temperaturutveckling under brandprovning i dessa redovisas i Figurerna 1.5.42f, g, h, i, j, k. Man kan göra en gemensam bedömning för de 6 mätområdena, eftersom tid - temperaturkurvorna stämmer väl överens.

Temperaturen bakom gipsskivan börjar stiga efter ca 18 minuter. Det är ungefär lika lång tid som för temperaturstegring bakom gipsskivan utanför fogen.

På inre sidan av masonite-liven - inifrån väggelementen början temperaturen stiga efter ca 24 minuter. (Se punkt 24, 28, 33, 37, 42, 46 osv.). Temperatur i mätpunkterna på träflänsarna (punkt 29, 38, 47, 56 osv.) börjar stiga några minuter efteråt. Termoelementen på masonite-liven - från fogsidan (punkt 25, 27, 34, 36, 43, 45 osv.) och de i fogskummet (punkt 26, 35, 44 osv.) visar hastig temperaturstegring samtidigt, mellan 23:dje och 25:te minuten. Detta tyder på att väggen förlorade sin bärförmåga på grund av att masonite-liven brann genom.

Yttemperaturer på luftsidan

Om en konstruktion skall fungera även som brandavskiljande, får enligt ISO 834 temperaturen på den från branden vända ytan inte öka mer än 140°C samt maxtemperaturen på samma yta får inte i någon punkt överstiga 180°C . Fig. 1.5.42b visar att maximaltemperaturen på luftsidan ligger långt under 100°C .

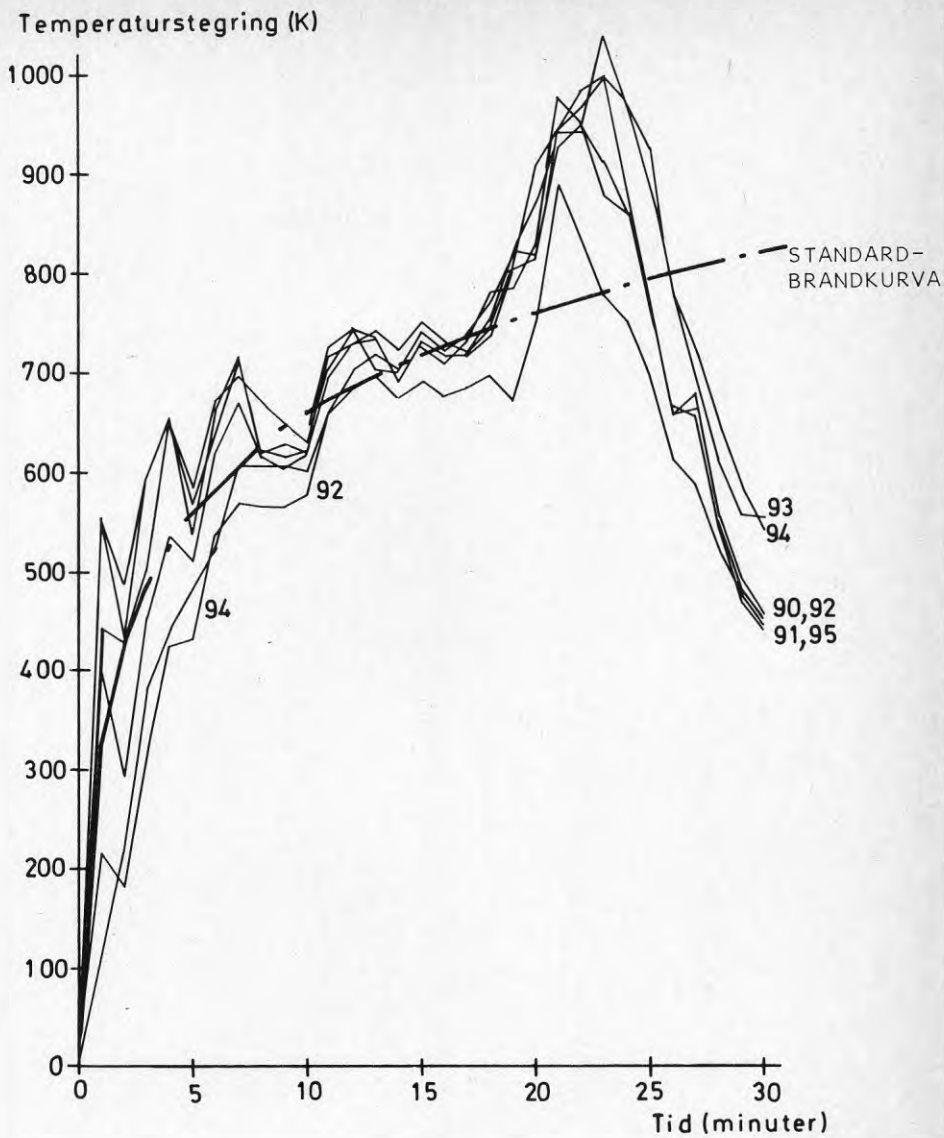


Fig. 1.5.42a Vägprovning.
Tid - temperaturförlopp i ugnen.
Termoelement 90-95.

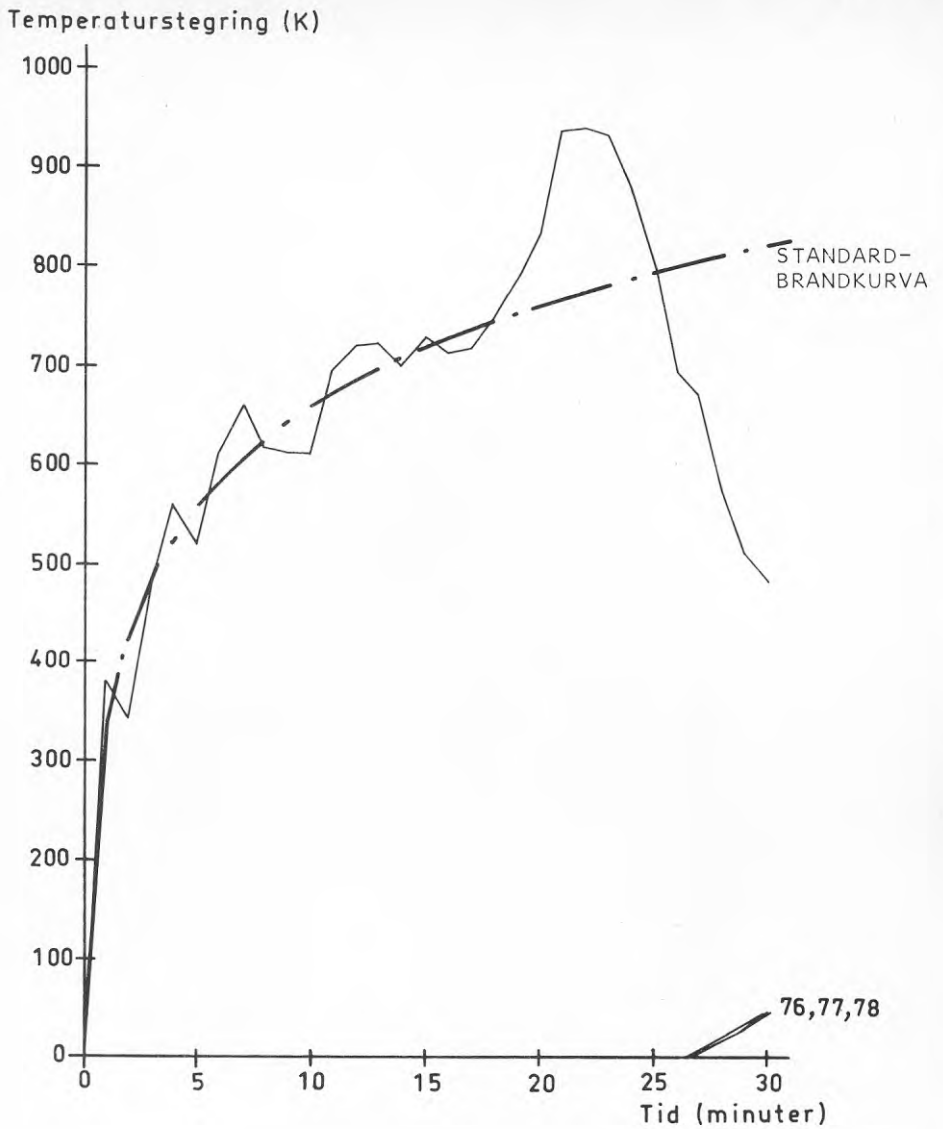


Fig. 1.5.42b Väggsprovning.

Ugnsmedeltemperatur och maxtemperatur på den från branden vända ytan.

Termoelement 76-78.

Temperaturstegring (K)

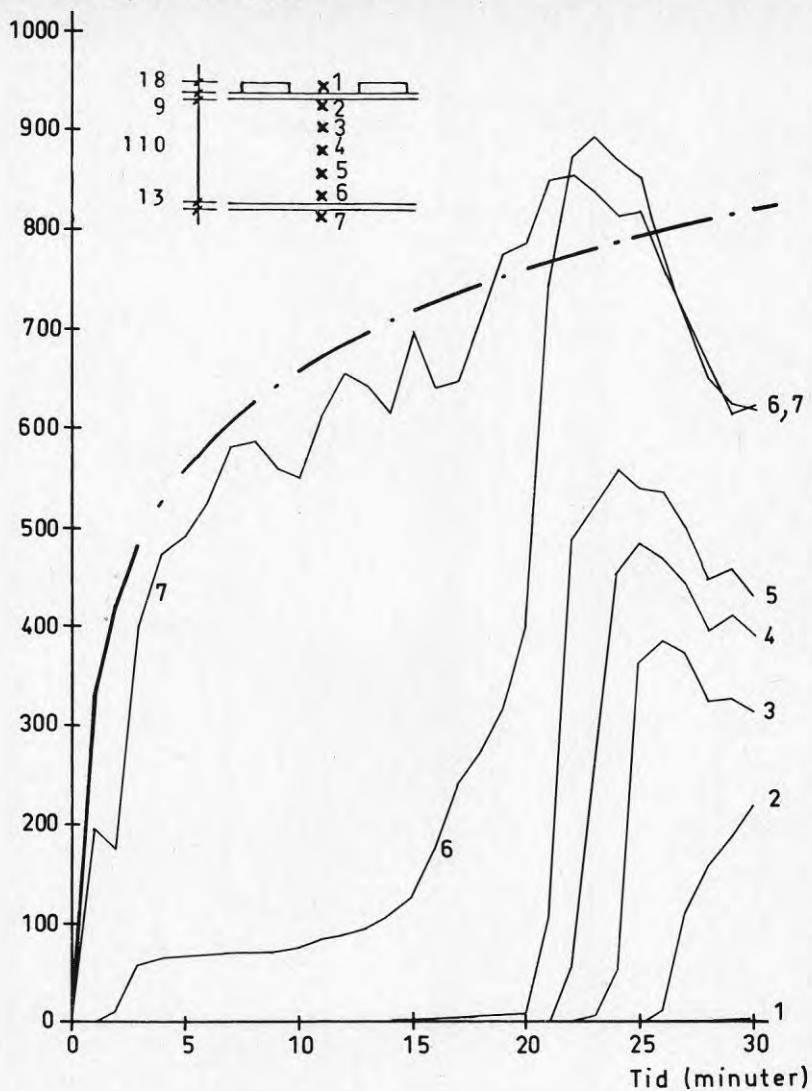


Fig. 1.5.42c Vaggprovning.

Tid - temperaturforlopp i mitten av element 1.
Termoelement 1-7.

Temperaturstegring (K)

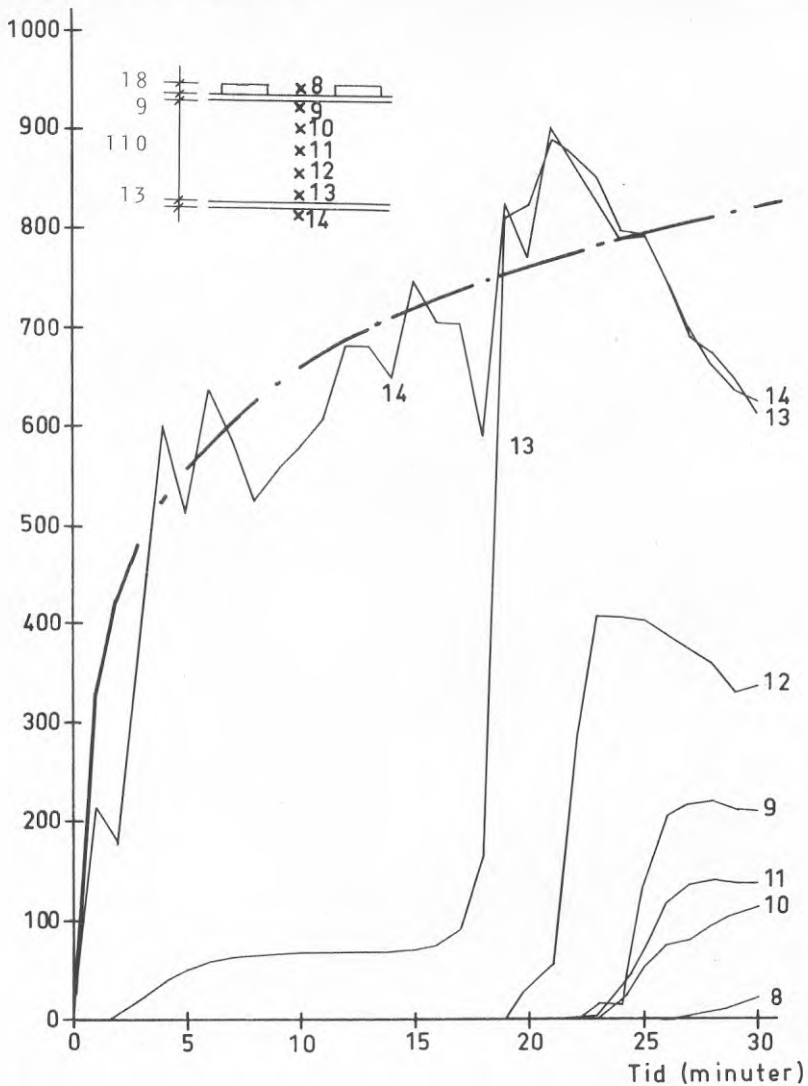


Fig. 1.5.42d Vägprovning.

Tid - temperaturförlopp i mitten av element 2.
Termoelement 8-14.

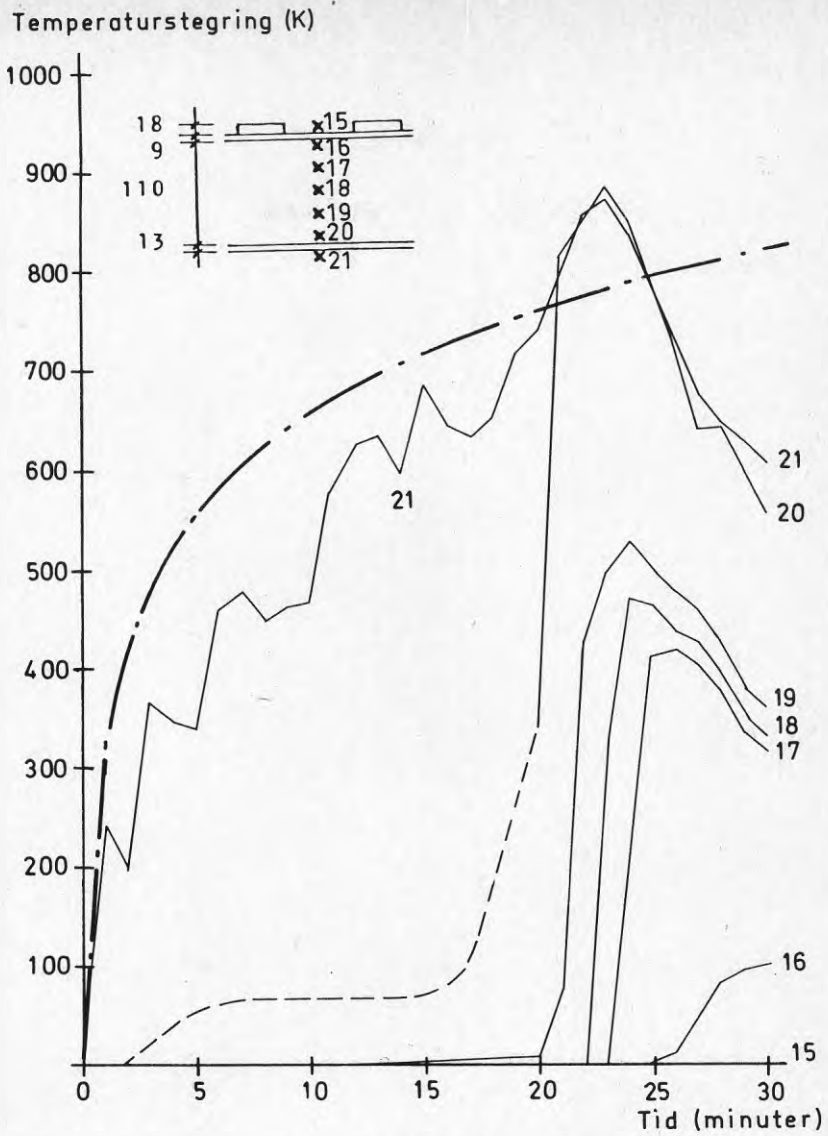


Fig. 1.5.42e Vägprovning.

Tid - temperaturförlopp i mitten av element 3.

Termoelement 15-21.

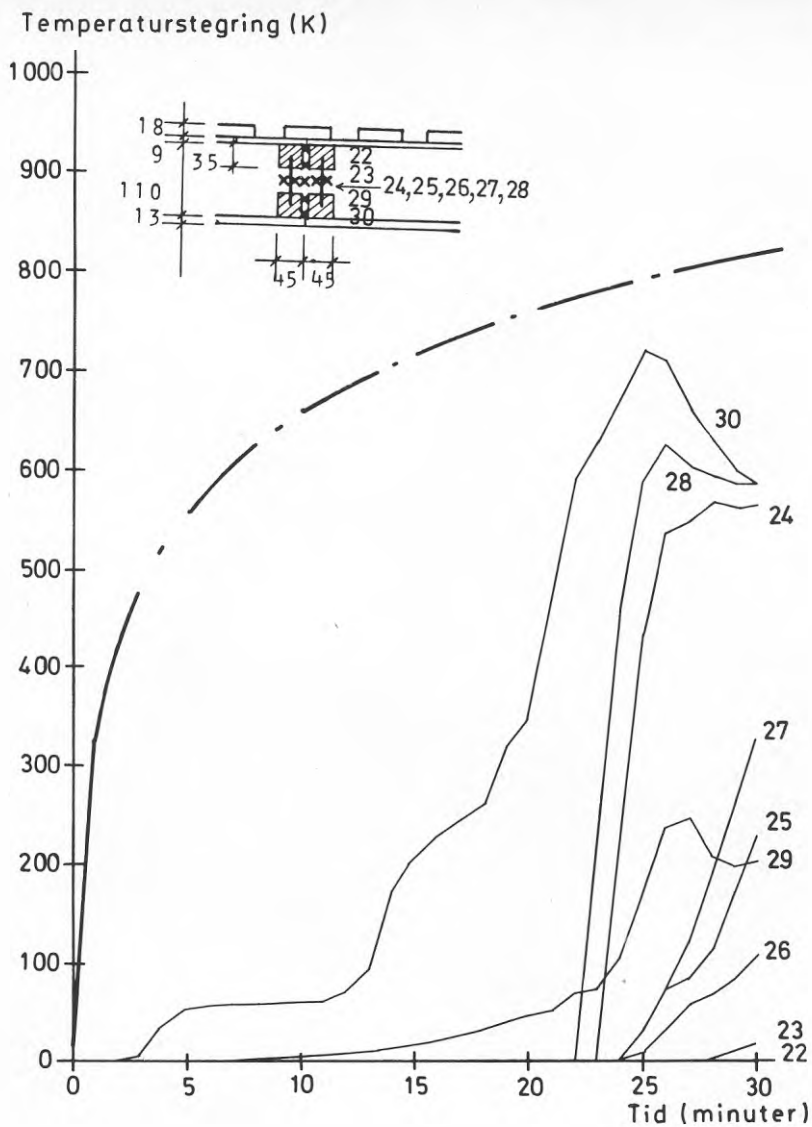


Fig. 1.5.42f Vägprovning.

Tid - temperaturförlopp i fogen.

Termoelement 22-30.

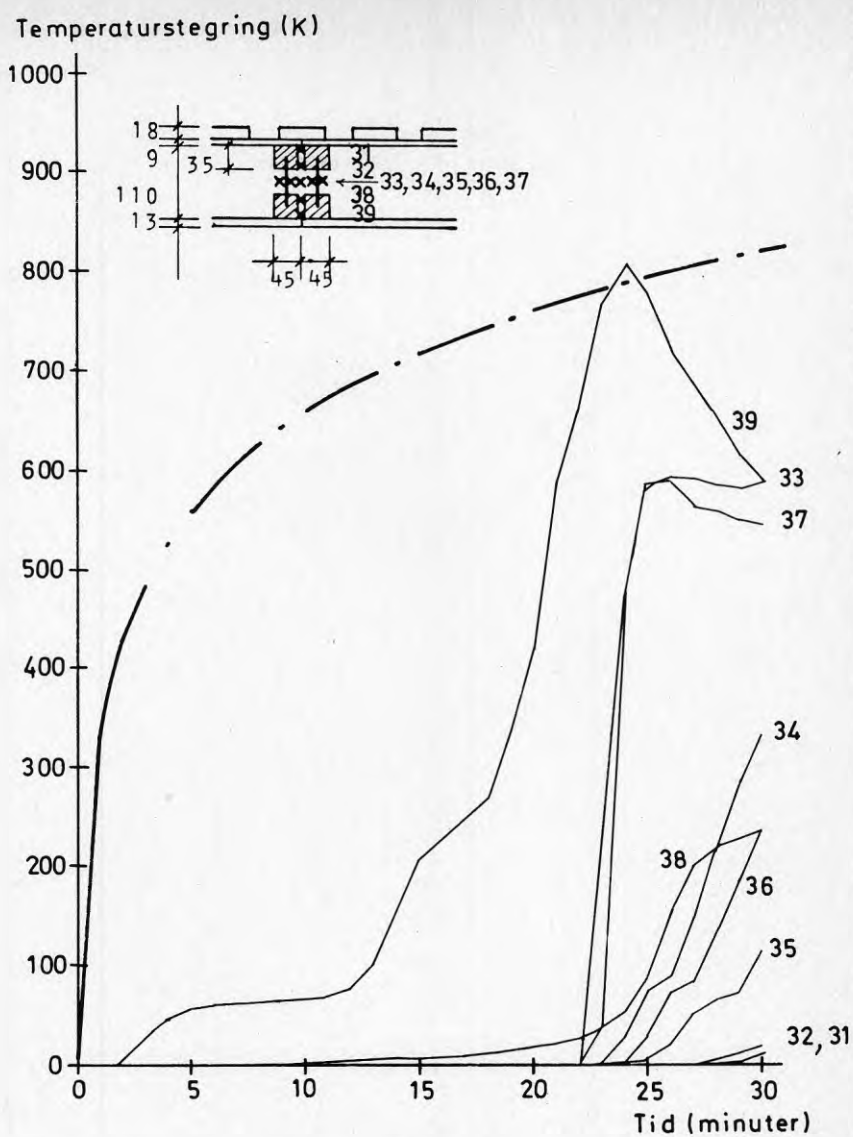


Fig. 1.5.42g Vägprovning.

Tid - temperaturförlopp i fogen.

Termoelement 31-39.

Temperaturstegring (K)

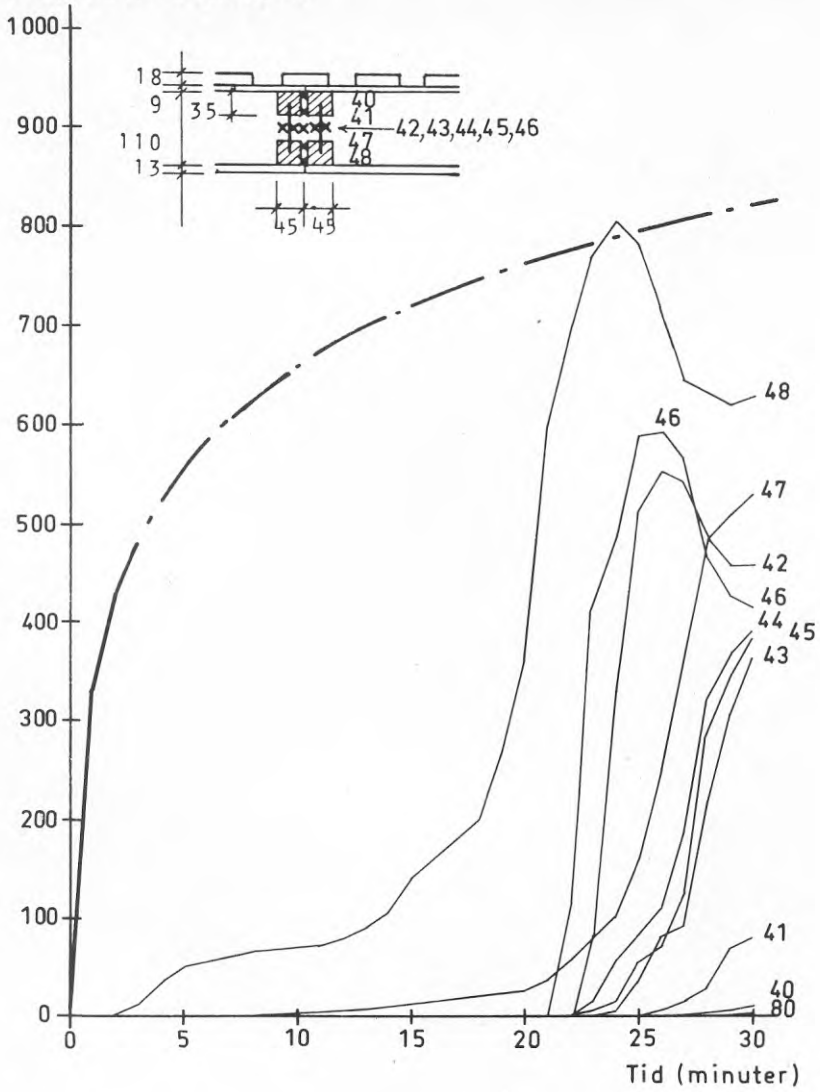


Fig. 1.5.42h Vägprovning.

Tid - temperaturförlopp i fogen.

Termoelement 40-48.

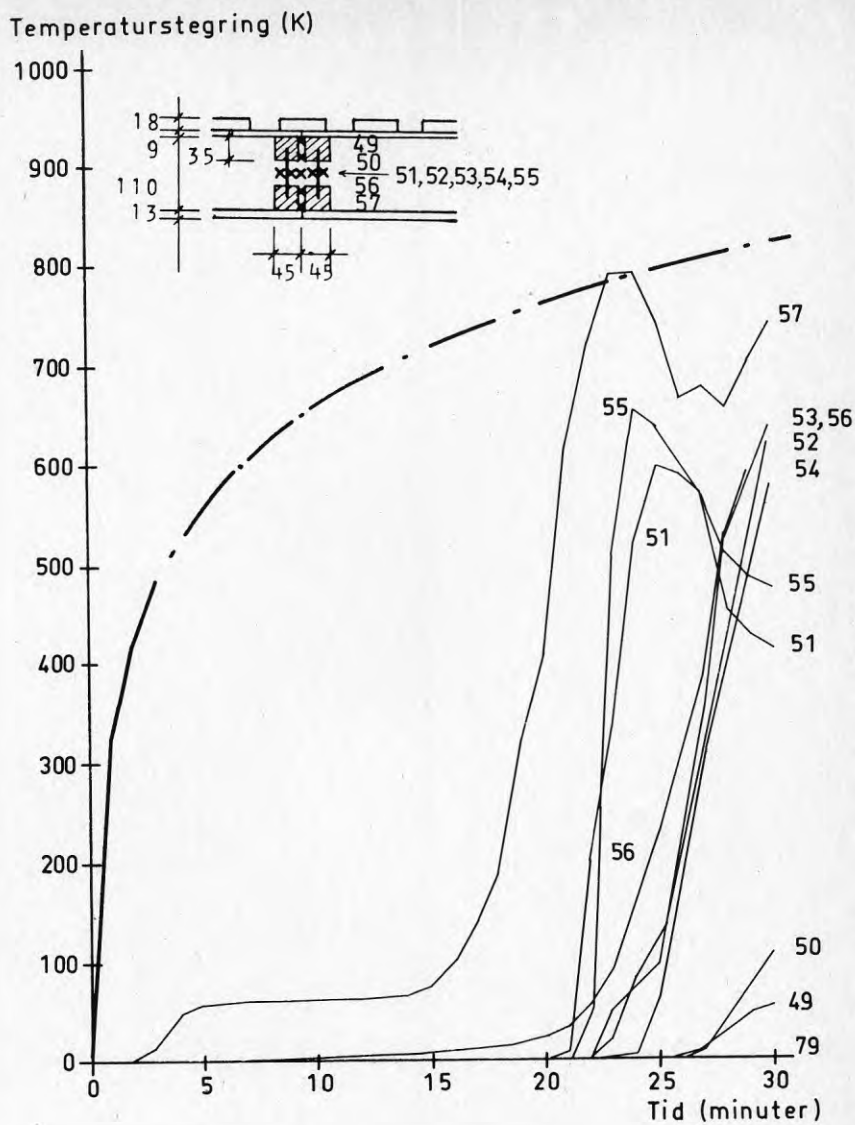


Fig. 1.5.42i Vägprovning.
Tid - temperaturförlopp i fogen.
Termoelement 49-57.

Temperaturstegring (K)

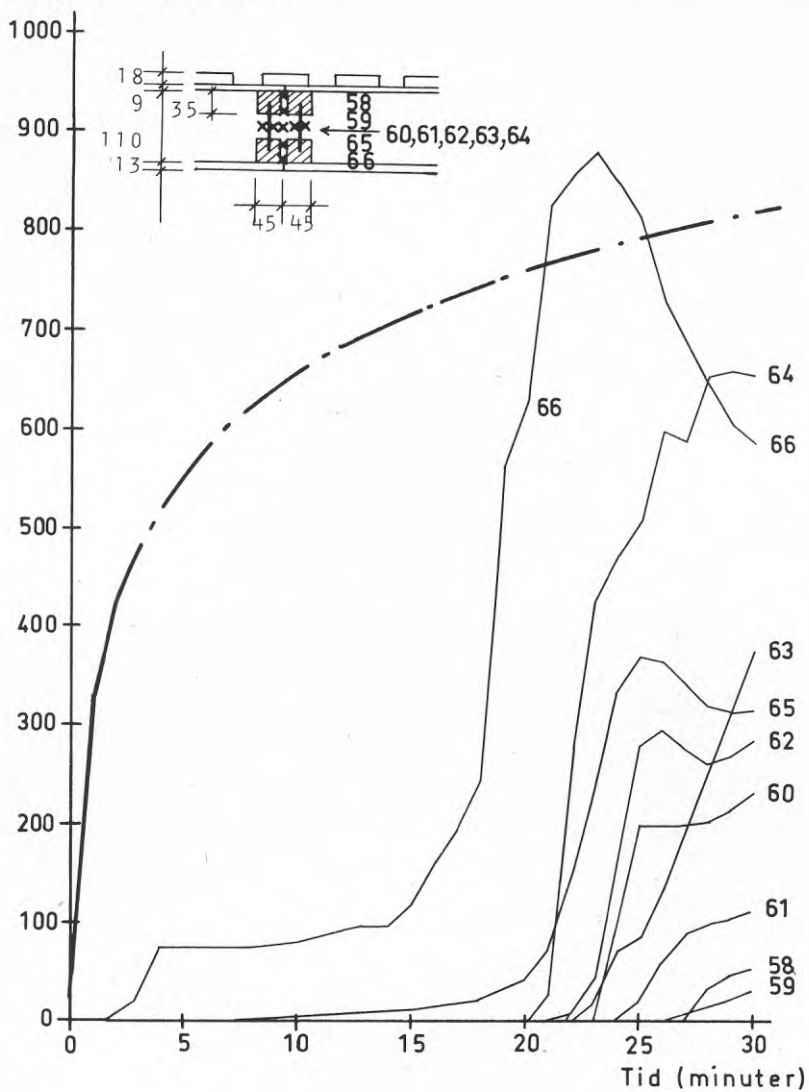


Fig. 1.5.42j Vägprovning.

Tid - temperaturförlopp i fogen.

Termoelement 58-66.

Temperaturstegring (K)

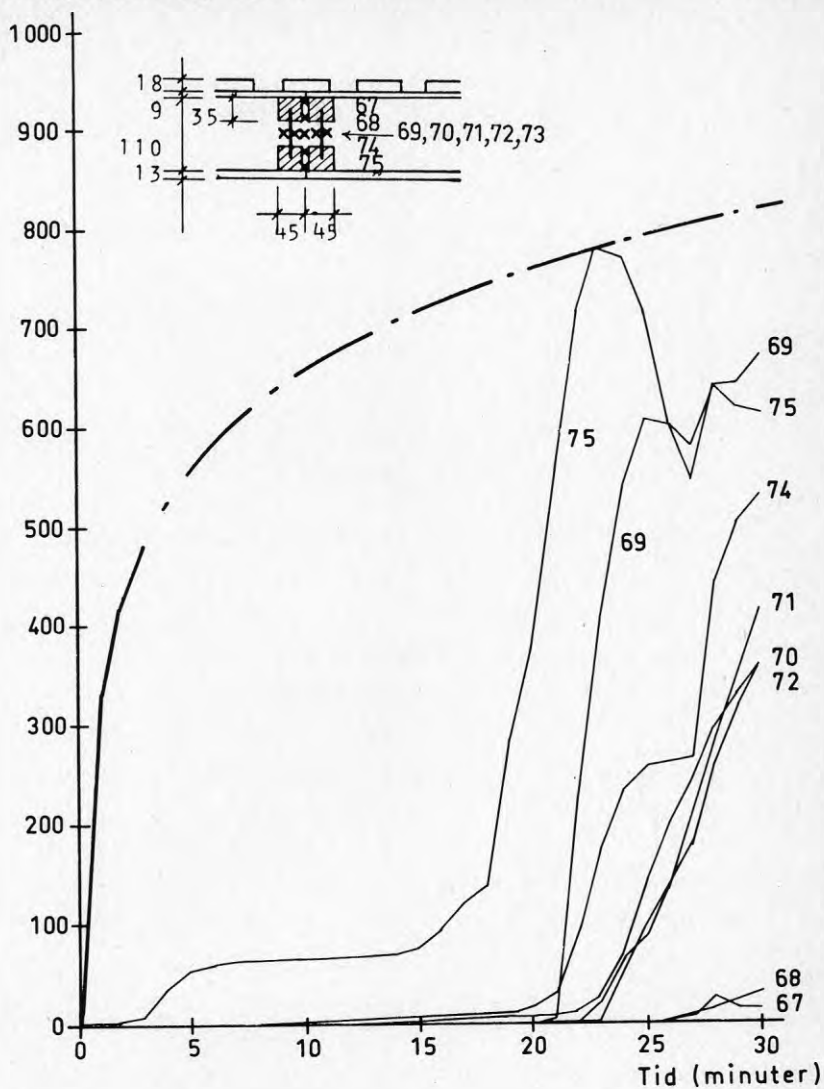


Fig. 1.5.42k Vägprovning.

Tid - temperaturförlopp i fogen.

Termoelement 67-75.

1.6 Slutsatser från inledande försök

Motståndsförmåga mot brand för bjälklags- och väggkonstruktioner undersöktes med hjälp av standardbrandprovningar enligt i ISO 834 angiven brandprovningssmetod.

Bjälklagskonstruktionen motstod branden i 20 min 10 s.
Väggkonstruktionen motstod branden i 27 min 15 s.

Försöksresultatet kan sammanfattas på följande sätt:

- Så länge ytskikten skyddar cellplasten ifrån direkt antändning, sker ingen nedbrytning av cellplasten - inga höga temperaturer bakom tändslyddande skikt.
- Nedbrytning av cellplasten efter att elden angriper den, sker succesivt. Plasten sönderdelas och förvandlas till rökgaser och kolskelett. Man kan konstatera att i de utförda försöken skedde förkolning av cellplasten med en hastighet av 1,5 cm/min.
- Rökutvecklingen var mycket kraftig och i slutskedet explosionsartad.
- Konstruktionen förlorade sin bärförmåga p.g.a. att masonitelivet i reglarna har brunnit genom.
- Glasfiberarmeringen i gipsskivan bidrar klart till att gipsskivan håller ihop längre tid och därmed skyddar bakomliggande cellplast mot antändning.

Den instrumentering med vilken standardbrandprovningar kompletterades, var mycket värdefull. Den gav anvisning om svaga punkter i konstruktionen och möjliggjorde noggrann utvärdering av provningarna. Det fanns god förutsättning att konstruktionen efter rimlig modifikation skulle uppfylla uppställda funktionskrav, även med avseende på brand.

2. FÖRSÖK MED MODIFIERAD VÄGGKONSTRUKTION

2.1 Konstruktionsbeskrivning

Resultat från standardbrandprovning låg nu till grund för vidare utformning av konstruktionen. Fortsatta provningar koncentrerades till väggkonstruktionen, eftersom den var intressant även från brandspridningssynpunkt. Forskningsarbetet avsåg dessutom att ge mera kunskaper om brandbeteendet hos inbyggda cellplaster och om lämpliga skivmaterial för tändskyddande skikt.

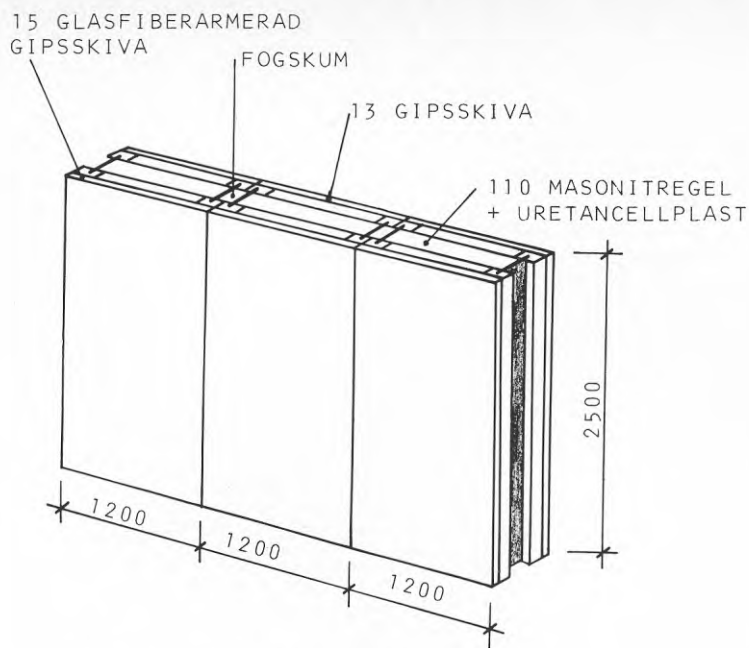
Eftersom väggkonstruktionen vid standardbrandprovningen förlorade sin bärförmåga på grund av att masonite-livet i reglarna har brunnit igenom, förstärktes dessa på två olika sätt:

- livets tjocklek ökades från 6 mm till 8 mm,
- reglarna behandlades med brandskyddande färg "Klinten S 135" - två strykningar (ca 300 g/m²) [16]

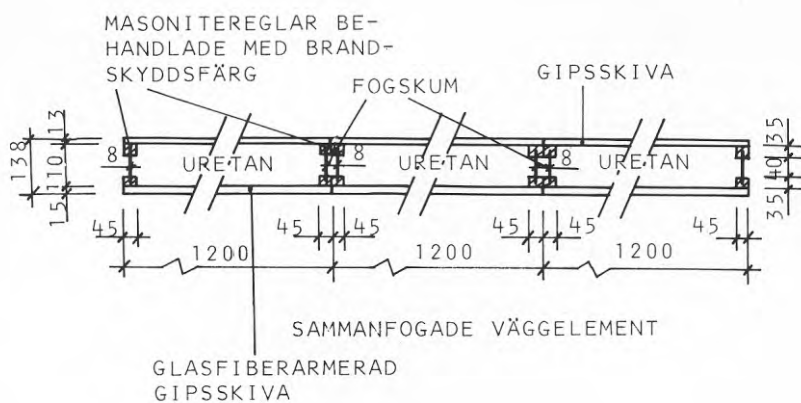
För att uppnå längre tid tills cellplasten antändes och därmed öka hela genombränningstiden, användes en 15 mm tjock glasfiberarmerad gipsskiva (istället för 13 mm tjock sådan) som tändskyddande skikt.

Den modifierade väggkonstruktionen bestod av 3 st vägg-element 1200 mm breda och 2500 mm höga. Tjockleken var 138 mm totalt med 15 mm glasfiberarmerad gipsskiva av fabrikat Danogips på insidan och 13 mm standardgipsskiva på utsidan. Däremellan 110 mm uretancellplast, se Fig. 2.1.1.

Elementen sammanfogades med enkomponent fogsikum och på eldsidan spacklades med sandspackel. Bredden av hela väggen anpassades till brandugns öppning genom att såga bort ca 300 mm från kantelementen.



VÄGGKONSTRUKTION FRÅN ELDSIDAN



mått i mm

Fig. 2.1.1 Modifierad väggkonstruktion för brandprovning

2.2 Provning

2.2.1 Termoelement

Temperaturutveckling under brandprovningen följdes med hjälp av termoelement placerade på yttre och inre ytor, på olika nivåer i cellplastisoleringen samt i skarvarna på reglarnas ytor - brandskyddsfärgen applicerades över termoelementen - och i fogsrummet. Typ av termoelement och placering i övrigt överensstämmer med den vid standardbrandprovningen, se avsnitt 1.4.1, Fig. 1.42. Numrering av temperaturpunkterna var likaså identisk med den i Fig. 1.44.

2.2.2 Försöksutförande

Enligt Svensk Standard SIS 02482 ISO 834 skall en i praktiken bärande byggnadsdel belastas vid brandprovning så, att "... påkänningarna i kritiska snitt blir ungefär desamma som byggnadsdelen eller elementet - i full skala - normalt beräknas få". Vägghkonstruktionen belastades vertikalt med en jämnt utbredd last på 16,4 kN/m. Beräkning av den lasten framgår av avsnitt 1.4.21 för väggen.

2.2.3 Provningsanordning

Även denna provning utfördes vid Laboratoriet för brandteknik (A4) vid Statens Provningsanstalt i Borås. Provningsanordningen överensstämmer med den i kap. 1 (avsnitt 1.4.3) tidigare beskrivna.

2.2.4 Provningsutförande

Registrering av temperaturer, bestämning av densitet och fuktkvot och observationer utfördes på samma sätt som beskrivs i kap. 1 avsnitten 1.4.41 - 1.4.45.

2.3 Resultat

2.3.1 Densitet

Uretancellplastens densitet bestämdes till 40 kg/m^3 .

2.3.2 Fuktkvot

Efter torkning i 105°C var fuktkvoten för ingående material följande:

Gipsskiva	15 mm	16 vikt-%
Uretancellplast		1 vikt-%
Träregel		6 vikt-%
Gipsskiva	13 mm	17 vikt-%

Gipsskivor efter torkning vid 60°C :

15 mm gipsskiva	1 vikt-%
13 mm "	1 vikt-%

2.3.3 ObservationerObservationer från eldsidan

00 min 00 s	Start
01 min 35 s	Fogarna mörknar
03 min 15 s	Ytskiktet flammar upp. Kraftig rök- utveckling
08 min 30 s	Ytan är fläckvis svart. Små sprickor i gipsskivan över hela ytan
18 min 00 s	Sprickbildningen ökar. Flera sprick- centra med sprickmönster koncentre- rat runt dessa
20 min 00 s	Sprickbildningen ökar
21 min 00 s	Flammor i fogarna
26 min 00 s	Flammor även från sprickcentra
27 min 30 s	Fast eld i fogarna och lågor ur sprick- centra
32 min 00 s	En särning på elementen i fogarna på 2 - 3 cm
34 min 00 s	Ökade flammor mellan elementen
35 min 45 s	Gasbrännare stängs av. Provning av- slutad

Observationer från luftsidan

00 min 00 s	Start
01 min 30 s	Svag rökutveckling från en av fogarna ca 4 cm från ovankant
02 min 00 s	Rökutveckling avtar
07 min 00 s	Rökutveckling från en av fogarna tilltar
23 min 00 s	Väggen knakar under belastningen
35 min 45 s	Provning avslutad

Observationer efter provning

Konstruktionen kunde bära lasten även efter 35 min 45 s brandprovningstid. Det hördes dock knakande ljud från bärande delen - reglarna. Brandskyddsfärg på reglarna hade ej svällt vad det kunde märkas. Fogarna verkade vara intakta.

Observationer från luftsidan kan ses på bild i bildbilagan 3, bild nr 3.1 - 3.4.

2.3.4 TemperaturerUgnstemperatur

Tid - temperaturförlopp i ugnen visas i Fig 2.3.41a. Där finns även standardbrandkurvan inritad som referens. Standardbrandkurva ligger i linje med medeltemperaturen.

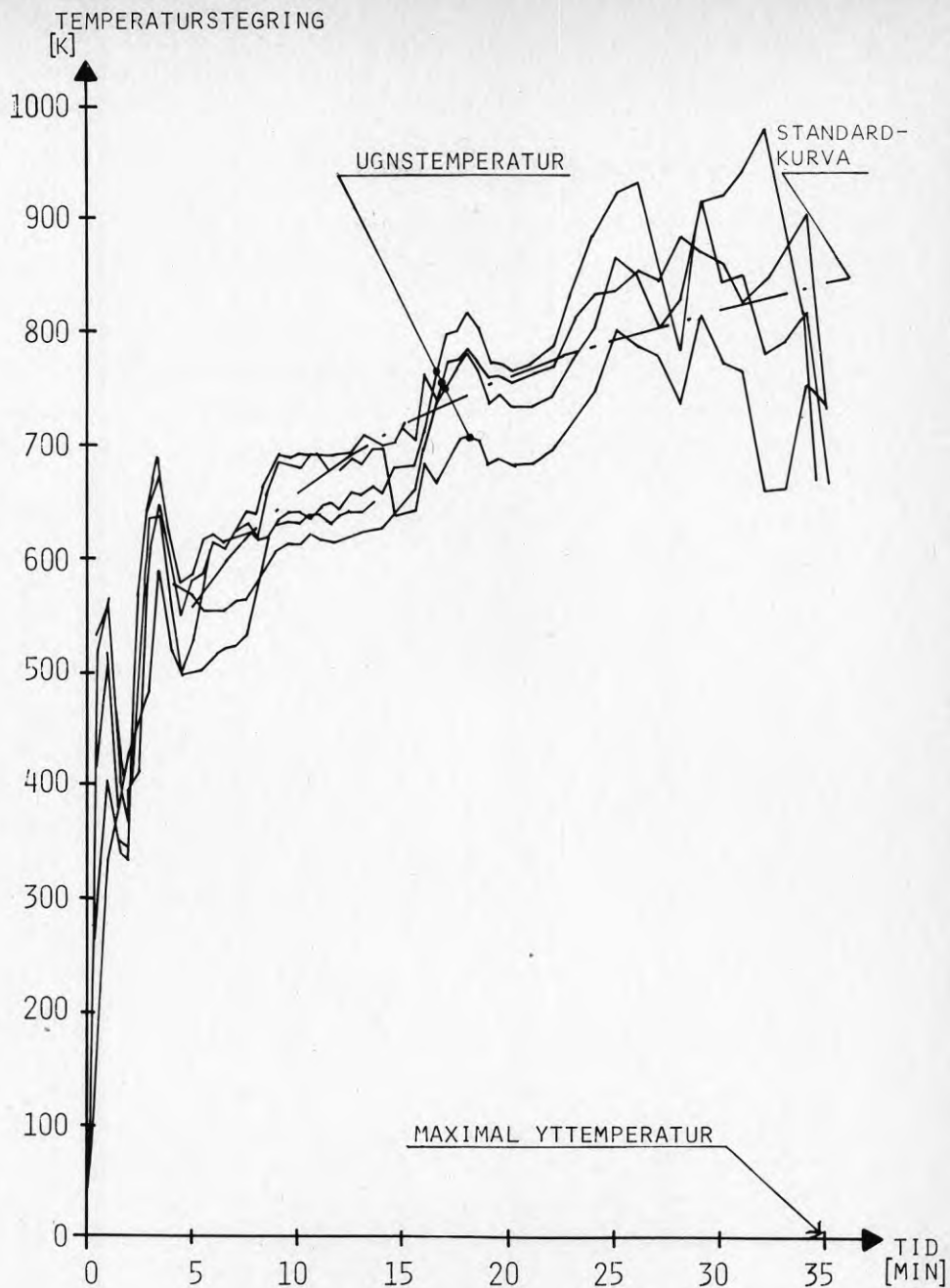


Fig. 2.3.41a Tid - temperaturförlopp i ugnen

Temperaturer i mitten av elementen

Temperaturförlopp över väggen registrerades i mitten av varje element i 7 punkter. Avståndet mellan termoelement inne i cellplasten var ca 3 cm. Figurerna 2.3.41b - 2.3.41d visar tid - temperaturförlopp för väggen i mitten av elementen.

Temperatur i punkterna 7, 14 och 21 på gipsskivans yta mot elden ligger i nivå med ugnstemperaturen. Tidskillnad mellan temperaturstegring i punkterna 7 och 6, 14 och 13 samt 21 och 20 svarar mot den glasfiberarmade skivans brandmotstånd resp. dennes förmåga att skydda underliggande cellplastisolering. Denna tid uppskattas till 20 - 22 min.

Övriga mätpunkter i Fig. 2.3.41b - 2.3.41d visar temperaturstegring på olika nivåer i cellplasten. Det är en fördröjning av hastig temperaturstegring på ca 5 min över 3 cm cellplast. Enligt observationer från eldsidan blev flammor från sprickcentra synliga först efter 26 min. Det stämmer väl överens med temperaturstegring i cellplasten. En långsam sönderdelning av uretancellplasten - en förvandling till rökgaser och kolskelett kan tydas även i detta försök. Att tiden för den hastiga temperaturstegringen mellan de olika punkterna i cellplasten är längre än det var i det tidigare försöket kan förklaras med att det aldrig blev fråga om förbränning med öppen låga under riklig lufttillförsel, eftersom gipsskivan hela tiden var intakt. Den var visserligen uppsprucken över hela ytan i små sprickor, men några större bitar ramlade inte av. Under sådana förhållanden var förkolningen av uretancellplast ca 0,6 cm/min.

Temperaturen i punkterna 1-3, 8-9 och 15-17, dvs. i sista skiktet av cellplasten från elden och på den yttre gipsskivan visar inte någon stegring alls under hela provningstiden. Att det inte hände något på den

från elden vända sidan (luftsidan) vittnar även fotografierna om, Se bilder i bildbilaga nr. 3.

Temperaturer i fogar

Det fanns två fogar i väggkonstruktionen. I varje fog fanns tre ställen med termoelement placerade på flänsarna, masonite-livet samt i fogskummet. Temperaturutveckling i fogar visas i Fig. 2.3.41e - 2.3.41j. Temperaturkurvor är likartade från alla 6 mätområden. Därför kan en gemensam bedömning göras av dem. Temperaturen i punkterna 30, 39, 48, 57, 66, 75 motsvarar den på flänsarnas sida mot elden, bakom 15 mm glasfiberarmerad gipsskiva. Temperaturen där börjar stiga efter 20 - 22 min. Det är lika lång tid som för temperaturstegring bakom gipsskivan utanför fogen.

Temperaturen på andra sidan flänsen ligger under hela brandförloppet under 100°C , se punkterna 29, 33, 47, 56, 65 och 74, vilket tyder på att flänsen inte har brunnit igenom. Resten av mätpunkterna visar inte någon temperaturstegring alls. Elden har inte angripit fogen under hela 35 min. På grund av detta har bärförmågan för hela konstruktionen inte minskat något och konstruktionen kan anses uppfylla kraven på brandteknisk klass B30.

Ingen synlig deformation (utbuktning) av väggen kunde konstateras, se bilderna i bilaga nr 3.

Yttertemperaturer på luftsidan

Eftersom temperaturen på den från branden vända ytan inte har ökat mer än 140°C och maximaltemperaturen ligger långt under 100°C (Fig. 2.3.41a) kan konstruktionen anses uppfylla även krav på brandavskiljande byggnadsdel enligt ISO 834.

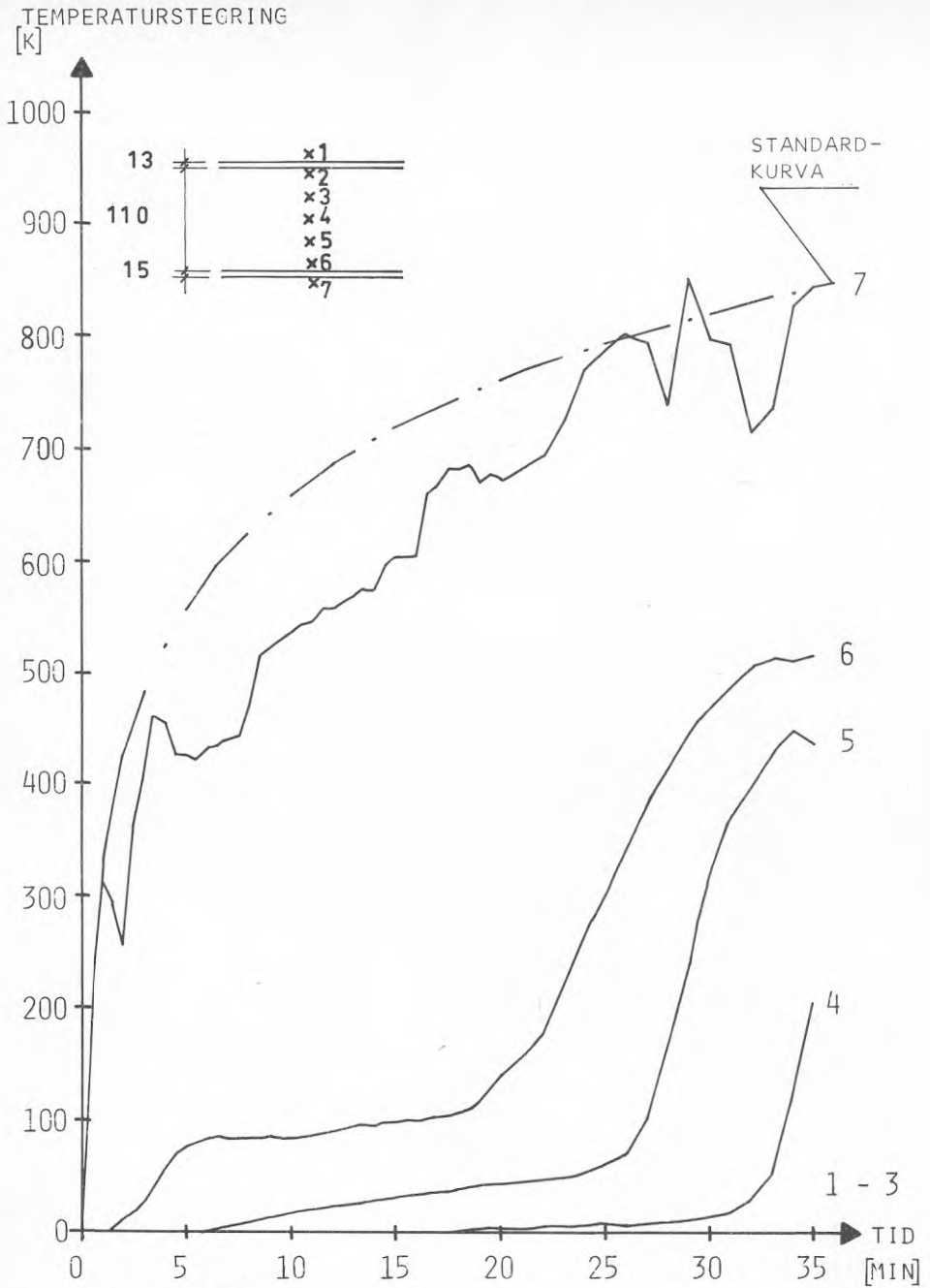


Fig. 2.3.41b Tid - temperaturförlopp i mitten av element 1. Termoelement 1 - 7.

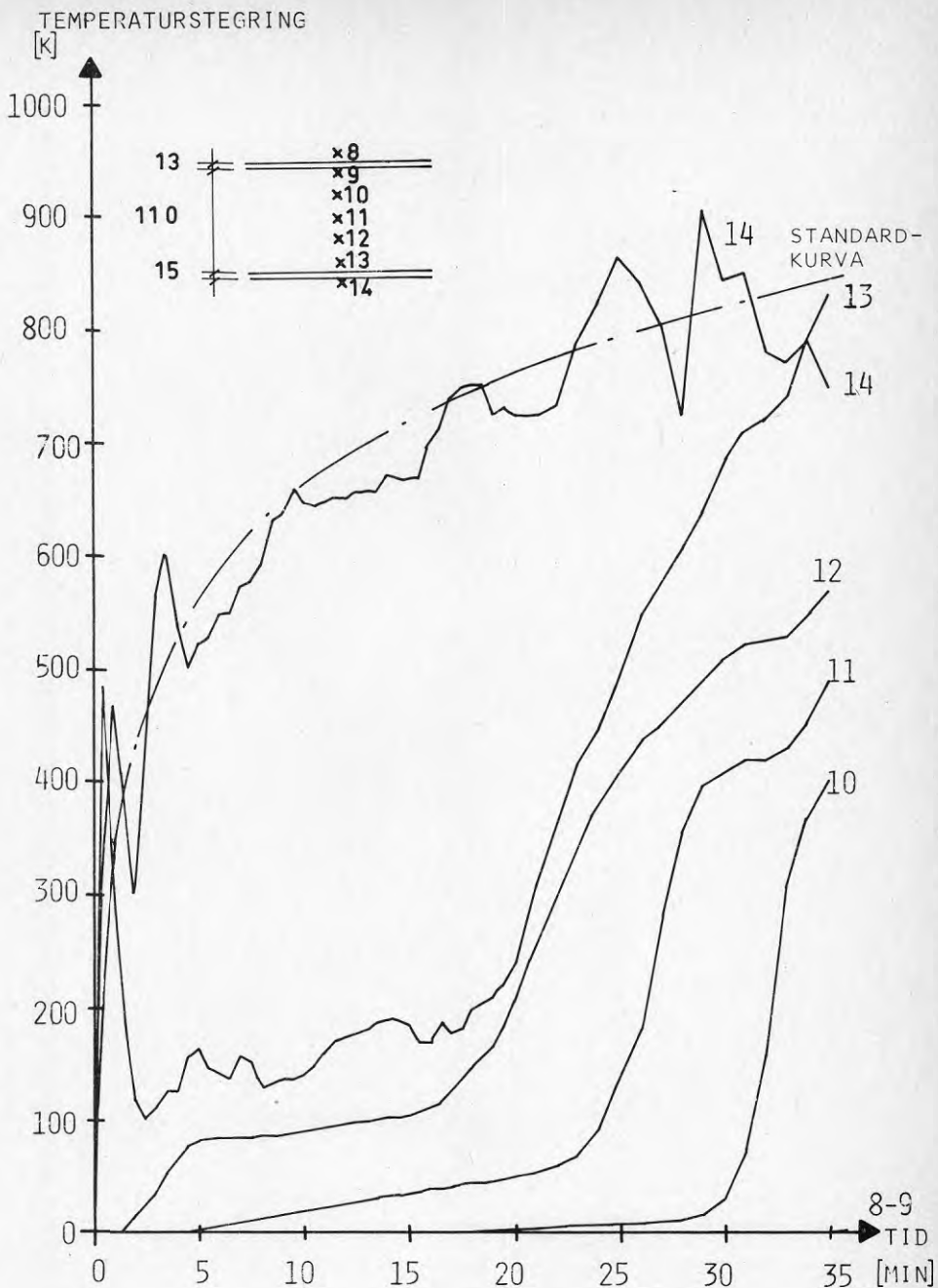


Fig. 2.3.41c Tid - temperaturförlopp i mitten av element 2. Termoelement 8 - 14.

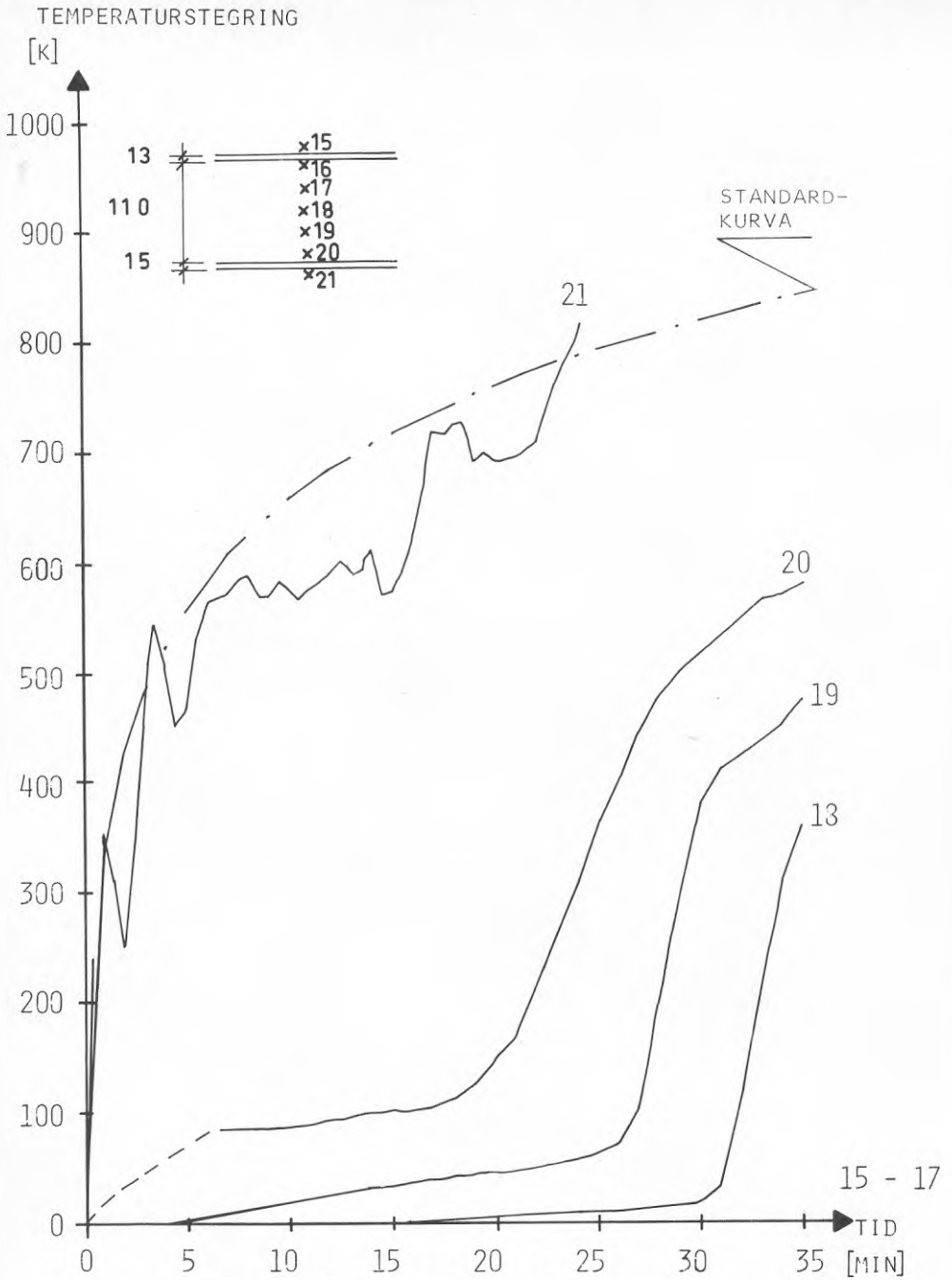


Fig. 2.3.41d Tid - temperaturförlopp i mitten av element 3. Termoelement 15 - 21.

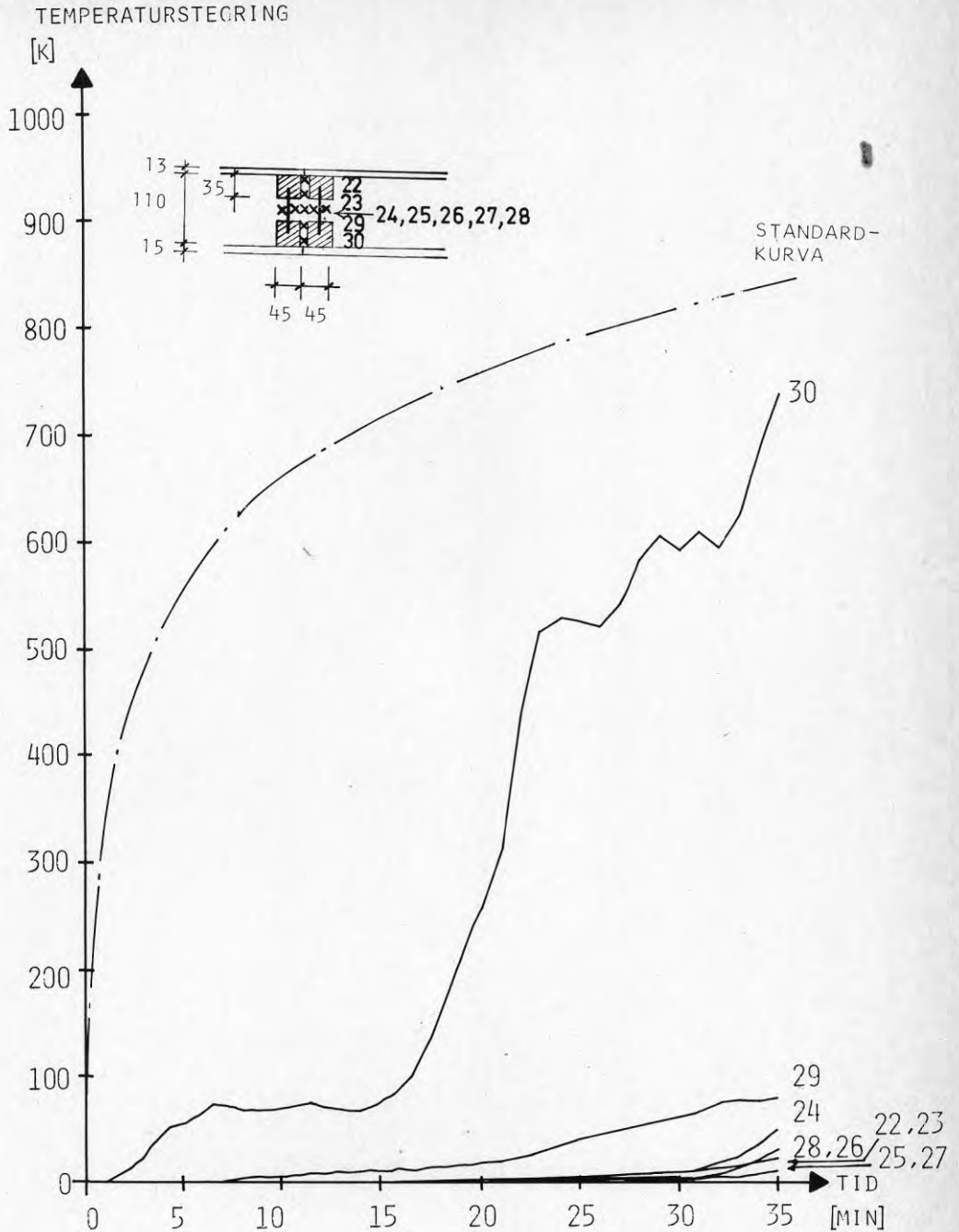


Fig. 2.3.41e Tid - temperaturförlopp i fogen.
Termoelement 22 - 30.

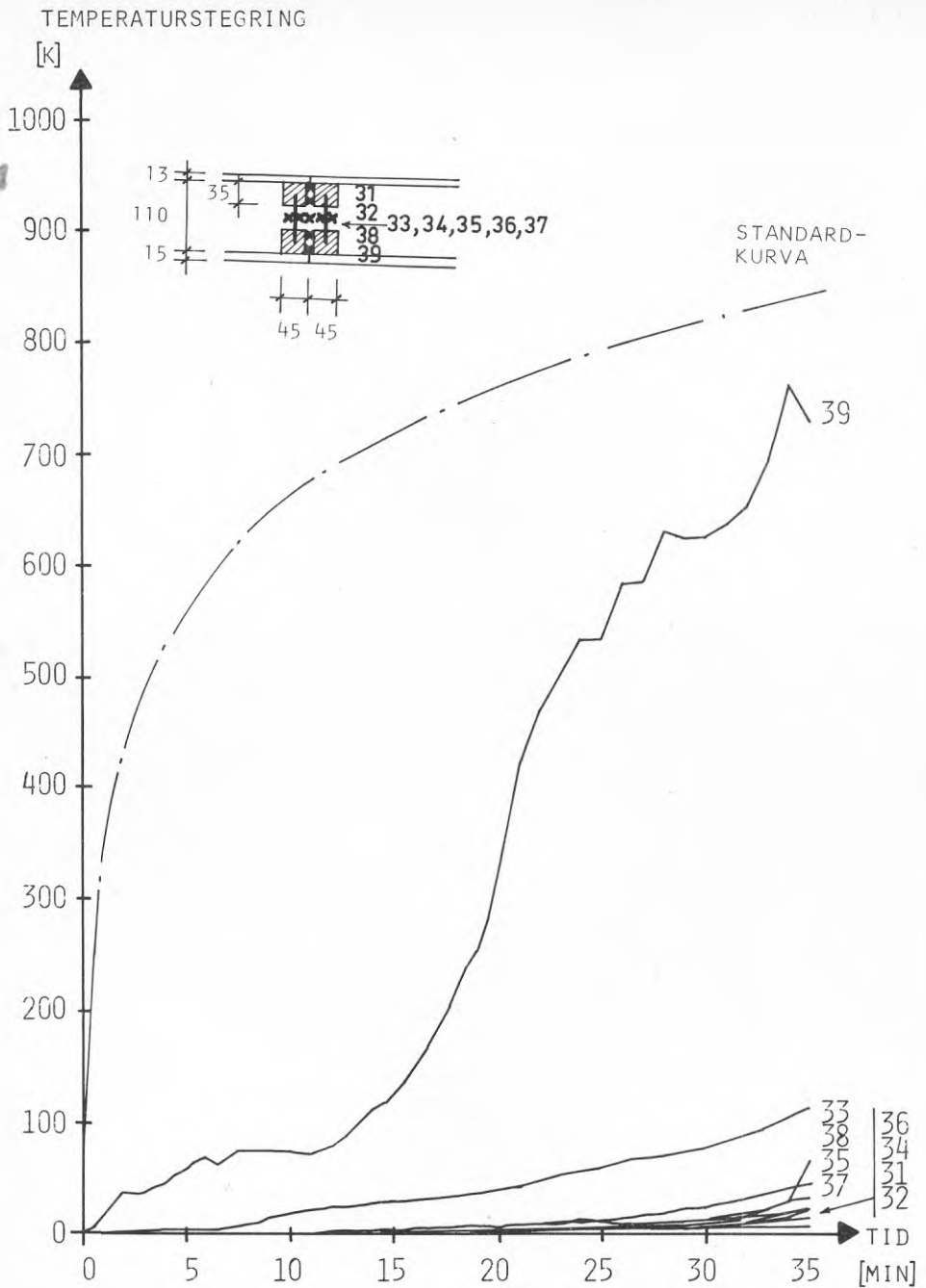


Fig. 2.3.41f Tid - temperaturförlopp i fogen.
Termoelement 31 - 39.

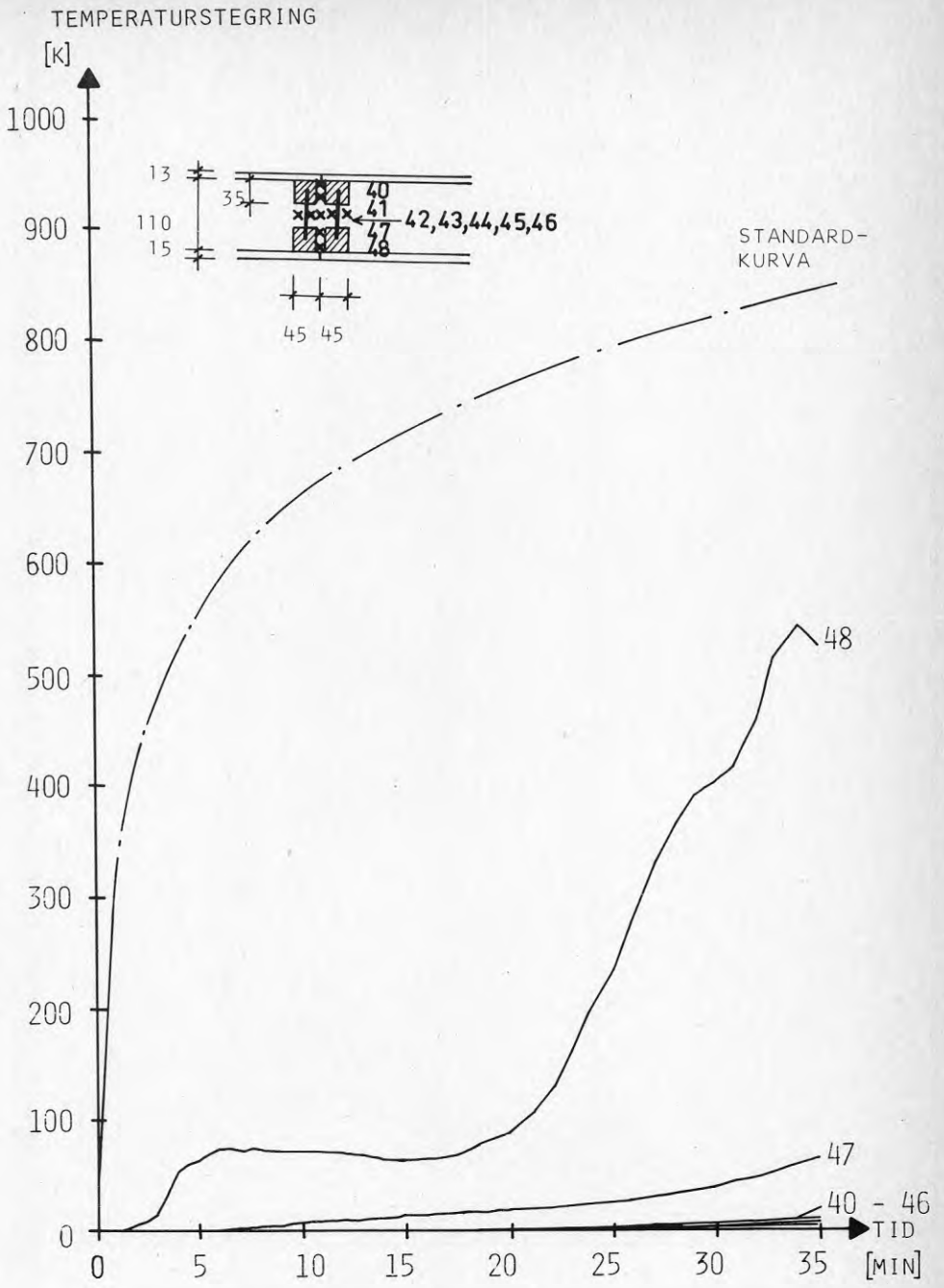


Fig. 2.3.41g Tid - temperaturförlopp i fogen.
Termoelement 40 - 48.

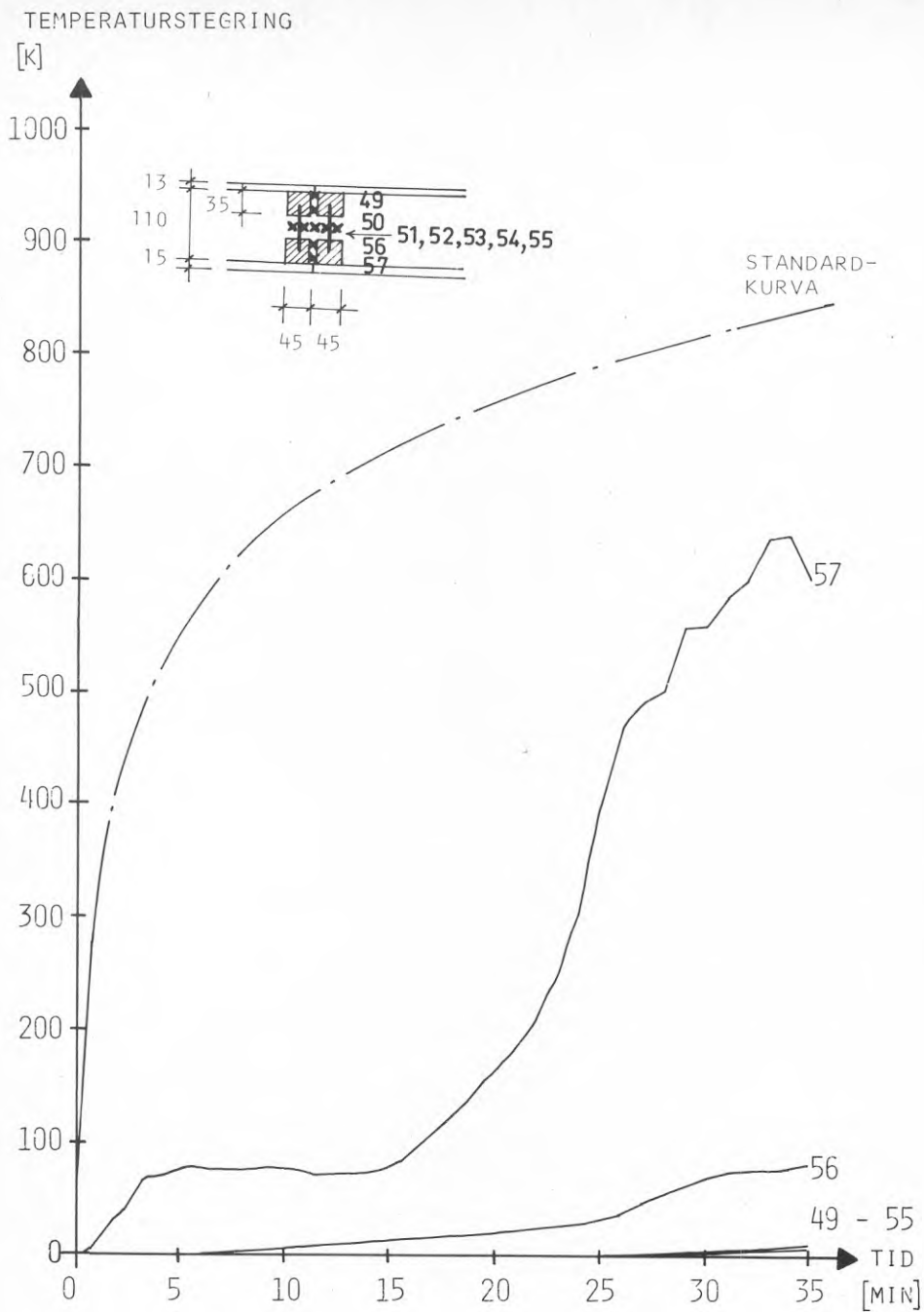


Fig. 2.3.41h Tid - temperaturförlopp i fogen.
Termoelement 49 - 57.

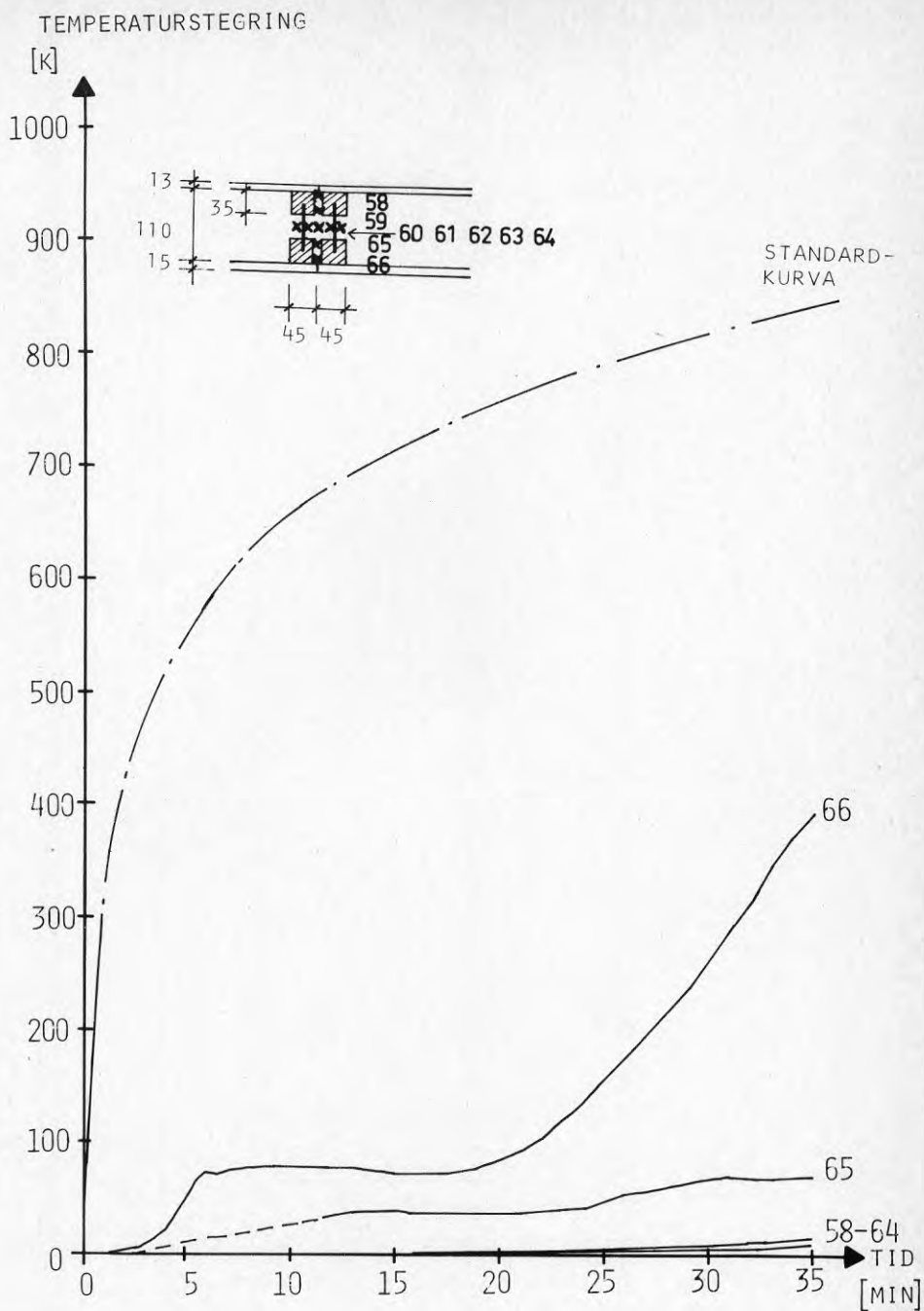


Fig. 2.3.41i Tid - temperaturförlopp i fogen.
Termoelement 58 - 66.

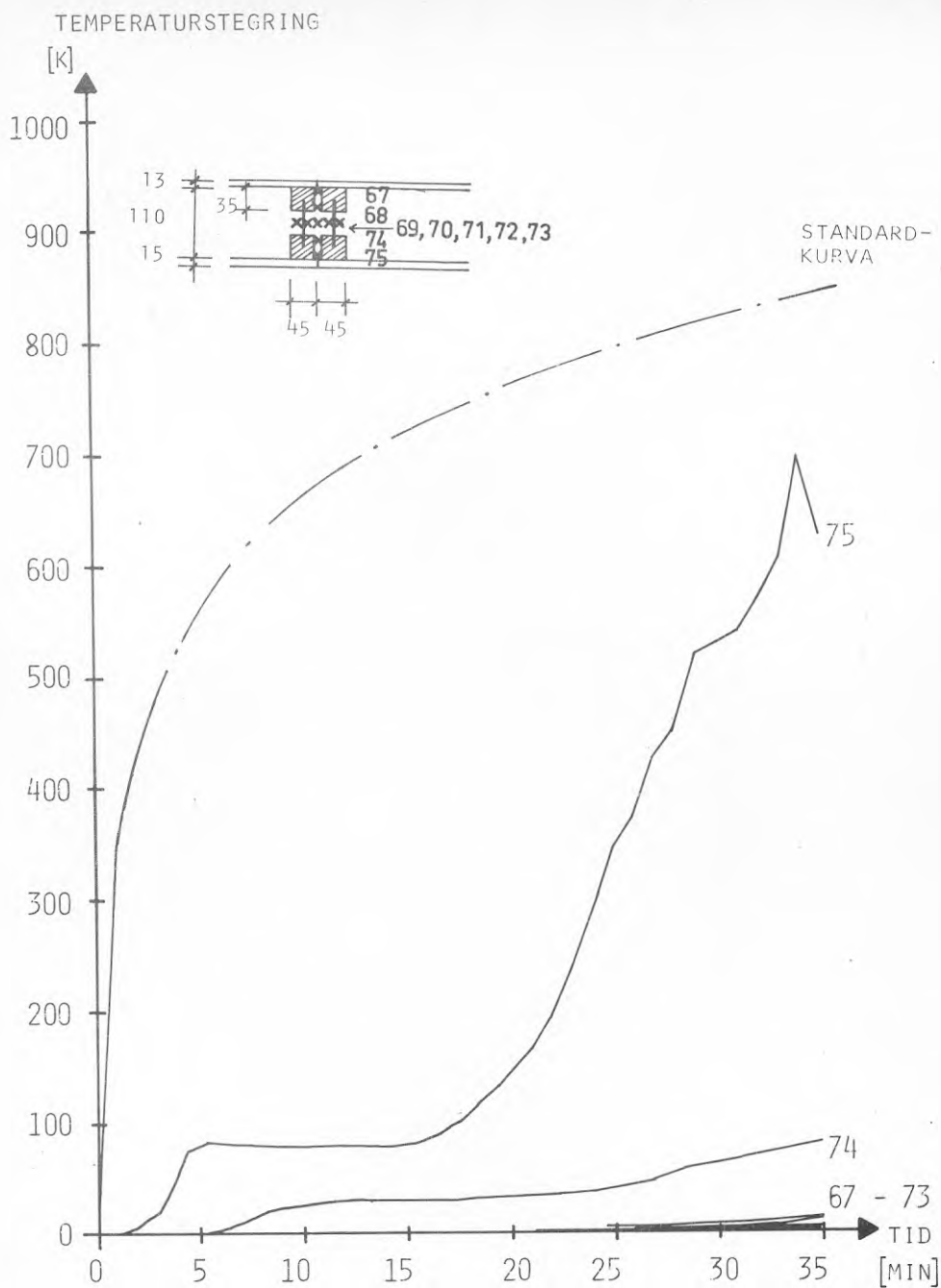


Fig. 2.3.41j Tid - temperaturförlopp i fogen.
Termoelement 67 - 75.

2.4 Slutsatser från brandprovning med modifierad konstruktion

Den modifierade konstruktionen uppfyllde kraven på brandteknisk klass B30 som bärande och brandavskiljande byggnadsdel. Efter 35 minuter - då försöket avslutades - hade konstruktionen sin bärförmåga kvar och temperaturen på den från elden vända sidan steg inte alls.

Slutsatsen som kan dras av den utförda brandprovningen med modifierad väggkonstruktion är följande:

- Det inre ytskiktets brandmotstånd var avgörande för hela konstruktionens brandmotstånd. Ett skydd mot antändning av cellplasten på mellan 20 och 22 min tros vara tillräckligt.
- Nedbrytning av uretancellplasten under begränsad lufttillförsel (så länge ytskiktet är intakt) skedde långsammare - rökutveckling blev också betydligt mindre.
- Större tjocklek hos masonite-liven i reglarna bedöms som bidragande för väggens stabilitet under en brand. Det förekom nämligen ingen synlig deformation (utbuktning) hos väggen under hela brandförloppet till skillnad från det tidigare försöket, då väggen bågade ut ca 15 cm och trycktes ihop ca 2 cm vertikalt. (Se bilderna i bildbilagan 2 och 3 och jämför!).
- Behandling av masonite-reglar med brandskyddsfärg var en åtgärd som visade sig överflödig.



3. BRANDFÖRSÖK MED SANDWICHKONSTRUKTIONER FRÅN ANDRA LÄNDER

3.1 Brandmotstånd för träkonstruktioner och sandwichelementväggar - fullskaleförsök från USA

I en artikel av H. W. Eickner i "The Journal of Fire & Flammability", vol. 6, april 1975 [21], beskrivs en serie fullskaleförsök med 14 st. olika ytterväggar för småhus. En del var av traditionell konstruktionstyp med träreglar och mineralullsisolering, en del av nyare typ - sandwichelement med ytskikten limmade mot en kärna av cellplast- eller pappersisolering. Provväggarna, 2,4 m höga och 3 m breda, var vid provningen belastade med en last på 18,7 kN/m. Brandmotstånd bestämdes enligt en standardiserad metod ASTM E 119 som motsvarar den internationella ISO 834 [4].

Vissa sandwichelement förstärktes på insidan med ett extra brandskyddande skikt i form av 12,5 mm gips-skiva eller några mm brandskyddande cementpasta av svällande typ.

Provningsresultaten är sammanställda i tabellform som här presenteras i sin helhet.

Tabell 1

Träregelväggar

Vägg	Inre ytskikt	Reglar	Isolering	Yttre ytskikt	Fasadbeklädnad	Brandmotstånd (min)
1.	9,5 mm gips-skiva	av furuträ c/c 40	ca 90 mm glasfiber	12,5 mm trä- fiberskiva	12,5 x 200 mm plankor av cederträ	34:00 brott i konstruktionen 37:00 genombränning
2.	---	---	---	9,5 mm plywood	---	35:00 genombränning
3.	---	---	---	---	---	29:30 genombränning 33:20 brott i konstruktionen
4.	6,5 mm fär- digmålad plywood	---	---	---	---	16:00 genombränning
14.	9,5 mm gips- skiva	---	---	16 mm väv - plywood kombination	---	29:30 brott i konstruktionen 32:75 genombränning

Tabell 2

Väggar av rena sandwichelement

Vägg	Ytskikten	Kärna	Brandskydd	Brandmotstånd (min)
5.	6,5 mm furu- plywood	75 mm ure- tancellplast (PUR)	Inget	3:00 brott i kon- struktionen
6.	"-"	"-"	12,5 mm gips- skiva	23:00 brott i kon- struktionen
7.	"-"	75 mm iso- cyanurat skum (PIR)	Inget	3:10 brott i kon- struktionen
8.	"-"	"-"	12,5 mm gips- skiva	24:30 brott i kon- struktionen
9.	"-"	75 mm ure- tancellplast (PUR)	2,5 mm cement- skikt	8:10 brott i kon- struktionen
10.	"-"	75 mm papper "honey- comb"	Inget	5:55 brott i kon- struktionen
11.	"-"	"-"	12,5 mm gips- skiva	26:24 brott i kon- struktionen
12.	"-"	75 mm iso- cyanurat skum (PIR)	5 mm cement- skikt	24:55 brott i kon- struktionen
13.	6,5 mm hård träfiber- skiva	75 mm papper "honeycomb"	Inget	4:15 brott i kon- struktionen

Brandmotstånd för träregelväggar (tabell 1) med regler på c/c 40, 90 mm mineralullsisolering och 9,5 mm gipsskiva på insidan var i genomsnitt 34 min. Träregelväggar klarade alltså nätt och jämnt de svenska kraven på brandteknisk klass B30.

En regelvägg (som nr. 4) med 6,5 mm plywood i stället för gipsskiva på insidan klarar inte kraven alls.

Tabell 2 ger en bild över de provade sandwichväggarna med olika kärnor. Kärnor av antingen uretancellplast (PUR), densitet ca 30 kg/m^3 , eller isocyanurat (PIR) - ett material som liknar uretancellplast fast med något bättre brandegenskaper, eller pappers "honeycomb" - närmast likt wellpapp.

Sandwichväggar bestod av två $1,2 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}$ och ett $0,6 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$ (b x h) element. Ytskikten var av 6,5 mm tjock plywood (utom i nr. 13) limmade mot kärnan från båda sidor. Fogarna var från utsidan täckta med $6 \times 56 \text{ mm}$ påspikade lister av plywood.

Genomgående har alla sandwichkonstruktioner utan extra brandskydd på den mot elden vända sidan kollapsat efter några få minuter.

En ganska stor tidsfördröjning för brandmotstånd har uppnåtts med både 12,5 mm gipsskiva och 5 mm brandskyddande cementpasta. Men ingen av de provade sandwichkonstruktionerna skulle uppfylla kraven på brandteknisk klass B30.

Man kan konstatera att en konstruktionstyp som bygger på kombinationen regelvägg - sandwichelement (det system som provades och beskrevs i kap. 2) kan anses som en realistisk lösning från brandsynpunkt.

Någon skillnad i brandmotstånd för sandwichelement med kärna av PUR och PIR kunde inte observeras. Rökutveckling kommenteras inte i artikeln. Från observationer kan utläsas att båda typer av plast gav en tjock rök.

3.2 Sandwichelement - brandegenskaper (Kanada)

I en publikation från TECHNOMIC Publishing Co.

"Flammability of Sandwich Panels", vol. 6, sammanställer och kommenterar V. M. Bhatnagar, Alena Enterprises of Canada [22], en del arbeten publicerade under 1965-1973. Utöver allmän beskrivning av olika typer av sandwich-element, deras tillverkning, hållfasthetsegenskaper och utveckling diskuteras brandegenskaper på basis av på olika håll utförda fullskaleförsök.

Cellplaster för både väggar, golv och tak har provats på olika sätt. En del med hjälp av s.k. tunneltester (ASTM E 84) för bestämning av flamspridning. Provmaterial placeras i taket på en tunnel. Flamlängden och tiden för flammornas spridning bestäms och flamspridningsindex beräknas. Från dessa försök drog man följande slutsatser:

- Cellplast går inte att använda utan brandskyddande ytskikt
- Den cellplast man använder som kärna i sandwichelement med ytskikt av metall, skall ha ett flamspridningsindex 25 eller mindre. (Amerikanska normer har sedan 1975 generella krav på all cellplast för byggnadsändamål - gränsvärde för flamspridning 75)

Standardbrandprovningar i brandugnar har gjorts på t.ex. vägg- och bjälklagselement av 75 mm pappers "honeycomb" (hexagonala celler) delvis fyllda med 40 mm uretancellplast. Ytskikten, limmade mot kärnan, var av 0,45 mm stålplåt. Fogutformning med not och spont. Brandmotstånd bestämdes för väggen till 7 min 50 sek, för bjälklaget till 9 min 09 sek, då temperaturen på den

från elden vända sidan nådde upp till de tillåtna 180 °C.

Standardbrandprovning (enligt ASTM E-119) utfördes på sandwichelement med andra ytskikt än metall. Allmänt rekommenderas som extra brandskydd gipsskiva. Det är gipskivans förmåga att binda värme genom hydratisering (utan att krympa) som är så fördelaktig. Provningsresultat från försök med dubbla sandwichväggar redovisas. Väggarna var identiska, var och en med från insidan: två lager gipskiva, ett lager plywood, kärna av uretancellplast och på utsidan asbestcementskiva. Varje vägg var under provningen belastad med ca 9 kN/m. Den för elden exponerade väggen kollapsade efter 1 timme 4 min. Temperaturutveckling visas i diagram i Fig. 3.1.

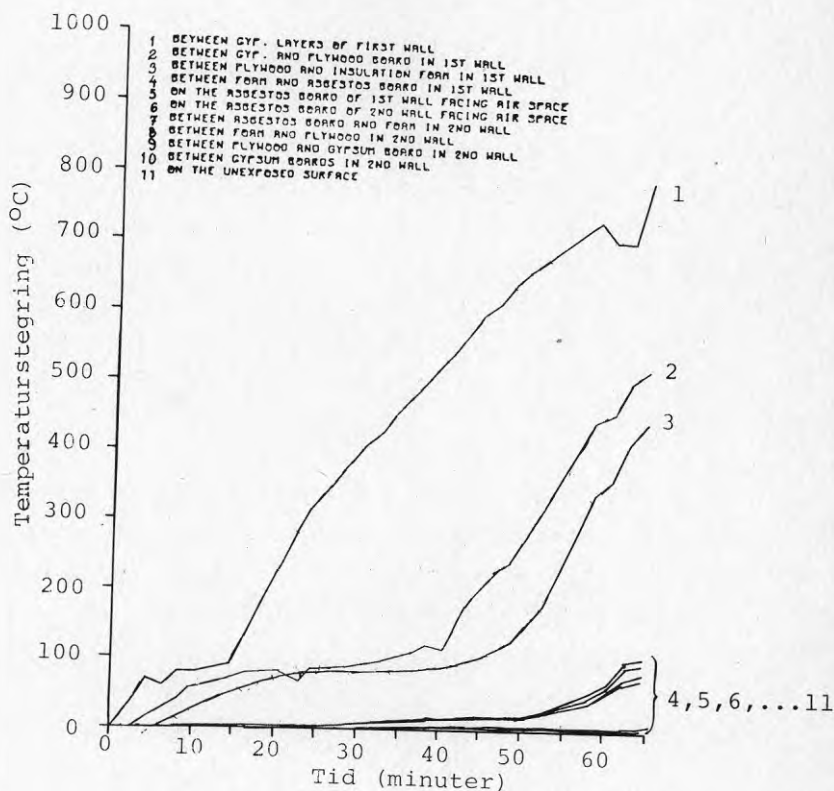


Fig. 3.1 Temperaturstegring med tiden mellan de olika skikten i dubbla sandwichväggar [22].

Brandmotståndstid för den andra väggen i dubbelväggs-konstruktionen uppskattas till 75% av brandmotståndstiden för den första väggen. Totalt ger dubbelvägg av

den här typen ett brandmotstånd på 1 timme 52 min.

Ett antal brandprovningar med element för främst industribyggnader utfördes enligt en metod kallad "Corner Test". Man bygger ett hörn i full skala med väggar och tak av det aktuella materialet. I hörnet anläggs en väl definierad brand (med hjälp av träribbstapel). Brandspridning följs från hörnet längs väggarna - en skadebild ritas upp efter provningen. På det sättet testades väggar med isolering av styv cellplast (både uretancellplast och isocyanurat) av olika densiteter och olika flamspridningsegenskaper, med ytskikt av stål- och aluminiumplåt eller helt utan ytskikt med automatiskt sprinklersystem och utan ett sådant. Resultaten visar att:

- helt oskyddad cellplast inte kan användas i väggar och tak
- metall ytskikt, fastän de är värmeledande, inte bidrar till brandspridning i sandwichelement
- en kombination av flamspridningsegenskaper hos cellplasten, förekomst av obrännbart eller brandskyddande ytskikt och tillfredsställande funktion av automatiska sprinkleranordningar är avgörande för brandspridningsegenskaper för väggar och tak av sandwich-element

I en bulletin som ingår i V. M. Bhatnagars [22] sammanställning föreskrivs för sandwichelement med cellplastkärna obrännbara ytskikt av stål- eller aluminiumplåt. Där anges även nedre gräns för tjocklek:

stålplåt	min. 0,45 mm
aluminiumplåt	min. 0,80 mm

I samma bulletin redovisas provningsresultat för ett intressant material från AVCO-system. Systemet rekommenderas som brandskydd för sandwichelement. Materialet i form av folie eller tunn film appliceras på eller under ytskikten på sandwichelement. Vid högre temperaturer sväller materialet och vattenånga och gaser som bildas p.g.a. kemisk reaktion reducerar syrehalt i luften som är så nödvändig för flammen och dess spridning. Samtidigt bildas ett tjockt värmeisolerande kolskikt, som skyddar underliggande material. Svällningen för AVCO:s serie av FLAMAREST material börjar vid 310 °C.

3.3 Föreskrifter och krav för väggelement där cellplast ingår i USA

I en publikation "Thermal Barriers in Factory Manufactured Wall Panels" av J. S. Stahl, Stahl Industries, Inc. Youngstown, Ohio [23], finns en sammanställning av "Basis Building Code":s krav från 1976 på väggelement med cellplastkärna. Den ger en bild över vilka aspekter som är viktiga att beakta vid utformning av en ny sandwichkonstruktion. (I Sverige finns än så länge inga sådana krav från myndigheternas sida).

- 1) Flamspridningsindex för cellplastkärna ingående i byggnadselement får inte överstiga 75 och rökalsring 450 vid provning enligt ASTM E-84 (tunnelmetoden).
- 2) All cellplast måste skyddas från insidan av byggnaden med tändskyddande beklädnad av 13 mm gipskiva eller annat material för vilket vid provning enligt ASTM E-119 (standardbrandprovning) temperaturstegring på oexponerad sida efter 15 min standardbrand inte är större än 150 °C. Sådant material är klassificerat som "15 minuters tändskyddande beklädnad". Det finns tre undantag från kravet på 15 minuters tändskyddande beklädnad:
 - 2) a) Element med betong eller tegelmur
 - b) Element med uretancellplast där minimitjocklek för stålplåt är 0,45 mm och för aluminiumplåt 0,80 mm. De måste dock uppfylla följande krav:
 - 1) Isolerade ytor måste vara skyddade med automatiskt sprinklersystem
 - 2) Cellplastkärna får inte ha flamspridningsindex större än 25
 - 3) Tjockleken på elementen får inte överstiga 100 mm

- 4) Elementen får inte användas där det krävs
obrännbar eller brandresistent konstruktion
- c) Speciella konstruktioner som utsätts för full-
skaleprovning i ett utförande identisk med det
i verkligheten
- 3) Om cellplastkärna är 100 - 250 mm tjock måste iso-
lerade ytor skyddas med automatiskt sprinklersystem
som komplement till 15 minuters tändskyddande be-
klädnad.



4. ALTERNATIVA YTSKIKT

4.1 Allmänt

Resultaten visar, att det inre ytskiktets brandmotstånd är avgörande för brandmotståndet hos hela konstruktionen.

I den provade väggkonstruktionen av sandwichelement som uppfyllde kraven på B30 användes som inre ytskikt en 15 mm tjock glasfiberarmerad gipsskiva. En gipsskiva består av gips kristalliserat med vatten. Det kristallbundna vattnet frigörs vid högre temperaturer och därmed binds värme samtidigt som gipset pulveriseras. Ju tjockare skivan är, desto längre tid pågår processen. En glasfiberarmerad gipsskiva innehåller ca 5% korta mycket tunna glasfibrer inblandade i gipsmassan vid tillverkningen. För en sådan skiva blir tiden för total pulverisering ännu längre, eftersom glasfibrerna håller ihop det kalcinerade (pulveriserade) gipset. Även sprickbildning i små sprickor utspridda över hela ytan är ett gynnsamt fenomen.

Det kan dock finnas anledningar som gör att man inte väljer gipsskiva som ytskikt. I det följande ges en liten översikt av vad som finns tillgängligt.

4.2 Tändskyddande beklädnader

Enligt Statens Planverks "Godkännandelista B, Typgodkännanden - brandskydd" [3] finns det en del skivmaterial klassificerade som tändskyddande beklädnad. Bland tändskyddande beklädnader finner vi:

- träbaserade skivor
- obrännbara "
- kombinerade "

För brandteknisk klassificering - typgodkännande av en viss produkt - erfordras att produkten uppfyller de krav som framgår av bedömningsreglerna, avsnitt 2 i "Godkännanderegler, Brandskydd" från Statens Planverk [2].
För beklädnader gäller följande:

2.2 Beklädnader

För att utvärdera huruvida en beklädnad kan karakteriseras som tändskyddande, utförs provning enligt NORDTEST brandprovningssmetod nr 3 och i tillämpliga fall även enligt NORDTEST brandprovningssmetod nr 4.

En obrännbar beklädnad bedöms som tändskyddande om vid provning enligt NORDTEST brandprovningssmetod nr 3 under provningstiden 10 minuter följande tre krav uppfylls:

- a) beklädnaden inte antänds med öppna lågor
- b) beklädnaden kvarsitter utefter hela ytan
- c) temperaturstegringen på underlagets mot beklädnaden vända yta inte på något ställe överstiger 270°C och i medeltal inte 250°C .

En beklädnad som inte helt består av obrännbart material skall för att kunna karakteriseras som tändskyddande - utöver vad som ovan anges - provas och bedömas enligt NORDTEST brandprovningssmetod nr 4 varvid provningstiden skall vara 10 minuter.

Härvid skall uppmätta temperaturer och värdet på ogenomskinligheten för rökgaser uppfylla samma krav som gäller för flamsäkert ytskikt klass I - jfr 2.3.

2.3 Ytskikt

För att utvärdera huruvida ett ytskikt för byggnadsdelar och beklädnader har ringa eller måttlig benägenhet att medverka till övertändning och rökutveckling vid brand utförs provning enligt NORDTEST brandprovningssmetod nr 4.

Med *flamsäkert ytskikt* (klass I) förstås ytskikt som uppfyller följande villkor under provtiden 10 minuter vid provning enligt nämnd metod:

Uppmätt medeltemperatur för rökgasen vid tre delprovningar får överskrida gränskurva I - jfr diagram 1) figur 1 - under en sammanräknad tidsperiod av högst $\frac{1}{2}$ minut och därvid får innesluten yta mellan aktuell temperaturkurva och gränskurvan vara högst $15^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}$, samtidigt som erhållet medelvärde för rökgasernas ogenomskinlighet inte får vara större än skalvärdet 10^* och ogenomskinligheten inte vid något tillfälle överskrida skalvärdet 50^* .

* Skalvärdet anger rökens täthet i procent av total ogenomskinlighet

- 1) Diagram återfinns i "Godkännanderegler, Brandskydd" från Statens Planverk.

De nu gällande kraven tar inte hänsyn till att en cellplastisolering skall skyddas av en tändskyddande beklädnad. Numera då cellplaster börjar användas som värmeisolering och våra kunskaper om plasternas brandegenskaper ökar, vet man att gällande krav är otillräckliga. Därför kommer kraven på tändskyddande beklädnad i konstruktioner där plast ingår, förmodligen att skärpas. Skärpingen kan bestå i att provningstiden ökas, samt att gränsen för temperaturstegringen på underlagets mot beklädnaden vända yta sänks. (Enligt Brandriskutredningen [18].)

4.2.1 Träbaserade skivor

Bland träfiberskivor är "12 mm Karlit tändskyddande" från Karlholms AB, Stockholm, typgodkänd. Som exempel på tändskyddande träspånskiva kan nämnas "S-skivan Firex" från Södra Skogsägarna AB, Växjö.

De provningsresultat, dvs. tid - temperaturkurvor som finns, och som skulle kunna jämföras med tid - temperaturkurvor för gipsskivan hos den provade sandwichkonstruktionen, sträcker sig inte längre än till 10 min (den nu gällande provningstiden). Man vet tyvärr inte hur dessa material uppför sig efter 20 min. En 19 mm tjock spånskiva har genombränningstid 30 min enligt TRADA (Hagstedt, Nyström "Skilljande träkonstruktioner" BFR:s rapport R91:1977 [17].)

4.2.2 Obrännbara skivor

De mest kända obrännbara skivorna var otvivelaktigt asbestcementskivor. Nu när de inte längre förekommer på marknaden i Sverige, dyker det upp en mängd olika material som ersättning för asbestcement. Idag finns det obrännbara ersättningsprodukter både importerade och av svenska företag utvecklade.

En av dem är "Vermi S-830" från Vermit - Produkter AB, Västerås. Redan en 8 mm tjock Vermit-skiva uppfyller kraven på tändskyddande beklädnad. Vermit-skivan är en produkt baserad på expanderat naturmaterial vermikulit (magnesiumsilikat) och bindemedel.

En annan är "Sufalux S" från Promonord AB, Malmö, (Lomma). Det är en skiva med laminerad struktur som består av kalciumsilikat med speciella fibrer och tillsatsmedel. En 9 mm tjock Sufalux S-skiva borde uppfylla kraven på tändskyddande beklädnad.

Promonord har även ett annat obrännbart material som kallas "Siroc" och baseras på glasfiberarmerad betong.

Av glasfiber och cement kan också tillverkas skivor. De är under utveckling i samarbete med Pilkington i England.

4.2.3 Kombinerade skivor

För att uppnå en viss brandresistens kan man kombinera brännbart och obrännbart material. Man blandar komponenterna i massan innan produkten (skivan) är färdig som t.ex. en ny skiva av västtysk tillverkning. Den heter "Eagle Brand" och är tillverkad av träspån med cementbruk som bindemedel. Skivan marknadsförs av Elof Hansson Byggmaterial, Göteborg. Skivan finns i tjocklekar 8-28 mm och uppfyller kraven på tändskyddande beklädnad.

Ett annat sätt att kombinera brännbart och obrännbart material är, att man använder sprutputs av pulveriserad vermikulit och cement på brännbart underlag.

Även brandskyddsfärger av svällande typ kan användas på t.ex. träbaserade skivor för att höja deras brandmotstånd.

4.3 Bedömning

Några bestämda slutsatser beträffande vilka av de presenterade möjligheterna till alternativt inre ytskikt för sandwichelement med isolering av uretancellplast, som kan fungera lika bra som den provade glasfiberarmerade gipsskivan, kan inte dras.

I en artikel publicerad i Fire Prevention, Science and Technology, nr 16, 1977, av P.F. Lesse, Australien [28], redovisas matematisk simulering av brandprovning i full skala. Teorin är applicerad på några äldre försök från Sydney. Försöken var utförda bl.a med väggar av sandwich-element med 35 mm tjock uretancellplastkärna och ytskikt av 8 mm tjocka asbestcementskivor. Skivorna på ytan mot elden sprack i inledande skede av branden (efter ca 3-4 min). Brott i skivan orsakade övertändning av cellplasten. Beräkningar stämmer väl med försöksresultat och författaren försöker förklara fenomenet med hjälp av beräknad temperaturfördelning i sandwichkonstruktionen. Han får en stor temperaturskillnad i cellplasten över en kort sträcka alldeles bakom asbestcementskivorna. Den stora temperaturskillnaden orsakar spänningar och utvidgning i cellplasten med sprickor i asbestcementskivan som följt. P.g.a. den höga temperaturen bakom ett värmeledande ytskikt kan även nedbrytning av cellplasten börja tidigare. Rökgaserna hjälper till att trycka ut ytskiktet.

I artikeln finns en del intressanta data som återges här:

Appendix

The following constants were used in computations:

- | | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | Specific heat of combustion gas C_p
$1.823 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ | 5 | Calorific value of wood, q
$1.07 \times 10^7 \text{ J kg}^{-1}$ |
| 2 | Mean emissivity of the wall surface ϵ
0.7 | 6 | Thickness of the wall:
(a) frame construction
asbestos cement sheets 8 mm thick separated by 75 mm of air
(b) sandwich panel
asbestos cement sheets as above separated by 35 mm of polyurethane foam. |
| 3 | Thermal conductivity of the wall surface
$0.651 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Thermal conductivity of polyurethane foam
$2.16 \times 10^{-2} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ | 7 | Mean coefficient of heat transfer by convection α
external $23.2 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$
internal $8.14 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ |
| 4 | Thermal diffusivity of asbestos cement, a
$4.72 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$
Thermal diffusivity of polyurethane foam
$8.05 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ | 8 | Initial temperature θ_0 20°C |
| | | 9 | Thermal diffusivity of polyurethane as function of temperature (estimated)
$a = \frac{1.32 \times 10^{-10} (\theta - \theta_0)^2 + 8.05 \times 10^{-7}}{6.2 \times 10^{-8} (\theta - \theta_0)^2 + 1}$ |

Australiensiska försöksresultat tyder på att en skiva, trots att den är obrännbar, inte behöver fungera tillfredsställande, vilket kan bero på hög värmeledningsförmåga och sprödhet hos materialet.

5. NEDBRYTNING AV URETANCELLPLAST - RÖKGASER OCH DERAS GIFTIGHET

5.1 Grundegenskaper

Styv polyuretan i form av cellplast - uretancellplast - är ett poröst (med 85-93% slutna celler) ogenomskinligt material. Färgen varierar från ljus gul till brunaktig. Uretancellplast framställs genom en kemisk reaktion mellan polyol och isocyanat. Som skumningsmedel används oftast lågkokande drivgas t.ex. triklorfluorometan CCl_3F ("Freon-11"). I en färdig produkt finns ca 2% fluor och 10% klor kvar. Cellstrukturen kan också uppnås genom att det bildas koldioxid då isocyanat reagerar med vatten.

5.2 Rökutveckling

Man kan mäta rökutveckling för olika material i laboratorieskala med hjälp av en fotocell, i s.k röktaethetskammare (Smoke Density Chamber). Det man mäter är tidförlopp för specifik optisk täthet (D_s). Från t - D_s -kurvan (tidskurvan) bestäms tiden för maximivärdet av specifik optimal täthet (D_m) Intressant i detta sammanhang är att plasten, vid begränsad ventilation, har stark rökutveckling som ökar med ökad ventilation. Det skiljer sig från det man är van vid hos träbaserade material som i det fria producerar små mängder rök och vid begränsad ventilation ökar rökproduktionen.

Brandhämmande tillsatser i uretancellplasten orsakar för det mesta ökad rökutveckling.

Rökmängden är direkt beroende av den termiska sönderdelning (nedbrytning) som är oundviklig vid en brand.

5.3 Nedbrytning

Då värme från en yttre energikälla - vid en brand - tillförs ett material, orsakas en successiv uppvärmning, och om materialet härvid efterhand når sin sönderdelningstemperatur, börjar en eller flera av följande produkter att frigöras:

- brännbara gaser, t.ex. kolmonoxid
- inte brännbara gaser, t.ex. koldioxid
- vätskepartiklar
- fasta partiklar
- fast återstod - kolskikt

Förbränningsintensitet eller massförlust per tidsenhet karakteriserar denna process.

För att få en uppfattning om förbränningsintensiteten kan man under laboratorieförhållanden följa viktminskning under uppvärmning hos ett visst material. Så har man med hjälp av termogravimetrisk analys (TGA) i en speciell apparatur vid SINTEF, Norges Brandtekniske Laboratorium i Trondheim (rapport nr 7 av P.J. Hovde [25]), bestämt viktminskning för bl.a. olika uretancellplaster. Samtidigt bestämdes sönderdelningshastighet som funktion av temperaturen. I Fig. 5.1 visas ett exempel på viktminskning och sönderdelningshastighet hos en typisk uretancellplast.

Både viktförlust och förbränningshastighet kan fördelas i två etapper - två toppar på kurvan. Det förklaras av att brännbara gaser försvinner vid temperaturer mellan 200 °C och 300 °C, varvid kolskelettet blir kvar. Kolskelettet sönderdelas vid ca 500 °C. Detta gäller under laboratorieförhållanden, och man måste vara medveten om att det fungerar något annorlunda vid en verklig brand.

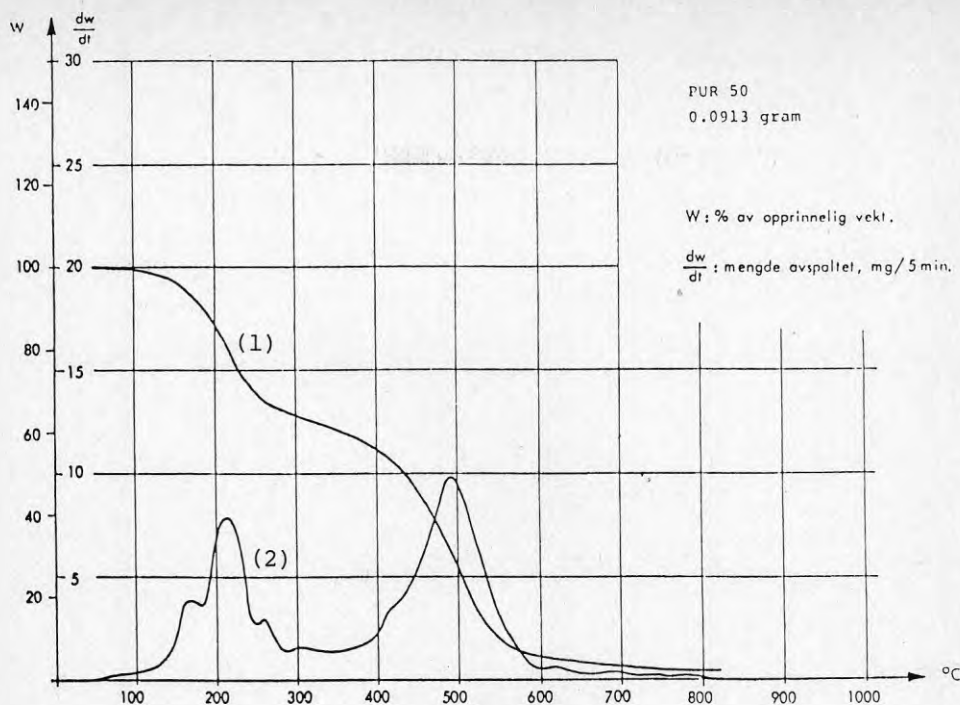


Fig. 5.1 Viktminskning i % av ursprunglig vikt (1) och mængden sönderdelat material i mg/5 min (2).

Viktförlust med tiden för uretancellplast vid olika temperaturer bestämdes av teknologer i ett projektarbete vid Husbyggnadsteknik, CTH [30]. 50% av sin vikt förlorar uretancellplast på 5 min. vid en temperatur mellan 300 °C och 400 °C grader, se Fig. 5.2.

Sönderfallshastigheten ökar drastiskt mellan 250 °C och 400 °C. Därför är det av stor vikt att cellplasten skyddas med lämpligt ytskikt, så att temperaturen i cellplasten vid en brand inte kan överstiga 200 °C under tillräckligt lång tid.

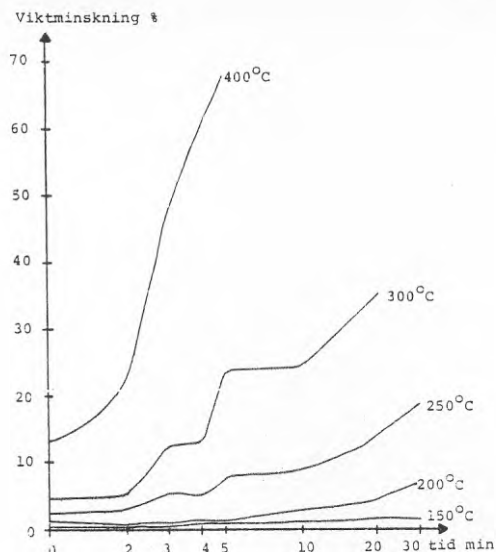


Fig. 5.2 Viktminskning med tiden vid olika temperaturer för uretancellplast (i % av ursprungliga vikten).

I relation till andra plaster visas viktminskningen med tiden för uretancellplast i diagram i Fig. 5.3 enligt resultat från det nyss nämnda projektarbetet. Observera att styrencellplaster är termoplaster. De förlorar inte så mycket i vikt men desto mera i volym i samband med att de smälter.

Jämförande försök med trä och uretancellplast har gjorts i England och publicerats i Fire Technology 1971 (A.F. Roberts: "Polyurethane Foam: Some Studies Relating to Its Behavior in Fires") [27]. Där utsattes materialet för värmestrålning i olika intensiteter och viktminskningen studeras, se Fig. 5.4.

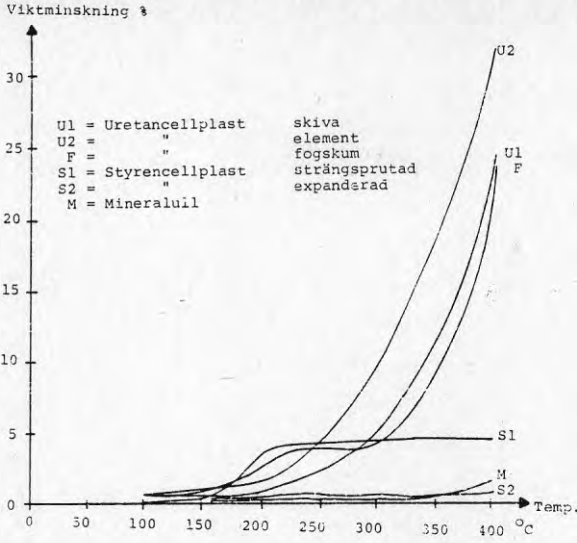


Fig. 5.3 Viktminskning för några isoleringsmaterial exponerade för temperaturer mellan 100 och 400 °C under konstant tid av 2 min.

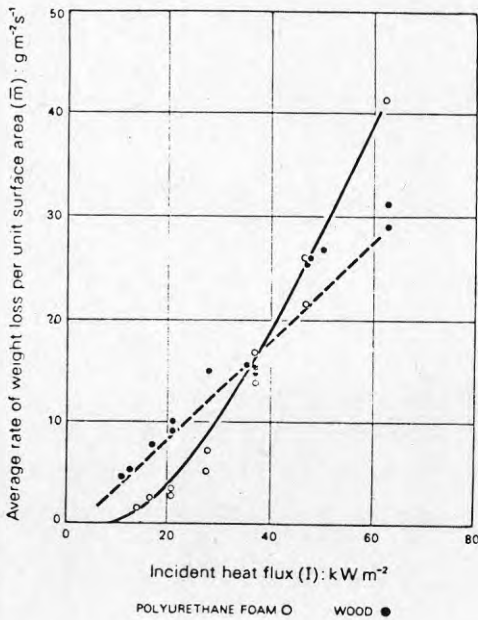


Fig. 5.4 Viktminskning för uretancellplast (—) och trä (---) i g/m²s under inverkan av varierande värmestrålning.

Diagram i Fig. 5.4 visar hur nedbrytningen för trä och uretancellplast fortskrider under ett brandförlopp.

Vid jämförelse av massförlust i g per ytenhet avger uretancellplast före övertändning mindre mängd brännbara gaser än trä. Vid högre termisk påverkan är förhållandet omvänt.

Nedbrytning av uretancellplast sker hastigt i jämförelse med trä, som syns av Fig. 5.5.

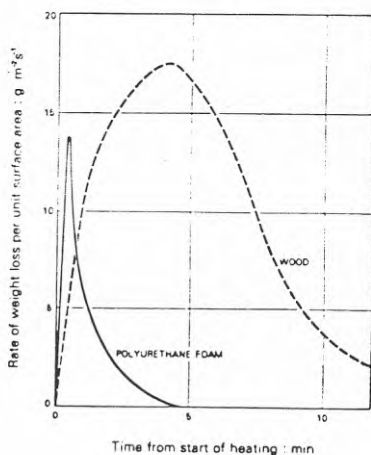


Fig. 5.5 Nedbrytning av uretancellplast (—) och trä (---) med tiden under inverkan av konstant värmestrålning.

På grund av den låga vikten hos uretancellplasten ökar brandbelastningen ganska lite. Momentant kan stora energimängder frigöras men bara under korta tidsperioder. Därigenom ökar risken för brandspridning och övertändning men är av föga betydelse för konstruktionens bärande funktion.

5.4 Förbränningsprodukter - toxicitet

Vid förbränning av uretancellplast bildas huvudsakligen:

- kol och syre i form av koldioxid (CO_2)
kolmonoxid (CO)
- kväveföreningar som t.ex. cyanväte (HCN)
kväveoxider ($\text{NO}+\text{NO}_2$)
(nitrösa gaser)
ammoniak (NH_3)
- klorföreningar som t.ex klorväte (HCl)
- fosforföreningar mest fosforpentoxid (P_2O_5)

Vid ofullständig förbränning bildas kolmonoxid. Mängden av kolmonoxid är direkt beroende av graden av ofullständig förbränning och kan under en brand vara rätt stor, också från andra brännbara material.

Mängden av kväveföreningar vid förbränning av uretancellplast ligger på 1/10-1/5 av den kolmonoxidmängd som bildas vid en brand.

Den obehagligaste av klorföreningar är klorväte, vilket med brandgasernas fuktighet bildar saltsyra. Saltsyreångor är starkt irriterande att inandas och har korroderande inverkan på metaller. Mängden av klorväte vid förbränning av uretancellplast utgör ca 1/20 av kolmonoxidmängden.

Både klorföreningar och fosforföreningar härstammar från brandhämmande medel som ingår i cellplasten. Fosforpentoxid bildar med luftens fuktighet fosforsyra (H_3PO_4). Fosforångor angriper slemhinnor, hud och ögon.

5.4.1 Kolmonoxid (CO)

I en norsk undersökning från SINTEF, Norges Brandtekniske Laboratorium i Trondheim, av P.J. Hovde [25], redovisas mängden kolmonoxid i förbränningsgaserna från uretancellplast vid laboratorieförsök:

vid 450°C och 21% O ₂	100- 400 ppm CO
vid 600°C och 21% O ₂	2300-4700 "
vid 800°C och 12% O ₂	2300-7500 "
vid 800°C och 21% O ₂	4400-7900 "

Vid ett försök med dörrar av uretancellplast utförda vid Statens Provningsanstalt i Borås [26] har vid förbränning uppmätts följande halter kolmonoxid:

vid laboratorieförsök	0,5 - 2,0% CO (5000 - 20000 ppm)
vid fullskaleförsök efter 10 min.	ca 0,5% CO (ca 5000 ppm)

Vid fullskaleförsök med dörrar av trä uppmätte man:

efter 10,2 min.	0,15% CO (1500 ppm)
-----------------	------------------------

I den statliga brandriskutredningen "Brand inomhus" [18] anges i en tabell den fysiologiska reaktionen på kolmonoxid.

Tabell 4.1 Fysiologisk reaktion på kolmonoxid /8/.

CO-halt i andningsluften, %	Reaktion
0.01	Exponering kan tillåtas i flera timmar
0.04 - 0.05	Ingen märkbar effekt efter 1 timme
0.06 - 0.07	Just märkbar effekt efter 1 timme
0.1 - 0.12	Obehag efter 1 timme (huvudvärk, yrsel)
0.15 - 0.2	Farlig vid inandning 1 timme (förlamning, medvetlöshet)
0.3	Farlig vid inandning 1/2 timme (enligt uppskattning)
1.0	Dödlig när gasen inandats 1 minut

Därifrån kan utläsas att ca 1500-2000 ppm CO kan finnas i luften 1 timme innan det blir farligt för människan. 10000 ppm CO är dödlig mängd efter 1 minut.

Vid korttidsexponering har kolmonoxid inga kända bestående effekter. Den undantränger syre från hemoglobinet i blodet och därigenom tillförsel av syre till vävnader. Vid exponering under längre tid medför syrebrist sekundära vävnadsskador. Dödsorsak är inre kvävning.

5.4.2 Cyanväte (HCN)

Vid ofullständig förbränning av kvävehaltiga material som ull, silke, nylon och polyuretan bildas cyanväte (HCN).

I den förutnämnda norska rapporten [25] redovisas från laboratorieförsök vid olika temperaturer och olika syrehalter i luften följande mängder HCN:

vid 600°C och 21% O ₂	0
vid 800°C och 12% O ₂	200-1600 ppm HCN
vid 800°C och 21% O ₂	200- 950 "

Vid brandförsök med dörrar av uretancellplast (Provningstanstalten i Borås [26]) har påvisats:

vid laboratorieförsök	25-500 ppm HCN
vid fullskaleförsök efter 10 min.	10 ppm HCN

Cyanväte är ett gift som snabbt leder till kvävningssdöd. Några gränsvärden finns inte redovisade i den nämnda litteraturen.

Försök på djur har gjorts, och från en artikel publicerad i Fire Technology nr 2 från 1978, "Short-Term LC₅₀ Values: An Update on Available Information" av C.J. Hilado och H.S. Cumming, University of San Francisco [29], kan inverkan av cyanväte och kolmonoxid på råttor jämföras. En faktor kallad LC₅₀ som är den koncentration av brandgaser där 50% av djuren har dött, finns redovisad som funktion av tiden för några av de mest förekommande brandgaserna, se Fig. 5.6. Råttor av 250 g:s kroppsvikt har utsatts för inverkan av bl.a. kolmonoxid och cyanväte.

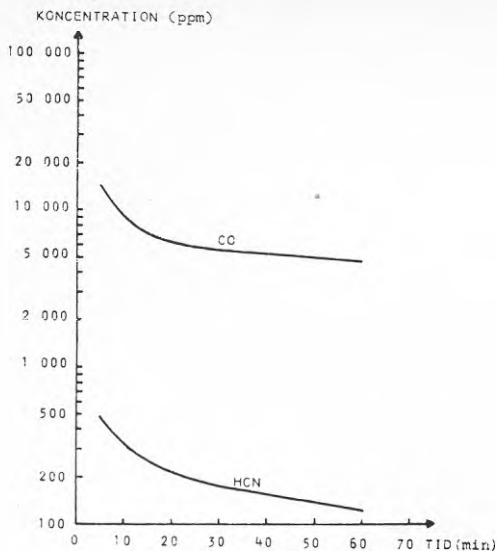


Fig. 5.6 Brandgasernas (CO och HCN) koncentration vid 50%-ig dödlighet hos försöksdjuren (LC_{50}) som funktion av tiden.

Ur diagrammet kan utläsas att:

1) för kolmonoxid (CO) var

LC_{50} vid exponeringstiden	5 min	20000 ppm
	10 min	9200 "
	30 min	5800 "

2) för cyanväte (HCN)

- exponeringstid	5 min	480 ppm
	10 min	320 "
	30 min	180 "

Man ser att koncentrationen med dödlig effekt är mycket mindre för cyanväte än för kolmonoxid. Samtidigt kan man konstatera att vid förbränning av uretancellplast vid lägre temperaturer upp till 600°C (norsk rapport) utvecklades inte något cyanväte alls.

Om man betraktar temperaturkurvorna (i kap. 2) från brandförsök med den aktuella sandwichväggen kan man se att

temperaturen i cellplasten inte stiger till mer än 200°C under de första 20 minuterna, då cellplasten är skyddad av gipsskivan. Inte förrän efter 28-30 min når temperaturen i cellplasten upp till 600°C. Först då börjar utvecklingen av cyanväte. Detta tyder på att en sandwichkonstruktion liknande den aktuella som klarar kraven på B30 i övrigt kan bedömas som riskfri, även vad det gäller utveckling av cyanväte.

BILAGA 1.

Bilder från brandprovning
av bjälklagskonstruktion

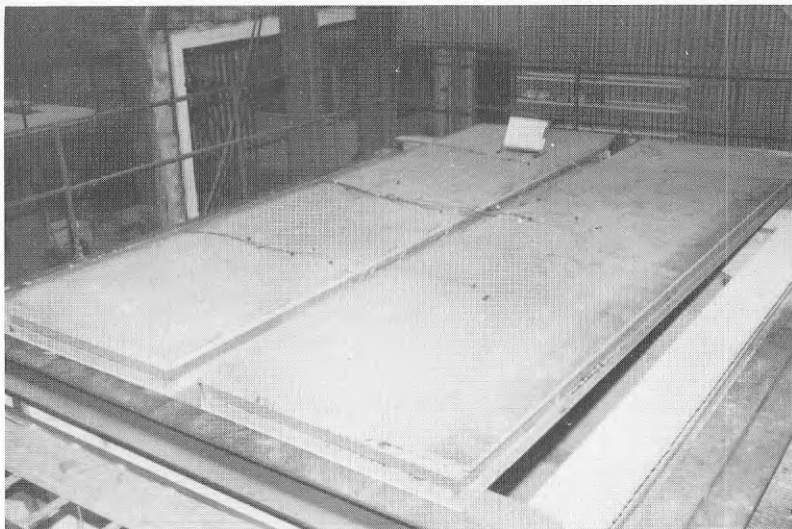


Bild 1.1
Bjälklagselement på upplag över brandugnen.



Bild 1.2
Elementen fogades sam-
man och spacklades från
undersidan.

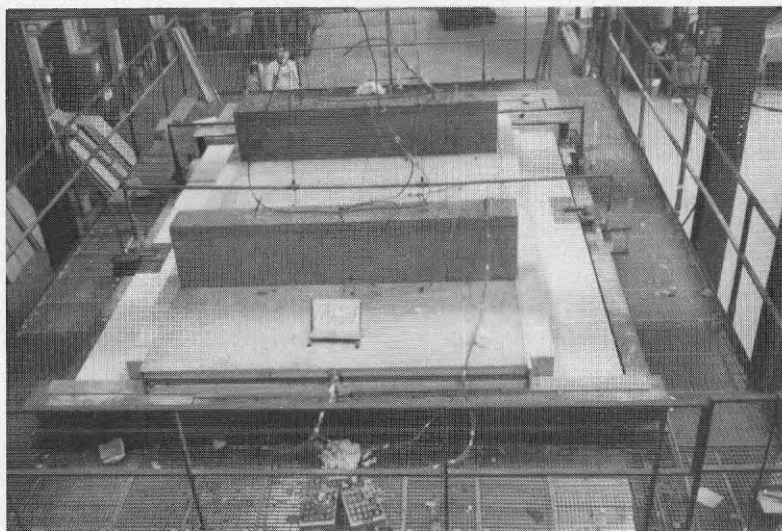


Bild 1.3
Bjälklagskonstruktion förberedd för brandprovning.
Belastningsbalkar uppifrån.

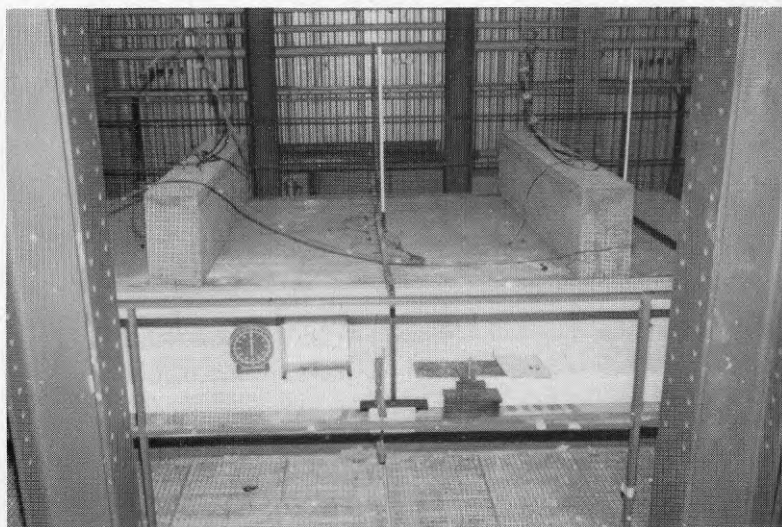


Bild 1.4
Belastad bjälklagskonstruktion från sidan med
mätstickor för deformationsmätning.
Start.

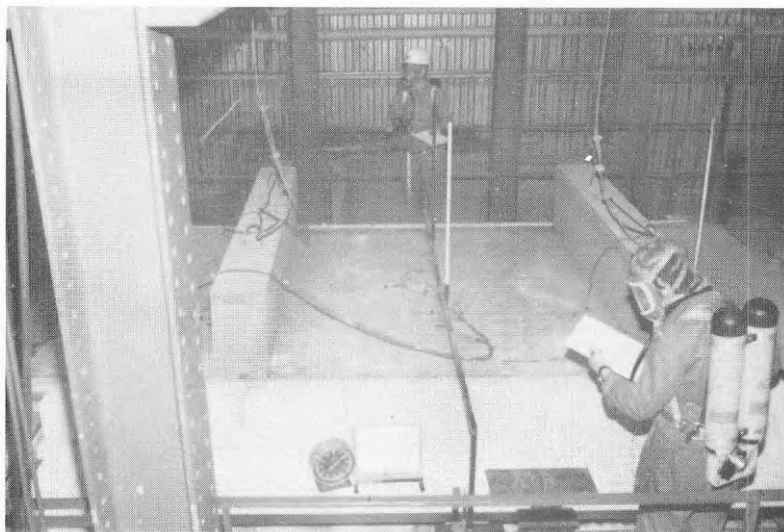


Bild 1.5

10 minuter: Rökutvecklingen börjar.



Bild 1.6

12 minuter: Rökutvecklingen ökar. Röken kommer ut mest genom otätheter runt brandugnen.



Bild 1.7

13 minuter: Sticklågor vid långsidorna.

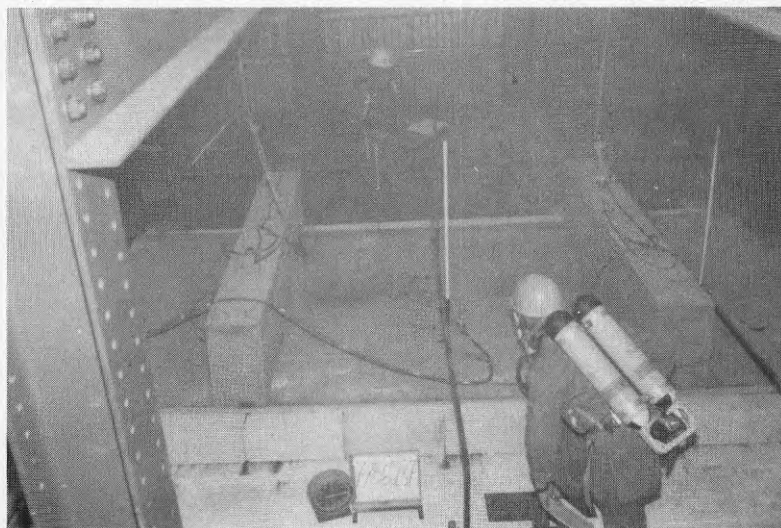


Bild 1.8

15 minuter: Avtagande rökutveckling.

Nedböjning börjar bli synlig.



Bild 1.9

17 minuter: Tilltagande rökutveckling.



Bild 1.10

17 min. 30 s: Eldkvastar slår ut vid långsidorna.
Kraftiga explosioner.



Bild 1.11

19 minuter: Avtagande rökutveckling.

Nedböjning mera synlig.

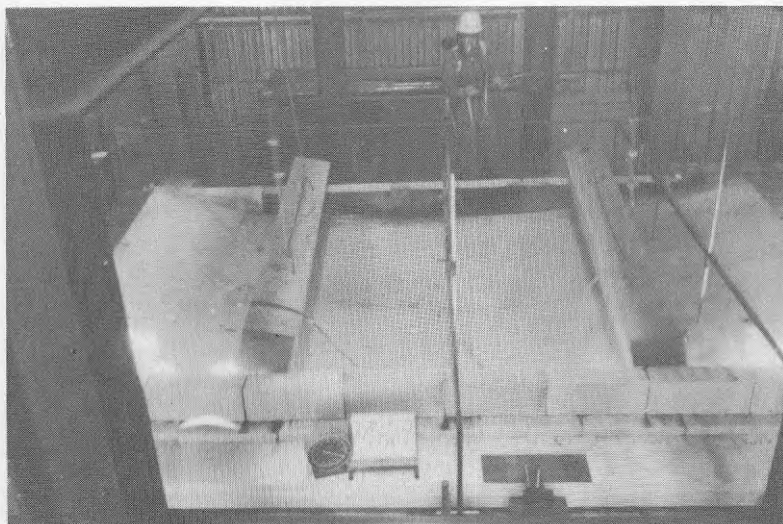


Bild 1.12

20 min. 10 s: Bjälklaget sjunker - bär inte lasten längre.

BILAGA 2.

Bilder från brandprovning
av väggkonstruktion.

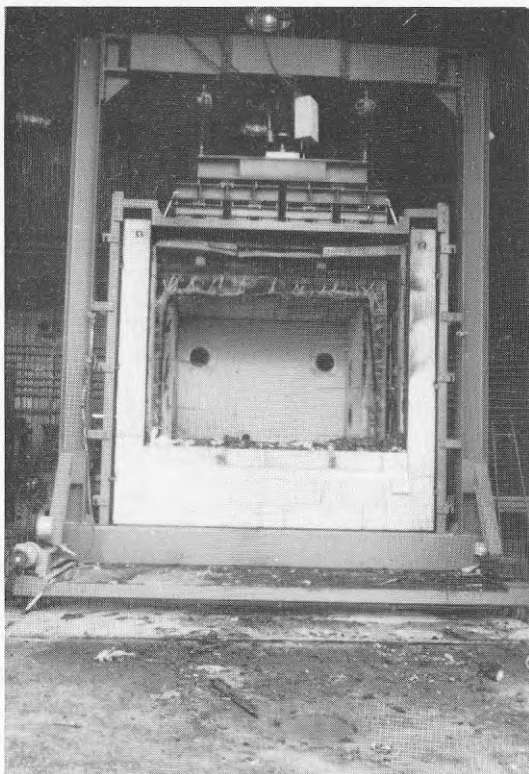


Bild 2.1
Öppen brandugn.
Högst uppe - belastnings-
anordning.



Bild 2.2
Väggelement före monteringen. Alla termoelement på plats.

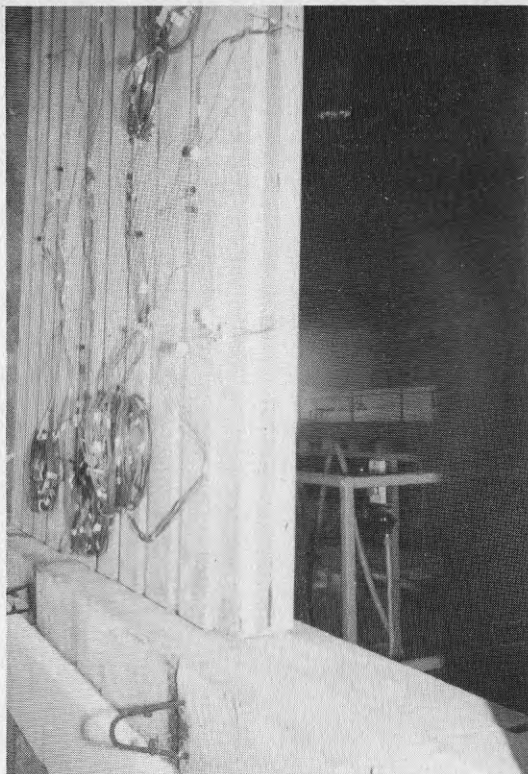


Bild 2.3
Väggelement i betongramen.
Termoelement i fogen syn-
liga.



Bild 2.4
Fogskum sprutas i fogen
sedan trycks elementen
ihop.

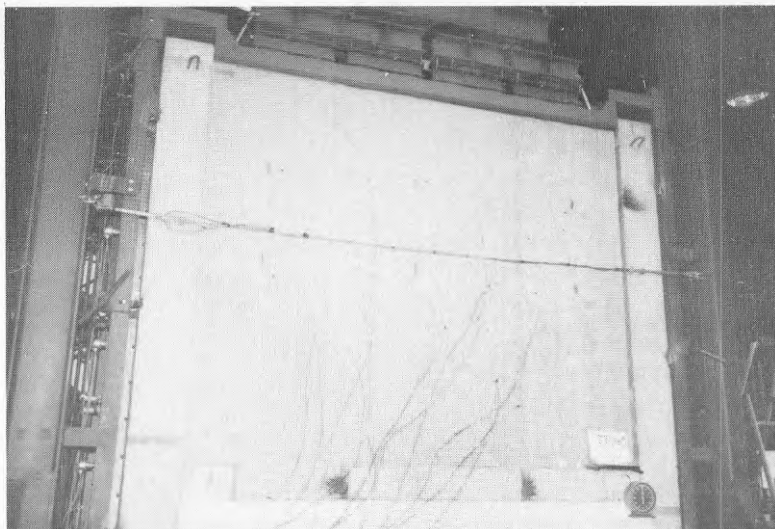


Bild 2.5

Väggkonstruktion förberedd för brandprovning. Start .

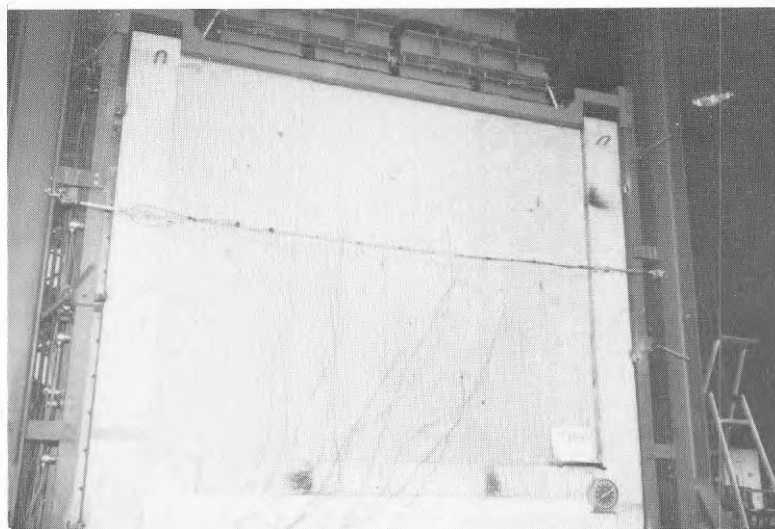


Bild 2.6

10 minuter: Rökutvecklingen synlig vid högra övre kanten mellan elementen och betongramen.

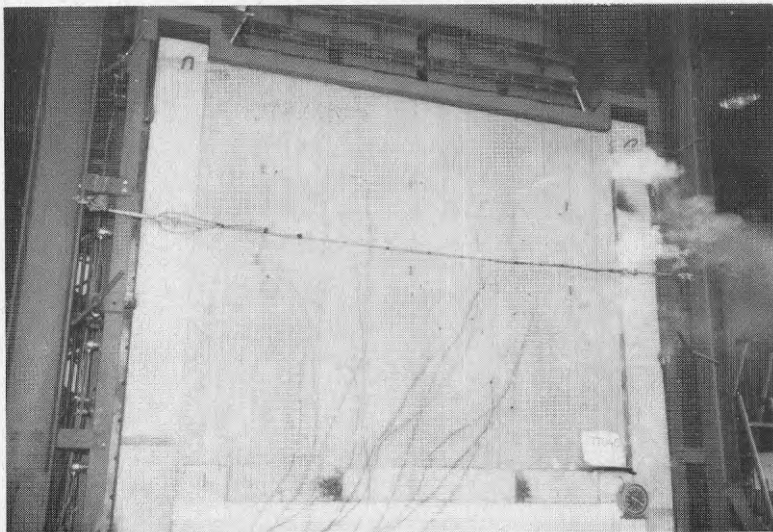


Bild 2.7

20 minuter: Rökutvecklingen ökar. Rökpuffar vid högra övre kanten.

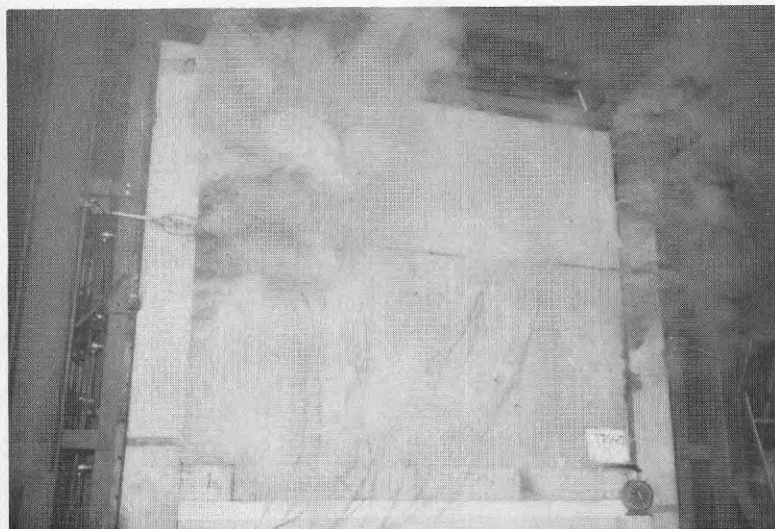


Bild 2.8

26 minuter: Tilltagande rökutveckling.



Bild 2.9

27 min. 15 s: Väggen bågnar ut och kollapsar under belastningen.



Bild 2.10

Rester av väggen efter släckningen.

BILAGA 3.

Bilder från brandprovning av
den modifierade väggkonstruktionen.

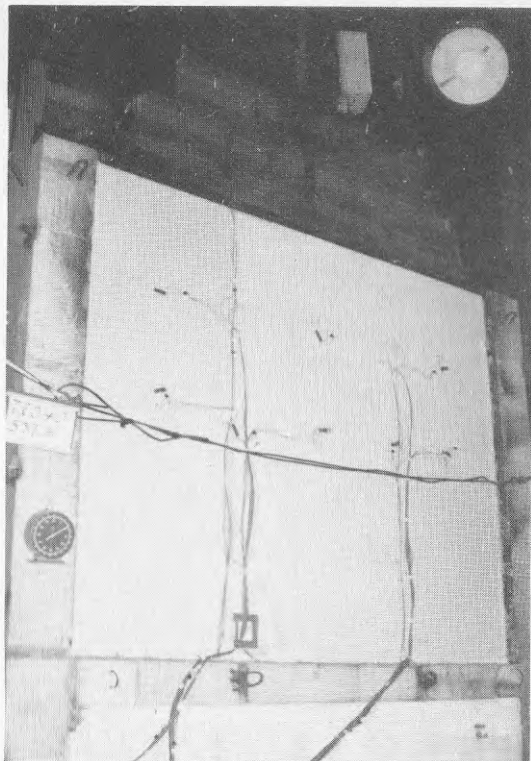


Bild 3.1.
10 minuter: Svag rökutveckling från vänstra fogen. Ingen synlig förändring i övrigt.

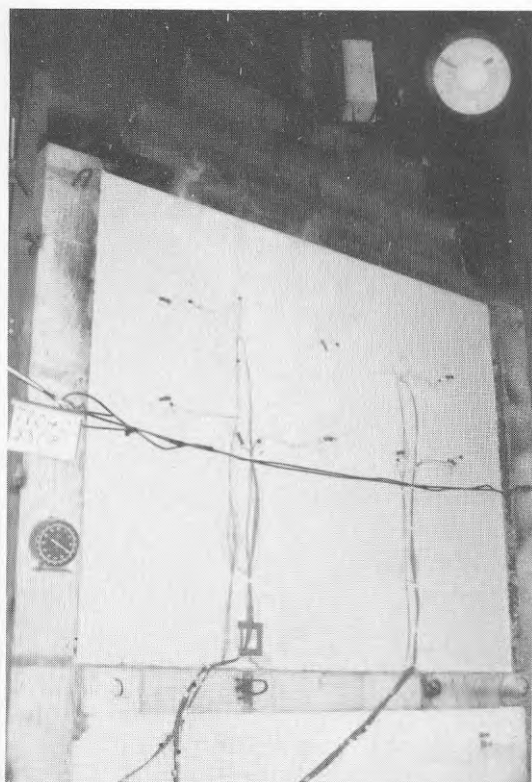


Bild 3.2.
20 minuter: Rökutveckling tilltar något. Inga andra förändringar.

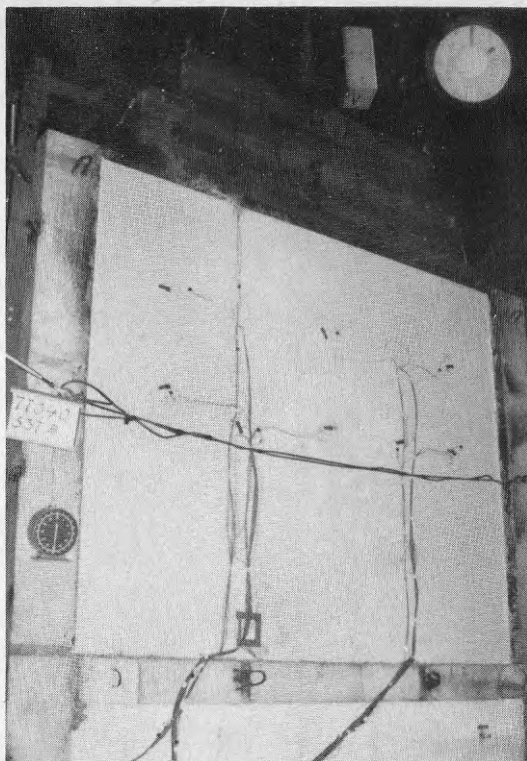


Bild 3.3.
30 minuter: Rökutveckling
oförändrad. Ingen synlig
förändring.

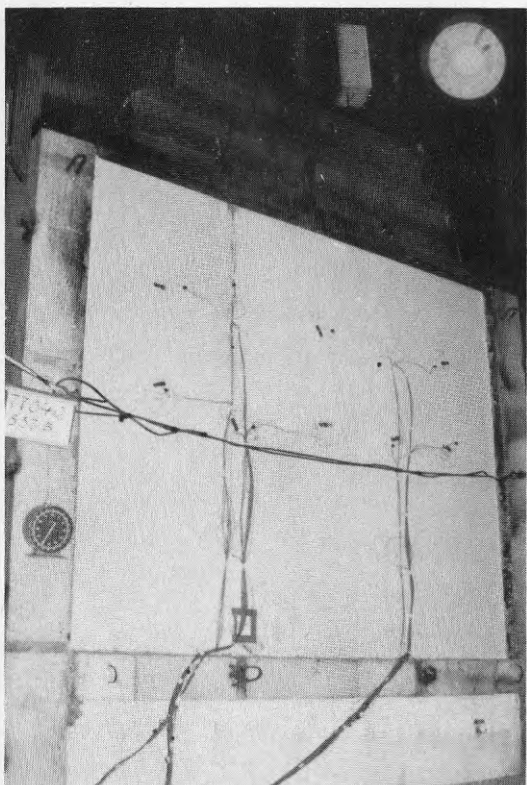


Bild 3.4.
35 minuter: Väggen ser
ut precis som i början.
Försöket avslutas.



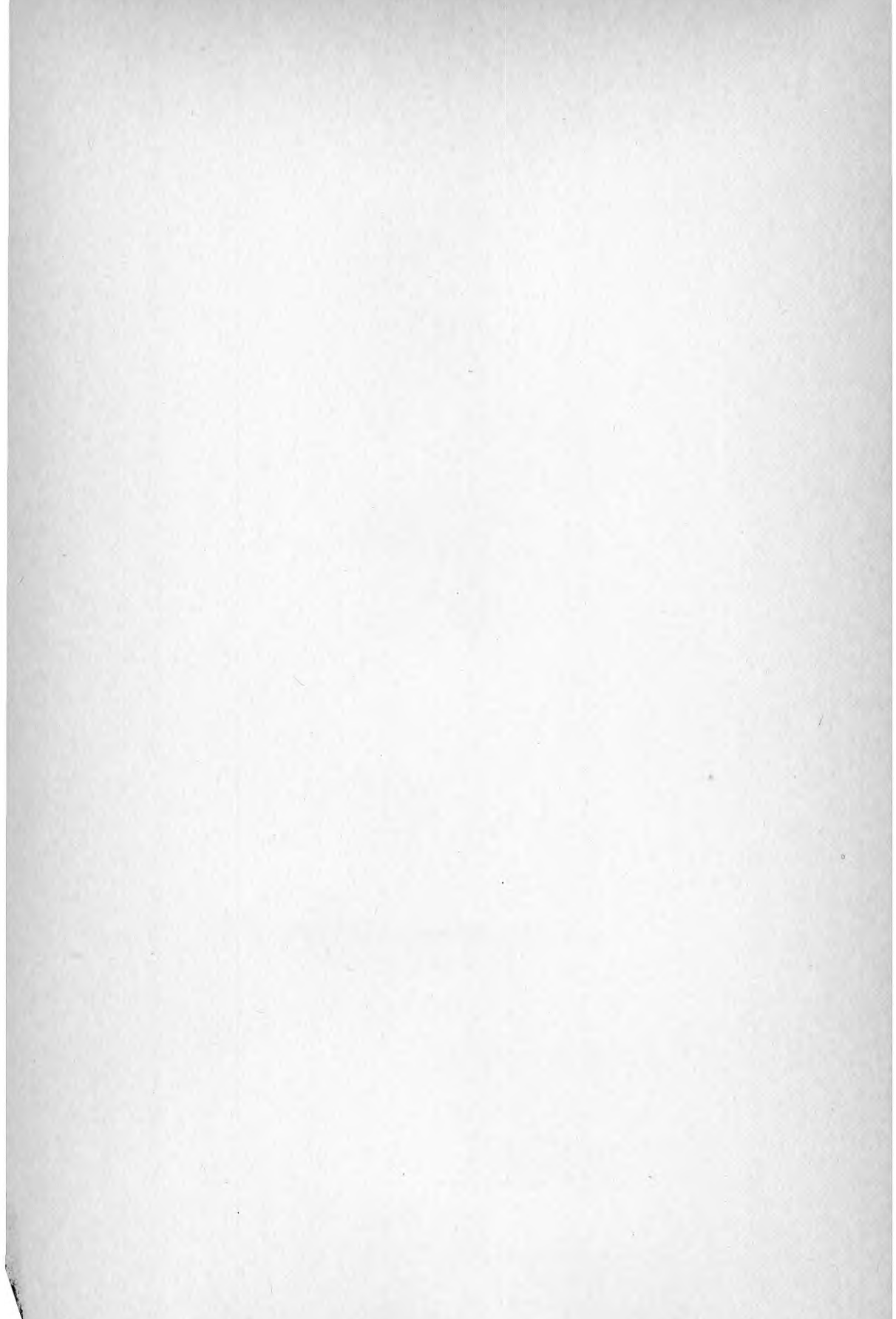
LITTERATUR

- 1 Svensk Byggnorm, SBN 1975, Kapitel 21 och 37.
- 2 SBN, Godkännanderegler, Brandskydd, 1975:9.
- 3 Statens Planverk, Godkännandelista B, 1978.
- 4 Svensk Standard, SIS 024820, ISO 834.
- 5 Svensk Standard, SIS 024822.
- 6 Ingvar Strömdahl, Brandskyddssynpunkter på plast inom byggnadstekniken, Sveriges Plastförbund, 1972.
- 7 Sveriges Plastförbund, AG 5 Rapport nr 07:1973, Brandhärdigheten hos icke bärande sandwichelement med kärna av cellplaster.
- 8 Laurits Rasmussen, Brandførsøg med 2 mineraluldbaserede sandwichdækelementer, DTH, Lyngby 1977.
- 9 Trä och brand, En skrift om träbyggnadsteknik och brandskydd utgiven av Träinformation.
- 10 Gyproc gipsskivor, Brandisolering, maj 1973.
- 11 Svenska Brandförsvärsföreningen (SBF), Plast - brand - korrosion, 1977.
- 12 Ove Pettersson, Brandsäkerheten i småhusområden, NKB:s riktlinjer, Byggmästaren 3, 1978.
- 13 Kai Ödeen, Moderna byggnadsmaterial ökar brandproblemen, Teknisk Tidskrift, 1974:8.
- 14 S-E Magnusson, O Pettersson, J Thor, Brandteknisk dimensionering av stålkonstruktioner, Stålbyggnadsinstitutet, 1974.
- 15 Ove Pettersson, Sven-Erik Magnusson, Fire Test Methods - Background, Philosophy, Development Trends and Future Needs, Nordtest 1977.
- 16 Birgit Östman, Flamskyddsfärger på porösa fiberskivor, Svenska Träforskningsinstitutet, 1977.

- 17 Jan Hagstedt, Peter Nyström, Skiljande träkonstruktioner, Byggforskningen, R91:1977.
- 18 Brand inomhus, Statens offentliga utredningar, SOU 1978:30.
- 19 Cellplast, Plast og brand nr 4, 1976.
- 20 Plaster i bygge & hem, Konferensserie hösten 1977, utgiven av SPF och PKL.
- 21 H W Eickner, Fire Endurance of Wood-Frame and Sandwich Wall Panels, The Journal of Fire & Flammability, april 1975.
- 22 V M Bhatnagar, Flammability of Sandwich Panels, Alena Enterprises of Canada, Technomic Publishing Co., volym 6, 1974.
- 23 J S Stahl, Thermal Barriers in Factory Manufactured Wall Panels, Stahl Industries, Inc. Youngstown, Ohio.
- 24 W Gundersen, O Høyland, Brennbarhet og røykdannelse, Norges Branntekniske Laboratorium, rapport nr 7, 1977.
- 25 P J Hovde, Plastmaterialers branntekniske egenskaper, Harde skumplaster, delrapport 7, SINTEF, Trondheim, 1978.
- 26 Brandteknisk undersökning av dörrar i polyurethanplast, Statens provningsanstalt, STU-utredning nr 73-1977.
- 27 A F Roberts, Polyurethane Foam: Some Studies Relating to Its Behaviour in Fires, Department of Trade & Industry, Safety in Mines Research Establishment, United Kingdom.
- 28 P F Lesse, Mathematical Simulation of a Full Scale Fire Test, Fire Prevention, Science and Technology, nr 16, 1977.
- 29 C J Hilado, H J Cumming, Short-Term LC₅₀ Values: An Update on Available Information, Fire Technology, februari 1978.

- 30 Projektseminarier i husbyggnadsteknik, CTH,
mars 1979.
- 31 T T Lie, Contribution of Protected Plastic
Foams to Fire Growth, National Research
Council Canada, Fire Study No. 37, Ottawa,
1975.







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 771364-0
från Statens råd för byggnadsforskning till Avd för hus-
byggnadsteknik, CTH, Göteborg**

R20: 1980

ISBN 91-540-3194-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700120

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 35 kr exkl moms