

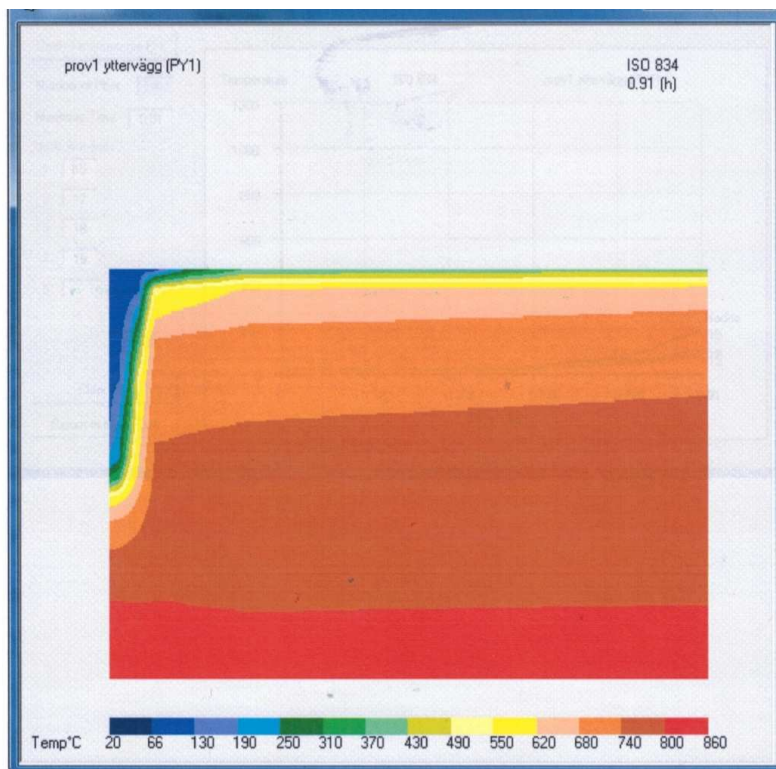
## **Brandmotstånd hos bärande träregelväggar**

**Förslag till brandteknisk dimensioneringsmetod och jämförelse med utförda brandprov på belastade träregelväggar**

**Stockholm 2018-02-08**

### **Slutrapport**

Detta projekt har genomförts med bidrag från SBUF. Utvecklingsprojekt 13442



**Jörgen Thor**  
**Teknologie Doktor**

## Innehåll

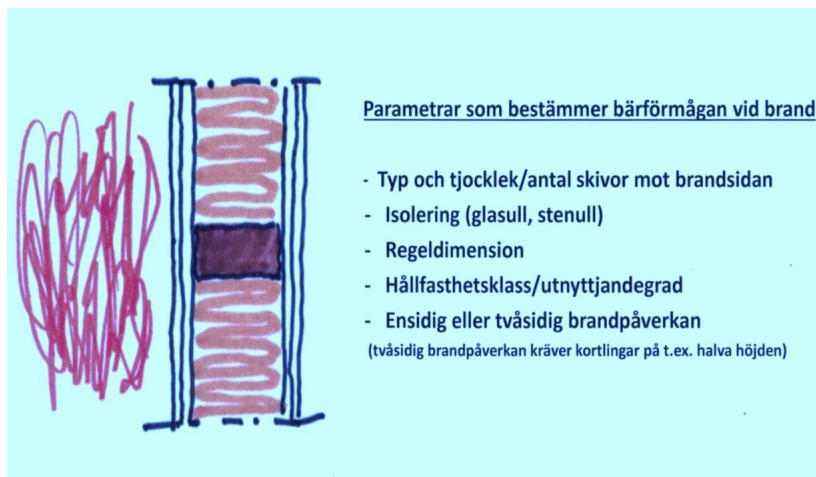
- 1 Inledning**
- 2 Dimensioneringsprinciper för fritt exponerade träkonstruktioner**
  - 2.1 Förenklade dimensioneringsmodeller**
  - 2.2 Avancerad modell för beräkning av temperaturer och förkolningsgräns**
- 3 Dimensioneringsprinciper för träreglar inbyggda i väggar**
  - 3.1 Allmänt**
  - 3.2 Metod baserad på reducerade egenskaper enligt Eurokod 5 bilaga C**
  - 3.3 Metod baserad på reducerat tvärsnitt enligt SP Trätek**
  - 3.4 Metod baserad på direkta temperaturberäkningar**
- 4 Reglarnas bärförmåga**
- 5 Jämförelse med brandförsök**
- 6 Sammanställning av de jämförande beräkningarna**
- 7 Ytterligare brandförsök**
- 8 Några illustrationsexempel**

## 1 Inledning

Intresset att bygga flervånings bostadshus med bärande stommar i trä har ökat kraftigt under senare tid. Idag uppskattas mer än 10 % av nyproduktionen av flerbostadshus utföras med bärande väggar med stomme av trä i kombination med olika skiv- och isoleringsmaterial och trenden är ökande. En bidragande orsak bakom intresset och framgångarna med flerbostadshus med bärande träregelväggar är miljöfördelarna jämfört med en mer traditionell flerbostadsproduktion. Vidare kan de bärande träregelväggarna i de fall de utgör ytterväggar, i kombination med lämplig isolering, ytskikt och fasadbeklädnad, utföras så de uppfyller högt ställda krav på energihushållning.

På problemsidan finns brandfrågorna och hur väggarna ska dimensioneras och utformas för att uppfylla gällande krav på brandmotstånd för flerbostadshus. Antalet tidigare godkännande av olika träregelväggars brandmotstånd i bärande avseende är begränsat. I de fall där uppgifter finns på olika träregelväggars bärförmåga vid brand (R 30, R 60 etc) stämmer väggarnas utformning ofta dåligt med dagens krav på väggutformning vad gäller energihushållning, ljudkrav mm.

Flera olika parametrar påverkar en träregelväggs bärförmåga vid brand. Typ och tjocklek av skivmaterial som skyddar reglarna samt typ och tjocklek av isolering i väggen påverkar i hög grad hur snabbt reglarna börjar förkolas vid en brand och är därmed avgörande för bärförmågan. Vidare gäller att en brandcellskiljande vägg per definition enbart kan bli brandutsatt från en sida åt gången medan samma vägg belägen inom en brandcell måste förutsättas kunna samtidigt bli utsatt för brand på båda sidor. Detta i sin tur innebär en större termisk påfrestning på väggen med snabbare förkolning av väggreglarna och därmed mindre bärförmåga som följd, jämfört med samma vägg som enbart är brandutsatt från en sida. Det är med andra ord många parametrar att ta hänsyn till när det gäller att bestämma bärförmågan för brandutsatta träregelväggar. En sammanställning ges i figur 1.



Figur 1

Att brandprova en bärande träregelvägg för att bestämma dess bärförmåga vid brand innebär i sig en hög kostnad. Mot bakgrund av alla ovan exemplifierade parametrar som påverkar bärförmågan vid brand inses att antalet nödvändiga brandprov kan bli mycket stort och därmed den totala provningskostnaden mycket hög.

Brandprovningar har också sina inbyggda begränsningar. Bl. a är ugnstorleken sådan att väggens höjd vid provningen alltid är 3.0 m. För att kunna bedöma bärförmågan vid brand om motsvarande vägg i verkligheten har en annan höjd  $t \leq 2.5$  m måste en modell finnas för översättning till andra vägghöjder. Det är också oftast praktiskt svårt att vid en brandprovning simulera  $t \leq x$  de inspänningsförhållanden som väggen i verkligheten kan ha till anslutande bjälklag mm. Denna inspänningseffekt reducerar väggreglarnas verkliga knäcklängd med ökad bärförmåga som följd.

Mot bakgrund av ovan nämnda kan konstateras att det finns ett mycket stort behov av att utveckla tillförlitliga dimensioneringsmodeller med vars hjälp bärförmågan vid brand hos olika bärande träregelväggar kan bestämmas teoretiskt. Inte minst i samband med utveckling av nya konstruktionslösningar och vid användning av nya typer av skivmaterial och isoleringar är det värdefullt att under utvecklingsskedet kunna bedöma väggkonstruktionens bärförmåga vid olika brandfall. I slutskedet kan sedan behov finnas av att genomföra en verifierande brandprovning.

I Eurokod 5 och dess bilagor finns anvisningar för hur bärförmågan för olika brandutsatta träkonstruktioner kan beräknas. De modeller där konkreta anvisningar ges hänförs till s. k. förenklade beräkningsmodeller. Inte minst när det gäller bärande träregelväggar brandmotstånd kan beräkningarna enligt dessa anvisningar dock bli mycket omfattande och tidsödande. Resultaten stämmer dessutom i vissa fall dåligt jämfört med resultat från brandprovningar på motsvarande väggkonstruktioner.

Föreslagen modell för beräkning av temperaturen i en brandutsatt träregelväggen hänförs i Eurokod 5 (EN 1995-1-2) till gruppen avancerade beräkningsmodeller. För att kunna tillämpa modellen krävs kunskaper om alla de i väggen ingående materialens termiska data såsom värmeledningstal och specifik värmekapacitet och dessas variation med temperaturen.

Osäkerheter i olika materials termiska data enligt ovan kan göra att verifierande brandprov många gånger krävs. Modellen ska därför inte i första hand ses som en metod att helt ersätta fullskaliga brandprov på belastade träregelväggar utan snarare som ett verktyg med vars hjälp man rimligt kan förutse brandmotståndet vid  $t \leq x$  utveckling av nya konstruktionslösningar. Konstruktionerna kan med hjälp av modellen optimeras innan verifierande brandprov genomförs och därmed kan många gånger "onödiga" brandprov till höga kostnader undvikas.

Vid en standardbrandprovning av bärande väggar är också de yttre förutsättningarna enligt ovan begränsade vad gäller  $t \leq x$  vägghöjder och inspänningsförhållanden vilka ofta inte stämmer överens med de verkliga förhållandena. Modellen kan då utgöra ett verktyg att beräkna bärförmågan vid brand vid  $t \leq x$  andra vägghöjder, andra regeldimensioner, andra hållfasthetsklasser, andra inspänningsförhållanden mm än de som gällde vid själva brandprovningen.

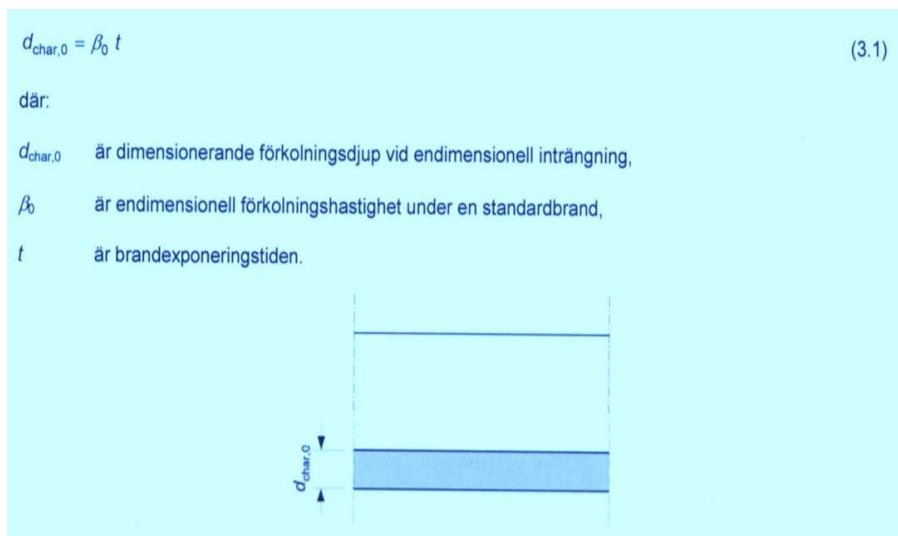
Som bakgrund till föreslagen beräkningsmodell beskrivs nedan i avsnitt 2 olika principer för beräkning av förkolning och bärförmåga för vid brand fritt exponerade träkonstruktioner samt i avsnitt 3 motsvarande för träreglar inbyggda i väggar. I avsnitt 4 ges beräkningsformler för bestämning av reglarnas slankhet och bärförmåga vid knäckning. I avsnitt 5 jämförs i detalj beräknade temperaturer och bärförmåga med vid försök uppmätta värden för ett dryga 10-tal utförda brandprov på belastade träregelväggar. I avsnitt 6 är de jämförande resultaten översiktligt sammanställda i tabellform för alla försök. I avsnitt 7 redovisas jämförelser mellan beräknad och konstaterad bärförmåga för några nyligen utförda och tillkommande brandprov men utan motsvarande detaljeringsgrad som i försöken enligt avsnitt 5. I avsnitt 8 slutligen belyses modellens fördelar och möjligheter genom några praktiska tillämpningsexempel.

## 2 Dimensioneringsprinciper för fritt exponerade träkonstruktioner

### 2.1 Förenklade dimensioneringsmodeller

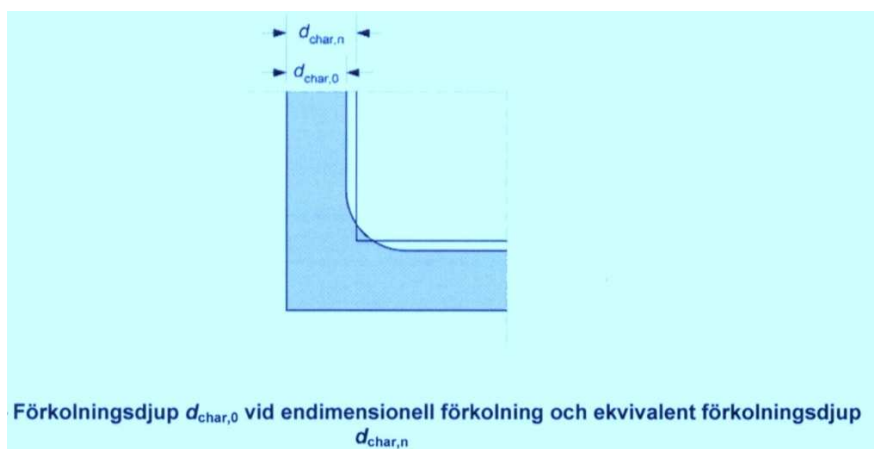
När det gäller för brand fritt exponerade träkonstruktioner anges två olika s.k. förenklade beräkningsmodeller i Eurokod 5 (EN 1995-1-2) för bestämning av en träkonstruktions bärförmåga vid brand. Den ena modellen benämns *Metoden med reducerat tvärsnitt*. Den andra modellen benämns *Metoden med reducerade egenskaper*. Den första metoden är den som rekommenderas i Eurokod.

Principen för denna metod är att man bestämmer förkolningsdjupet för tvärsnittet som funktion av förkolningshastigheten och brandpåverkanstiden. I figur 2 visas principen vid en endimensionell inträngning av förkolningen något som har aktualitet vid t e x ett brett tvärsnitt.



Figur 2

Vid **icke** endimensionell förkolning t e x vid en balk som är brandutsatt på tre sidor antas förkolningshastigheten vara något högre, än vid breda tvärsnitt och endimensionell förkolning, beroende på hörneffekter. Detta tas hänsyn till genom att räkna med en något högre s. k. ekvivalent förkolningshastighet. Se figur 3.



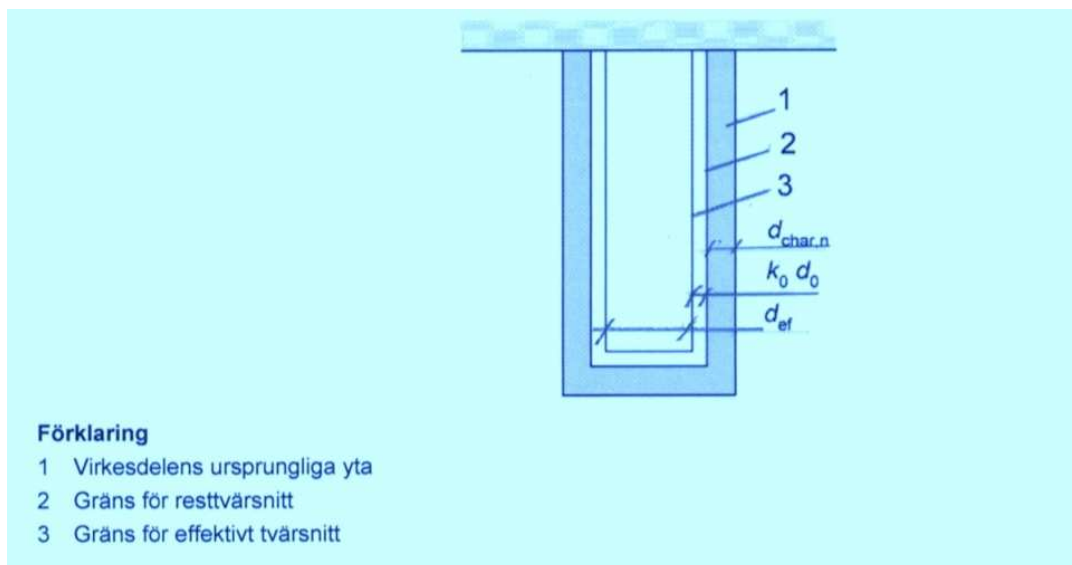
Figur 3

I tabellen nedan (figur 4) från Eurokod 5 anges förkolningshastigheterna vid endimensionell förkolning  $\beta_0$  respektive den ekvivalenta förkolningshastigheten  $\beta_n$  för olika träslag.

|   | $\beta_0$<br>mm/min | $\beta_n$<br>mm/min |
|---|---------------------|---------------------|
| <b>a) Barrträ och bok</b>   |                     |                     |
| Limträ med en karakteristisk densitet $\geq 290 \text{ kg/m}^3$   | 0,65                | 0,7                 |
| Massivt trä med karakteristisk densitet $\geq 290 \text{ kg/m}^3$   | 0,65                | 0,8                 |
| <b>b) Lövträ</b>  |                     |                     |
| Massivt trä eller limträ med karakteristisk densitet $290 \text{ kg/m}^3$   | 0,65                | 0,7                 |
| Massivt trä eller limträ med karakteristisk densitet $\geq 450 \text{ kg/m}^3$  | 0,50                | 0,55                |
| <b>c) Fanerträ (LVL)</b>  |                     |                     |
| med karakteristisk densitet $\geq 480 \text{ kg/m}^3$   | 0,65                | 0,7                 |
| <b>d) Paneler och skivor</b>  |                     |                     |
| Träpanel  | 0,9 <sup>a</sup>    | –                   |
| Plywood   | 1,0 <sup>a</sup>    | –                   |
| Träbaserade skivor utom plywood   | 0,9 <sup>a</sup>    | –                   |
| <sup>a</sup> Värdena gäller karakteristisk densitet $450 \text{ kg/m}^3$ och skivtjocklek 20 mm, se 3.4.2(9) vid andra densiteter och tjocklekar. |                     |                     |

**Figur 4**

Vid metoden för reducerat tvärsnitt förutsätts sedan ett skikt innanför beräknad förkolningsgräns enligt ovan, med en tjocklek  $k_0 d_0$  sakna hållfasthet och styvhet. Se figur 5.

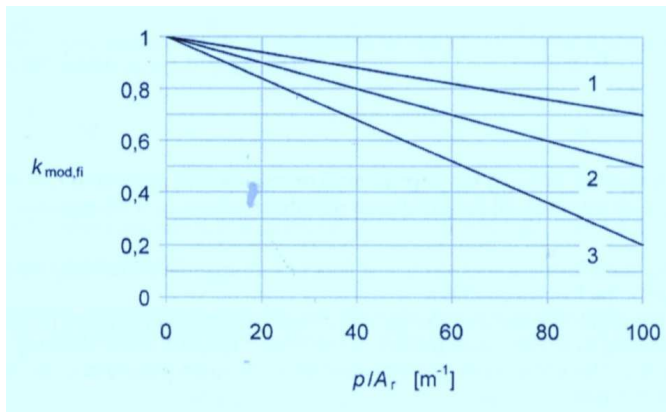


**Figur 5**

Tillämpat på tvärsnittet i figur 5 anges  $d_0$  till 7 mm. Faktorn  $k_0$  anges till 1.0 för brandpåverkanstider större eller lika med 20 minuter  $d$  v s skiktet som antas sakna hållfasthet och styvhet blir vid praktisk tillämpning normalt 7 mm innanför den beräknade förkolningsgränsen. Resterande del utgör det s.k. **effektiva** tvärsnittet som får antas ha full hållfasthet och styvhet.

För exempelvis en massiv träpelare  $200 \times 200 \text{ mm}^2$  av barrträ som utsätts runt om för en standardbrand under 30 minuter kan alltså det ekvivalenta förkolningsdjupet beräknas till  $30 \times 0.8 = 24 \text{ mm}$ . Från detta värde bör enligt ovan 7 mm tas bort som en överksam zon. Detta ger då ett totalt värde på 31 mm. Det kvarvarande effektiva tvärsnittet av pelaren efter 30 minuter, för vilket får antas full hållfasthet och styvhet, blir då  $200 - 2 \times 31$  eller  $138 \times 138 \text{ mm}^2$ . Detta tvärsnitt ska då ha tillräcklig bärförmåga att klara aktuella laster vid lastfallet brand.

Vid *metoden med reducerade egenskaper* räknas förkolningsgränsen ut på motsvarande sätt som ovan men någon zon innanför denna som saknar hållfasthet och styvhet motsvarande zonen  $k_0 d_0$  förutsätts inte. I stället reduceras egenskaperna (hållfasthet och styvhet) för det då något större tvärsnittet (resttvärsnittet) innanför beräknad förkolningsgräns med en faktor  $k_{\text{mod,fi}}$ . Se figur 6.



**Figur 6**

Kurva 1 gäller draghållfasthet och elasticitetsmodul, kurva 2 böj- och tryckhållfasthet.  $p$  är perimetern av tvärsnittet innanför beräknad förkolningsgräns i meter samt  $A_r$  motsvarande tvärsnittsarea i  $\text{m}^2$ .

Tillämpat på den massiva träpelaren  $200 \times 200 \text{ mm}^2$  enligt ovan fås ett förkolningsdjup på  $0.8 \times 30 = 24 \text{ mm}$  efter 30 minuters standardbrandpåverkan. Resttvärsnittet blir då  $200 - 2 \times 24 = 152 \times 152 \text{ mm}^2$ . Detta ger  $p = 4 \times 0.152 = 0.608 \text{ m}$ ,  $A_r = 0.152 \times 0.152 = 0.023 \text{ m}^2$  och  $p/A_r = 26.4$ . Från figur 6 kan då utläsas ett värde  $k_{\text{mod,fi}}$  för tryckhållfastheten på 0.79.

En jämförelse av beräknad trycklastkapacitet utan hänsyn tagen till knäckning vid de två metoderna ger

$$\text{Metoden med reducerat tvärsnitt } T = f \times 138 \times 138 = 19044 \times f$$

$$\text{Metoden med reducerade egenskaper } T = 0.79 \times f \times 158 \times 158 = 19722 \times f$$

Vid 30 minuter ger den senare metoden alltså ca 3.5 % högre trycklastkapacitet. Tas hänsyn till knäckningen som påverkas av elasticitetsmodul och tröghetsmoment eller om det gäller en dragen konstruktion torde skillnaderna mellan de två metoderna kunna bli större. Vid andra brandpåverkanstider  $t \geq 60$  minuter kan också skillnaderna mellan de två metoderna bli större.



Ovanstående två redovisade metoder och exempel på beräkning av bärförmågan hos ett brandutsatt trätvärsnitt hänförs i Eurokod 5 till s. k förenklade beräkningsmodeller för bestämning av tvärsnittsegenskaper ( Eurokod avsnitt 4.2 Simplified rules for determining cross-sectional properties och underavsnitt 4.2.2 Reduced cross-section metod respektive underavsnitt 4.2.3 Reduced properties method).

## 2.2 Avancerad modell för beräkning av temperaturer och förkolningsgräns

I annex B i Eurokod 5 behandlas mer avancerade beräkningsmodeller. Där anges att avancerade beräkningsmodeller bl. a. kan tillämpas för

- bestämning av förkolningsdjupet
- beräkning av temperaturen i konstruktionen

Detta innebär en ytterligare och sannolikt noggrannare möjlighet att beräkna bärförmågan med hjälp av temperaturberäkningar av ett brandutsatt trätvärsnitt. I eurokod 5 anges att förkolningsgränsen motsvarar 300 graders isotermin. I en tidig version av Eurokod 5 angavs förkolningsgränsen i stället motsvara 250 graders isotermin. Denna temperatur stämmer också bättre överens med annan tillämpad praxis för antändning och förkolning av trä. Vid t e x brandprov för att bestämma beklädnader i viss brandteknisk klass t e x K<sub>2</sub> 10/B-s1,d 0 (tidigare benämnd tändskyddande beklädnad) mäts temperaturen bakom aktuell beklädnad mot den spånskiva beklädnaden är fäst till vid provet. Antändning och förkolning antas ske när denna temperatur uppnår 250 grader.

Den i en tidig version av Eurokod angivna förkolningsgränsen 250 grader innebar att beräknat förkolningsdjup blev större än vid nu angiven gräns motsvarande 300 grader. Å andra sidan fanns då inte det ovan redovisade  $d_0$  - värdet som vid *metoden med reducerat tvärsnitt* antas sakna hållfasthet och som ska läggas till beräknad förkolningsgräns. Man kan möjligtvis anta att de två betraktelsesätten i stort borde kunna ta ut varandra och ge liknande slutresultat vad gäller kvarvarande effektivt tvärsnitt för vilket full hållfasthet och styvhet får förutsättas.

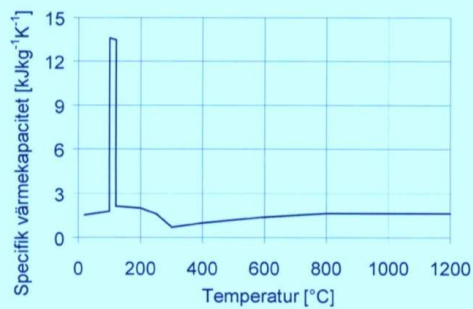
Dock kan ifrågasättas att värdet på  $d_0$  generellt antas lika med 7 mm. Storheten  $d_0$  och värdet 7 mm är ingen föreskrift utan ett allmänt råd i Eurokod 5. Någon närmare förklaring eller referens till värdet ges inte. Snarare kan tyckas att en viss temperatur, t e x 200 grader, vore en mer relevant gräns för bestämning av det effektiva tvärsnittet för vilket full hållfasthet och styvhet får förutsättas. T e x anger olika källor att pyrolys av trä börjar ske mellan 200 och 300 grader. Vid den förenklade *metoden med reducerat tvärsnitt* enligt ovan förekommer dock inga temperaturer explicit utan tider (minuter) och förkolningshastigheter (mm/minut) ger enbart dimensioner i mm. Om  $d_0$  är tänkt att motsvara eller ersätta en temperaturgräns kan också tyckas att värdet på  $d_0$  borde variera med brandpåverkanstiden eftersom värmeledningstalet för kolskikt och trä är beroende av temperaturen vilken i sin tur är beroende av brandpåverkanstiden. Ytterligare komplicerat blir det hela när det gäller bärande träreglar inbyggda i väggar. Se avsnitt 3.

För att kunna beräkna temperaturen i ett brandutsatt trätvärsnitt, t e x den massiva 200 x 200 träpelaren ovan, och från detta kunna bestämma förkolningsgränsens läge motsvarande 300 graders isotermin, krävs att värmeledningstal och specifik värmekapacitet som funktion av temperaturen är kända för trä. I Eurokod 5 finns värmeledningstal och specifik värmekapacitet för trä inklusive för kolskiktet angivna som funktion av temperaturen. Se figur 7.



Tabell B.1 – Samband mellan värmekonduktivitet och temperatur för trä och det förkolade skiktet

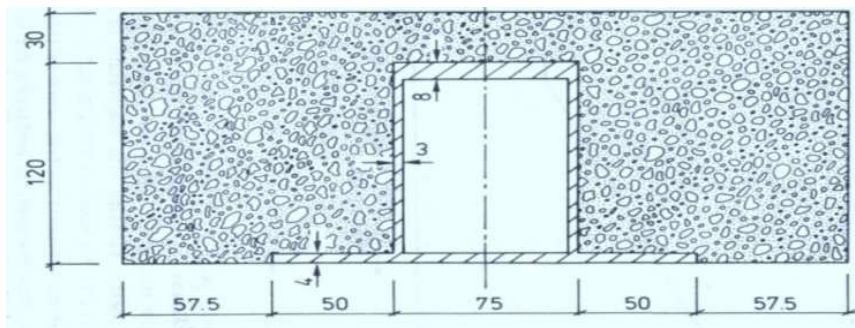
| Temperatur<br>°C | Värmekonduktivitet<br>$Wm^{-1}K^{-1}$ |
|------------------|---------------------------------------|
| 20               | 0,12                                  |
| 200              | 0,15                                  |
| 350              | 0,07                                  |
| 500              | 0,09                                  |
| 800              | 0,35                                  |
| 1200             | 1,50                                  |



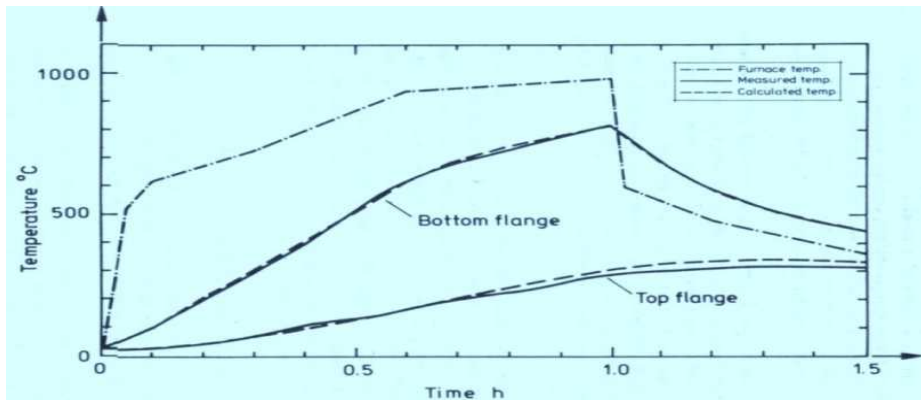
Figur B.2 – Samband mellan specifika värmekapaciteten och temperatur för trä och förkolnat trä

### Figur 7

Ett användbart datorprogram i sammanhanget är det tvådimensionella värmeledningsprogrammet TASEF (Temperature Analysis of Structures Exposed to Fire) utvecklat av professor Ulf Wickström, Luleå Tekniska Universitet. Ulf Wickström var tidigare mångårig chef på SP brandprovningstillaboratorium i Borås och TASEF programmet har använts och verifierats vid SP mot ett stort antal brandprovningar. Som exempel från manualen till TASEF visas i figur 8 en hattbalk av stål i ett betongbjälklag samt i figur 9 uppmätta respektive med TASEF beräknade temperaturer i balkens symmetrilinje för underfläns och överfläns.



### Figur 8

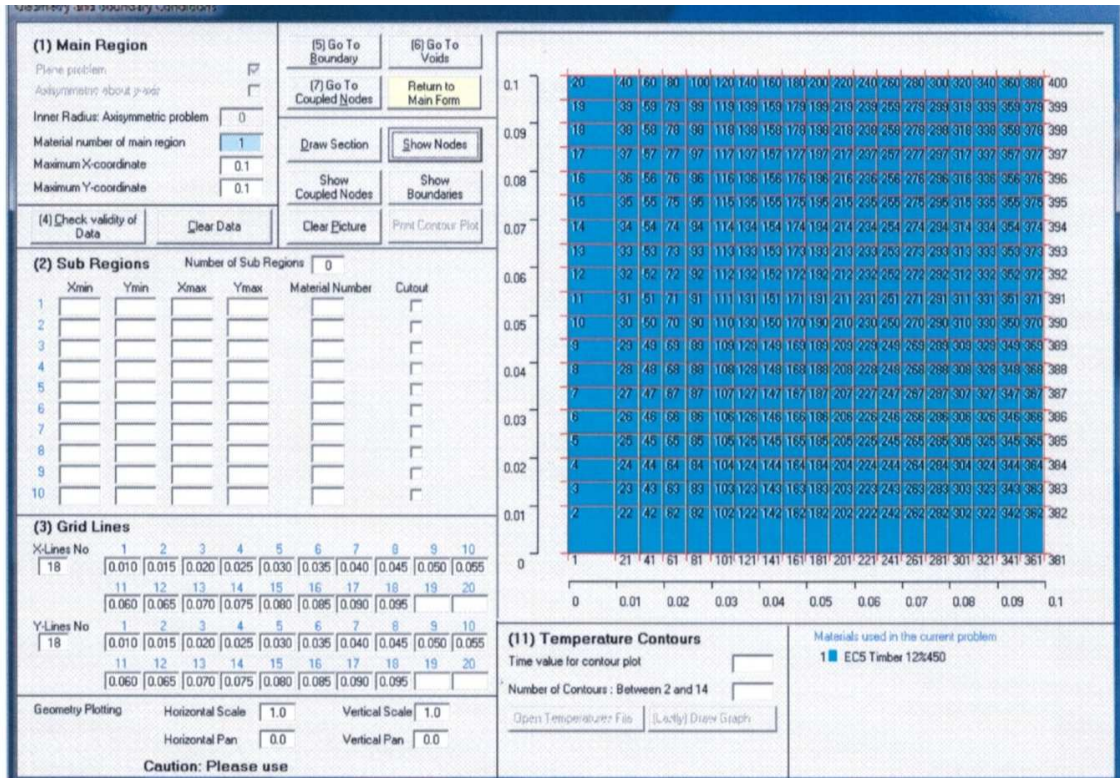


**Figur 9**

Vid beräkning av temperaturerna med TASEF delas tvärsnittet in med hjälp av nodlinjer i ett antal element. Programmet beräknar sedan temperaturerna i varje nodpunkt successivt under branden varvid hänsyn tas till de ingående materialens termiska data och dessas variation med temperaturen.

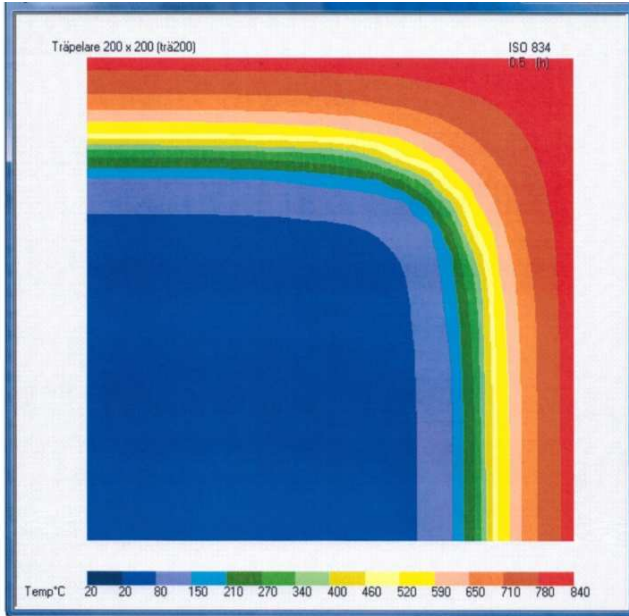
Träpelaren i exemplet ovan med tvärsnittsmått 200 x 200 mm<sup>2</sup> används för att illustrera tekniken. I figur 10 framgår vald nodindelning.

Då pelaren förutsätts brandpåverkad runt om räcker det att en fjärdedel av tvärsnittet studeras på grund av symmetriskäl. Något värmeutbyte sker nämligen inte över symmetrilinjerna.



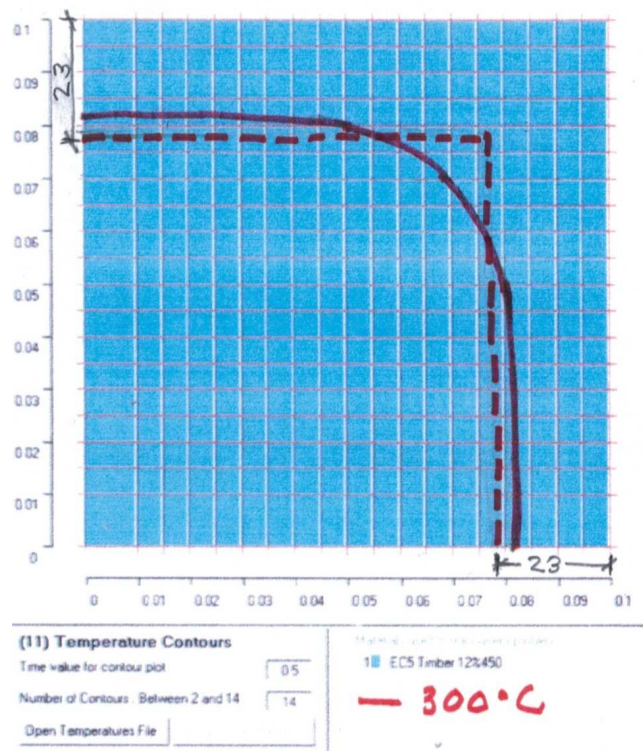
**Figur 10**

Temperaturen över trätvärsnittet beräknas för en standardbrandpåverkan under 30 minuter .  
En temperaturgraf efter 30 minuter visas i figur 11.



**Figur 11**

Från datautskriften, där temperaturen anges i varje nodpunkt, har 300 graders isotermen motsvarande förkolningsdjupet enligt Eurokod lagts in i tvärsnittet. Se figur 12.



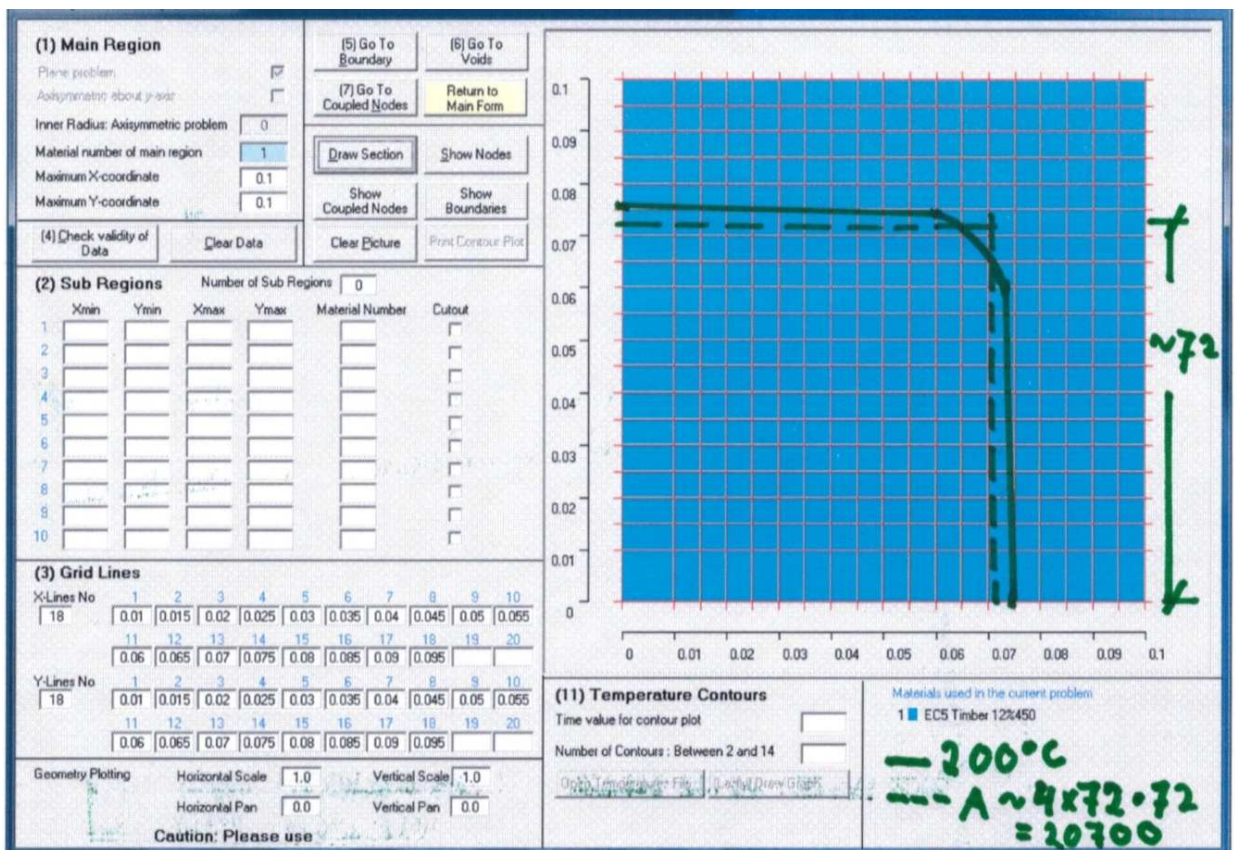
**Figur 12**



Den rundad formen av isotermen som en följd av hörneffekterna har i figuren förenklats till en rätlinjig kurva som ger samma area som arean innanför isotermen.

Värdet på det på detta sätt konstruerade förkolningsdjupet är 23 mm och stämmer bra överens med förkolningsdjupet 24 mm beräknat utifrån angiven ekvivalent förkolnings-hastighet enligt tabellen, figur 4.

Temperaturberäkningar enligt ovan bör också kunna användas för att bestämma det effektiva tvärsnittet för vilket full hållfasthet och styvhet får förutsättas motsvarande vad som i avsnitt 2.1 redovisas för *metoden reducerat tvärsnitt*. I stället för ett fixt värde motsvarande  $d_0$  på 7 mm antas nedan att det effektiva tvärsnittet motsvarar 200 graders isotermen. Se figur 13.



Figur 13

Det bör åter understrykas att värdet  $d_0 = 7$  mm inte utgör en föreskrift i Eurokod utan ett allmänt råd kopplat till tillämpning av en förenklad beräkningsmodell som inte inkluderar några temperaturer. Som också påpekats ovan anges i olika källor att pyrolys av trä börjar ske mellan 200 och 300 grader. Temperaturen 200 grader kan därför tyckas som ett rimligt värde vid en avancerad beräkning av temperaturerna som gräns för bestämning av det effektiva tvärsnittet för vilket full hållfasthet och styvhet kan antas. Detta skulle då i exemplet ovan motsvara ett effektivt tvärsnitt med en area på ca 20700 mm<sup>2</sup>.

De förenklade beräkningsmodellerna enligt avsnitt 2.1 gav följande tryckkraftskapacitet

*Metoden med reducerat tvärsnitt*  $T = f \times 138 \times 138 = 19044 \times f$

*Metoden med reducerade egenskaper*  $T = 0.79 \times f \times 158 \times 158 = 19722 \times f$

Den mer avancerade beräkningen ovan baserad på temperaturisotermen 200 grader ger sålunda en något högre ren trycklastkapacitet eller  $T = 20700 \times f$

Att en mer avancerad beräkningsmodell ger högre värden än vad som fås vid mer förenklade beräkningsmodeller är i sig inte förvånande. Isotermen 200 grader som gräns för det effektiva tvärsnittet har också visat sig ge bra överensstämmelse mellan beräknad bärförmåga och vid brandförsök uppmätt bärförmåga vid jämförelse med ett 15 tal olika brandförsök på belastade träregelväggar. Se avsnitt 5,6 och 7 nedan.

Det bör också tilläggas att Eurokod tydligt skiljer på principer (föreskrifter) och råd samt generellt tillåter att andra beräkningsmetoder än de som explicit anges i eurokoderna får tillämpas. Se figur 14.

### 1.3 Skillnaden mellan principer och råd

- (1) Beroende på karaktären av de individuella styckena i denna Eurokod indelas dessa i *principer* och *råd*.
- (2) Principerna består av:
  - allmänna utsagor och definitioner där det inte finns något alternativ, liksom;
  - krav och analytiska modeller där inga alternativ tillåts såvida detta inte särskilt anges.
- (3) Principerna identifieras med bokstaven P efter styckets nummer.
- (4) Råden består av allmänt vedertagna regler som stämmer överens med principerna och som uppfyller kraven i dessa.
- (5) Det är tillåtet att använda alternativa dimensioneringsregler som skiljer sig från de råd som anges i EN 1991-1-1 för byggnadsverk och anläggningar under förutsättning att det påvisas att de alternativa reglerna uppfyller kraven i de aktuella principerna och leder till att minst den säkerhetsnivå, brukbarhet och beständighet uppnås som kan förväntas vid användning av Eurokoderna.

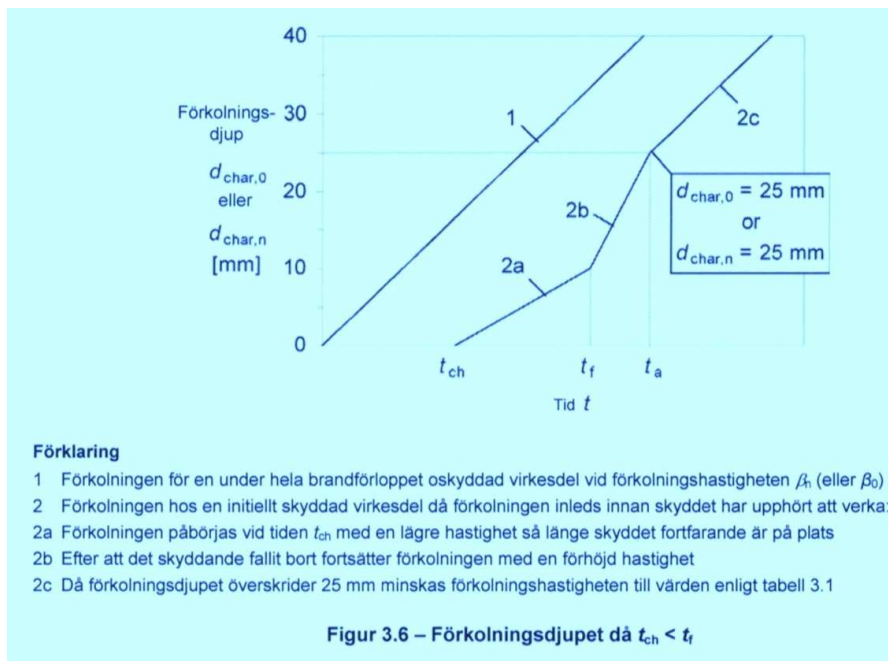
Figur 14

### 3 Dimensioneringsprinciper för träreglar inbyggda i väggar

#### 3.1 Allmänt

Vid bärande träreglar inbyggda i väggar är förhållandena än mer komplicerade jämfört med för brand fritt exponerade träkonstruktioner enligt avsnitt 2. På liknande sätt som vid fritt exponerade täkonstruktioner beräknas förkolningsgränsen som funktion av förkolningshastigheten och brandpåverkanstiden. Dock är inte förkolningshastigheten konstant utan är olika under olika tidsskeden av branden. Detta beroende framförallt på antal och typ av skivor som skyddar reglarna och inte minst beroende på hur länge skivorna sitter kvar eller tiden till respektive skivas nedfall.

Eftersom reglarna, i varje fall i början av brandförloppet, är skyddade av skivor och även av eventuell isolering i väggarna dröjer det en tid innan någon förkolning av reglarna överhuvudtaget börjar, beroende främst på typ av och antal skivor som skyddar reglarna. Förkolningen av träreglarna kan dock påbörjas även innan skivorna fallit bort. Detta genom att värme leds in till reglarna genom skivorna och att förkolningstemperaturer därmed kan uppkomma trots att skivorna sitter kvar. Förkolningshastigheten är dock normalt långsammare så länge skivorna sitter kvar. Detta kan rimligen förklaras av en mindre intensiv termisk påverkan än vid en för branden fritt exponerad regel. När skivorna sedan fallit bort blir å andra sidan förkolningshastigheten normalt högre än förkolningshastigheten vid en från början fritt exponerad regel. Detta kan rimligen förklaras av att regeln i väggen är "förvärmad" när skivorna faller bort vilket medför en snabbare förkolning. När ett kolskikt med en tjocklek på 25 mm byggs upp avtar åter förkolningshastigheten och motsvarar då förkolningshastigheten för en från början fritt exponerad träregel. Ovanstående principer illustreras i figur 15 från Eurokod 5.



**Figur 15**

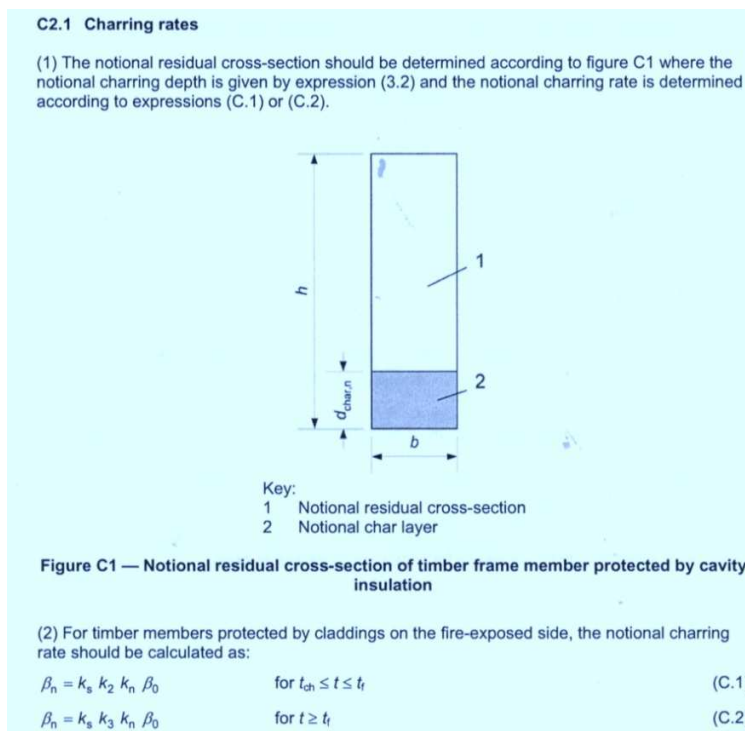
Ovanstående innebär att man för varje skivtyp och skivtjocklek måste känna till tiden när förkolningen börjar  $t_{ch}$  samt skivans nedfallstid  $t_f$  och huruvida någon förkolningen överhuvudtaget börjar innan nedfall sker.

Ofta utgörs skivorna av gipsskivor, antingen normalgipsskivor eller brandgipsskivor. Gipsskivor har den egenskapen att de mer eller mindre faller sönder när det i gipsmaterialet bundna kristallvattnet har förångats. Sönderfallstiden är längre för brandgipsskivor än för normalgipsskivor bl. a på grund av att brandgipsskivorna innehåller en stor mängd glasfiberarmering. Nedfallstiden kan också påverkas av om isolering finns i väggen eller inte. En isolering i väggen mellan reglarna gör att skivorna värms upp snabbare än om ingen isolering finns i väggen eftersom isoleringen "dämmer" upp värmen i skivorna och ökar temperaturen i dessa. Detta i sin tur gör att sönderfallet av skivorna kan komma ske tidigare än om ingen isolering finns i väggen. En isolering i väggen gör å andra sidan att värme inte lika snabbt angriper reglarnas sidor inne i väggen. Hur mycket skydd isoleringen ger i detta avseende beror på typ av isolering, t e x stenull eller glasull, samt på isoleringens densitet. Med andra ord är det flera parametrar som påverkar slutresultatet. Detta i sin tur innebär att en omfattande och tidsödande procedur krävs för att räkna fram förkolningsgräns och bärförmåga för en brandutsatt träregelvägg.

I Eurokod 5 finns en bilaga C som beskriver proceduren hur förkolningsgräns och resttvärsnitt beräknas samt hur bärförmågan sedan beräknas utifrån detta resttvärsnitt. Själva beräkningen av bärförmågan bygger på *Metoden om reducerade egenskaper*. Jämför avsnitt 2.1. Någon metod för beräkning av bärförmågan motsvarande *Metoden med reducerat tvärsnitt* där en zon  $d_0$  utan bärförmåga tas bort innanför beräknad förkolningsgräns finns inte angiven i Eurokod för träregelväggar. Däremot har SP Träteknik i publikationen Fire Safety in Timber Buildning föreslagit en sådan metod för träreglar inbyggda i träväggar.

### 3.2 Metod baserad på reducerade egenskaper enligt Eurokod 5 bilaga C

Förkolningsgräns och resttvärsnitt för en i väggen inbyggd regel beräknas med hjälp av en förkolningshastigheter  $\beta_n$  som beror på ett antal koefficienter  $k_s, k_2, k_3, k_n$  vilka i sin tur kan bestämmas från ett antal tabeller och olika formler. Se illustration enligt figur 16.



Figur 16



För det på detta sätt beräknade resttvärsnittet kan bärförmågan sedan bestämmas genom att regelns hållfasthets- och styvhetsegenskaper modifieras (reduceras) med en modifieringsfaktor enligt figur 17.

### C3 Reduction of strength and stiffness parameters

(1) The modification factor for fire for strength of timber frame members should be calculated as

$$k_{\text{mod,fm,fi}} = a_0 - a_1 \frac{d_{\text{char,n}}}{h} \quad (\text{C.13})$$




where:

$a_0, a_1$  are values given in table C2 and C3;

$d_{\text{char,n}}$  is the notional charring depth according to expression (3.2) with  $\beta_n$  according to expression (C.1) and (C.2);


$h$  is the depth of the joist or the stud.

**Table C2 — Values<sup>a</sup> of  $a_0$  and  $a_1$  for reduction of strength of joists or studs in assemblies exposed to fire on one side**

| Case |   |   | h<br>mm | $a_0$ | $a_1$ |
|------|---|---|---------|-------|-------|
| 1    | Bending strength with exposed side in tension     |   | 95      | 0,60  | 0,46  |
|      |   |   | 145     | 0,68  | 0,49  |
|      |   |   | 195     | 0,73  | 0,51  |
|      |   |   | 220     | 0,76  | 0,51  |
| 2    | Bending strength with exposed side in compression |  | 95      | 0,46  | 0,37  |
|      |   |   | 145     | 0,55  | 0,40  |
|      |   |   | 195     | 0,65  | 0,48  |
|      |   |   | 220     | 0,67  | 0,47  |
| 3    | Compressive strength                              |  | 95      | 0,46  | 0,37  |
|      |   |   | 145     | 0,55  | 0,40  |
|      |   |   | 195     | 0,65  | 0,48  |
|      |   |   | 220     | 0,67  | 0,47  |

<sup>a</sup> For intermediate values of  $h$ , linear interpolation may be applied

**Table C3 — Values of  $a_0$  and  $a_1$  for reduction of compressive strength of studs in walls exposed to fire on both sides**

| Case |                      |   | h<br>mm | $a_0$ | $a_1$ |
|------|----------------------|---|---------|-------|-------|
| 1    | Compressive strength |  | 145     | 0,39  | 1,62  |

**Figur 17**

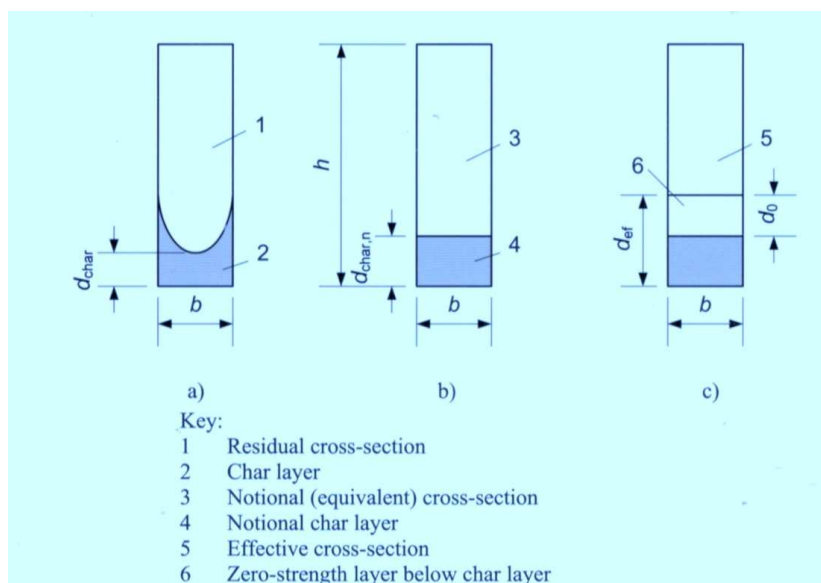
Liknande tabeller finns för bestämning av elasticitetsmodulens reduktion för ensidigt respektive tvåsidigt brandutsatta träregelväggar.

### 3.3 Metod baserad på reducerat tvärsnitt enligt SP Trätek

Denna metod finns alltså inte angiven i Eurokod 5 eller dess bilagor utan är en metod som SP trätek föreslagit för att något förenkla beräkningarna för bärande träregelväggars brandmotstånd. I stället för Eurokods resttvärsnitt med reducerade hållfasthets- och styvhets-egenskaper enligt avsnitt 3.2, bygger SP Träteks förslag på effektiva tvärsnitt (resttvärsnitt -  $d_0$ ) för vilka full hållfasthet och styvhet får förutsättas. Jämför avsnitt 2.1.

Som också påpekats i avsnitt 2.2 är det tillåtet att använda alternativa dimensioneringsmetoder än de som anges i Eurokoderna. Se figur 14 och råd (5)

Vid en brandpåverkad träreglvägg kommer oftast även regelns långsidor att börja kola. Hur snabbt och hur omfattande förkolningen på långsidorna blir beror bl. a på typ och tjocklek av skivorna som skyddar regeln i kombination med typ av isoleringen i väggen. Vid beräkningen av förkolningen såväl enligt Eurokods metod enligt avsnitt 3.2 som vid den av SP trätek föreslagna metoden räknas dock enbart med förkolning av regelns kortsida. Se figur 18.



**Figur 18**

Även den zon  $d_0$  som antas sakna hållfasthet och som ska läggas till förkolningsgränsen adderas enbart på regelns kortsida. Det kan förklaras att värdet på  $d_0$  enligt ovan för träregelväggar normalt blir större eller t o m mycket större än de 7 mm som anges i Eurokod för fritt exponerade träkonstruktioner just för att kompensera för den förkolning som i verkligheten oftast även sker på reglarnas långsidor. Se tabell enligt figur 19.

6.12. Values for  $d_0$  for wall studs with  $h$  in mm.

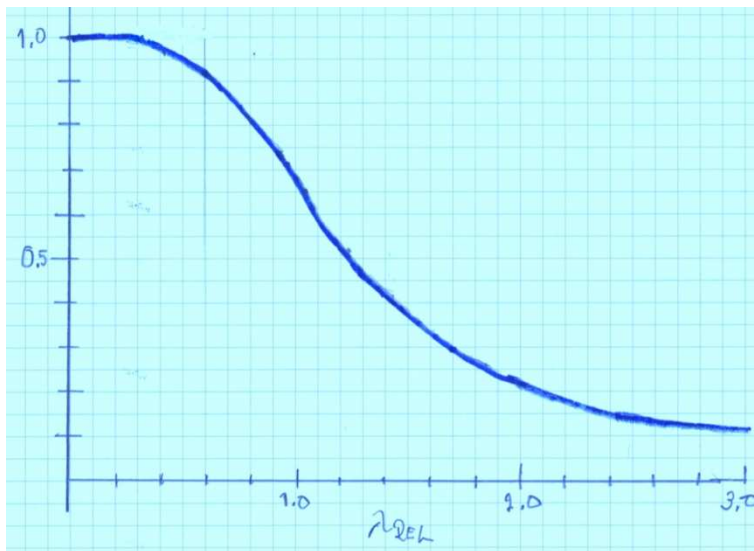
| Construction | Exposure  | Buckling about | Limitations                      | $d_0$                |
|--------------|-----------|----------------|----------------------------------|----------------------|
| Wall studs   | One-sided | Stiff axis y-y | $b \geq 38$ mm<br>$h \geq 95$ mm | $13,5 + 0,1h$ (6.56) |
| Wall studs   | One-sided | Weak axis x-x  | $b \geq 38$ mm<br>$h \geq 95$ mm | $17 + 0,25h$ (6.57)  |
| Wall studs   | Two-sided | Stiff axis y-y | $b \geq 38$ mm<br>$h = 145$ mm   | 25 mm                |
| Wall studs   | Two-sided | Weak axis x-x  | $b \geq 38$ mm<br>$h = 145$ mm   | 44 mm                |

**Figur 19**

Värdena på  $d_0$  har anpassats så att slutresultaten med SP träteks metod ska bli så lika som möjligt jämfört med metoden med reducerade egenskaper enligt Eurokod 5 , bilaga C beskriven i avsnitt 3.2.

Som framgår av tabellen blir värdena på  $d_0$  avsevärt större än 7 mm. För t e x en 45 x 95 regel som knäcker i styva riktningen blir  $d_0 = 23$  mm som ska adderas till beräknad förkolningsgräns för att få det effektiva tvärsnittet.

Eftersom förkolningen samt  $d_0$  enbart räknas i regelns styva riktning kommer slankhetstalet i den styva riktningen att drastiskt öka för det kvarvarande effektiva tvärsnittet jämfört med ett "verkligt" effektivt tvärsnitt med samma area . I figur 20 visas hur knäckningspåkänningen minskar med slankhetstalet.)



**Figur 20**

Antag t e x att en "korrekt" beräkning av det relativa slankhetstalet för det kvarvarande effektiva tvärsnittet är 1.0. Antag vidare att en beräkning enligt ovan där all förkolning och värdet på  $d_0$  koncentreras eller tas bort i styva riktningen så det effektiva tvärsnittets relativa slankhetstal t e x blir 1.6 i stället för 1.0. Enligt kurvan i figur 20 innebär det att bärförmågan reduceras från ca 0.70 till 0.35 eller motsvarande en halvering av bärförmågan jämfört med en mer "korrekt" beräkning av slankhetstalet.

En beräkning av reglarnas effektiva tvärsnitt enligt SP Träteks metod och utifrån detta en beräkning av väggens bärförmåga vid brand, kan även denna bli mycket tidsödande och komplicerad. SP trätek har därför utvecklat ett datorprogram SPFiT (Fire in Timber) som underlättar beräkningarna.

Genom att läsa in uppbyggnaden av aktuell väggkonstruktion i programmet får man fram en beräknad bärförmåga i kN per regel. Dock tycks beräknade värden på bärförmågan enligt SPFiT i många fall ligga lågt och i vissa fall mycket lågt i förhållande till tidigare praxis och även jämfört med konstaterade värden på bärförmågan vid brandprov på motsvarande väggar.

En möjlig förklaring till de med SPFit ofta låga beräknade värdena på bärförmåga kan vara att slankheten överskattas enligt ovan samt eventuellt också att det ligger inbyggda antaganden på säkra sidan i alla de olika deletapper som krävs för att komma fram till det effektiva tvärsnittet och därefter bärförmågan. Om alla dessa olika "säkerhetsfaktorer" adderas kan antas att de sammantaget ger mycket konservativa värden på bärförmågan.

För närvarande saknas också uppgifter om nedfallstider mm för många skivmaterial vilket gör att många väggalternativ överhuvudtaget inte kan beräknas med metoden. Även modulväggar av dubbelkonstruktion som idag normalt används som lägenhetsskiljande väggar för att uppfylla kraven på ljudisolering, är för närvarande svåra att hantera på ett korrekt sätt med SPFit.

### 3.4 Metod baserad på direkta temperaturberäkningar

En annan och mer direkt metod att beräkna bärförmågan vid brand för träreglar inbyggda i väggar bygger på att beräkna temperaturerna i väggkonstruktionen med t e x TASEF på liknande sätt som beskrivs i avsnitt 2.2. Utifrån beräknade temperaturer kan därefter förkolningsgränsen och det effektiva tvärsnittet med förutsatt full hållfasthet bestämmas.

Ett problem motsvarande det som beskrivits ovan är att ett flertal andra material än själva träreglarna ingår i en väggkonstruktion. Vid beräkning av temperaturerna i väggen måste därför värmeledningstal och specifik värmekapacitet och dessas variation med temperaturen vara kända för samtliga de i väggen ingående materialen, motsvarande de värden som anges för trä enligt Eurokod 5. Se figur 7.

Förutom termiska data för trä finns motsvarande värden för betong och stål angivna i Eurokod 2 respektive Eurokod 3. För glasull samt för stenudd med olika densitet finns motsvarande termiska data angivna bl. a. i handboken *Fire Safety in timber buildings*.

Värmeledningstalet för de allra flesta material ökar med ökad temperatur. För exempelvis stenuddprodukter ökar värmeledningstalet med temperaturen dessutom mer för lätta stenuddprodukter jämfört med tyngre sådana även om värmeledningstalen är desamma vid rumstemperatur. En tyngre stenuddisolering innebär således en långsammare uppvärmning vid brand och därmed större effektivt tvärsnitt än en lättare stenuddprodukt under i övrigt lika förhållanden.

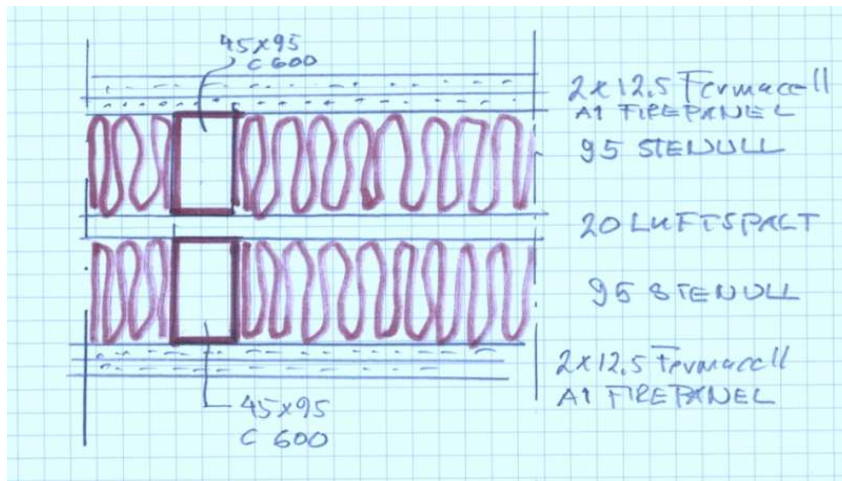
Termiska data för gipsskivor, inkluderande effekten av gipsskivornas sönderfall, har tagits fram av Brandskyddslaget och verifierats ligga på säkra sidan genom jämförelser under lång tid tillbaka med ett stort antal brandförsök på olika väggkonstruktioner med gipsskivor.

En annan typ av gipsskivor som ej är pappbeklädda är Fermacell Fibergipsskivor.

För Fermacell Fibergips har termiska data också bestämts genom jämförelser med brandförsök på olika väggtyper. Brandskyddslagets rapport: *Fermacell - Brandteknisk dimensionering av schaktväggar, Stockholm 2015-10-10*.

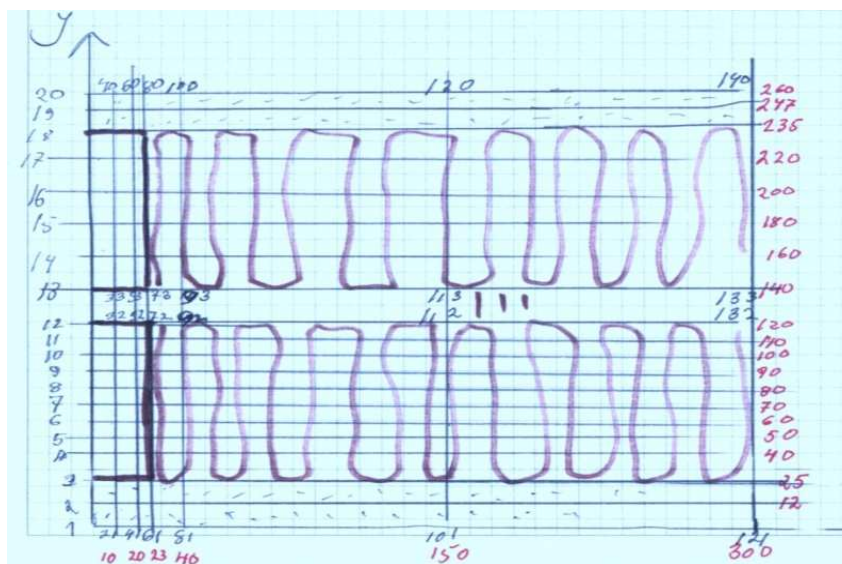
En för brand speciellt utvecklad fibergipsskiva är Fermacell Firepanel A1. Termiska data har också här bestämts genom jämförelser med brandförsök på olika väggtyper med Fermacell Firepanel A1. Brandskyddslagets rapport: *FERMACELL Firepanel A1-Termiska data vid höga temperaturer - Brandteknisk analys. Stockholm 2015-02-20*

Som exempel på tillämpningen av metoden visas i figur 21 en lägenhetsskiljande, bärande träregelvägg. Väggen utgörs av en dubbelvägg med skilda stommar med 20 mm luftspalt mellan stommarna för att klara ljudisoleringskraven mellan skilda lägenheter. På vardera sida finns 2 x 12.5 Fermacell Firepanel A1. Reglarna är av dimension 45 x 95 c 600 mm. Isoleringen utgörs av stenull med densitet ca 30 kg/m<sup>3</sup>. Eftersom det är en lägenhetsskiljande vägg kan den per definition endast bli utsatt för brand från en sida åt gången.



Figur 21

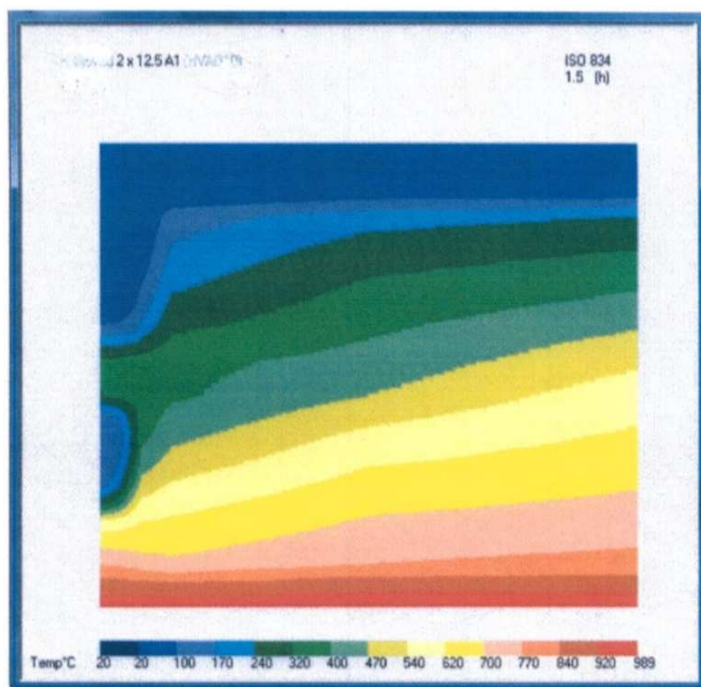
I figur 22 visas vald nodindelning för TASEF beräkningen. En symmetrilinje läggs mitt i regelparet samt i ett snitt mitt mellan två regelpar d v s på avståndet 300 mm. Över symmetri-linjerna sker inget värmeutbyte.



Figur 22

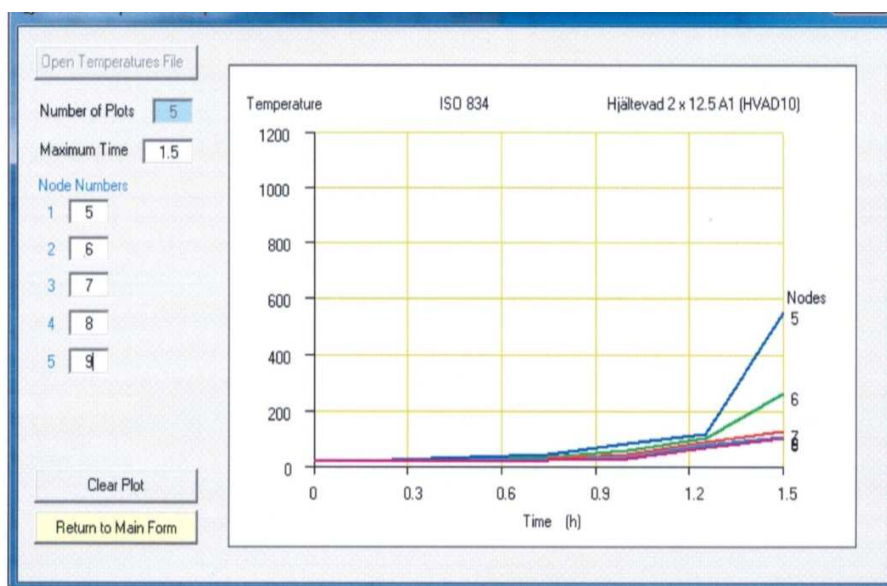


I figur 23 visas en temperaturgraf efter 90 minuters standardbrandpåverkan mot väggens ena sida.



**Figur 23**

I figur 24 framgår beräknade temperaturer som funktion av tiden i den brandutsatta sidans regels mittpunkt på olika djup från brandsidan.

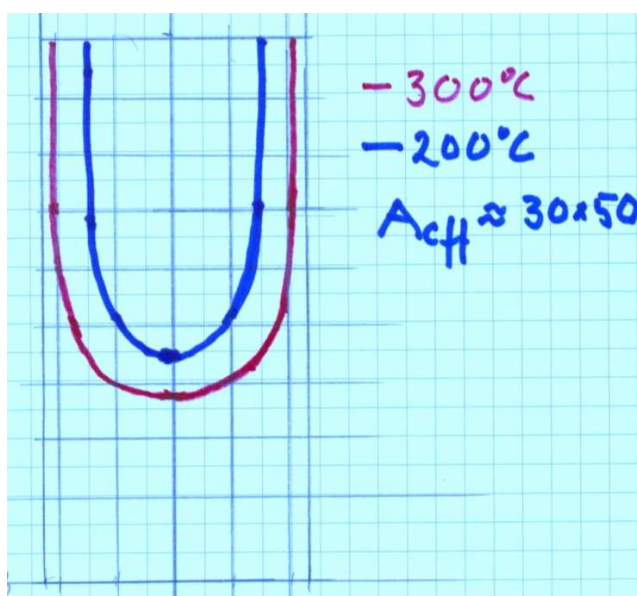


**Figur 24**

Från beräkningarna ovan har 300 graders isotermen lagts in i regeltvärsnittet motsvarande förkolningsgränsen enligt Eurokod 5. Se figur 25. Vidare har 200 graders isotermen lagts in. Skillnaden mellan 200 graders respektive 300 graders isotermen tycks relativt väl motsvara värdet  $d_0 = 7$  mm som är det enda värde på  $d_0$  som anges i Eurokod 5.

Som effektivt tvärsnitt för vilket får förutsättas full hållfasthet antas därför fortsättningsvis arean innanför 200 graders isotermen. Gjorda jämförelser med försök (se avsnitt 5,6 och 7) visar att detta antagande ger något konservativa resultat, d v s resultat på säkra sidan, vad gäller beräknad bärförmåga i förhållande till uppmätt bärförmåga vid motsvarande brandförsök på väggarna.

Den rundade formen ersätts vid beräkning av bärförmågan med en rektangulär form med samma area. Detta ger arean 30 x 50 mm efter 90 minuters standardbrandpåverkan.



Figur 25



#### 4 Reglarnas bärförmåga

Karakteristiska grundvärden för hållfasthet och styvhet för träkonstruktioner i olika hållfasthetsklasser framgår av tabell figur 26 från TräGuiden.

|   | Hållfasthetsklass |      |      |      |      |
|---|-------------------|------|------|------|------|
|   | C35               | C30  | C24  | C18  | C14  |
| <b>Hållfasthetsvärden</b>                       |                   |      |      |      |      |
| Böjning parallellt fibrerna                     | 35                | 30   | 24   | 18   | 14   |
| Dragning parallellt fibrerna                    | 21                | 18   | 14   | 11   | 8    |
| Dragning vinkelrätt fibrerna                    | 0,4               | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  |
| Tryck parallellt fibrerna                       | 25                | 23   | 21   | 18   | 16   |
| Tryck vinkelrätt fibrerna                       | 2,8               | 2,7  | 2,5  | 2,2  | 2    |
| Längsskjuvning                                  | 4                 | 4    | 4    | 3,4  | 3    |
| <b>Styvhetsvärden för bärförmågeberäkningar</b> |                   |      |      |      |      |
| Elasticitetsmodul                               | 8700              | 8000 | 7400 | 6000 | 4700 |

**Figur 26**

För en tryckt regel i hållfasthetsklass C24 är alltså den **karakteristiska** hållfastheten  $f_k = 21$  Mpa och den **karakteristiska** elasticitetsmodulen  $E_k = 7400$  Mpa. Värdena motsvarar 5 %-fraktilvärden, d v s värden som underskrids i högst 5 fall av 100 för respektive hållfasthetsklass.

Vid rumstemperatur och brottlastdimensionering gäller följande **dimensioneringsvärde**  $f_D$  för tryckhållfastheten.

$$f_D = k_{\text{mod}} \times f_k / \gamma_m$$

där

$k_{\text{mod}}$  faktor som tar hänsyn till klimatklass och lastens varaktighet . (Bör för aktuell typ av väggar kunna sättas till 0.7 eller 0.8)

$\gamma_m$  partialkoefficient för material som är lika med 1.3 för trä.

Detta ger **dimensioneringsvärdet** för hållfasthetsklass C24

$$f_D = 0.8 \times 21 / 1.3 = 12.9 \text{ Mpa}$$

Detta innebär en ren trycklastkapacitet  $P_D$  för regeltvärsnittet 45 x 95

$$P_D = 45 \times 95 \times 12.9 = 55.1 \text{ kN}$$

Beräkning av pelarens slankhet och reduktion av trycklastkapaciteten med hänsyn tagen till knäckning görs enligt följande.

Det relativa slankhetstalet kan skrivas

$$\lambda_{REL} = L \times 12^{0.5} \times (f_k / E_{0.05})^{0.5} / (\pi \times h)$$

där

L = Knäcklängd

h = Regeldimension i knäckningsriktningen.

Med exemplet ovan och en förutsatt knäcklängd av 2.5 m fås

$$\lambda_{REL} = 2500 \times 12^{0.5} \times (21 / 7400)^{0.5} / (3.14 \times 95) = 1.54$$

Reduktionen av bärförmågan som funktion av slankhetstalet kan skrivas

$$k_C = 1 / [(k + (k^2 - \lambda_{REL}^2)^{0.5})]$$

där

$$k = 0.5 (1 + 0.2(\lambda_{REL} - 0.3) + \lambda_{REL}^2)$$

Med exemplet ovan fås

$$k = 0.5 (1 + 0.2(1.54 - 0.3) + 1.54^2) = 1.81$$

och

$$k_C = 1 / [(k + (k^2 - \lambda_{REL}^2)^{0.5})] = 1 / [(1.81 + (1.81^2 - 1.54^2)^{0.5})] = 0.36$$

Dimensionerande bärförmåga med hänsyn tagen till knäckning blir därmed vid brottlastdimensionering

$$N_D = 0.36 \times 55.1 = 19.9 \text{ kN}$$

Motsvarande beräkningar kan göras för brandlastfallet men då med det reducerade effektiva tvärsnittet enligt exemplet i figur 25, d v s ett regeltvärsnitt motsvarande 30 x 50 mm<sup>2</sup>.

Samtidigt får man enligt Eurokod 5 som karakteristiskt grundvärde  $f_k$  vid lastfallet brand använda ett värde som motsvarar 20 % fraktilvärdet i stället för 5 % fraktilvärdet. Detta innebär ett karakteristiska värde  $f_k = 1.25 \times 21 = 26.2 \text{ Mpa}$ .

Vidare får partialkoefficienten för materialet  $\gamma_m$  sättas lika med 1.0. Dessutom får  $k_{mod}$ , faktorn som tar hänsyn till klimatklass och lastens varaktighet, också sättas lika med 1.0 vid brandlastfallet.

Detta ger då följande trycklastkapacitet  $P_D$  för det reducerade regeltvärsnittet 30 x 50 utan hänsyn tagen till knäckning.

$$P_D = 30 \times 50 \times 26.2 = 39.3 \text{ kN}$$

Beräkning av pelarens slankhet och reduktion av trycklastkapaciteten ovan med hänsyn tagen till knäckning görs på motsvarande sätt som tidigare men då med det reducerade effektiva tvärsnittet 30 x 50. Detta ger

$$\lambda_{REL} = 2500 \times 12^{0.5} \times (21 / 7400)^{0.5} / (3.14 \times 50) = 2.93$$

och

$$k = 0.5 (1 + 0.2(2.93 - 0.3) + 2.93^2) = 5.05$$

samt

$$k_c = 1 / [(5.05 + (5.05^2 - 2.93^2)^{0.5})] = 0.11$$

Dimensionerande bärförmåga per regel med hänsyn tagen till knäckning blir därmed för aktuell vägg efter 90 minuters standardbrandpåverkan

$$N_D = 0.11 \times 39 = 4.3 \text{ kN}$$

Ett datorprogram har utvecklats som för givet tvärsnitt och hållfasthetsklass mm räknar ut bärförmågan dels vid brottlastdimensionering dels vid brandlastfallet enligt ovan. Se figur 27.

## TIMBER FIRE Hållfasthetsklasser

Bärande träregelvägg

SBUF 13442

Regeldimension vid brottlastdimensionering: 45 x 95 mm, Knäcklängd: 2500  
Regeldimension efter 90 minuters ISO brand: 30 x 50 mm, Knäcklängd: 2500

Tryckhållfasthet/Emodul 21 / 7400  
K<sub>mod</sub> = .7

## BROTTLASTDIMENSIONERING

Tryckkapacitet= 48.3 kN  
Slankhetstal= 1.54  
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .36  
Knäcklast= 17.5 kN

## BRANDLASTFALLET ( R 90 )

Tryckkapacitet= 39.3 kN  
Slankhetstal= 2.93  
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .1  
Knäcklast= 4.2 kN

**Figur 27**

## 5 Jämförelse med brandförsök

Ett dryga tiotal brandförsök på belastade träregelväggar utsatta för en standardbrandpåverkan motsvarande ISO 834 varierande från 30 till 90 minuter har analyserats .

Försöken omfattar skilda typer av väggar såsom ytterväggar med ensidig brandpåverkan, innerväggar (modulväggar) som kan vara såväl ensidigt som tvåsidigt brandutsatta, olika skivmaterial såsom normalgipsskivor, brandgipsskivor, fibergipsskivor, fibercementskivor samt kombinationer av olika skivmaterial, olika isolering såsom glasull eller stenull samt olika regeldimensioner samt virkeskvaliteter.

För varje försök görs jämförande beräkningar. Det effektiva tvärsnittet bestäms utifrån med TASEF beräknade regeltemperaturer enligt ovan där effektivt tvärsnitt förutsätts motsvara 200 graders isotermin.

Vid brandförsök med ensidig brandpåverkan mäts som standard temperaturerna på väggens icke brandutsatta sida för att fastställa att ett visst EI krav t e x EI 60 innehålls. Vid vissa av de analyserade brandförsöken har temperaturerna även mätts inne i väggkonstruktionen, t e x på olika ställen på reglarna. I tillämpliga fall kan då de med TASEF beräknade temperaturerna jämföras med motsvarande uppmätta temperaturer.

På basis av beräknat effektivt tvärsnitt, enligt ovan förutsatt motsvara 200 graders isotermin, bedömd tryckhållfasthet hos reglarna samt reglarnas knäcklängd har bärförmågan i kN per regel beräknas för respektive försök och jämförts med vid försöket redovisad bärförmåga/brottlast.

Beträffande bedömd tryckhållfasthet vid respektive försök som underlag för beräkning av bärförmågan gäller följande. I vissa försök har den dynamiska elasticitetsmodulen uppmätts för varje regel . Medelvärde av uppmätta elasticitetsmoduler kan då användas för att bedöma reglarnas tryckhållfasthet genom sambandet.

$$f = 0.002E - 2.08 \text{ Mpa}$$

I andra försök finns enbart reglarnas hållfasthetsklass angiven. Då kan 20 % fraktilvärdena motsvarande 1.25 x 5 % fraktilvärdena (se figur 26) för aktuell hållfasthetsklass användas vid lastfallet brand i enlighet med råden i Eurokod 5. I ytterligare andra försök finns överhuvudtaget ingen notering vare sig av aktuella hållfasthetsklasser eller verkliga hållfastheter. Då har en rimlig hållfasthetsklass antagits vid de jämförande beräkningarna.

Vid vissa försök inträffade brott innan den förväntade brandmotståndstiden t e x vid 55 minuter i stället för antagna 60 minuter. Beräkningen av det effektiva tvärsnittet och aktuell brottlast baseras då på beräknade regeltemperaturer vid 55 minuter. Vid andra försök inträffade aldrig brott vid den förväntade brandmotståndstiden. Ungnen stängdes då av vid förväntad brandmotståndstid och lasten på väggen ökades stegvis till dess brott inträffade. Även om ungnen stängdes av kommer reglarna att fortsätta att förkolas. Det innebär att den last för vilken väggen kollapsade t e x vid 70 minuter i stället för vid 60 minuter kan bedömas ligga på säkra sidan vid en klassificering motsvarande R 60.

## Försök 1 (SP rapport P905981F - 2011-05-16)

Väggtyp: Yttervägg

Skivmaterial: 2x13 normalgipsskivor på brandsida / 9 normalgipsskiva icke brandsida

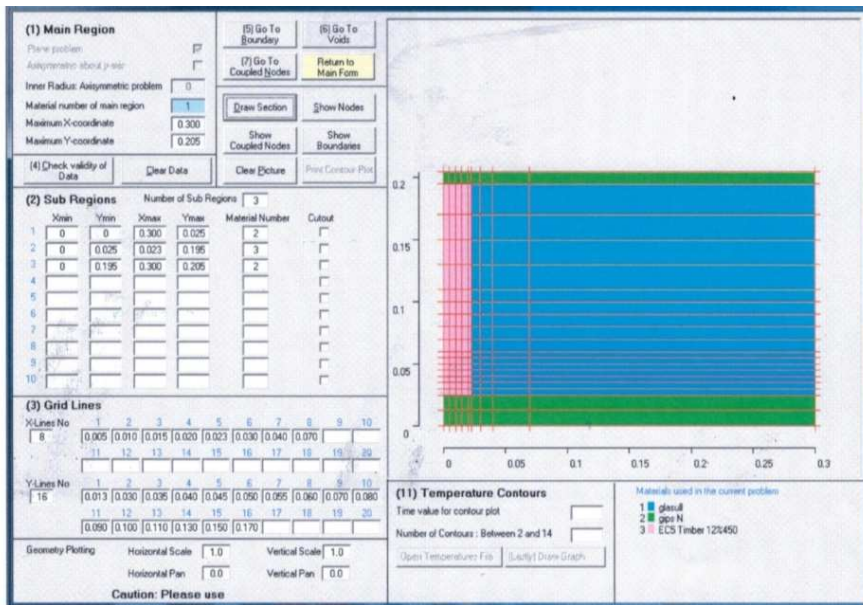
Isolering: 170 glasull

Reglar: 45x170 c 600

Brandpåverkan: Ensidig (55 minuter)

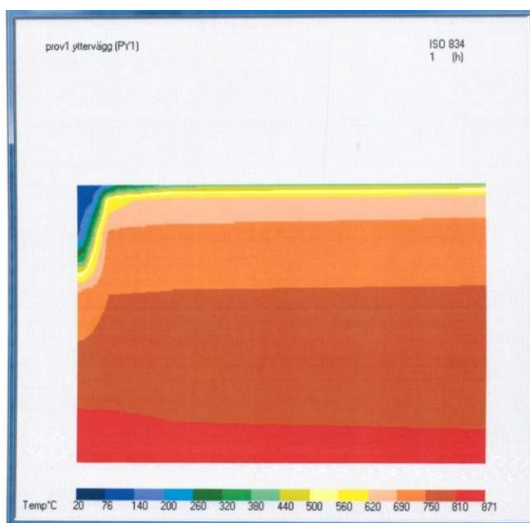
Belastning: 12.5 kN/regel. Brott inträffade efter 55 minuter.

I figur 28 visas vald nodindelningen för väggvärsnittet för TASEF beräkningen.



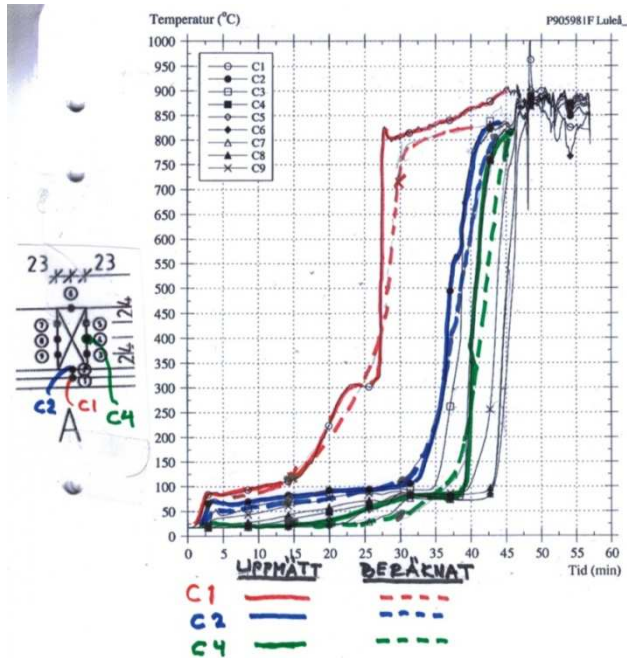
Figur 28

I figur 29 visas en temperaturgraf efter 60 minuter.



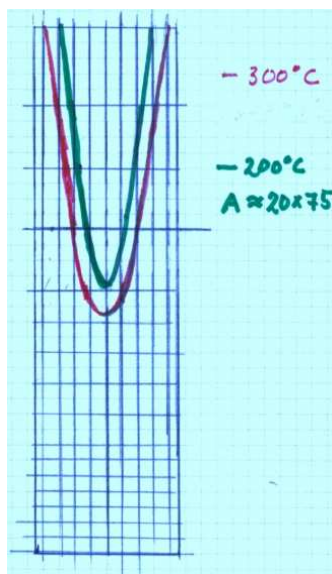
Figur 29

Vid försöket uppmättes temperaturerna även inne i väggkonstruktionen bl. a mellan de två gipsskivorna på brandsidan samt på olika ställen på reglarna. Beräknade temperaturer jämförs med uppmätta temperaturer enligt figur 30.



Figur 30

I figur 31 visas det framtagna effektiva tvärsnittet (20 x 75) efter 55 minuter då väggen gick till brott med en last per regel av 12.5 kN.



Figur 31

Totala vägghöjden var 3.0 m men väggen var i viss mån inspänd i golv- och taknivå för att efterlikna verkliga förhållanden så väl som möjligt. Uppskattad inspänningseffekt anges motsvarar en knäcklängd  $L = 0.85 \times 3.00 = 2.55$  m.

Dynamiska elasticitetsmodulen bestämdes för reglarna och medelvärdet var 11991 Mpa. Detta ger enligt ovan en bedömd tryckhållfasthet  $f = 0.002 \times 11991 - 2.08 = 21.9$  Mpa.

En beräkning av reglarnas bärförmåga efter 55 minuter ger enligt figur 32 knäcklasten

$N_D = 11.1$  kN/regel att jämföras med lasten vid försöket 12.5 kN/regel. Beräknad brottlast utgörs sålunda 90 % av verklig brottlast vid försöket.

```
TIMBER FIRE Verkliga hållfasthetsvärden
Bärande träregelvägg
Försök 5.1
Yttervägg
Regeldimension vid brottlastdimensionering: 45 x 170 mm, Knäcklängd: 2550
Regeldimension efter 55 minuters ISO brand: 20 x 175 mm, Knäcklängd: 2550
Tryckhållfasthet/Emodul 21.9 / 11991
Kmod = .7

BROTTLASTDIMENSIONERING
Tryckkapacitet= 90.2 kN
Slankhetstal= .7
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .87
Knäcklast= 79.1 kN

BRANDLASTFALLET ( R 55 )
Tryckkapacitet= 32.8 kN
Slankhetstal= 1.6
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .33
Knäcklast= 11.1 kN
Ok
```

**Figur 32**

## Försök 2 (SP rapport P905981A - 2011-05-16)

Väggtyp: Modulvägg (dubbelvägg med luftspalt mellan vägghalvorna)

Skivmaterial: 13 normalgipsskiva, 15 brandgipsskiva mot brandsida. (Plåtband på respektive vägghalvas baksida för att förhindra knäckning i veka riktningen.)

Isolering: 95 glasull

Reglar: 45x95 c 600

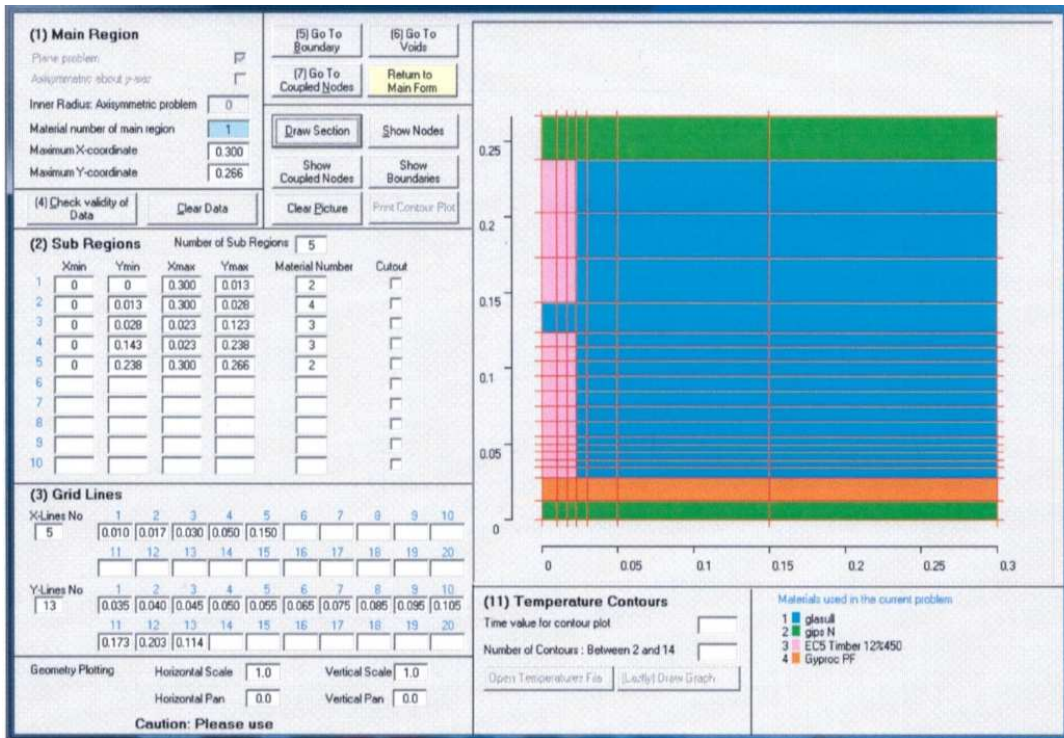
Brandpåverkan: Ensidig (60 minuter)

Belastning: 12.5 kN/regel. Inget brott efter 60 minuter.

Väggen var belastad med en last motsvarande 12.5 kN/regel. Något brott hade inte inträffat efter 60 minuter. Ungnen stängdes då av och lasten ökades stegvis. Brott inträffade vid tiden 74 minuter och för en last motsvarande 21.5 kN/regel

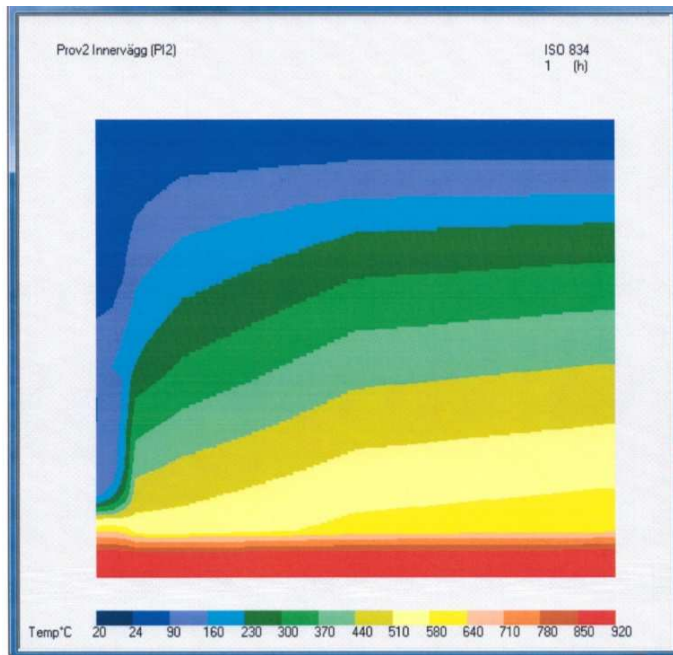


I figur 33 visas vald nodindelningen för väggvärsnittet för TASEF beräkningen.



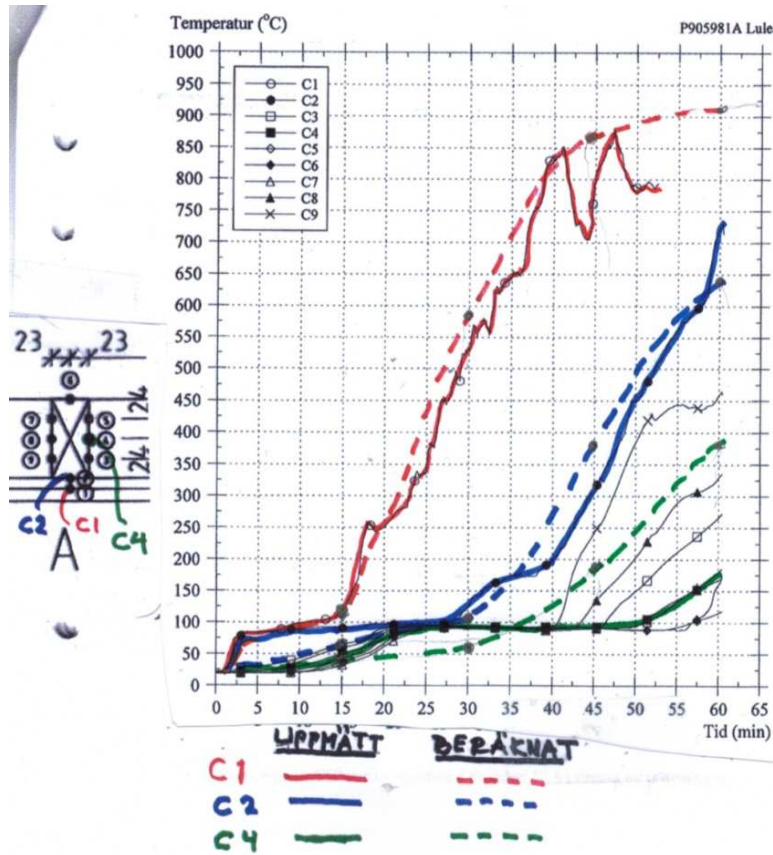
Figur 33

I figur 34 visas en temperaturgraf efter 60 minuter.



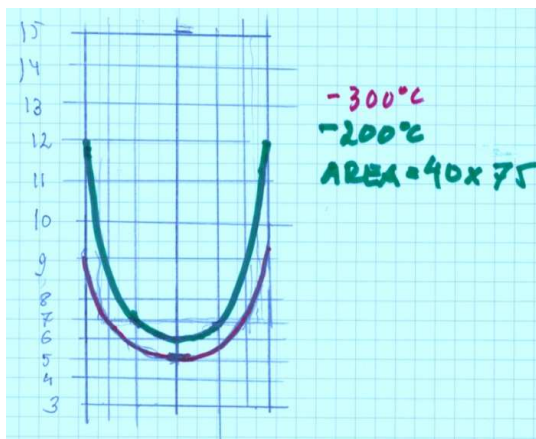
Figur 34

Vid försöket uppmättes temperaturerna även inne i väggkonstruktionen bl. a mellan de två gipsskivorna samt på olika ställen på reglarna. Beräknade temperaturer jämförs med uppmätta temperaturer enligt figur 35.



**Figur 35**

I figur 36 visas det framtagna effektiva tvärsnittet (40x75) efter 60 minuter. Väggen var belastad med en last motsvarande 12.5 kN/regel. Något brott hade inte inträffat efter 60 minuter. Ungnen stängdes då av och lasten ökades stegvis. Brott inträffade vid tiden 74 minuter och för en last motsvarande 21.5 kN/regel.



**Figur 36**

Totala vägghöjden var 3.0 m men väggen var i viss mån inspänd i golv- och taknivå för att efterlikna verkliga förhållanden så väl som möjligt. Uppskattad inspänningseffekt motsvarar en knäcklängd  $L = 0.85 \times 3.00 = 2.55$  m.

Den dynamiska elasticitetsmodulen bestämdes för reglarna och medelvärdet var 16263 Mpa. Detta ger enligt ovan en bedömd tryckhållfasthet

$$f = 0.002 \times 16263 - 2.08 = 30.4 \text{ Mpa}$$

En beräkning av reglarnas bärförmåga efter 60 minuter ger enligt figur 37 knäcklasten

$$N_D = 30.2 \text{ /regel.}$$

```
Regeldimension vid brottlastdimensionering: 45 x 95 mm, Knäcklängd: 2550 mm
Regeldimension efter 60 minuters ISO brand: 40 x 75 mm, Knäcklängd: 2550 mm

Tryckhållfasthet/Emodul 30.4 / 16263
Kmod = .7

BROTTLASTDIMENSIONERING

Tryckkapacitet= 69.9 kN
Slankhetstal= 1.28
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .49
Knäcklast= 34.5 kN

BRANDLASTFALLET < R 60 >

Tryckkapacitet= 91.2 kN
Slankhetstal= 1.62
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .33
Knäcklast= 30.2 kN
Ok
```

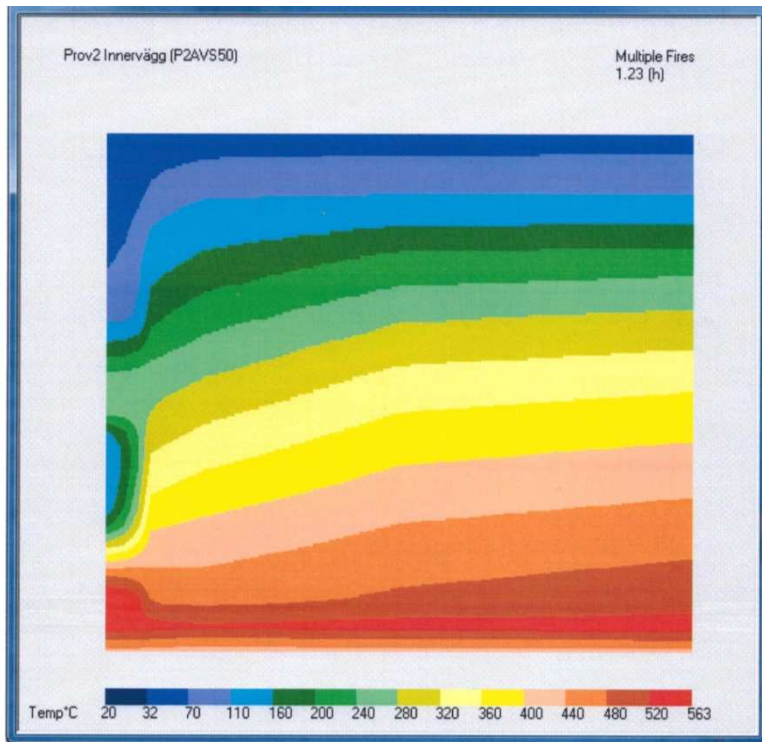
**Figur 37**

Enligt ovan var väggen belastad med en last motsvarande 12.5 kN/regel. Något brott hade inte inträffat efter 60 minuter. Ungnen stängdes då av och lasten ökades stegvis. Brott inträffade vid tiden 74 minuter och för en last motsvarande 21.5 kN/regel.

Även om ugnens brännare stängdes av vid 60 minuter kan antas att temperaturen i regeln fortsätter att stiga och förkolningen därmed ökar. En bedömning av temperaturerna i regeln sker därför också vid tiden 74 minuter.

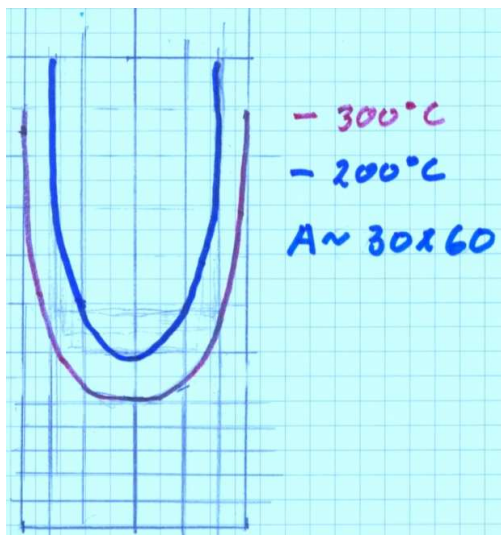
Några angivna temperaturer i själva ugnen efter 60 minuter finns dock inte. Däremot finns andra försök där ugnens brännare stängts av och ugnstemperaturen fortsatt att registrerats. I dessa fall var avsvälningen i ugnstemperatur av storleksordningen 100 grader per minut. Detta värde läggs därför till grund för beräkning av temperaturerna mellan 60 och 74 minuter.

I figur 38 visas en beräknad temperaturgraf vid tiden 74 minuter. Jämför motsvarande vid tiden 60 minuter enligt figur 34.



**Figur 38**

I figur 39 visas det framtagna effektiva tvärsnittet (30x60) efter 74 minuter.



**Figur 39**

Brott inträffade vid tiden 74 minuter för en last motsvarande 21.5 kN/regel.



Totala vägghöjden var 3.0 m men väggen var i viss mån inspänd i golv- och taknivå för att efterlikna verkliga förhållanden så väl som möjligt. Uppskattad inspänningseffekt motsvarar en knäcklängd  $L = 0.85 \times 3.00 = 2.55$  m.

Dynamiska elasticitetsmodulen bestämdes för reglarna och medelvärdet var 162663 Mpa. Detta ger enligt ovan en bedömd tryckhållfasthet  $f = 0.002 \times 16263 - 2.08 = 30.4$  Mpa

En beräkning av reglarnas bärförmåga efter 74 minuter ger enligt figur 40 knäcklasten

$N_D = 12.1$  kN /regel att jämföras med brottlasten vid försöket 21.5 kN/regel enligt ovan.

```
Regeldimension vid brottlastdimensionering: 45 x 95 mm, Knäcklängd: 2550 mm
Regeldimension efter 74 minuters ISO brand: 30 x 60 mm, Knäcklängd: 2550 mm

Tryckhållfasthet/Emodul 30.4 / 16263
Kmod = .7

BROTTLASTDIMENSIONERING

Tryckkapacitet= 69.9 kN
Slankhetstal= 1.28
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .49
Knäcklast= 34.5 kN

BRANDLASTFALLET ( R 74 )

Tryckkapacitet= 54.7 kN
Slankhetstal= 2.02
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .22
Knäcklast= 12.1 kN
Ok
```

**Figur 40**

### **Försök 3 (SP rapport P905981 B - 2011-05-16)**

Väggtyp: Modulvägg (dubbelvägg med luftspalt mellan vägghalvorna)

Skivmaterial: 2 x 15 brandgipsskiva mot brandsida.

(Plåtband på respektive vägghalvas baksida för att förhindra knäckning i veka riktningen.)

Isolering: 70 stenull

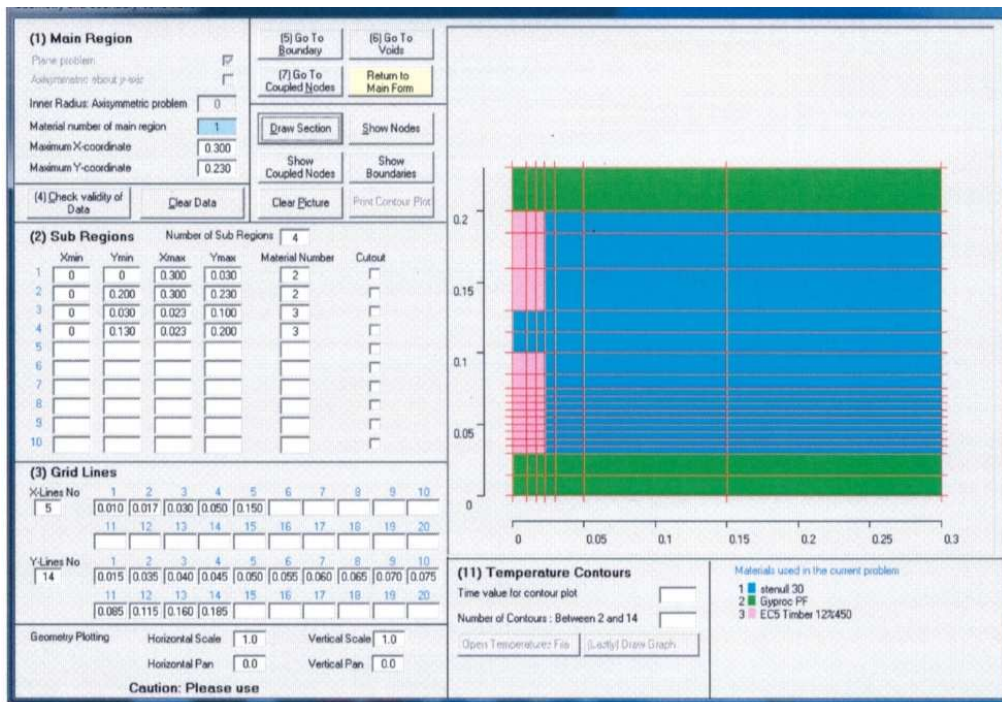
Reglar: 45x70 c 600

Brandpåverkan: Ensidig (60 minuter)

Belastning: 5.5 kN/regel. Inget brott efter 60 minuter.

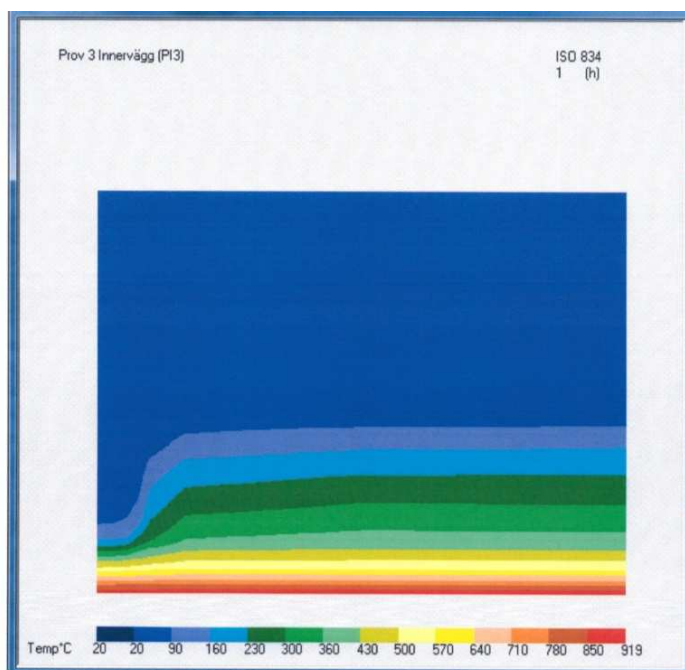
Väggen var belastad med en last motsvarande 5.5 kN/regel. Något brott hade inte inträffat efter 60 minuter. Ungnen stängdes då av och lasten ökades stegvis. Brott inträffade vid tiden 90 minuter och för en last motsvarande 27.5 kN/regel

I figur 41 visas vald nodindelningen för väggvärsnittet för TASEF beräkningen.



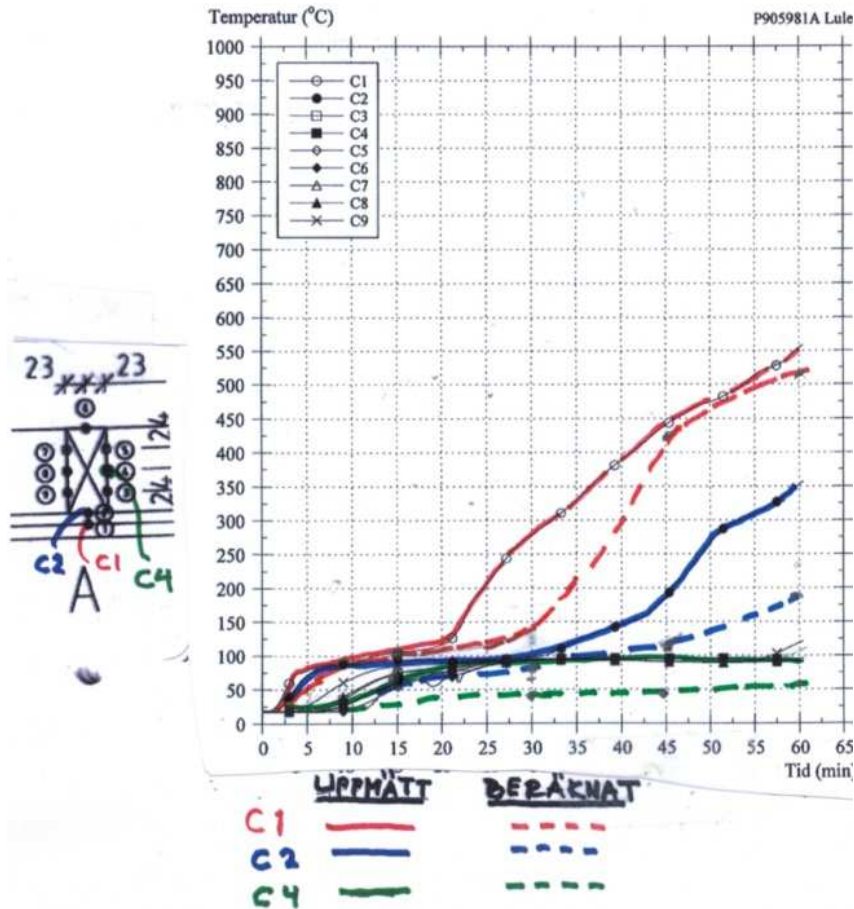
Figur 41

I figur 42 visas en temperaturgraf efter 60 minuter.



Figur 42

Vid försöket uppmättes temperaturerna även inne i väggkonstruktionen bl. a mellan de två gipsskivorna samt på olika ställen på reglarna. Beräknade temperaturer jämförs med uppmätta temperaturer enligt figur 43.



Figur 43

I figur 44 visas det framtagna effektiva tvärsnittet efter 60 minuter. 300 gradersisotermin har ännu inte nått regeln som alltså inte överhuvudtaget börjat kola och således är opå-verkad .



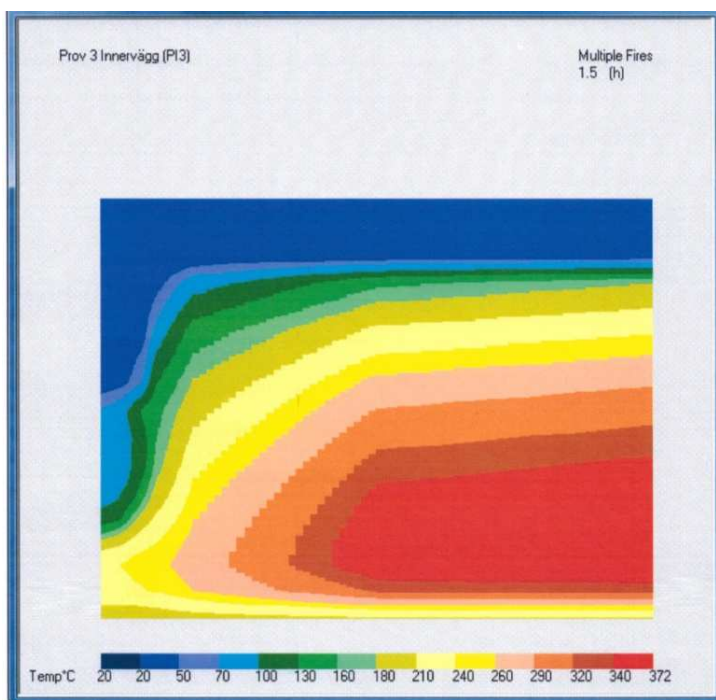
Figur 44



Väggen var belastad med en last motsvarande 5.5 kN/regel. Något brott hade inte inträffat efter 60 minuter. Ugnen stängdes då av och lasten ökades stegvis. Brott inträffade först vid tiden 89 minuter och för en last motsvarande 27.5 kN/regel.

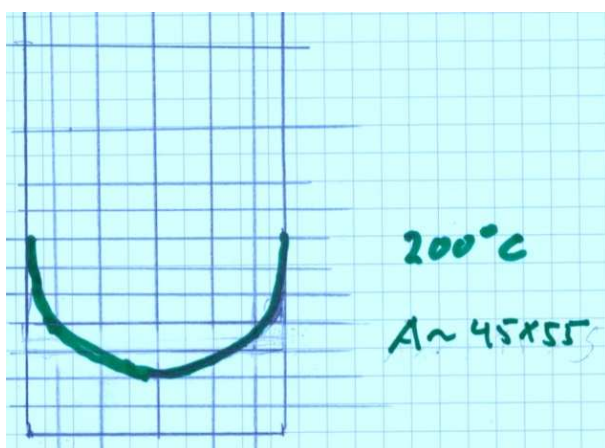
På motsvarande sätt som vid försök enligt avsnitt .2 beräknades temperaturen och förkolningen av träregeln vid 90 minuter vid en förutsatt avsvälning i ugnen på ca 100 grader per minut.

I figur 45 visas en beräknad temperaturgraf vid tiden 90 minuter.



**Figur 45**

I figur 46 visas det framtagna effektiva tvärsnittet (45x55 ) efter 90minuter.



**Figur 46**

Totala vägghöjden var 3.0 m men väggen var i viss mån inspänd i golv- och taknivå för att efterlikna verkliga förhållanden så väl som möjligt. Uppskattad inspänningseffekt motsvarar en knäcklängd  $L = 0.85 \times 3.00 = 2.55$  m.

Dynamiska elasticitetsmodulen bestämdes för reglarna och medelvärdet var 16586 Mpa. Detta ger enligt ovan en bedömd tryckhållfasthet  $f = 0.002 \times 16586 - 2.08 = 31.1$  Mpa

En beräkning av reglarnas bärförmåga efter 90 minuter ger enligt figur 47 knäcklasten

$N_D = 14.3$  kN /regel att jämföras med brottlasten vid försöket 27.5 kN/regel enligt ovan.

```
Modulvägg

Regeldimension vid brottlastdimensionering: 45 x 70 mm, Knäcklängd: 2550 mm
Regeldimension efter 89 minuters ISO brand: 45 x 55 mm, Knäcklängd: 2550 mm

Tryckhållfasthet/Emodul 31.1 / 16586
Kmod = .7

BROTTLASTDIMENSIONERING

Tryckkapacitet= 52.7 kN
Slankhetstal= 1.74
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .29
Knäcklast= 15.3 kN

BRANDLASTFALLET ( R 89 )

Tryckkapacitet= 76.9 kN
Slankhetstal= 2.21
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .18
Knäcklast= 14.3 kN
Ok
```

**Figur 47**

## Försök 4 (SP rapport P905981D - 2011-05-16)

Väggtyp: Yttervägg

Skivmaterial: 15 Brandgipsskiva, 12 Mineritskiva på brandsida / 9 normalgipsskiva icke brandsida

Isolering: 170 stenull

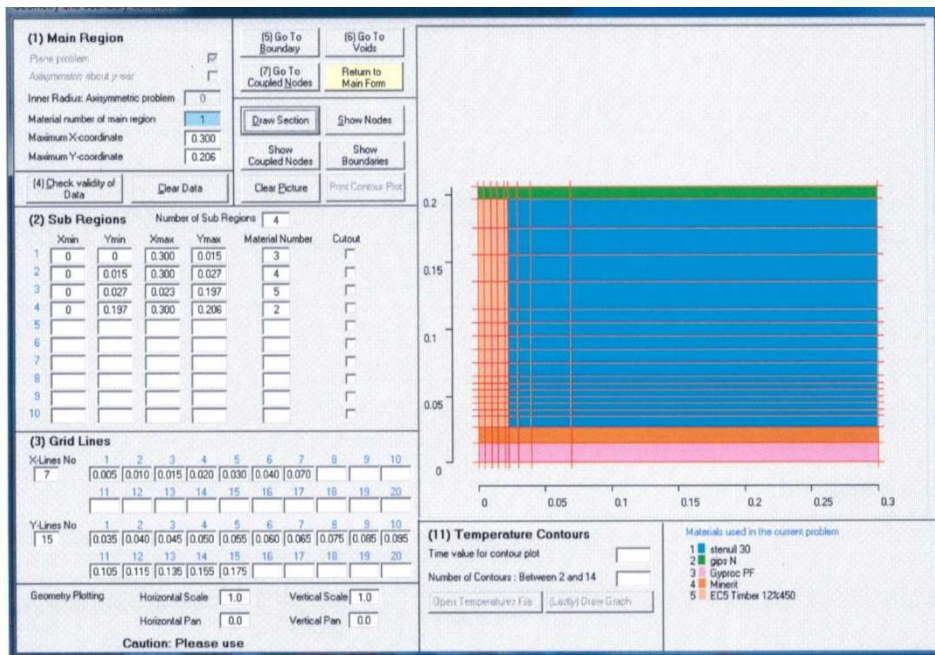
Reglar: 45x170 c 600

Brandpåverkan: Ensidig (90 minuter)

Belastning: 19.5 kN/regel. Inget brott efter 90 minuter.

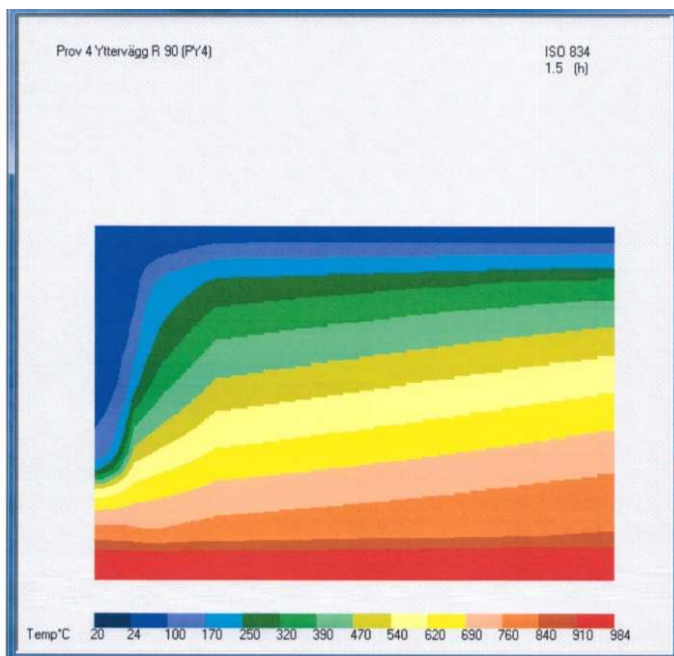
Väggen var belastad med en last motsvarande 19.5 kN/regel. Något brott hade inte inträffat efter 90 minuter. Ungnen stängdes då av och lasten ökades stegvis. Brott inträffade vid tiden 101 minuter och för en last motsvarande 30 kN/regel.

I figur 48 visas vald nodindelningen för väggtvärsnittet för TASEF beräkningen.



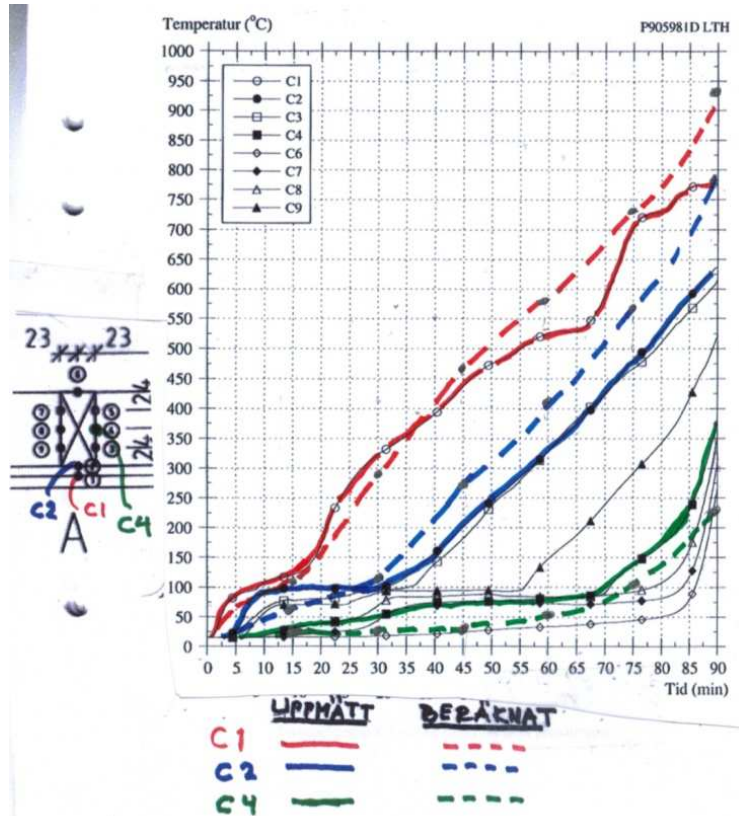
Figur 48

I figur 49 visas en temperaturgraf efter 90 minuter.



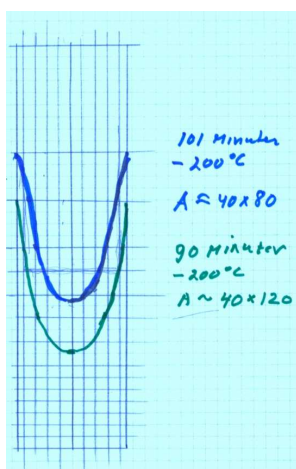
Figur 49

Vid försöket uppmättes temperaturerna även inne i väggkonstruktionen bl. a mellan brandgipsskivan och mineritskivan samt på olika ställen på reglarna. Beräknade temperaturer jämförs med uppmätta temperaturer enligt figur 50.



Figur 50

I figur 51 visas det framtagna effektiva tvärsnittet efter 90 respektive 101 minuter då brott inträffade. Vägg var belastad med en last motsvarande 19.5 kN/regel. Något brott hade inte inträffat efter 90 minuter. Ungnen stängdes då av och lasten ökades stegvis. Brott inträffade vid tiden 101 minuter och för en last motsvarande 30.0 kN/regel.



Figur 51

Totala vägghöjden var 3.0 m men väggen var i viss mån inspänd i golv- och taknivå för att efterlikna verkliga förhållanden så väl som möjligt. Uppskattad inspänningseffekt motsvarar en knäcklängd  $L = 0.85 \times 3.00 = 2.55$  m.

Dynamiska elasticitetsmodulen bestämdes för reglarna och medelvärdet var 14169 Mpa. Detta ger enligt ovan en bedömd tryckhållfasthet  $f = 0.002 \times 14169 = 28.3$  Mpa

En beräkning ger en brottlast vid brand vid 101 minuter på 31.5 kN/regel. Se figur 52.

```
Regeldimension vid brottlastdimensionering: 45 x 170 mm, Knäcklängd: 2550 mm
Regeldimension efter 101 minuters ISO brand: 40 x 80 mm, Knäcklängd: 2550 mm

Tryckhållfasthet/Emodul 26.3 / 14169
Kmod = .7

BROTTLASTDIMENSIONERING

Tryckkapacitet= 108.3 kN
Slankhetstal= .71
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .87
Knäcklast= 94.5 kN

BRANDLASTFALLET ( R 101 )

Tryckkapacitet= 84.1 kN
Slankhetstal= 1.51
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .37
Knäcklast= 31.5 kN
Ok
```

Figur 52

## Försök 5 (SP rapport P905981E - 2011-05-16)

Väggtyp: Modulvägg (dubbelvägg med luftspalt mellan vägghalvorna)

Skivmaterial: 15 Brandgipsskiva, 12 Mineritskiva på brandsida (Plåtband på respektive vägghalvas baksida för att förhindra knäckning i veka riktningen.)

Isolering: 95 stenull

Reglar: 45x95 c 600

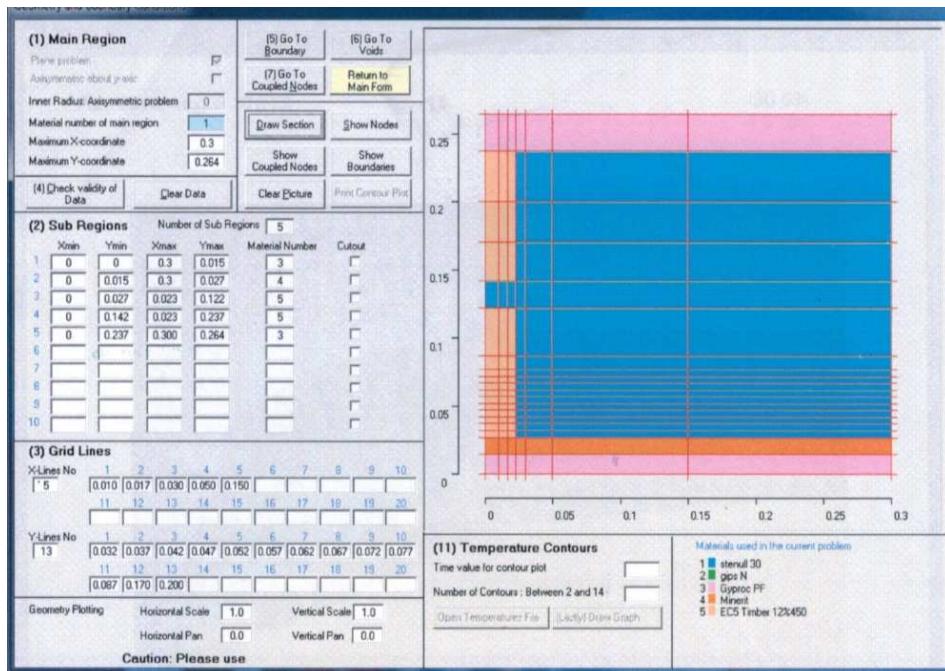
Brandpåverkan: Ensidig (90 minuter)

Belastning: 19.1 kN/regel. Inget brott efter 90 minuter.

Väggen var belastad med en last motsvarande 19.1 kN/regel. Något brott hade inte inträffat efter 90 minuter. Ungnen stängdes då av och lasten ökades med 1kN/regel varvid brott inträffade vid tiden 91.5 minuter.

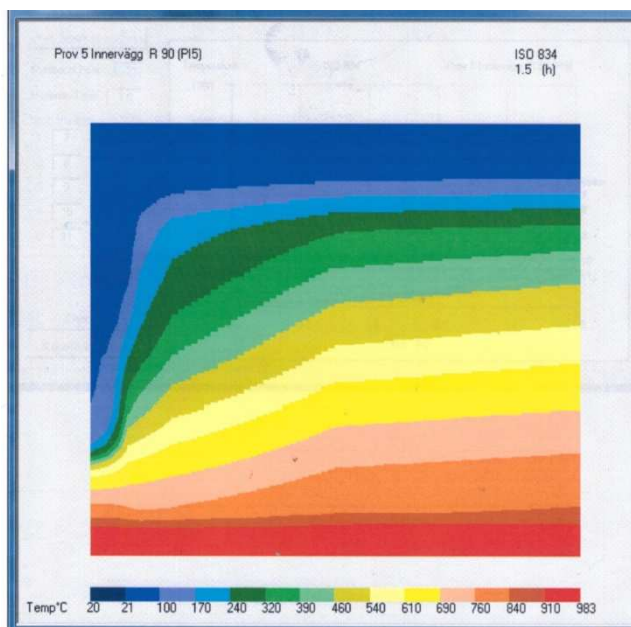
I figur 53 visas vald nodindelningen för väggtvärsnittet för TASEF beräkningen.





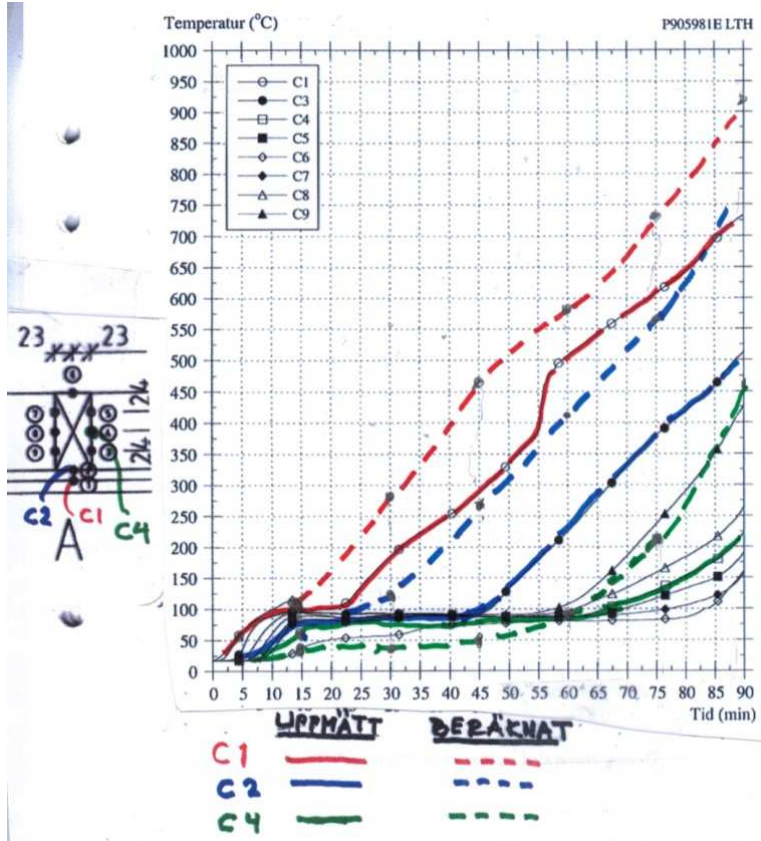
Figur 53

I figur 54 visas en temperaturgraf efter 90 minuter.



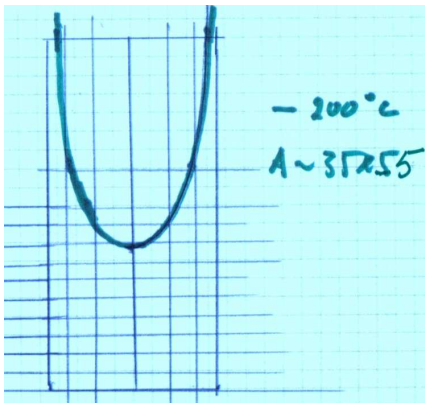
Figur 54

Vid försöket uppmättes temperaturerna även inne i väggkonstruktionen bl. a mellan skivorna samt på olika ställen på reglarna. Beräknade temperaturer jämförs med uppmätta temperaturer enligt figur 55.



Figur 55

I figur 56 visas det framtagna effektiva tvärsnittet efter 90 minuter. Väggen var enligt ovan belastad med en last motsvarande 19.1 kN/regel. Något brott hade inte inträffat efter 90 minuter. Ungnen stängdes då av och lasten ökades med 1kN/regel varvid brott inträffade vid tiden 91.5 minuter.



Figur 56



Totala vägghöjden var 3.0 men väggen var i viss mån inspänd i golv- och taknivå för att efterlikna verkliga förhållanden så väl som möjligt. Därför bedöms det rimligt vid den jämförande beräkningen att anta en knäcklängd motsvarande 2.5 m.

Dynamiska elasticitetsmodulen bestämdes för reglarna och medelvärdet var 14763 Mpa. Detta ger enligt ovan en bedömd tryckhållfasthet  $f = 0.002 \times 14763 - 2.08 = 27.4$  Mpa.

En beräkning ger en brottlast vid 90 minuter på 9.9 kN/regel. Se figur 57.

```
Regeldimension vid brottlastdimensionering: 45 x 95 mm, Knäcklängd: 2550 mm
Regeldimension efter 90 minuters ISO brand: 35 x 55 mm, Knäcklängd: 2550 mm

Tryckhållfasthet/Emodul 27.4 / 14763
Kmod = .7

BROTTLASTDIMENSIONERING

Tryckkapacitet= 63 kN
Slankhetstal= 1.27
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .49
Knäcklast= 31.5 kN

BRANDLASTFALLET ( R 90 )

Tryckkapacitet= 52.7 kN
Slankhetstal= 2.2
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .18
Knäcklast= 9.899999 kN
Ok
```

Figur 57

## Försök 6 (SP rapport 92R12289 - 1993-03-04)

Väggtyp: Yttervägg

Skivmaterial: 2x13 normalgipsskivor på brandsida / Västkostskiva och träpanel på icke brandsida

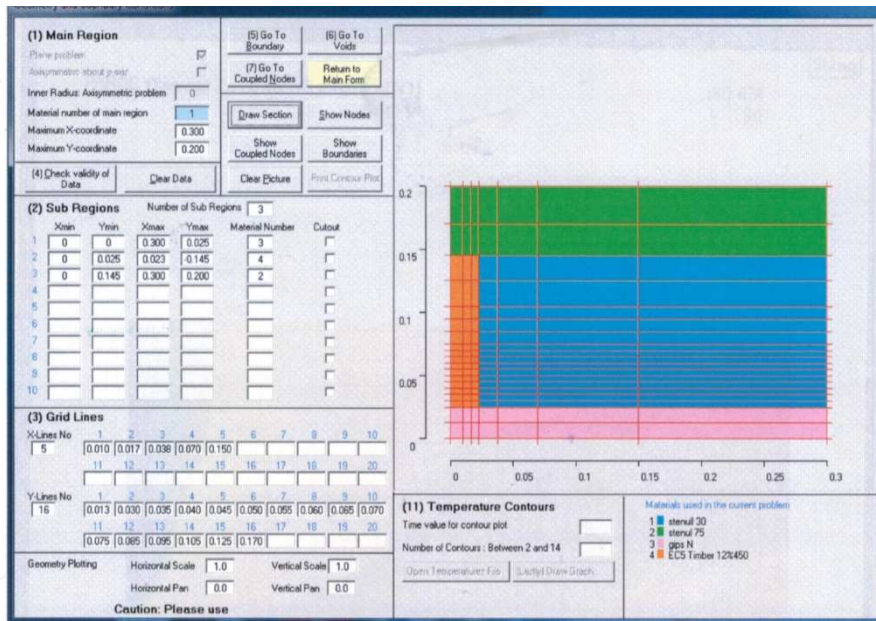
Isolering: 120 stenull

Reglar: 45x120 c 600

Brandpåverkan: Ensidig (60 minuter)

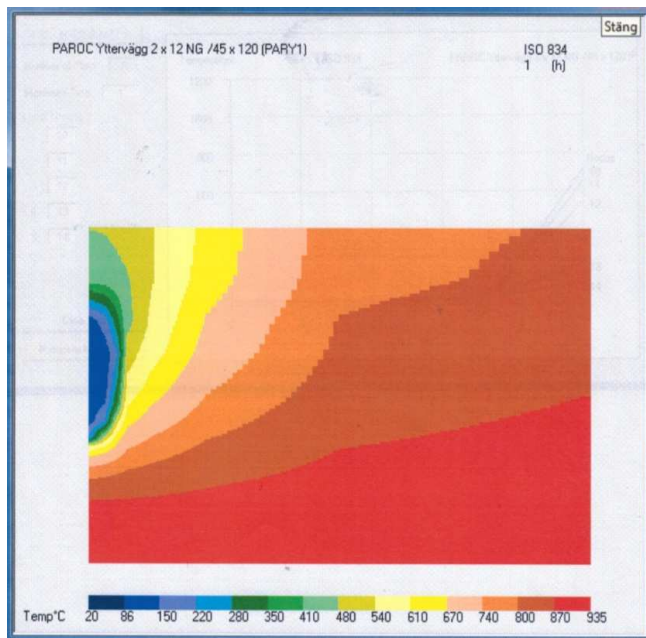
Belastning: Väggen var belastad med en last motsvarande 12 kN/regel. Något brott hade inte inträffat efter 60 minuter. Ungnen stängdes då av och lasten ökades varvid brott inträffade efter 61 minuter för en last motsvarande 16.1 kN/regel.

I figur 58 visas vald nodindelningen för väggvärsnittet för TASEF beräkningen.



**Figur 58**

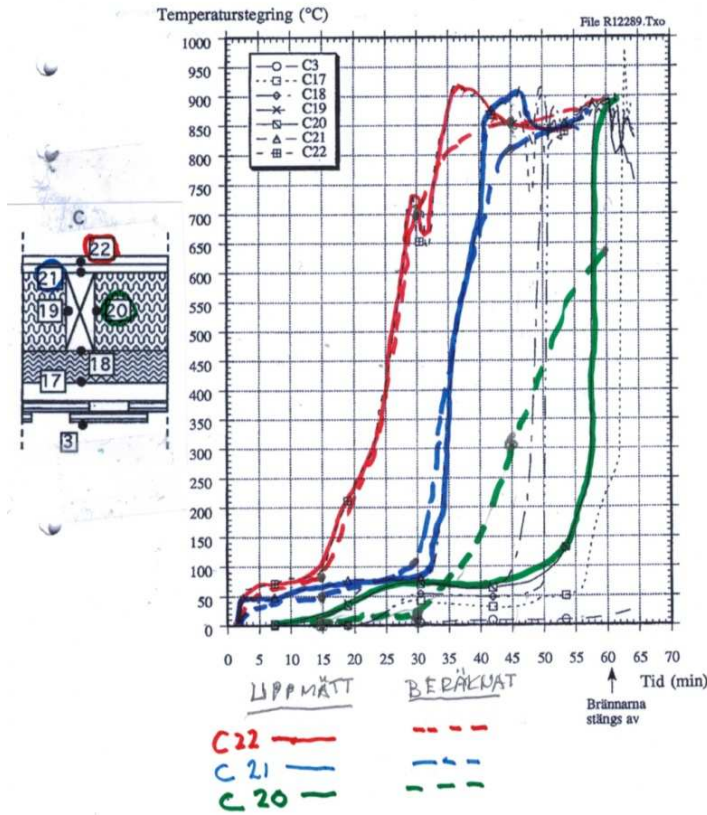
I figur 59 visas en temperaturgraf efter 60 minuter.



**Figur 59**

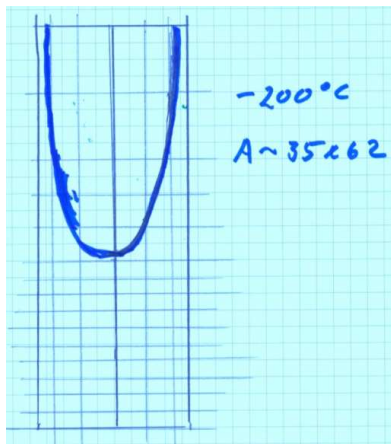
Vid försöket uppmättes temperaturerna även inne i väggkonstruktionen bl. a mellan de två gipsskivorna på brandsidan samt på olika ställen på reglarna. Beräknade temperaturer jämförs med uppmätta temperaturer enligt figur 60.

**Uppmätt temperaturstegring  
termoelement 3 och 17 - 22**



**Figur 60**

I figur 61 visas det framtagna effektiva tvärsnittet (35x62) efter 61 minuter då väggen gick till brott med en last per regel av 16.4 kN.



**Figur 61**

Väghöjden var 2.4 m

Dynamiska elasticitetsmodulen bestämdes för reglarna och medelvärdet var 11747Mpa. Detta ger enligt ovan en bedömd tryckhållfasthet  $f = 0.002 \times 11747 - 2.08 = 21.4$  Mpa

En beräkning av reglarnas bärförmåga efter 61 minuter ger enligt figur 62 knäcklasten

$N_D = 12.4$  kN/regel att jämföras med lasten vid försöket 16.4 kN/regel.

```
Yttervägg

Regeldimension vid brottlastdimensionering: 45 x 120 mm, Knäcklängd: 2400 mm
Regeldimension efter 90 minuters ISO brand: 35 x 62 mm, Knäcklängd: 2400 mm

Tryckhållfasthet/Emodul 21.4 / 11747
Kmod = .7

BROTTLASTDIMENSIONERING

Tryckkapacitet= 62.2 kN
Slankhetstal= .94
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .73
Knäcklast= 45.6 kN

BRANDLASTFALLET ( R 90 )

Tryckkapacitet= 46.4 kN
Slankhetstal= 1.82
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .26
Knäcklast= 12.4 kN
```

**Figur 62**

## Försök 7 (SP rapport 90R10362 - 1991-09-06)

Väggtyp: Innervägg

Skivmaterial: 1x15 brandgipsskiva på båda sidor

Isolering: 120 stenull

Reglar: 45x120 c 600

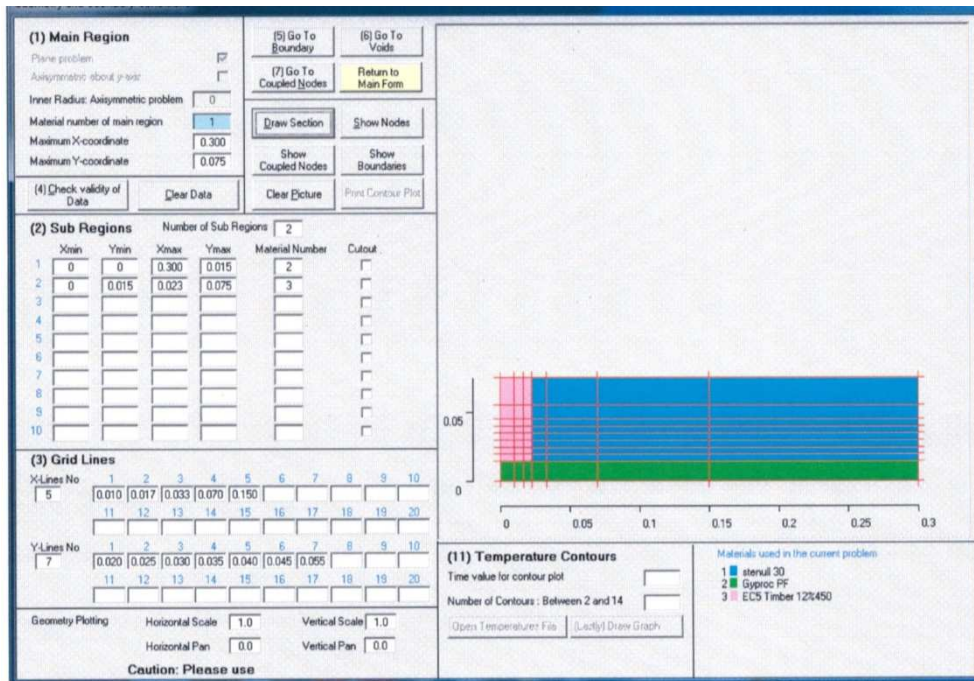
Brandpåverkan: Tvåsidig (60 minuter)

Belastning: Väggen var belastad med en last motsvarande 5 kN/regel. Brott inträffade efter 57 minuter.

I figur 63 visas vald nodindelningen för väggtvärsnittet för TASEF beräkningen.

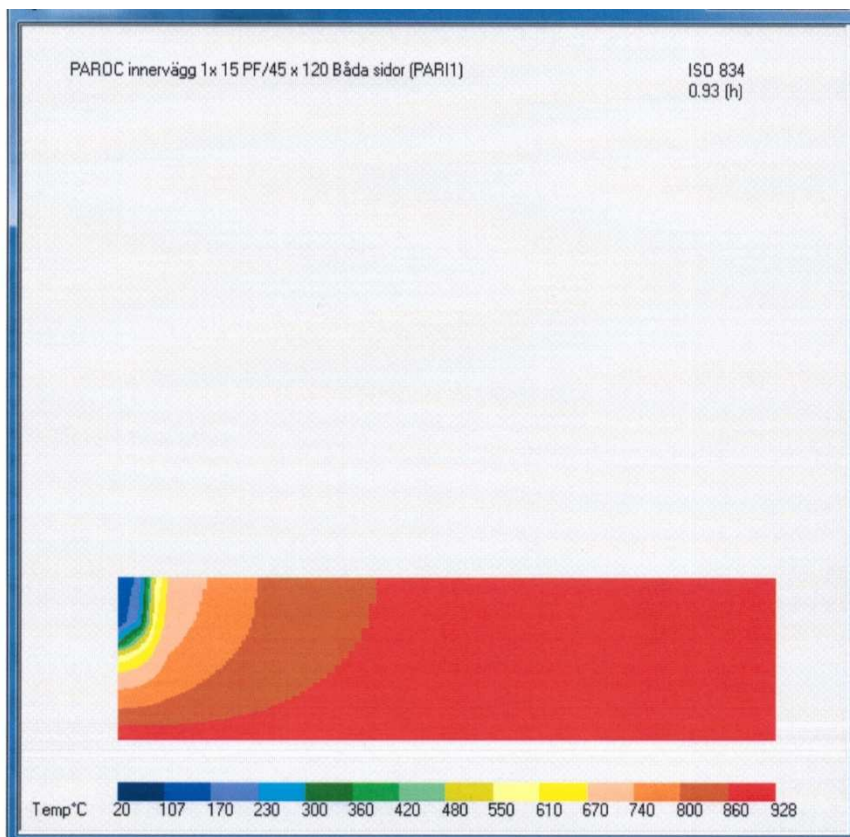
Eftersom väggen är symmetriskt utsatt för brand på båda sidor räcker det att räkna på 1/4 del av regeltvärsnittet,





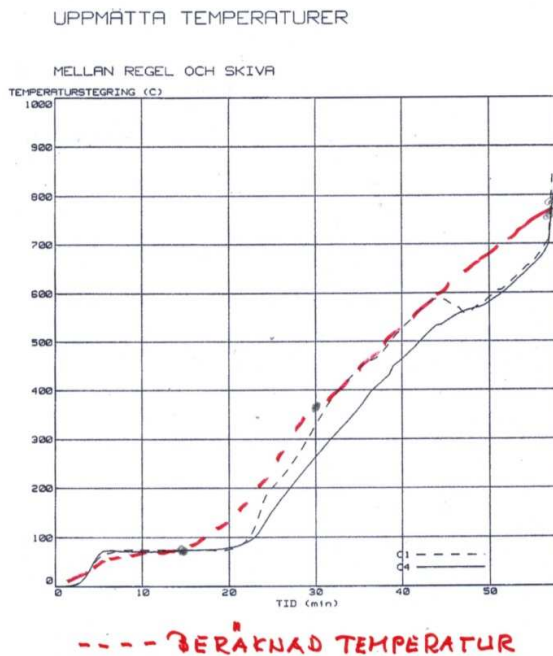
Figur 63

I figur 64 visas en temperaturgraf efter 57 minuter.



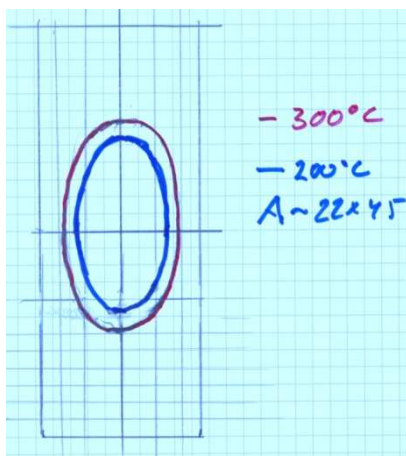
Figur 64

Vid försöket uppmättes temperaturen bl. a mellan brandgipsskivan och regeln. I figur 65 jämförs beräknad temperatur mellan skivan och regeln med motsvarande uppmätta temperaturer.



**Figur 65**

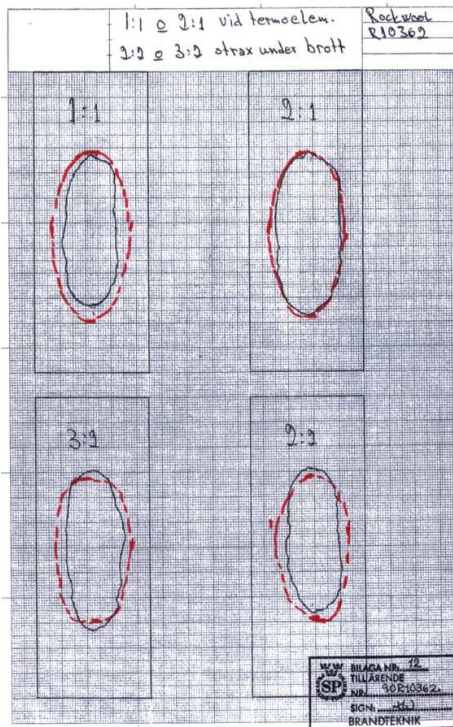
I figur 66 visas det framtagna effektiva tvärsnittet (22x45) efter 57 minuter då väggen gick till brott med en last per regel av 5 kN.



**Figur 66**

Vid försöket lyftes väggen ut ur ugnen direkt efter avslutad provning och kvarvarande tvärsnitt på reglarna uppmättes. Se figur 67. I figuren är också inlagd beräknad förkolningsgräns motsvarande 300 graders isoterma.





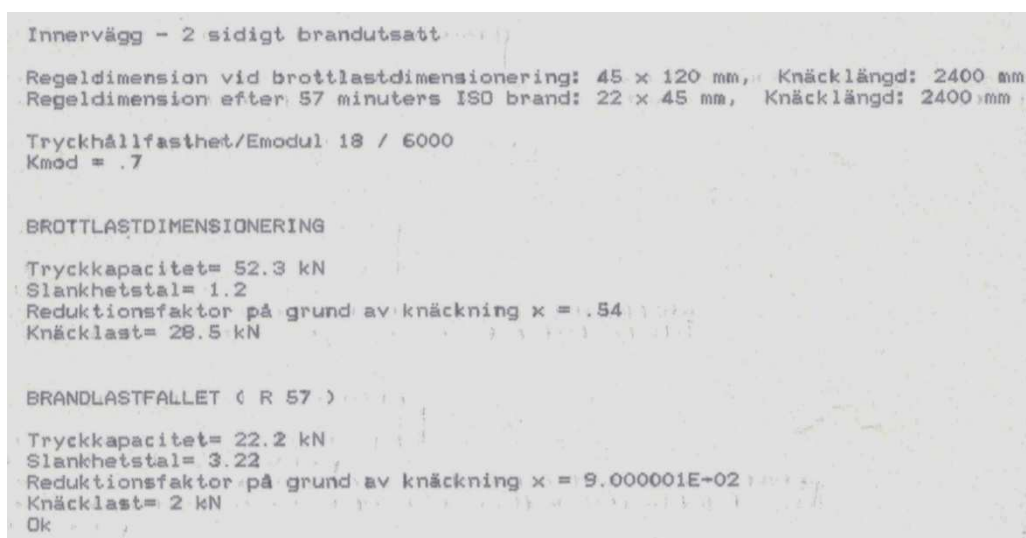
Figur 67

Vägghöjden var 2.4 m

Någon uppmätt elasticitetsmodul fanns inte och inte heller någon angiven hållfasthetsklass. För beräkningen antas en hållfasthet motsvarande C 18.

En beräkning av reglarnas bärförmåga efter 57 minuter ger enligt figur 68 knäcklasten

$N_D = 2$  kN/regel att jämföras med lasten vid försöket 5 kN/regel.



Figur 68

**Försök 8 (SP rapport 92R12266 - 1993-01-08)**

Väggtyp: Yttervägg

Skivmaterial: 1x13 normalgipsskivor på brandsida / 50 skalmursskiva på icke brandsida

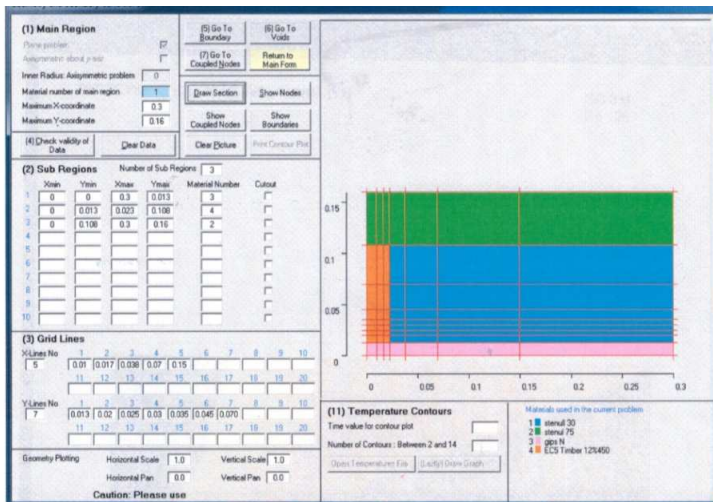
Isolering: 95 stenuIII

Reglar: 45x95 c 600

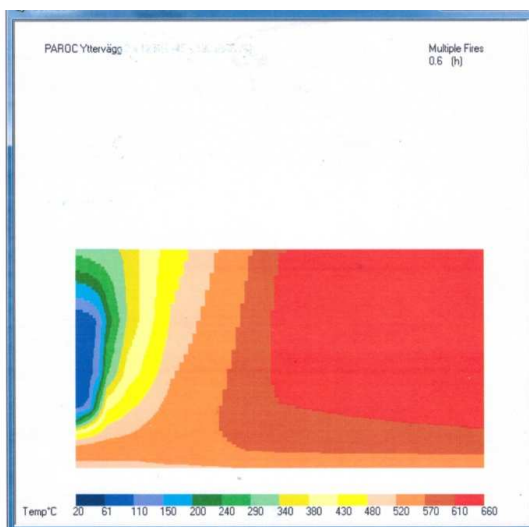
Brandpåverkan: Ensidig (30 minuter)

Belastning: Väggen var belastad med en last motsvarande 4.5 kN/regel. Något brott hade inte inträffat efter 30 minuter. Ungnen stängdes då av och lasten ökades varvid brott inträffade efter 36 minuter för en last motsvarande 16.5 kN/regel.

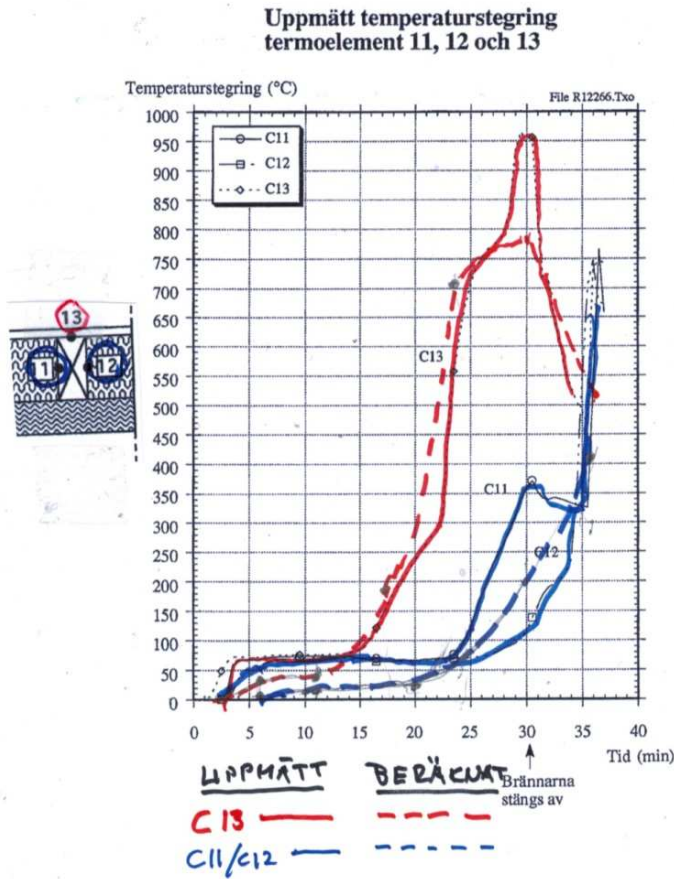
I figur 69 visas vald nodindelningen för väggvärsnittet för TASEF beräkningen.

**Figur 69**

I figur 70 visas en temperaturgraf efter 36 minuter dvs när väggen gick till brott.

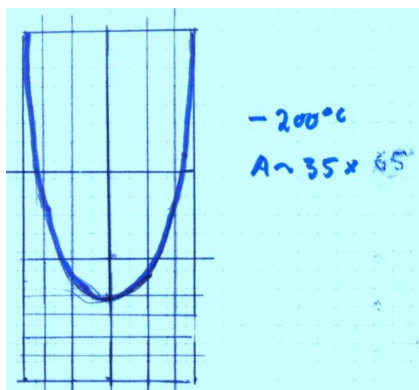
**Figur 70**

Vid försöket uppmättes temperaturerna även inne i väggkonstruktionen bl. a mellan gipsskivan och reglarna samt mitt på reglarna. Beräknade temperaturer jämförs med uppmätta temperaturer enligt figur 71.



**Figur 71**

I figur 72 visas det framtagna effektiva tvärsnittet (35x65) efter 36 minuter då väggen gick till brott med en last per regel av 16.5 kN.



**Figur 72**

Vägghöjden var 2.4 m

Dynamiska elasticitetsmodulen bestämdes för reglarna och medelvärdet var 13720 Mpa. Detta ger enligt ovan en bedömd tryckhållfasthet  $f = 0.002 \times 13720 - 2.08 = 25.4$  Mpa

En beräkning av reglarnas bärförmåga efter 36 minuter ger enligt figur 73 knäcklasten

$N_D = 16.6$  kN/regel att jämföras med lasten vid försöket 16.5 kN/regel.

```
Yttervägg  
Regeldimension vid brottlastdimensionering: 45 x 95 mm, Knäcklängd: 2400 mm  
Regeldimension efter 90 minuters ISO brand: 35 x 65 mm, Knäcklängd: 2400 mm  
Tryckhållfasthet/Emodul 25.4 / 13720  
Kmod = .7  
  
BROTTLASTDIMENSIONERING  
Tryckkapacitet= 58.4 kN  
Slankhetstal= 1.19  
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .55  
Knäcklast= 32.2 kN  
  
BRANDLASTFALLET ( R 90 )  
Tryckkapacitet= 57.7 kN  
Slankhetstal= 1.75  
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .28  
Knäcklast= 16.6 kN  
Ok
```

**Figur 73**

Motsvarande beräkningar vid tiden 30 minuter (R 30) ger en effektiv area av  $45 \times 70 \text{ mm}^2$  samt en beräknad knäcklast av 26.5 kN/regel.

## **Försök 9 (Warringtonfire rapport 174181 - 26 sept. 2008)**

Väggtyp: Innervägg

Skivmaterial: 1x13 Fibergipsskiva (Fermacell) på båda sidor om reglarna

Isolering: -

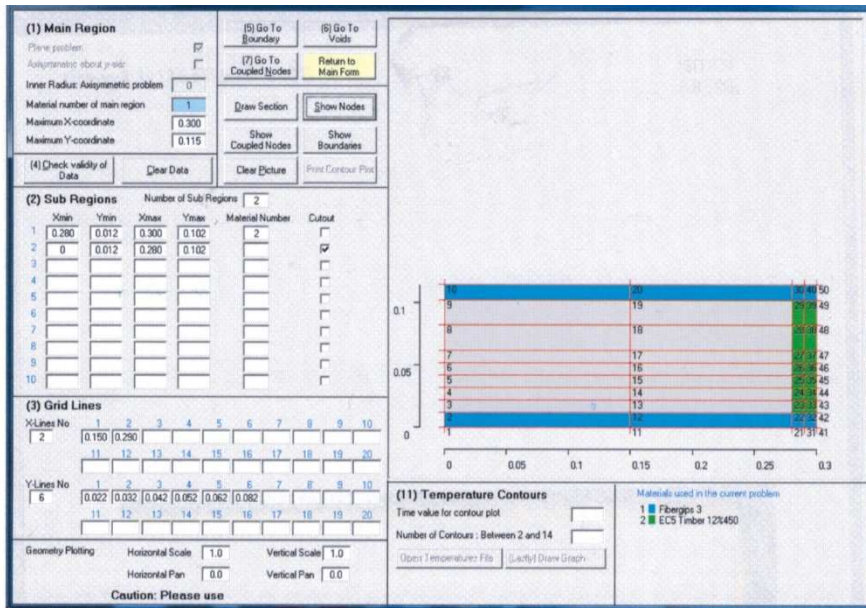
Reglar: 38 x 89 c 600

Brandpåverkan: Ensidig (40 minuter)

Belastning: Väggen var belastad med en last motsvarande 5.5 kN/regel. Något brott hade inte inträffat efter 40 minuter då försöket avslutades.

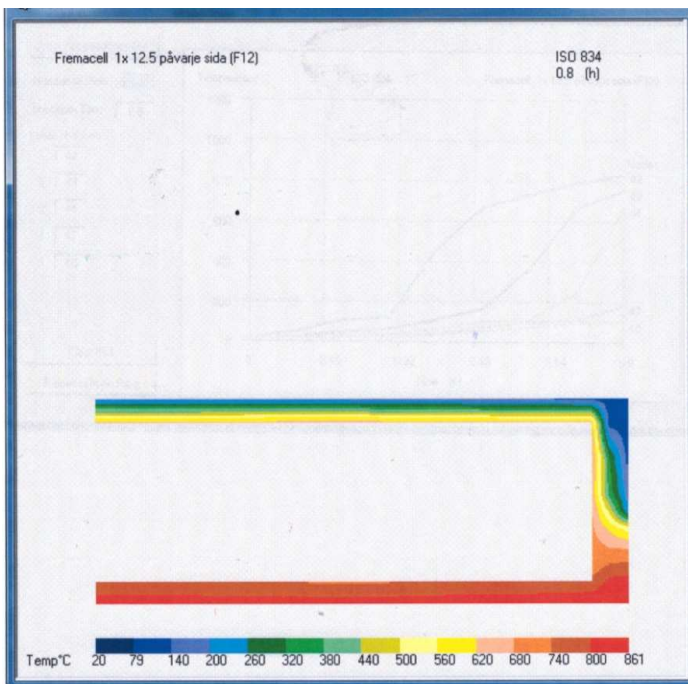
I figur 74 visas vald nodindelningen för väggtvärsnittet för TASEF beräkningen.





**Figur 74**

I figur 75 visas en temperaturgraf efter 40 minuter då försöket avslutades utan att väggen gått till brott.

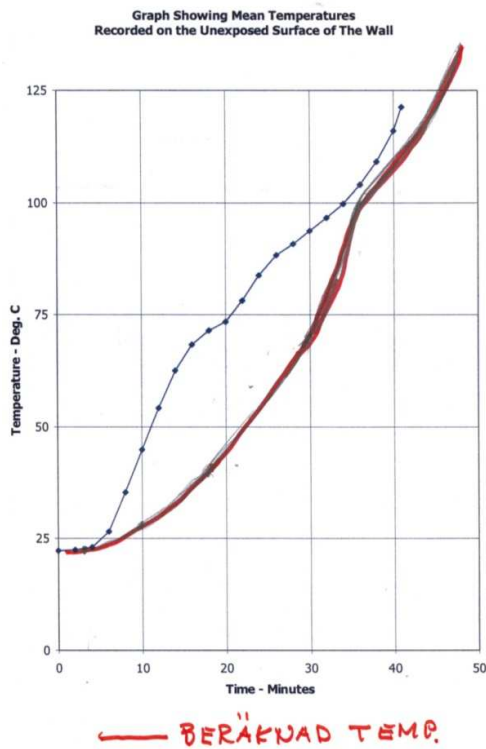


**Figur 75**

Vid försöket uppmättes temperaturerna på väggens baksida. Beräknade temperatur jämförs med uppmätta temperatur enligt figur 76.

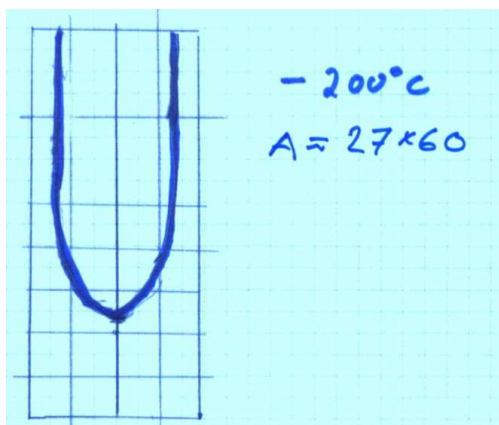


WF Test Report  
No. 174181  
Page 23 of 27



Figur 76

I figur 77 visas det framtagna effektiva tvärsnittet (35x65) efter 40 minuter då försöket avslutades utan att väggen gått till brott.



Figur 77

Vägghöjden var 2.5 m

Någon uppmätt elasticitetsmodul fanns inte och inte heller någon angiven hållfasthetsklass. Densiteten för reglarna var angiven till  $586 \text{ kg/m}^3$ . För beräkningen antas en hållfasthet motsvarande C 24.

En beräkning av reglarnas bärförmåga efter 40 minuter då försöket avbröts utan att väggen gått till brott ger enligt figur 78 knäcklasten  $N_D = 6.5 \text{ kN/regel}$

```
Regeldimension vid brottlastdimensionering: 38 x 89 mm, Knäcklängd: 2500 mm
Regeldimension efter 40 minuters ISO brand: 27 x 60 mm, Knäcklängd: 2500 mm

Tryckhållfasthet/Emodul 21 / 7400
Kmod = .7

BROTTLASTDIMENSIONERING
Tryckkapacitet= 38.2 kN
Slankhetstal= 1.65
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .32
Knäcklast= 12.2 kN

BRANDLASTFALLET ( R 40 )
Tryckkapacitet= 42.5 kN
Slankhetstal= 2.44
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .15
Knäcklast= 6.5 kN
Ok
```

Figur 78

## Försök 10 (MFPA rapport PB3.2/14-045-2 - 13 mars 2014)

Väggtyp: Innervägg

Skivmaterial: 2 x13 Fibergipsskiva (Fermacell) på båda sidor om reglarna

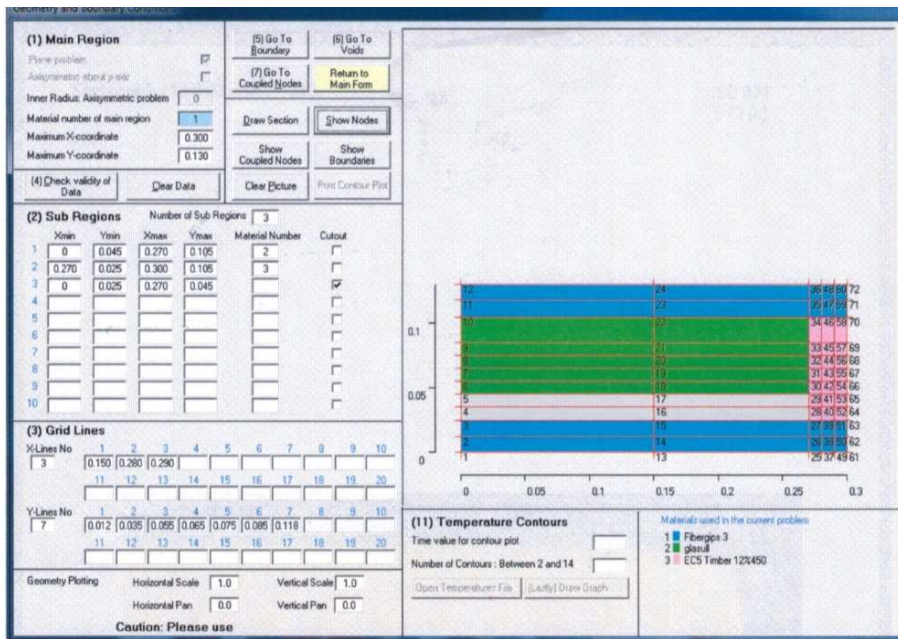
Isolering: 70 glasull

Reglar: 60 x 80 c 600

Brandpåverkan: Ensidig (68 minuter)

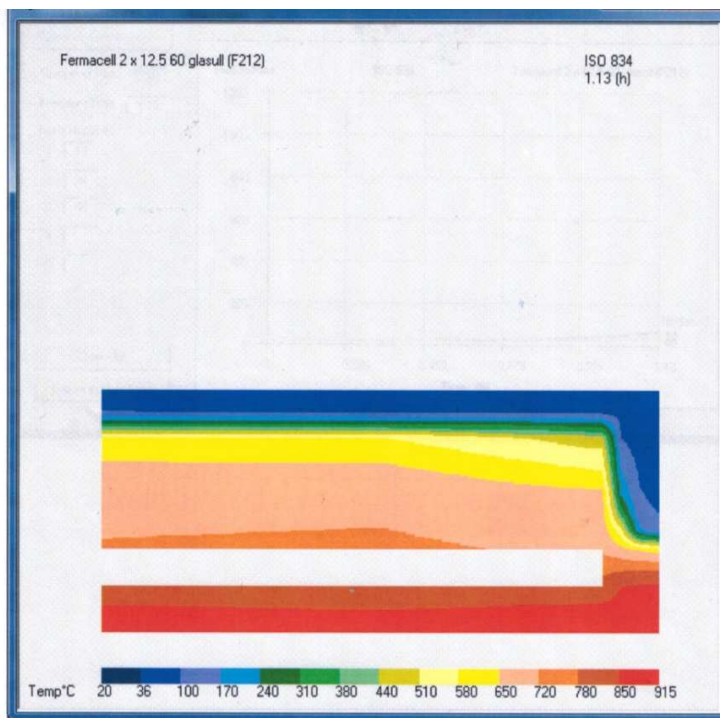
Belastning: Väggen var belastad med en last motsvarande 12 kN/regel. Något brott hade inte inträffat efter 68 minuter då försöket avslutades.

I figur 79 visas vald nodindelningen för väggvärsnittet för TASEF beräkningen.



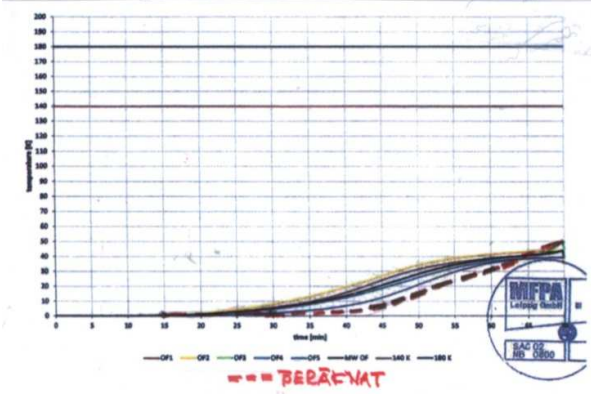
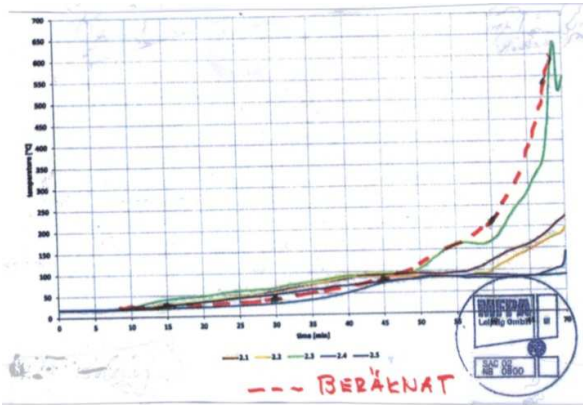
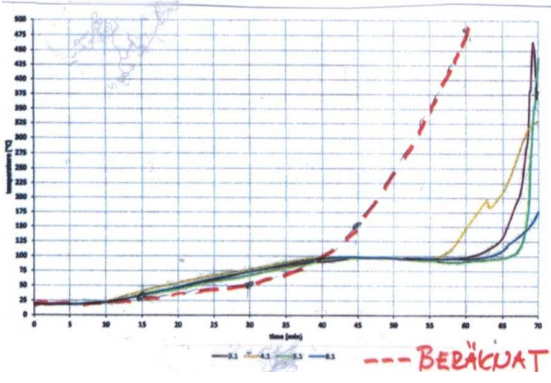
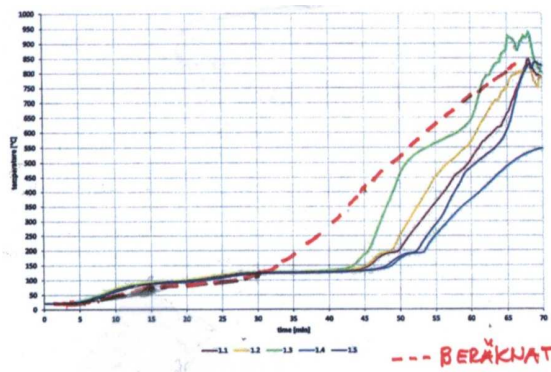
**Figur 79**

I figur 80 visas en temperaturgraf efter 68 minuter då försöket avslutades utan att väggen gått till brott.



**Figur 80**

Vid försöket uppmättes temperaturerna på ett flertal ställen i väggkonstruktionen. Beräknade temperatur jämförs med uppmätta temperatur enligt figur 81.

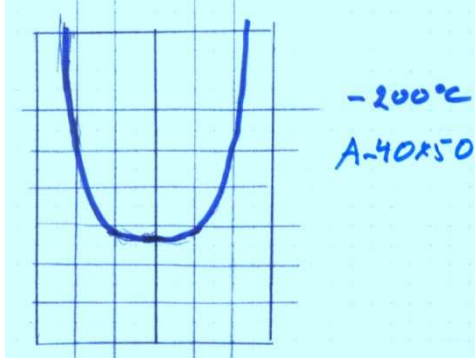


a) Mellan skivorna b) Mitt på regeln c) Baksida isolering d) Baksida vägg

Figur 81

Beräknade temperaturer ligger på säkra sidan. Speciellt gäller det beräknad temperaturer på regelns mitt (fall b) där beräknade temperaturer ligger betydligt högre än uppmätta temperaturer.

I figur 82 visas det framtagna effektiva tvärsnittet (40 x 50) efter 68 minuter då försöket avslutades utan att väggen gått till brott.



**Figur 82**

Vägghöjden var 2.9 m

Någon uppmätt elasticitetsmodul fanns inte och inte heller någon angiven hållfasthetsklass. Densiteten för reglarna var angiven till  $397 \text{ kg/m}^3$ . För beräkningen antas en hållfasthet motsvarande C 24.

En beräkning av reglarnas bärförmåga efter 68 minuter då försöket avbröts utan att väggen gått till brott ger enligt figur 83 knäcklasten  $N_D = 4.2 \text{ kN/regel}$

```
Regeldimension vid brottlastdimensionering: 60 x 80 mm, Knäcklängd: 2900 mm
Regeldimension efter 68 minuters ISO brand: 40 x 50 mm, Knäcklängd: 2900 mm

Tryckhållfasthet/Emodul 21 / 7400
Kmod = .7

BROTTLASTDIMENSIONERING

Tryckkapacitet= 54.2 kN
Slankhetstal= 2.13
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .2
Knäcklast= 10.8 kN

BRANDLASTFALLET ( R 68 )

Tryckkapacitet= 52.5 kN
Slankhetstal= 3.4
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .08
Knäcklast= 4.2 kN
Ok
```

**Figur 83**



## Försök 11 (Pavus rapport Pr-06-2.043 - 2006-04-27)

Väggtyp: Innervägg

Skivmaterial: 1x13 Fibergipsskiva (Fermacell) på båda sidor om reglarna

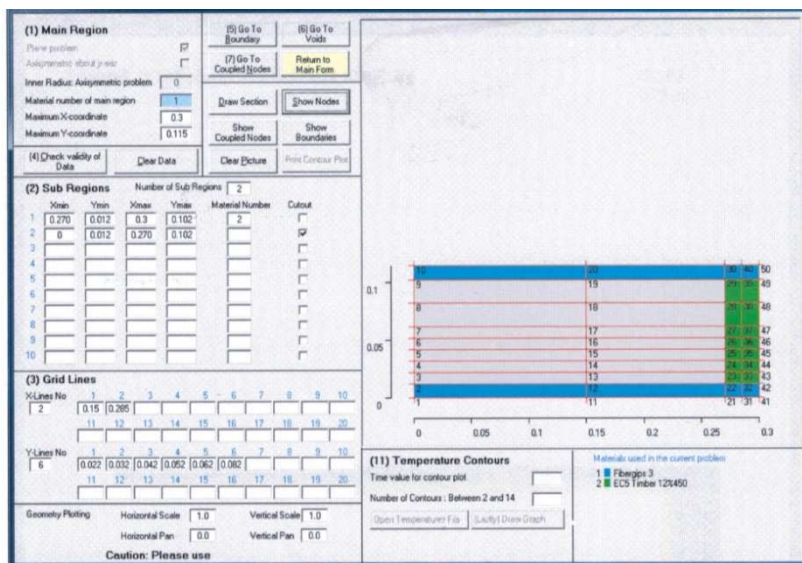
Isolering: -

Reglar: 60 x 100 c 600

Brandpåverkan: Ensidig (47 minuter)

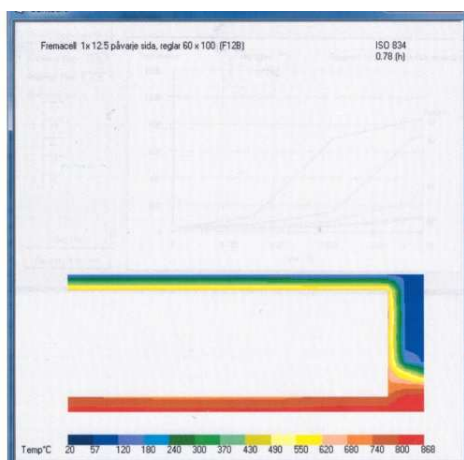
Belastning: Väggen var belastad med en last motsvarande 12 kN/regel. Något brott hade inte inträffat efter 47 minuter då försöket avslutades.

I figur 84 visas vald nodindelningen för väggvärsnittet för TASEF beräkningen.



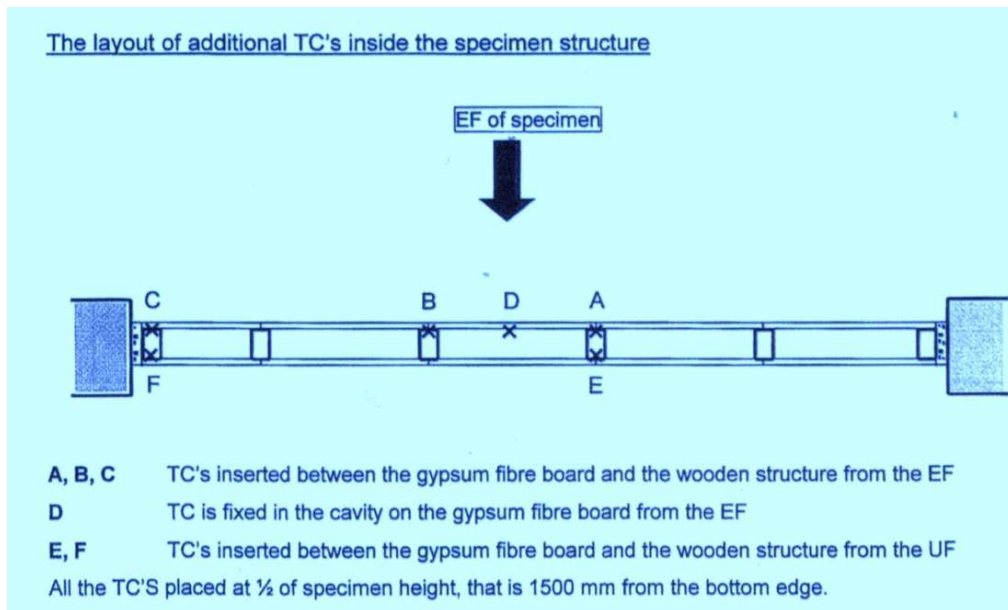
**Figur 84**

I figur 85 visas en temperaturgraf efter 68 minuter då försöket avslutades utan att väggen gått till brott.



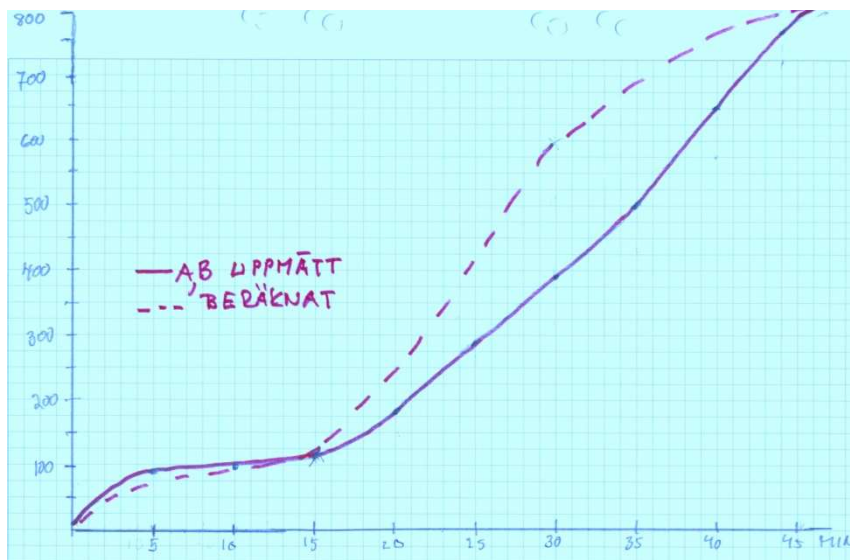
**Figur 85**

Vid försöket uppmättes temperaturerna i väggkonstruktionen på ett antal ställen. Se figur 86.

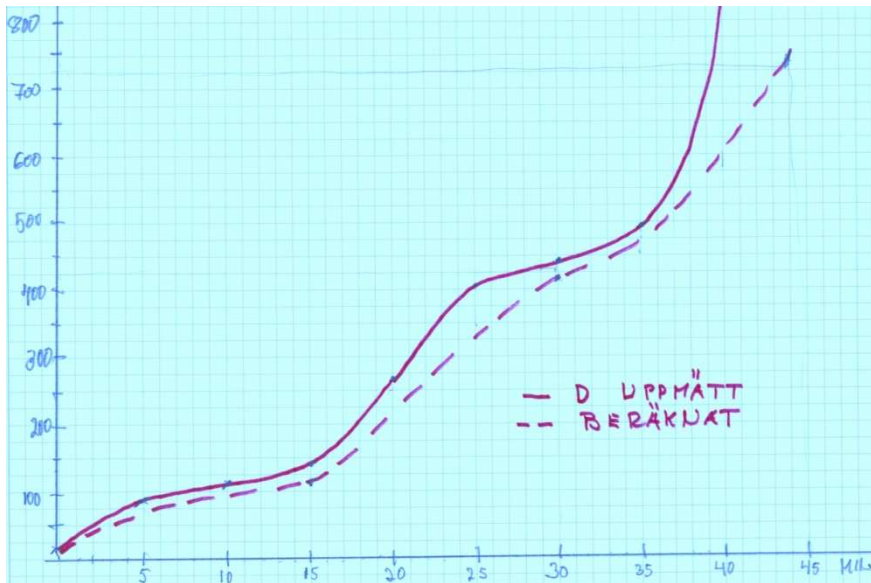


**Figur 86**

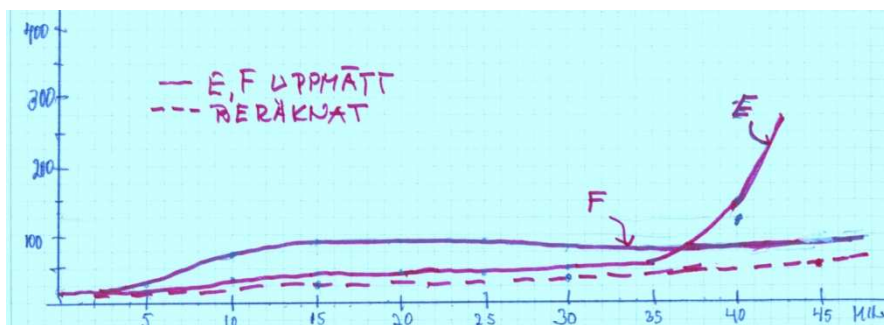
I figur 87,88 och 89 jämförs uppmätta och beräknade temperaturer i de olika punkterna enligt figur 86.



**Figur 87**

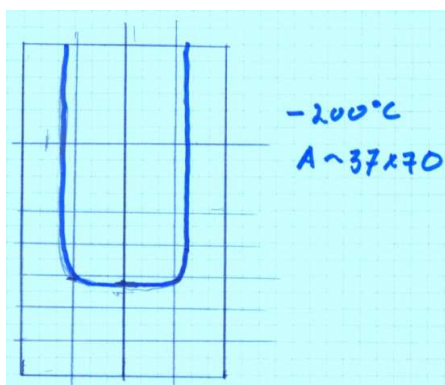


Figur 88



Figur 89

I figur 90 visas det framtagna effektiva tvärsnittet (37 x 70) efter 47 minuter då försöket avslutades utan att väggen gått till brott.



Figur 90

Vägghöjden var 2.9 m

Någon uppmätt elasticitetsmodul fanns inte och inte heller någon angiven hållfasthets-klass. För beräkningen antas en hållfasthet motsvarande C 24.

En beräkning av reglarnas bärförmåga efter 47minuter då försöket avbröts utan att väggen gått till brott ger enligt figur 91 knäcklasten  $N_D = 10.6$  kN/regel

```
Regeldimension vid brottlastdimensionering: 60 x 100 mm, Knäcklängd: 2900 mm
Regeldimension efter 47 minuters ISO brand: 37 x 70 mm, Knäcklängd: 2900 mm

Tryckhållfasthet/Emodul 21 / 7400
Kmod = .7

BROTTLASTDIMENSIONERING

Tryckkapacitet= 67.8 kN
Slankhetstal= 1.7
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .3
Knäcklast= 20.6 kN

BRANDLASTFALLET ( R 47 )

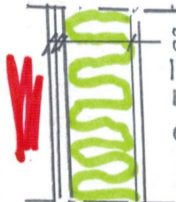
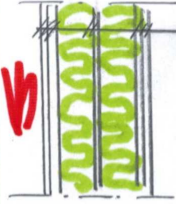
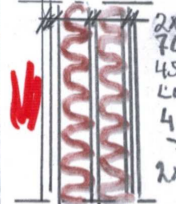

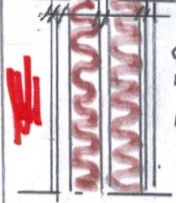
Tryckkapacitet= 67.9 kN
Slankhetstal= 2.43
Reduktionsfaktor på grund av knäckning x = .15
Knäcklast= 10.6 kN
Ok
```

Figur 91

## 6 Sammanställning av de jämförande beräkningarna

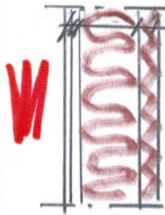




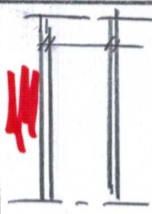
I figur 92 och 93 är resultaten från brandförsöken avseende brottlaster och de jämförande beräknade brottlaster sammanställda. Beräknade brottlaster ligger vanligtvis väl på säkra sidan jämfört med aktuella brottlaster vid brandförsöken. I två fall ligger beräknade brottlaster något över lasterna vid försöken men det rör sig då enbart om några få procent.

Sammanfattat kan bedömas att beskriven metod kan användas för att på ett tillräckligt säkert sätt beräkna förväntad brottlast vid brand för bärande träregelväggar.

| Försök nr | Beskrivning av vägg   | Tid (min) | Laster (kN/regel) |             |      |
|-----------|---|-----------|-------------------|-------------|------|
|           |   |           | Försök            | Beräknad    |      |
| ①         | <br>2x13 Normalgips<br>170 Glasull<br>45x170 Regel<br>9 ltv. gips  | 55        | 12,5              | BRÖTT       | 11,1 |
|           |   | 60        | —                 | —           | 0,5  |
| ②         | <br>13 Normalgips<br>15 Brandgips<br>95 Glasull<br>45x95 Regel<br>Luftspalt<br>45x95 Regel<br>95 Glasull<br>15 Brandgips<br>13 Normalgips | 60        | 12,5              | EJ<br>BRÖTT | 37,7 |
|           |   | 74        | 21,5              | BRÖTT       | 12,1 |
| ③         | <br>2x15 Brandgips<br>70 Stenvull<br>45x70 Regel<br>Luftspalt<br>45x70 Regel<br>70 Stenvull<br>2x15 Brandgips                            | 60        | 5,5               | EJ<br>BRÖTT | 35,6 |
|           |   | 89        | 27,5              | BRÖTT       | 14,3 |
| ④         | <br>15 Brandgips<br>12 Minerit<br>170 Stenvull<br>45x170 Regel<br>9 ltv. gips  | 90        | 19,5              | EJ<br>BRÖTT | 8,6  |
|           |   | 101       | 30                | BRÖTT       | 31,5 |
| ⑤         | <br>15 Brandgips<br>12 Minerit<br>95 Stenvull<br>45x95 Regel<br>Luftspalt<br>45x95 Regel<br>95 Stenvull<br>12 Minerit<br>15 Brandgips    | 90        | 19,1              | EJ<br>BRÖTT | 9,9  |
|           |   | 91        | 19,1              | BRÖTT       | 9,9  |

Figur 92



| Försök nr | Beskrivning av vägg   | Tid (min) | Laster (kN/regel) |             |          |
|-----------|---|-----------|-------------------|-------------|----------|
|           |   |           | Försök            |             | Beräknad |
| 6         |  <p>2x13 Normalgips<br/>120 Stenull<br/>45x120 Regel<br/>50 Stenull<br/>(västkurstskiva)</p>           | 60        | 12                | EJ<br>BLOTT | 12,4     |
|           |   | 61        | 16,1              | BLOTT       | 12,4     |
| 7         |  <p>15 Brandgips<br/>120 Stenull<br/>45x120 Regel<br/>15 Brandgips</p>                                 | 57        | 5                 | BLOTT       | 2        |
|           |   | -         | -                 | -           | -        |
| 8         |  <p>13 Normalgips<br/>95 Stenull<br/>45x95 Regel<br/>50 Stenull<br/>(skalmurstskiva)</p>              | 30        | 4,5               | EJ<br>BLOTT | 26,5     |
|           |   | 36        | 16,5              | BLOTT       | 16,6     |
| 9         |  <p>12 Fermacell<br/>Fibergips<br/>38x84 Regel<br/>12 Fermacell<br/>Fibergips</p>                    | 30        | 5,5               | EJ<br>BLOTT |          |
|           |   | 40        | 5,5               | EJ<br>BLOTT | 6,5      |
| 10        |  <p>2x12 Fermacell<br/>Fibergips<br/>70 Stenull<br/>60x80 Regel<br/>2x12 Fermacell<br/>Fibergips</p> | 60        | 12                | EJ<br>BLOTT | -        |
|           |   | 66        | 12                | BLOTT       | 4,2      |
| 11        |  <p>12 Fermacell<br/>Fibergips<br/>60x80 Regel<br/>12 Fermacell<br/>Fibergips</p>                    | 30        | 12                | EJ<br>BLOTT | 29,5     |
|           |   | 47        | 12                | EJ<br>BLOTT | 10,6     |

Figur 93

## 7 Några ytterligare analyserade brandförsök

Några ytterligare nyligen genomförda brandförsök på belastade träregelväggar har analyserats och beräknade brottlaster med beskriven modell har jämförts med vid försöken noterade brottlaster. Försöksrapporterna är av olika skäl sekretessbelagda (i varje fall för tillfället). Därför kan inte några detaljerade uppgifter för närvarande redovisas utan nedan ges en kort och neutral sammanfattning av försöken och de jämförande beräkningarna. Två försök avsåg väggar som skulle uppfylla brandteknisk klass R 60 samt två försök väggar som skulle uppfylla brandteknisk klass R 90.

För ovan nämnda försök blev undertecknad innan försöken ombedd att beräkna lämpliga lastnivåer vid respektive försök. Givetvis vill man hitta lastnivåer som ligger så nära som möjligt de brottlaster som motsvarar R 60 respektive R 90 eller att för valda lastnivåer aktuella väggar går till brott vid 61 minuter respektive vid 91 minuter. Problemet är dock att om för hög lastnivå väljs finns risken att väggen i stället går till brott vid t e x 57 minuter respektive vid 87 minuter. Någon formell klassificering motsvarande R 60 respektive R 90 kan då inte erhållas på basis av försöksresultaten. Känner man å andra sidan till förutsättningarna för respektive konstruktion och vilka rimliga lastnivåer som i verkligheten kan bli aktuella vid lastfallet brand kan man välja lämplig last vid respektive försök utifrån detta och då förhoppningsvis komma fram till lastnivåer som gör att brott inte inträffar innan 60 minuter respektive innan 90 minuter. Om brott inte skett innan respektive tid kan man därefter öka lasten stegvis tills dess brott sker. Visserligen kan eventuellt hävdas att det inte är säkert att väggen skulle gått till brott vid samma tidpunkt om den högre lasten legat på från början. Å andra sidan fortsätter väggreglarna att kola under den utökade tiden fram till dess brott sker och det effektiva tvärsnittet bör därmed vara mindre än det effektiva tvärsnittet var vid 60 minuter respektive vid 90 minuter. Detta skulle tala för att erhållen brottlast borde kunna ses som en bedömd brottlast på säkra sidan vid 60 minuter respektive vid 90 minuter.

Bedömningen av aktuella brottlaster innan försöken baserades på principerna redovisade ovan. Nedan anges för de fyra försöken beräknad brottlast vid 60 minuter (R 60) respektive 90 minuter (R 90) , föreslagen/överenskommen last vid respektive försök, tidpunkt och verklig brottlast samt beräknad brottlast vid tidpunkten för brott. Samtliga laster gäller kN per regel. I det första försöket behölls ursprunglig lastnivå även efter 60 minuter ända fram till dess brott inträffade vid 79 minuter medan i de andra försöken ökades lasten stegvis till dess brott inträffade.

| Försök | Brandklass | Ber. brottlast | Föresl. last | Tidpunkt /Brottlast | Beräknad brottlast |
|--------|------------|----------------|--------------|---------------------|--------------------|
| 1      | R 60       | 22.6           | 10.7         | 79 min / 10.7       | 3.1                |
| 2      | R 60       | 24.1           | 15           | 64 min / 17.5       | 17                 |
| 3      | R 90       | 37             | 25           | 95 min / 31         | 30                 |
| 4      | R 90       | 37             | 25           | 94 min / 33         | 32                 |

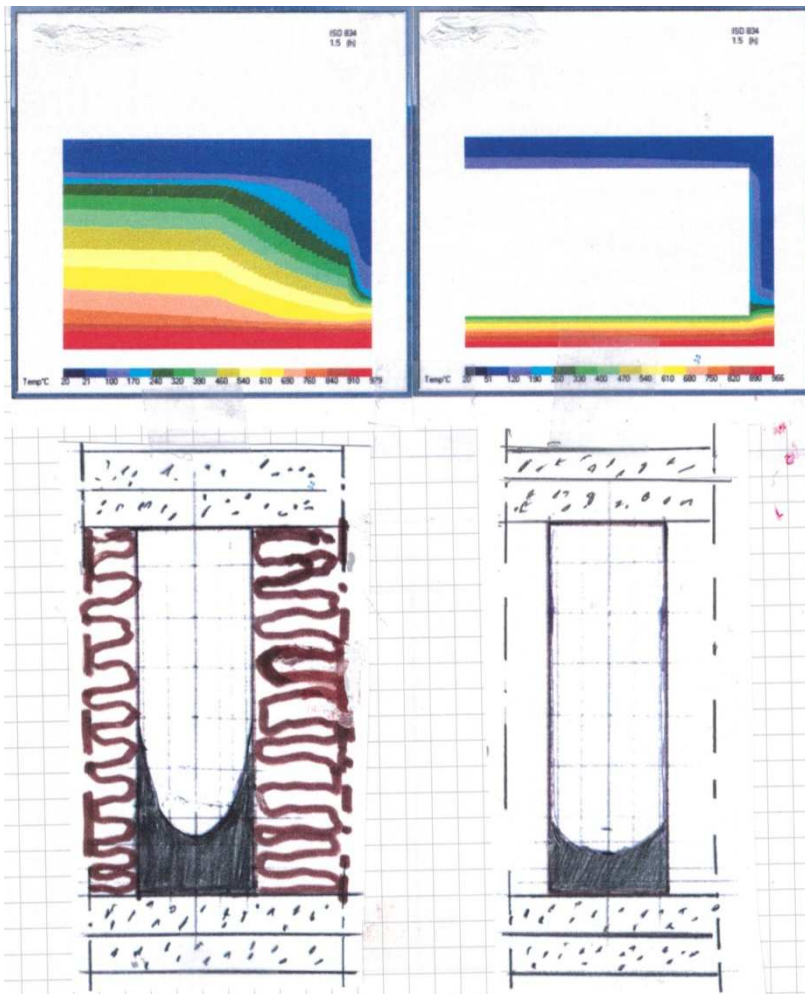
Beräknade brottlaster vid respektive tidpunkt stämmer bra överens med brottlasterna vid försöken med undantag av försök 1. Beräknad brottlast var där endast ca en tredjedel av brottlasten vid försöket. Vid detta försök kunde noteras att aktuella skivor mot brandrummet var "intakta" utan några registrerade nedfall och utan några större noterade deformationer av väggen ända fram till tidpunkten för brott. Då föll skivorna plötsligt ner och brott inträffade omedelbart. Ofta sker söderfall av skivorna mot brandsidan successivt . En möjlig förklaring kan vara att skivorna i aktuellt fall styvade upp väggreglarna så att dessas slankhetstal i styva riktningen var mindre och därmed bärförmågan större. När skivorna sedan plötsligt föll ned kom brottet omedelbart. Det bör understrykas att redovisade värden ovan är preliminära.

## 8 Några illustrationsexempel

En fördel med att på beskrivet sätt beräkna temperaturerna i hela väggkonstruktionen och utifrån detta bestämma förkolningsgräns och effektivt tvärsnitt för reglarna är att man på ett överskådligt sätt kan se vad olika ändringar i konstruktionsutformning mm kan innebära. Detta belyses med några exempel nedan.

Figur 94 visar beräknade temperaturer efter 90 minuter för en ensidigt brandpåverkad vägg med två brandgipsskivor på vardera sida. En symmetrilinje har lagts mitt i regeln. I den vänstra delfiguren finns stenullsisolering mellan reglarna medan i den högra finns ingen isolering alls.

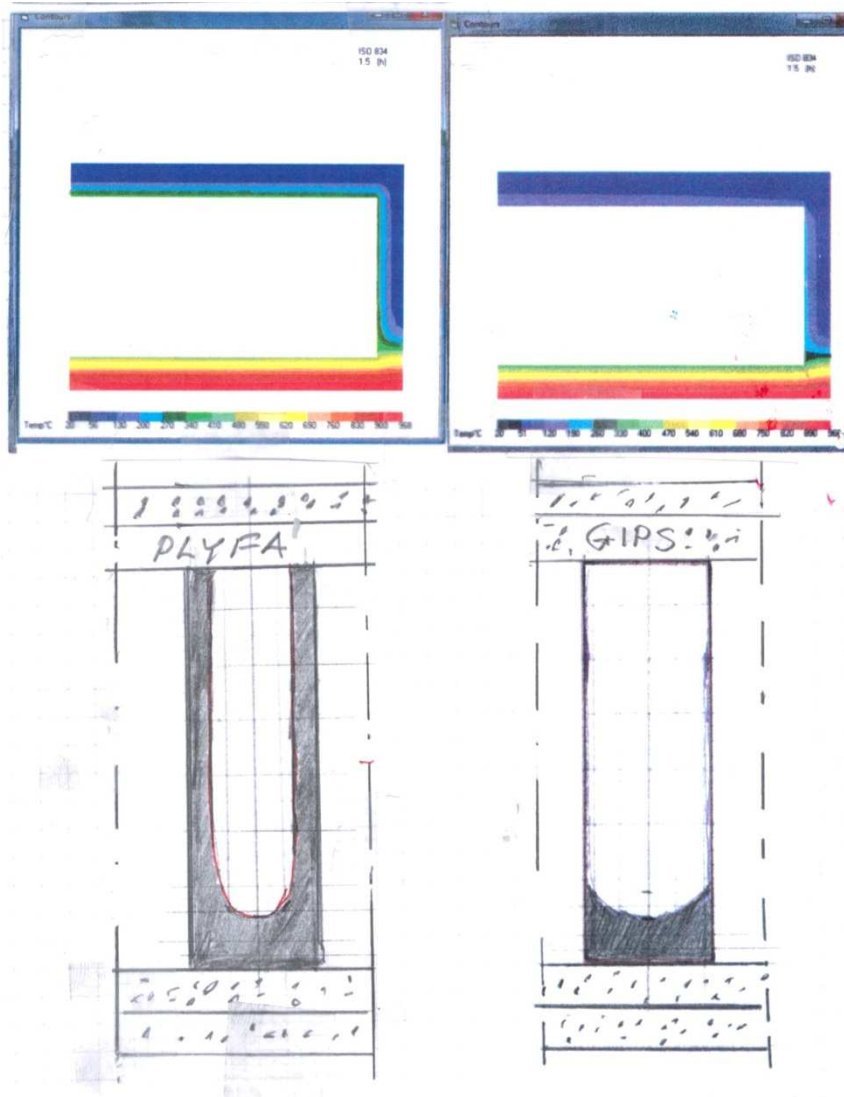
I de nedre delfigurerna har 200 graders isothermerna lagts in motsvarande det effektiva tvärsnittet.



**Figur 94**

Det kan synas lite märkligt att det effektiva tvärsnittet är större vid väggen utan isolering. Det kan dock förklaras av att i fallet med isolering ökar temperaturerna i gipsskivorna på brandsidan snabbare än vid det oisolerade fallet samt att i det oisolerade fallet kylv gipsskivorna på den icke brandutsatta sidan konstruktionen, under den tid det tar att koka bort det i gipsskivorna bundna vattnet (ca 21 %). Av beräkningarna framgår att temperaturen i luftutrymmet mellan reglarna i det oisolerade fallet även vid tiden 90 minuter är begränsad till drygt 200 grader.

Om däremot den inre gipsskivan på den icke brandutsatta sidan byts ut mot t e x en plyfaskiva blir resultatet annorlunda. Se figur 95.

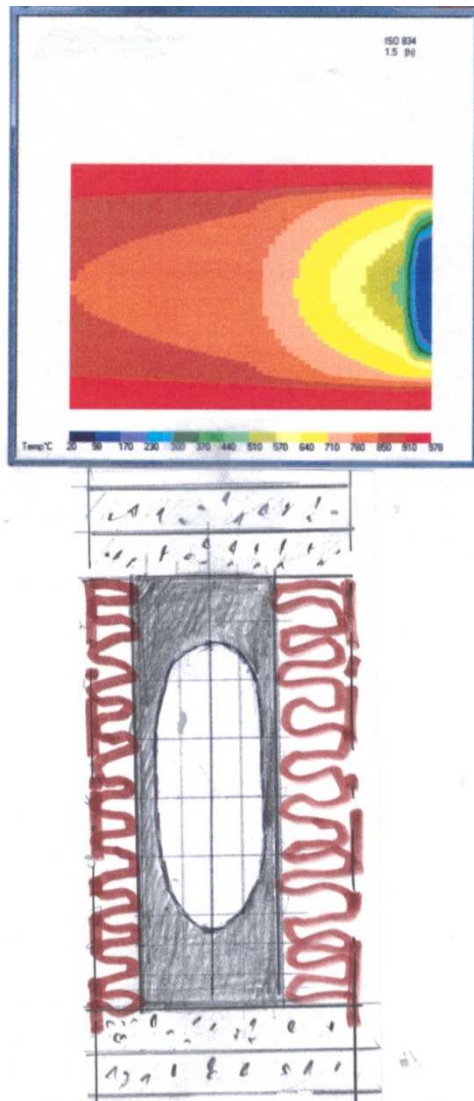


**Figur 95**

Plyfaskivan på den icke brandutsatta sidan har inte bundet vatten såsom gipsskivan och den kylande effekten uteblir därmed. Av beräkningarna framgår att temperaturen i luftutrymmet mellan reglarna vid tiden 90 minuter är ca 400 grader att jämföras med ca 200 grader vid alternativet med gipsskiva.

Ett annat intressant fall är alternativet med gipsskivor, ingen isolering men brand från båda sidor. Då visar beräkningarna att reglarna är helt borta efter 90 minuter. Detta beroende på att värmen inte leds bort mot en kallare sida utan temperaturen i hålutrymmet mellan reglarna värmas obönhörligen successivt upp. I detta fall med samtidig brand från två sidor gör en stenullsisolering mellan reglarna nytta. Se figur 96.





**Figur 96**

Slutsatsen blir alltså att vid brand från en sida är i aktuellt fall konstruktionen något bättre utan isolering men vid brand från två håll samtidigt krävs isolering med stenuil i väggen för att konstruktionen överhuvudtaget ska ha någon bärförmåga efter 90 minuter. Vid andra kombinationer av skivor eller skivtjocklekar kan resultaten vid motsvarande beräkningar bli annorlunda.

En stor fördel med föreslagen modell för beräkning av brandmotståndet för bärande träregelväggar är inte minst i samband med utveckling av nya konstruktionslösningar och kombinationer av olika material. Genom metoden kan en mängd kostsamma brandprovningar av alla tänkbara kombinationer undvikas och antalet brandprov i slutänden begränsas till ett eller ett par verifierande brandprov. Behov och omfattning av verifierande brandprov i slutändan styrs främst av eventuella osäkerheter i antagna materialdata.