

# Brandsäkerhet i flervånings bostadshus med trästomme

- Utformning av en REI 90 vägg

*Roger Svensson*

Sektionen för Väg och Vattenbyggnad  
Avdelningen för Bärande Konstruktioner  
Lunds Tekniska Högskola  
Box 118  
221 00 Lund

School of Civil Engineering  
Department of Structural Engineering  
Lund Institute of Technology  
Box 118  
S-221 00 Lund  
Sweden

## **Brandsäkerhet i flervånings bostadshus med trästomme - Utformning av en REI 90 vägg**

Fire safety in multistorey timber residential buildings  
- Design of a REI 90 wall.

av  
Roger Svensson  
1995

Abstract: The report shows a possible way to determine a REI 90 wall. This is done by studies of fire safety theories, the use of four different calculation methods, small scale tests of different wall types and finally a full scale ISO 834 test of a 3x3 metre large wall. Suggestions of some fairly possible REI 90 walls are also included. ( Swedish )



Rapport TVBK-5075  
ISSN 0349-4969  
ISRN: LUTVDG/TVBK--5075 --SE

## Examensarbete

Handledare: Tomas Alsmarker

December 1995

## FÖRORD

Denna rapport är ett examensarbete vid Väg & Vattenlinjen, Lund, vilket är det sista momentet före examinering till civilingenjör.

Examensarbetet har utförts på Avdelningen för Bärande Konstruktioner, Lunds Tekniska Högskola och i nära samarbete med Gullfiber AB, Billesholm.

Under arbetets gång har jag kommit i kontakt med en del personer som tillsammans gjort detta examensarbete möjligt.

Jag skulle därför speciellt vilja passa på att tacka min handledare Tomas Alsmarker, tekn. lic., Avd. för Bärande Konstruktioner samt Leif Andersson, civ. ing., Gullfiber AB, som genom sina erfarenheter, rådgivning, hjälpsamhet och övriga bidrag hållit mig på rätt spår.

Ett stort tack skulle jag även vilja rikta till bollplanket och inspiratören prof. Sven Thelandersson, Avd. för Bärande Konstruktioner, uppfinnarjocken Per-Olof Rosenqvist, Avd. för Bärande Konstruktioner samt övrig trevlig personal på Bärande Konstruktioner.

Tack även till företaget Gullfiber AB som genom tillhandahållandet av material, utrustning, personal och rent ekonomiska medel gjort att detta examensarbete kunde utföras även ur ekonomisk synvinkel.

Lund i november 1995



Roger Svensson



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

### SAMMANFATTNING

<b>1. INLEDNING .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ATT BYGGA I TRÄ.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. FÖRDELAR MED ATT BYGGA I TRÄ.....</b>	<b>3</b>
2.1.1. EKONOMI.....	3
2.1.2. LÄTTA BYGGNADER .....	3
2.1.3. TORRT BYGGANDE.....	3
2.1.4. KORT BYGGTID .....	4
2.1.5. EKOLOGISKT BYGGANDE .....	4
<b>2.2. ATT TÄNKA PÅ.....</b>	<b>4</b>
2.2.1. LJUDISOLERING .....	4
2.2.2. SVIKT.....	5
2.2.3. RÖRELSE.....	5
2.2.4. STABILISERING .....	5
<b>3. BRANDSKYDD.....</b>	<b>7</b>
<b>3.1. NYTT SYNSÄTT - FUNKTIONSBASERADE KRAV.....</b>	<b>7</b>
<b>3.2. KONSTRUKTIV UTFORMNING.....</b>	<b>7</b>
3.2.1. BRANDBLOCKERING .....	8
3.2.2. VÄGGAR.....	9
3.2.3. BJÄLKLAG .....	10
3.2.4. STOMSTABILITET .....	11
3.2.5. TRAPPOR OCH TRAPPHUS.....	11
3.2.6. VINDSUTRYMME OCH UNDERTAKSUTRYMME.....	11
3.2.7. HISS.....	11
3.2.8. YTSKIKT OCH BEKLÄDNAD .....	12
3.2.9. UTVÄNDIG BRANDSPRIDNING, FASADER.....	12
3.2.10. SPRINKLERS .....	12
<b>4. LITE BRANDHISTORISK KURIOSA.....</b>	<b>15</b>
4.1. LANDSKAPSLAGARNA .....	15
4.2. STADSLAGARNA.....	15
4.3. 1619 STADGA OM STÄDERNAS ADMINISTRATION .....	16
4.4. YRKESAVLÖNAD PERSONAL OCH UTRUSTNING.....	17
<b>5. TEORI OM BRAND OCH TRÄ.....</b>	<b>19</b>
5.1. ANTÄNDNING .....	19
5.2. FÖRBRÄNNING, KOLSKIKTSTILLVÄXT.....	20
<b>5.3. BRANDFÖRLOPP.....</b>	<b>22</b>
5.3.1. ANTÄNDNINGSFASEN .....	23
5.3.2. FLAMFASEN .....	23
5.3.3. GLÖDFASEN .....	24
5.3.4. BRANDFÖRLOPP OCH DIMENSIONERINGSHÄNSYN .....	24
<b>5.4. BRANDSPRIDNING.....</b>	<b>24</b>
<b>5.5. TRÄETS STYRKA VID BRAND.....</b>	<b>26</b>
5.5.1. DRAGHÅLLFASTHET .....	26
5.5.2. TRYCKHÅLLFASTHET .....	27
5.5.3. BÖJHÅLLFASTHET .....	28
5.5.4. ELASTICITETSMODUL.....	28



<b>6. NÅGRA BERÄKNINGSMETODER .....</b>	<b>29</b>
<b>6.1. FÖRUTSÄTTNINGAR.....</b>	<b>29</b>
6.1.1. GIPSSKIVORNAS SKYDDANDE FÖRMÅGA .....	30
6.1.2. ISOLERINGENS BETYDELSE .....	30
6.1.3. TOTAL SKYDDSTID.....	30
<b>6.2. PRESENTATION AV DE OLIKA BERÄKNINGSMETODERNA.....</b>	<b>31</b>
6.2.1. METOD 1 OCH 2 ENLIGT CARLING .....	31
6.2.2. METOD 3 OCH 4 ENLIGT EUROCODE .....	32
<b>6.3. BERÄKNINGSMETOD 1 .....</b>	<b>32</b>
<b>6.4. BERÄKNINGSMETOD 2 .....</b>	<b>34</b>
<b>6.5. BERÄKNINGSMETOD 3 .....</b>	<b>36</b>
<b>6.6. BERÄKNINGSMETOD 4 .....</b>	<b>38</b>
<b>6.7. JÄMFÖRELSE MELLAN BERÄKNINGSMETODERNA .....</b>	<b>40</b>
<b>6.8. ADDITIONSMETOD ENLIGT NBCC.....</b>	<b>40</b>
<b>7. FÖRSÖK I REDUCERAD SKALA.....</b>	<b>43</b>
<b>7.1. KONSTRUKTION.....</b>	<b>43</b>
7.1.1. MATERIAL .....	43
7.1.2. KONSTRUKTION OCH TERMOELEMENTPLACERING .....	44
<b>7.2. MONTERING .....</b>	<b>45</b>
<b>7.3. PROVNINGSFÖRFARANDE.....</b>	<b>45</b>
<b>7.4. RESULTAT OCH DISKUSSION.....</b>	<b>46</b>
7.4.1. TEMPERATURKURVOR .....	46
7.4.2. KOMMENTARER TILL TEMPERATURKURVORNA.....	50
7.4.3. FÖRKOLNING .....	50
<b>7.5. SLUTSATS .....</b>	<b>52</b>
<b>7.6. FELKÄLLOR.....</b>	<b>52</b>
<b>7.7. TRÄREGLARNAS FUKTNIVÅ .....</b>	<b>52</b>
<b>8. FULLSKALIGT BRANDPROV .....</b>	<b>53</b>
<b>8.1. KONSTRUKTION OCH MATERIAL.....</b>	<b>53</b>
<b>8.2. PROVUPPSTÄLLNING.....</b>	<b>54</b>
<b>8.3. E-MODUL BESTÄMNING AV REGLAR.....</b>	<b>54</b>
8.3.1. FÖRBEREDELSE.....	54
8.3.2. PROVUPPSTÄLLNING .....	54
8.3.3. UTFÖRANDE.....	55
8.3.4. RESULTAT FRÅN E-MODULS MÄTNINGARNA.....	56
<b>8.4. TRYCKPROV AV REGELKONSTRUKTION .....</b>	<b>57</b>
<b>8.5. BESTÄMNING AV FULLSKALEPROVETS LASTNIVÅ.....</b>	<b>59</b>
8.5.1. LASTNIVÅN FÖR ETT FEMVÅNINGSHUS .....	59
8.5.2. LASTKAPACITET FÖR FULLSKALEPROVETS REGLAR.....	59
8.5.3. VAL AV LASTNIVÅ.....	61
<b>8.6. MONTERING .....</b>	<b>62</b>
<b>8.7. UTFÖRANDE AV BRANDPROV .....</b>	<b>63</b>
<b>8.8. RESULTAT OCH DISKUSSION.....</b>	<b>65</b>
<b>9. SLUTSATSER.....</b>	<b>69</b>
<b>9.1. REI 90 VÄGGAR.....</b>	<b>70</b>

REFERENSER

BILAGOR: A - E

## SAMMANFATTNING

Syftet med detta examensarbete var att projektera och utforma en REI 90 träregelvägg. Bakgrunden till detta är att nya funktionsbaserade byggnormer har medfört ett behov av REI 90 väggar vid byggnation av bostadshus med fem våningar eller mer.

Efter jämförelse mellan olika beräkningsmetoder för brandpåverkade träregelvärsnitt, visade sig en ”effektiv tvärsnittsmetod ” enligt Eurocode vara mest lämplig att använda.

Småskaliga brandprov av olika väggtyper genomfördes för att få en uppfattning om den inbränning man får vid en 90 minuters standardbrand. Utifrån dessa resultat kombinerat med Eurocodes beräkningsmetod utformades en väggkonstruktion som skulle kunna klara av en lastnivå på 32 kN / regel vid en standardbrand.

Väggen bestod av 45x120 reglar med glasull mellan reglarna. Den var skyddad med dubbla brandgipsskivor på den exponerade sidan. På den icke exponerade väggsidan fanns ett vindskydd samt en 22x75 spikbräda, som fungerade som avstyvare i reglarnas veka riktning. Dessutom fanns en plastfolie mellan det inre gipslagret och reglarna.

Då förutsättningarna verkade goda för att en sådan vägg skulle tåla 90 minuters standardbrand (ISO 834), beslöts att ett fullskaligt brandprov skulle utföras. Ett projekterat femvånings bostadshus med träregelkonstruktion låg till grund för beräkningen av lastnivån i brandlastfallet. Ur beräkningen framkom att en lastnivå på 26 kN / regel skulle vara lämpligt för det fullskaliga försöket.

Denna väggkonstruktion provades på Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Tyvärr knäckte väggen redan efter 81,5 minuter. Men, med hjälp av de data som erhöles vid provet kan ändå troliga REI 90 väggar konstrueras. Den provade väggkonstruktionen kan förbättras med ökad regeldimension, extra skivbeklädning samt eventuellt genom att använda annat isolermaterial.



- Brandsäkerhet i flervånings bostadshus med trästomme -  
- Utformning av en REI 90 vägg -

---

## 1. INLEDNING

Då Boverkets byggregler 94 ( BBR 94 ) och Boverkets konstruktionsregler 94 ( BKR 94 ) trädde ikraft den förste januari 1994, ersattes de tidigare detaljreglerna istället med funktionsbaserade krav. Detta gör sig kanske tydligast gällande i materialspecifikationerna. Exempelvis då Nybyggnadsregler ( NR ) tidigare krävde obrännbart material kräver BBR 94 endast att materialet skall uppfylla de funktioner som ställs. Således kan man idag välja att bygga i vilket material som man önskar så länge man kan påvisa att de olika funktionsbaserade kraven uppfylls. Detta har medfört att det nu är tillåtet att bygga flervåningshus högre än två våningar med bärande stomme i trä. En del byggföretag har idag redan projekt där man utnyttjar trä som bärande material både i väggar och bjälklag. Exempelvis kan nämnas Kv. Orgelbänken i Linköping, ett fyrvåningshus innehållande 36 lägenheter som Skanska idag håller på att färdigställa. I Luleå har Lindbäcks Bygg AB byggt studentbostäder omfattande 176 lägenheter i två och fyra våningar.

Vid Lunds Tekniska Högskola, avdelningen för Bärande Konstruktioner förutspåddes denna utveckling redan på ett tidigt stadium och man har sedan några år tillbaka haft forskning angående att bygga flervåningshus i trä. Detta har idag, under professor Sven Thelanderssons ledning, även utvidgats till ett internationellt projekt där många europeiska länder är inblandade.

Ett annat mycket viktigt projekt, som Bärande Konstruktioner, LTH tillsammans med Skanska och Södra Timber är mitt uppe i, är byggandet av bostadsområdet Wälludden i Växjö. Man har i detta projektet lagt ned stora resurser för att hitta bra konstruktions- och detaljlösningar. Meningen är att dessa fyra och femvåningshus, helt i trä, skall stå som förebild och goda referensobjekt för kommande byggnation av flervåningshus i trä.

Idag, när detta skrivs, befinner sig det svenska bostadsbyggandet trots allt i en stor kris. Med höga räntor, minskade subventioner, höjd byggmoms och politisk instabilitet rörande bostadspolitiken har man idag fått ett dödläge där så gott som inga bostäder byggs trots att behovet finns.

Det är således inte så konstigt att man försöker hitta andra och billigare vägar för att producera bostäder. En av de här vägarna är flervåningshus i trä. I Nordamerika där man i decennier byggt i trä är detta idag upp till 30 procent billigare än att bygga i betong. Det är därför inte konstigt om många av våra framtida bostäder kommer att vara byggda helt av trä.

Det är emellertid inte helt problemfritt att bygga i trä. Ett område som man måste titta extra noga på är brandskyddet, framförallt när man kommer upp i fem våningar. De bärande väggarna måste då klara en 90 minuters standardbrand, vilket kan vara ett mycket tufft krav för en vägg, som samtidigt skall vara ekonomiskt gångbar.

**Syftet med detta examensarbete har varit att utifrån ovanstående problem höja det egna brandteoretiska kunnandet samt närmare studera hur en REI 90 vägg kan se ut. Detta har gjorts genom teoristudier, jämförelse och beräkningar med olika modeller, småskaliga försök utförda med två olika väggtyper i Gullfibers miniugn och slutligen förberedelser och utförande av ett fullskaligt brandtest av en väggtyp på Sveriges Provnings och Forskningsinstitut i Borås.**

**- Brandsäkerhet i flervånings bostadshus med trästomme -  
- Utformning av en REI 90 vägg -**

---

## 2. ATT BYGGA I TRÄ

Intresset för att bygga flerbostadshus i trä har markant ökat de senaste två åren. Detta beror på att det tidigare inte varit tillåtet att bygga hus högre än två våningar där den bärande stommen var av trä. Orsaken till detta beror på att i de gamla normerna var brandkraven materialberoende och byggnader, som var på tre eller flera våningsplan, skulle utföras i klass Br1 ( brandsäker byggnad ), vilket i praktiken innebar att de bärande väggarna var tvungna att byggas helt i obrännbart material. Detta rimmade emellertid dåligt då exempelvis stål, som många gånger är direkt sämre ur brandsynpunkt, tilläts i en konstruktion medan trä inte alls tilläts. Vändpunkten kom då de nya bygg och konstruktionsreglerna ( BBR-94, BKR-94 ) trädde ikraft. I de nya reglerna ställs funktionskrav istället för att knyta kraven till varje typ av material. Det finns många fördelar med att bygga i trä men samtidigt en del som man måste se upp med. Nedan redogörs för en del fördelar och fallgropar som man måste se upp med.

### 2.1. FÖRDELAR MED ATT BYGGA I TRÄ

#### 2.1.1. EKONOMI

De studier som är gjorda i Sverige pekar alla på att det blir billigare att bygga i trä. Studier gjorda av P-E. Eriksson ( 1995 ) visar att det redan idag skulle vara omkring 6% billigare att bygga flerbostadshus med trästomme än att bygga med platsgjuten betong, detta trots att man ännu inte har någon erfarenhet och tradition av att bygga flerbostadshus i trä. I USA, där man har en lång tradition av trähusbyggande, byggs nästan 90% av alla flerbostadshus upp till fem våningar i trä. Prisskillnaderna i USA mellan trästommen och den platsgjutna betongstommen är också betydligt större, cirka 30% dyrare med platsgjuten betongstomme. Det finns således stora förutsättningar för att det om några år kan bli ännu billigare att bygga i trä, när produktionsmetoderna och konstruktionslösningarna utvecklats för att passa svenska krav och standard. Att en trästomme medför en lägre produktionskostnad är det viktigaste skälet till att ett ökat antal flervånings bostadshus kommer att byggas med trästomme.

#### 2.1.2. LÄTTA BYGGNADER

Tack vare att en trästomme är så pass mycket lättare jämfört med en stomme av betong kan grundläggningen många gånger väsentligt förenklas. Vid pålning av grunden kan till exempel antalet pålar reduceras och på så sätt också minska grundläggningkostnaderna. Man behöver dessutom inte ha stora och kostsamma byggkranar ståendes på en arbetsplats, utan kan istället klara sig med en mindre och betydligt billigare lift får att få upp materiel.

#### 2.1.3. TORRT BYGGANDE

Med träbyggnadstekniken kan man åstadkomma mycket torra byggnader. Väggelement som prefabriceras kan tillverkas av mycket torrt virke. Dessa element kan sedan medverka till att snabbt ge en väderskyddad byggarbetsplats. Dessutom behövs inte de långa uttorkningstider, som en betongstomme kräver, för att fuktnivån skall bli acceptabel. Detta medverkar även till en minskad byggtid.



#### 2.1.4. KORT BYGGTID

Att bygga med trästomme ger definitivt kortare byggtider. Detta visar flertalet studier gjorda av P-E Eriksson ( 1995 ). Exempelvis kan nämnas byggandet av studentlägenheterna på Porsön, Luleå av Lindbäcks Bygg AB. Den första etappen på två och fyrplanshus, innefattande 56 lägenheter, tog bara sex månader att färdigställa inklusive allt markarbete, grundläggning och modulproduktion. Alla husen bestod av prefabricerade moduler med måtten 7,20 x 3,20 m. Det tog bara en till två dagar att resa ett hus. Detta är extremt konkurrenskraftig byggtid. Den korta tiden för husresning gör också att snickarna och övriga hantverkare snabbt kommer under tak och på så sätt får man även en bättre arbetsmiljö samtidigt som man snabbt blir oberoende av vädret. Detta resulterar i sin tur även i ett torrt byggande.

#### 2.1.5. EKOLOGISKT BYGGANDE

De ekologiska kraven i vårt samhälle gör att även byggnadsföretagen måste börja tänka på att bygga ekologiskt och miljöanpassat. Exempelvis finns idag redan förslag om att man skall kunna återvinna materialet ur en byggnad. De flesta personer är därför överens om att trä är ett mycket bra alternativ ur miljösynpunkt. När samhället dessutom idag går mot ett större utnyttjande av naturmaterial, vad kan då vara mer naturligt än att bygga i trä ?

### 2.2. ATT TÄNKA PÅ...

Det finns framförallt fem punkter som man måste se upp med när man bygger flervåningshus i trä. Dessa är brandskyddet, ljudspridning, svikt i bjälklag, rörelse hos träet samt stomstabiliseringen. Då brandskyddet är viktigast, sett från detta examensarbets perspektiv, kommer därför detta att behandlas i ett kapitel för sig.

#### 2.2.1. LJUDISOLERING

Det är framförallt bjälklagen som är kritiska när det gäller att klara av ljudisoleringskraven i ett hus med trästomme. Detta kan också ses i det skamfilade rykte som träbjälklaget har hos konstruktörer och byggare. Man skall dock inte låta sig avskräckas av detta, ty idag finns det många bjälklag som med råge uppfyller dagens normkrav. Trots detta är det inte alltid att ett bjälklag, som uppfyller normerna, upplevs som godtagbart. Detta beror på att dagens normer endast beaktar frekvenser över 100 Hz, medan spektrat för stegljud ligger under 100 Hz. Det är den lätta egenvikten hos träbjälklaget som ger en sämre ljudisolering vid låga frekvenser än vad betongbjälklaget ger, däremot är träbjälklagen ofta bättre vid högre frekvenser. Genom att skilja golv och undertak från det primära bärverket med t.ex. akustikprofiler och flytande golv kan ett gott resultat uppnås.

### 2.2.2. SVIKT

Svikt är detsamma som att golvet böjer ned när man går på det. Detta kan vara ett problem i träbjälklag. Det är självklart mycket subjektivt vad som bedöms vara besvärande. Problemet ligger i att hitta det rätta dimensioneringskriteriet i bruksstadiet. Ett mycket bra recept för att komma tillrätta med problemet är att öka styvheten hos bjälklaget i den vecka riktningen. Den traditionella krysskolvnigen är ur detta hänseende inte alls bra. Detta beror på att normalkrafterna i krysskolvsdiagonalerna överförs till golvbjälkarna via små anläggningsytor vilket i sin tur leder till stora spänningskoncentrationer. Om man dessutom lägger till krympning, slarvigt utförande samt att kraftöverföringen sker vinkelrät fiberriktningen ( vilket leder till låg styvhet ), är det kanske inte så konstigt att en krysskolvning många gånger blir verkningslös. Ett bättre sätt är att använda kortlingar av hela balkdelar mellan bjälkarna. Bästa resultat fås om kortlingarna limmas runt om på sina anläggningsytor.

### 2.2.3. RÖRELSE

Då trä är ett mycket ”levande” material påverkas det av variationer i temperatur och fukt. Detta gör att rörelser är ofrånkomliga och man måste därför beakta både krympning och krypning. Dessutom är trä ett anisotrop material vilket i praktiken innebär att hållfastheten och styvheten varierar beroende på fiberriktningen. Trä är känsligt för tryck vinkelrätt fiberriktningen, vilket kan leda till problem vid syll, hammarband, bjälklagsända och övriga punkter där man har belastning vinkelrätt fiberriktningen. Dessa rörelser kan i sin tur leda till skadade ytskikt och nivåskillnader i golv. En del av rörelsen sker dock initieilt och har därför mindre betydelse. För att undvika problem skall man försöka att renodla materialet i stommen så att man inte har skilda material med olika rörelsebenägenhet i vertikalled. Det finns dock sätt på vilka man kan minska rörelserna. Ett sätt är att utföra väggarna med kontinuerliga väggreglar istället för våningshöga och därefter hänga in bjälklagen.

### 2.2.4. STABILISERING

Stabilisering av flervåningshus med trästomme sker lämpligast genom skivverkan i horisontella och vertikala bärverk. Ofta kan man direkt utnyttja den beklädnad som väggar och golv har av spånskivor och gips. Att stabilisera ett tvåvåningshus är inga problem, men när man kommer upp i fyra till fem våningar kan det bli svårt att uppfylla de beräkningsmässiga kraven. En nackdel är att ett skikt av bjälklagsskivorna ofta måste göras kontinuerliga för att kunna överföra lasterna till de stabiliserande väggarna. Detta gör att man lättare kan få en ljudspridning mellan rum och lägenheter. Ett alternativ till att utnyttja skivverkan är att använda sig av olika former av vindsträvor för att få ned lasten till grunden. I de stabiliserande väggarna uppstår på ytterkanterna stora tryck respektive lyftkrafter. För trycksidan behövs då kanske extra reglar intill varandra och för dragsidan kan man lösa problemet genom att använda sig av genomgående stag eller ytliggande beslag, som är fixerade i nedanstående väggelement. På så sätt sprids krafterna nedåt och tas upp av grunden.



**- Brandsäkerhet i flervånings bostadshus med trästomme -  
- Utformning av en REI 90 vägg -**

---

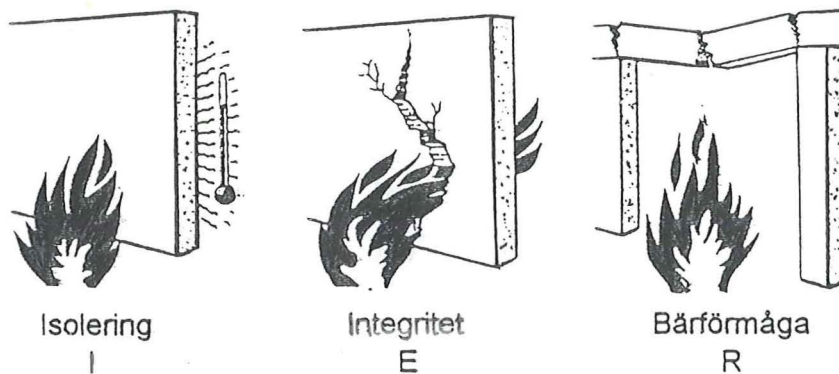
### 3. BRANDSKYDD

#### 3.1. NYTT SYNSÄTT - FUNKTIONSBASERADE KRAV

Som nämndes i inledningen så innebar Boverkets byggregler ( BBR 94 ) och Boverkets konstruktionsregler ( BKR 94 ) att de tidigare detalj och materialspecifika kraven ersattes med funktionsbaserade krav. Därmed försvann också de gamla brandklasserna A och B, som stod för obrännbart respektive brännbart material och som tillsammans med en tidsangivelse i minuter ex. A60 skulle spegla en konstruktions brandmotstånd.

Istället uttrycks de nya funktionsbaserade brandmotståndskraven med hjälp av följande beteckningar, samt med en siffra som anger kravet i minuter.

- R = bärförmåga
- E = integritet, täthet
- I = isolering, temperaturkrav



**Fig. 1:** En konstruktions brandmotstånd uttrycks numera som funktion av dess isolering, I, integritet, E, och bärförmåga, R. Källa /27/.

En byggnad som är högre än två våningar skall utföras i brandklass 1 ( Br 1 ). I de tidigare kraven ledde detta till att det endast var hus med obrännbart material ( klass A ) som var tillåtna att bygga. Detta har sin grund så långt tillbaka som slutet av 1800-talet, då förödande stadsbränder gjorde så att trä förbjöds som material i flervåningshus. Felet man då gjorde var att blanda ihop träfasader med trästomme, vilket är mycket ologiskt då exempelvis stål många gånger är betydligt sämre än trä ur brandskyddssynpunkt.

#### 3.2. KONSTRUKTIV UTFORMNING

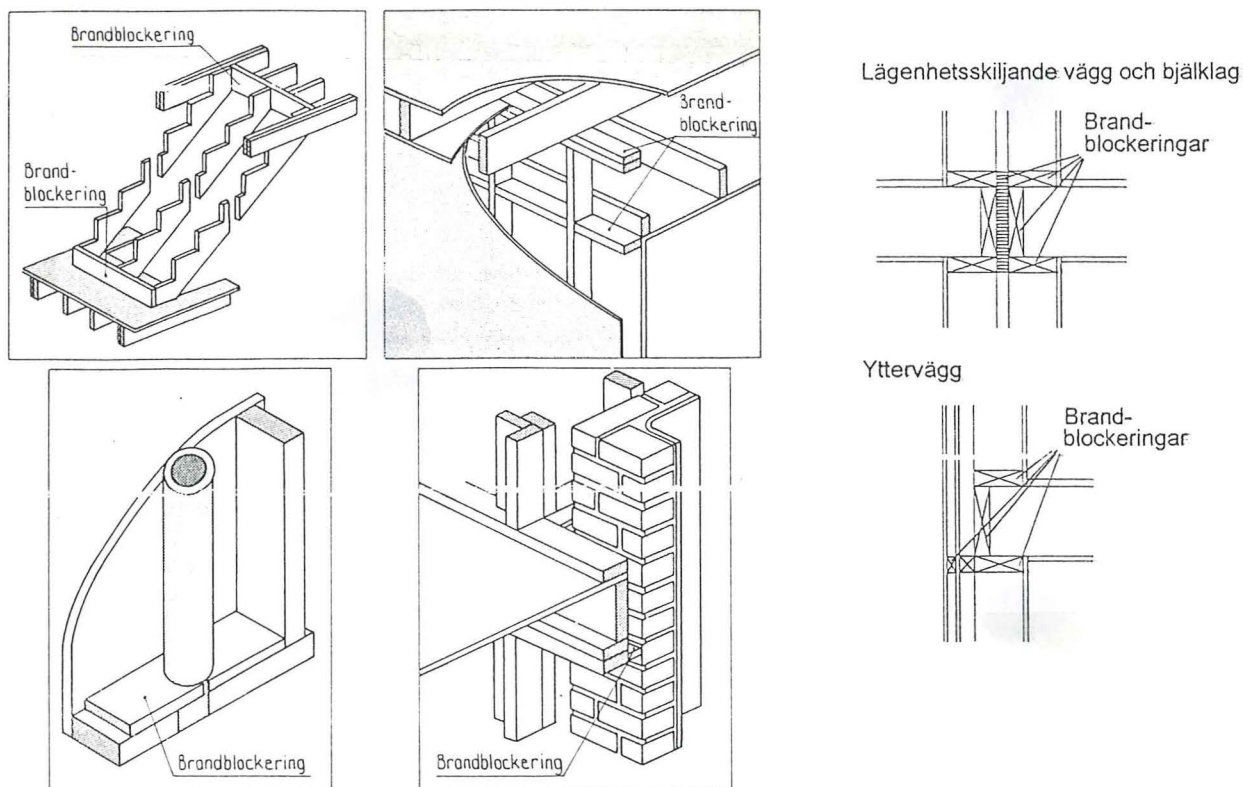
För flervåningshus upp till fyra våningar, som skall byggas enligt brandklass 1, skall brandcellsväggar, bärande väggar och bjälklag utformas som REI 60. För flervåningshus med fem våningar eller högre är kravet för väggarna höjt till REI 90. För bjälklaget gäller dock fortfarande REI 60 kravet. De flesta gamla väggar och bjälklag, som tidigare klassades som

B60, uppfyller åtminstone kravet på bärförmåga R60. Det finns således gott om lösningar på REI 60 väggar och bjälklag. Dessa finns till exempel angivna i Träteks Kontenta ” 3-4 våningshus i trä ”, Boverkets godkännandelistor, Gullfibers handböcker, Gyprocs handbok osv. Däremot finns det idag än så länge inga typgodkända REI 90 väggar. I slutet av denna rapport visas dock ett par förslag på hur en bärande 90 minuters vägg kan se ut.

Även om en vägg eller ett bjälklag klarar ett visst fastställt krav ex. REI 60, uppnår man ändå inte en säker konstruktion om man inte beaktar känsligheten för infästningsdetaljer samt brand och rökspredningsriskerna mellan olika brandceller. Brandspridning kan förhindras med hjälp av olika former av brandblockering.

### 3.2.1. BRANDBLOCKERING

Det är viktigt att man hindrar brand från att sprida sig mellan olika brandceller. Således måste man se upp med luftspalter inne i en konstruktion och på något sätt utföra en brandblockering. Detta kan enkelt göras med kortlingar av trä. Kortlingarna bör ha en tjocklek på minst 45 mm. Brandblockering kan ske i väggarna med hjälp av dubbla hammarband och syll. Om ett undertak är sänkt så måste man sätta kortlingarna i nivå med undertaket. Brandblockeringen måste även ske i bjälklag vid upplag för brandcellsskiljande väggar. Trappor skall också brandblockeras liksom rör genomföringar ( se fig. 2 nedan ). Vidare skall eventuella luftspalter i yttervägg brandblockeras i nivå med varje bjälklag.



**Fig. 2:** Exempel på brandblockeringar. Källa /1/.



### 3.2.2. VÄGGAR

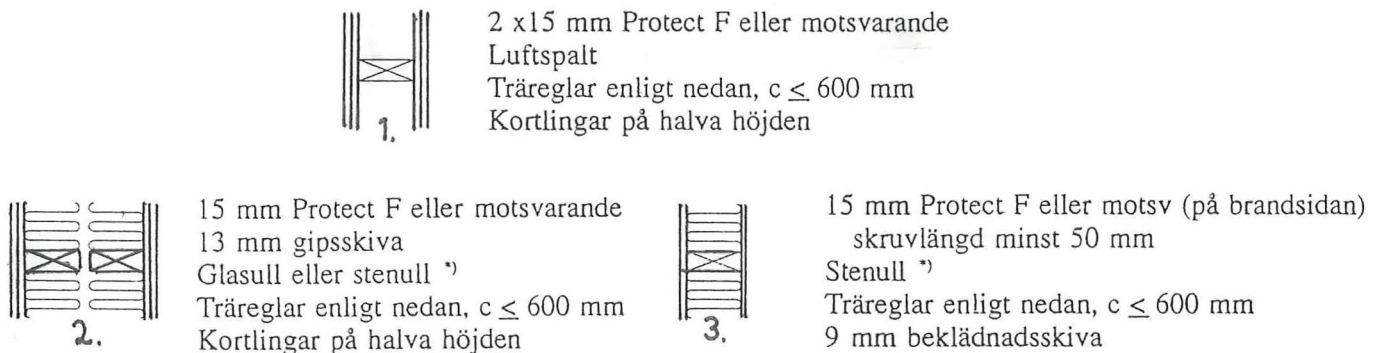
En vanlig dimension på reglarna i träregelväggar är massiva 45 x 120. Alternativt kan även olika typer av lättreglar användas. En 45 x 120 regel klarar inte själv en brand på 60 minuter utan måste skyddas på ett eller annat sätt. Detta görs vanligtvis med normala gipsskivor eller brandgipsskivor. Väggarna/reglarna behöver ofta även styvas av i veka riktningen för att de inte skall knäcka ut för tidigt. Ett mycket enkelt sätt att lösa knäckningsproblemet är att på väggens baksidan fästa en spikbräda på halva höjden, alternativt kan kortlingar mellan reglarna användas t.ex. vid dubbelsidig brand.

En vanlig gipsskiva har inte förmågan att kunna sitta kvar hela tiden under en brand, utan trillar ner efter det att den har blivit kalcinerad. Däremot är brandgipsskivan armerad så att den skall sitta kvar även efter den är färdigkalcinerad. Detta gör att brandgipsskivan skyddar reglarna mot direktexponering hela tiden. Om trots allt en skivbeklädnad skulle falla i förtid är det viktigt med isolering som skyddar stommen från flersidig brandpåverkan. Noggrannhet vid infästning av gipsskivor måste betonas ty en slarvig infästning ger upphov till sprickzoner som gör att även en brandgipsskiva kan trilla ned.

Man skiljer mellan tre typer av bärande väggar:

- 1) Enbart bärande vid dubbelsidig brand.
- 2) Bärande lägenhetsskiljande väggar.
- 3) Bärande och avskiljande väggar.

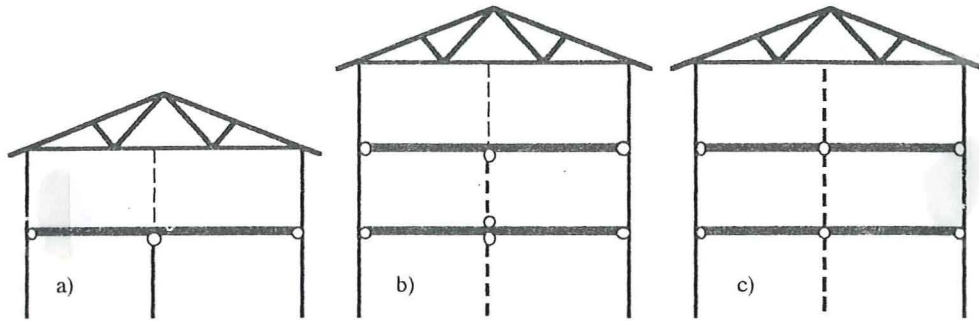
Exempel på sådana väggar visas i figur 3 nedan.



**Fig. 3:** Exempel på bärande vägg vid dubbelsidig brand, 1 ( R 60 ), bärande lägenhetsskiljande vägg, 2 ( REI 60 ), bärande och avskiljande vägg, 3 ( REI 60 ). Bärförmågan hos de olika väggarna är beroende på virkeskvalité och regeldimension. Källa /27/.

Den enbart bärande väggen vid dubbelsidig brand, s.k. hjärtväggen, är en mycket dyr och klumpig konstruktion. För att slippa denna dyra konstruktion kan man vid brandlastfallet låta bjälklagen spänna från yttervägg till yttervägg medan man i det normala brottlastfallet och bruksgränsstadiet utnyttjar väggen som vanligt.


Ett annat alternativ är att betrakta den bärande hjärtväggen utifrån ett fortskridande ras synsätt. Genom att hänga in bjälklaget i väggen ovanför och låta lasterna föras upp till taket och ned i ytterväggarna igen, eller genom att direkt dimensionera den ovanstående väggen för detta med hjälp av skivverkan, skulle det även på detta sätt vara möjligt att låta de dyra hjärtväggarna slås ut vid en brand.



**Fig. 4:** a) Normal bärande hjärtvägg i tvåvåningshus. b) Alternativt utförande med fribärande bjälklag i brandlastfallet för högre hus. c) Alternativt utförande med hjärtvägg som bär underliggande bjälklag i brandlastfallet. Väggarna som markerats med streckad linje behöver inte brandskyddas. Källa /12/.

### 3.2.3. BJÄLKLAG

Bjälklag skyddas vanligtvis med gipsskivor. Noggrannhet vid infästningen av gipsskivor i taket är av yttersta vikt, så att en skiva inte faller ned för tidigt på grund av dålig skruvning eller att för korta skruvar valts. Om skivbeklädningen dock faller hålls isoleringen lämpligast kvar med glespanel eller akustikprofiler. Brandmotståndskravet i BBR 94 på ett lägenhetsskiljande bjälklag i ett flervåningshus upp t.o.m. upp till åtta våningsplan är REI 60. Detta är således ingen förändring jämfört med Nybyggnadsregler.

Konstruktion	Materialsikt
	22 mm spontade beklädnadsskivor Stenull minst 95 mm Träbjälkar minst 45 x 195 mm, $c \leq 600$ mm 28 x 70 mm glespanel eller akustikprofiler $c \leq 450$ mm 13 mm beklädnadsskiva 13 mm gipsskiva

**Fig. 5:** Exempel på ett lägenhetsskiljande bjälklag, REI 60. Bärförmågan är beroende på virkeskvalité och regeldimension. Källa /27/.



#### 3.2.4. STOMSTABILITET

Stommen stabiliseras nästan alltid för flerbostadshus i trä med hjälp av skivverkan. Några större horisontella krafter i brandlastfallet blir det inte eftersom Boverkets konstruktionsregler ( BKR 94 ) medger att laster med partialkoefficient,  $\psi < 0,5$  inte behöver beaktas och på så sätt slipper man vindlasten.

Då ett våningsplan utgörs av endast en brandcell måste de stabiliserande skivorna skyddas, till exempel genom att placera dem på utsidan av stommen. Då ett våningsplan består av två eller flera brandceller skall de brandceller som inte är brandpåverkade förmå att stabilisera stommen. I de opåverkade brandcellerna behöver skivan ej vara skyddad d.v.s. man kan utnyttja skivbeklädnaden på väggens insida. Eftersom vindlasten inte finns med i brandlastfallet så dimensioneras de stabiliserande skivorna endast för horisontella krafter som råder vid en normal temperatur. Trots detta bör man ändå kontrollera systemet som helhet ifall något av de stabiliserande systemen slås ut.

#### 3.2.5. TRAPPOR OCH TRAPPHUS

Enligt BBR 94 skall trapplopp och trapplan i trapphus ha en bärförmåga på minst 30 minuter, R30. En förutsättning för att överhuvudtaget få ha trappor och trapplan av massivt trä är att stegens undersida skyddas med beklädnad av ytskiktssklass 1. Enligt BBR 94 får ett trapphus , TR1, vara den enda utrymningsvägen från bostäder, dock inte bostäder med alternativboende såsom olika former av serviceboende. Detta förutsätter att huset har max åtta våningsplan samt att trapphuset, TR1, är utformat så att det förhindrar spridning av brand och brandgas till trapphuset under minst 60 minuter.

#### 3.2.6. VINDSUTRYMME OCH UNDERTAKSUTRYMME

Enligt BBR 94 skall ” vinds och undertaksutrymme utformas så att risken för brandspridning begränsas. Undertaksutrymme som sträcker sig över flera brandceller avskiljs i lägst samma brandtekniska klass som krävs för de brandskiljande väggarna”.

Vindsutrymme bör för att motverka brand och brandspridning, sektioneras med väggar i klass EI 30. Dessa väggar skall placeras ovanför de lägenhetsskiljande väggarna samt vara så konstruerade att de ansluter tätt mot yttertak. Det är inte heller ovanligt att vindsutrymme används som förråd av något slag. Detta är inte att rekommendera. Dessutom kräver BBR 94 att flervåningshus över fyra våningar som använder vind som förvaringsutrymme skall ha öppningar för brandgasventilation motsvarande 1% av förrådsutrymmets golvarea.

#### 3.2.7. HISS

Hisschakt inom egen brandcell skall utformas så att brand inte sprids till andra icke brandutsatta brandceller. Hisschakt skall vara placerat inom en egen brandcell, undantaget då hisschakt är beläget helt utanför byggnaden eller om det är beläget inom eller invid ett trapphus och har schaktdörrar till detta eller till utrymme i öppen förbindelse med trapphus.



### 3.2.8. YTSKIKT OCH BEKLÄDNAD

I utrymmen som inte är utrymningsvägar bör man i tak ha ytskiktssklass 1 fäst på tändskyddande beklädnad. Väggarna bör lägst ha ytskikt av klass 2. I utrymningsvägar skall ytorna i tak och vägg ha ytskiktssklass 1. Figur 6 nedan visar exempel på ytskiktssklasser.

Beklädnad	Tändskyddande beklädnad med ytskikt klass I	Ytskikt	Placering	
			tak	vägg
Gipsskiva, obeh eller normal målning	x	I	x	x
Gipsskiva, tunn papptapet	–	II	–	x <sup>1)</sup>
Träpanel	–	III	–	(x) <sup>1)</sup>
Träbaserade skivor, $\rho \geq 450 \text{ kg/m}^3$	–	III	–	(x) <sup>1)</sup>
Träpanel/träbaserade skivor, flamskyddade	x	I	x	x
Fibercementskivor, ca 8–12 mm	x	I	x	x
Gipsfiberskivor, ca 8–12 mm	x	I	x	x
Cementbundna spånskivor, ca 8–12 mm	x	I	x	x

<sup>1)</sup> Får ej användas i utrymningsvägar, x Uppfyller kraven, (x) Endast i små utrymmen

**Fig. 6:** Exempel på olika beklädnader och deras ytskiktssklass. Källa /27/.

### 3.2.9. UTVÄNDIG BRANDSPRIDNING, FASADER

Utvändig brandspridning kan delas upp i två fall:

- 1) Spridning av brand till närbelägen byggnad.
- 2) Spridning av brand till brandcell inom egen byggnad.

I det första fallet har faktorer såsom flamlängd, värmestrålning, ledning och nedfallande brinnande föremål stor betydelse. I det andra fallet är det även brandbenägenheten hos fasadmaterialet som spelar in. Därför bör man vara mycket restriktiv vid användandet av träpanel i flervåningshus. Som riktvärde har Träteknik ( institutet för träteknisk forskning ) sagt att vid fler än två våningar skall endast bottenvåningen kläs med träpanel samt att på övriga delar av fasaden skall max en femtedel av fasadarean per våning vara klädd i panel. Träpanel får inte förekomma mellan fönster och öppningar i höjddled, såvida de inte bryts av något utskjutande skydd ( t.ex. balkong ).

Taksprång får kläs med massivt trä. Om så görs bör klädselbrädorna ha en tjocklek om minst 30 mm. Ventilationen bör då ske via luftintag på yttertaket istället för den brukligt ventilerade takfoten.

### 3.2.10. SPRINKLERS

De sprinklersystem som vi har i Sverige är av mycket hög kvalité och består ofta av avancerade system för larm och släckning. Detta har även gjort att de är dyra att installera. Således är det idag mycket ovanligt att man hittar sprinklers i bostadshus. Dessa sprinklersystem är ofta framtagna för att sitta i kommersiella fastigheter och andra ” riskfastigheter ”. I Nordamerika

har de flesta stater krav på sprinklers i flervåningshus över två våningsplan. Vissa normer kräver även sprinklers i samtliga bostadshus.

Den stora skillnaden ligger dock i att man i Nordamerika använder sig av något som kallas residential sprinklers. Detta är ett mycket enklare och billigare system som går ut på att rädda liv och inte egendom. Denna typ av sprinklers finns inte i Sverige idag. Trots detta behöver installation av sprinklers inte bli alltför dyrt eftersom BBR 94 medger avsteg från brandskyddskrav om det totala brandskyddet ändå inte blir sämre än om aktuella krav utan sprinklers hade uppfyllts. Man kan således få lättnader i brandteknisk klass, brandcellsindelning m.m. Detta skall dock dokumenteras och utredas väl i en s.k. brandskyddsdokumentation.

**- Brandsäkerhet i flervånings bostadshus med trästomme -  
- Utformning av en REI 90 vägg -**

---

## 4. LITE BRANDHISTORISK KURIOSA

Ända sedan urminnes tider så har människan känt eller tvingats känna ansvar för sin hantering med eld, antingen det berott på självbevarelsedrift, det sociala trycket eller de rent juridiska kraven från samhället.

En människa bosatt i ett litet samhälle eller i en stad har alltid haft ett stort ansvar för den eld hon gjort upp, så att den lugnt brinner på härden, att den inte sprider sig samt att den släcks ordentligt. Vid brand var spridningshotet överhängande då husen, särskilt i städerna, låg mycket tätt, ofta var byggda helt i trä och hade tak av halm.

### 4.1. LANDSKAPSLAGARNA

Redan under tidig medeltid ( 1050 - 1350 ) tog några av landsskapslagarna upp den enskildes ansvar vid handskandet av eld. Detta sattes troligen på pränt första gången i Östgötalagens Byggingabalk: ” *Den skall svara för eld som tänder den.* ” och ” *Nu skall bonde svara för all eld som han tänder tills dess den är släkt.* ” . I Skånelagen står det följande: ” *Sin eld skall var man svara för.* ” eller som den gamla lydelsen löd: ” *Eldi sinom skall var man uartha.* ”, uartha betydde både vårda, vakta och ansvara för.

I flera av de gamla landskapslagarna tog man också upp och gjorde skillnad mellan *vådaeld* ( vådeld ) och *kasevarg* ( mordbrand ). Straff för denna typ av brott var ofta mycket stränga. I Östgötalagen, Edsöresbalken kan man bland annat läsa följande: ” *Om en man sticker in eld i annans hus. Nu sticker någon in eld i annans hus och vill bränna honom inne ; den som så gör skall heta kasevarg. Blir bådadera taget tillsammans, hand och brand, då må man saklöst skjuta honom in i elden och han har förverkat all det han äger inom land och lagsaga* ”. Således var det fritt fram att putta in någon i elden om man tog honom på bar gärning med att anlägga en brand.

I Skånelagen står följande: ” *Sätter någon med vilja eld på annans hus, styrke han med nämnd, att han icke gjort det, och den andre må gå ed mot honom, att han är skyldig. Fälles han, må han hava en frist på en dag och en natt att ordna för sig. Blir han sedan tagen, då må han hängas, om den vill, som led skadan.* ”

Även i Hälsingelagen är straffet det hårdast tänkbara. Följande står skrivet: ” *Nu bär någon eld och vill bränna både by och bonde; Blir han tagen med blåsande mun och brinnande brand ( tagen på bar gärning ) då skall man föra honom till tinget..... Fälla de honom skall han böta allt det han äger..... Och den skall brinna å båle som har bränt för bonden.* ”

### 4.2. STADSLAGARNA

Under senmedeltiden ( 1350 - 1520 ) tillkom efter hand fler lagar och förordningar för att skydda mot brand, särskilt i städerna. Flera städer, exempelvis Stockholm, växte både till yta och folkmängd. Byggnationen var ofta av trä, något som kungen snart förbjöd för Stockholms del. Man var mycket medveten om att brandfaran ökade då invånarantalet ökade och bebyggelsen blev tätare. Detta resulterade i att några av de äldre städerna tidigt skaffade sig fasta regler för brandbekämpning, men det var först genom Magnus Erikssons stadslag på mitten av 1300-talet som det stadgades på centralt håll och blev giltigt för alla rikets städer.



Exempelvis skulle varje stad i riket indelas i sektorer, där varje sektor skulle leda och ansvara för sitt brandförsvar, dock var de övriga sektorerna tvungna att hjälpa till. Det stadgades om vilka som skulle leda brandbekämpningen och vilka som skulle svara för utrustning. Magnus Eriksson bestämde också att varje gård skulle vara utrustad med en sju alnar lång stege, en brandhake tolv alnar lång, en brandyxa, en ämbar och en vattentunna stående framför sin gård.

Många städer införde också brandvakt för att tidigt kunna upptäcka brand. Ofta satt det en person på en högt belägen plats ( t.ex. kyrktornet ) samtidigt som en annan patrullerade stadens gator.

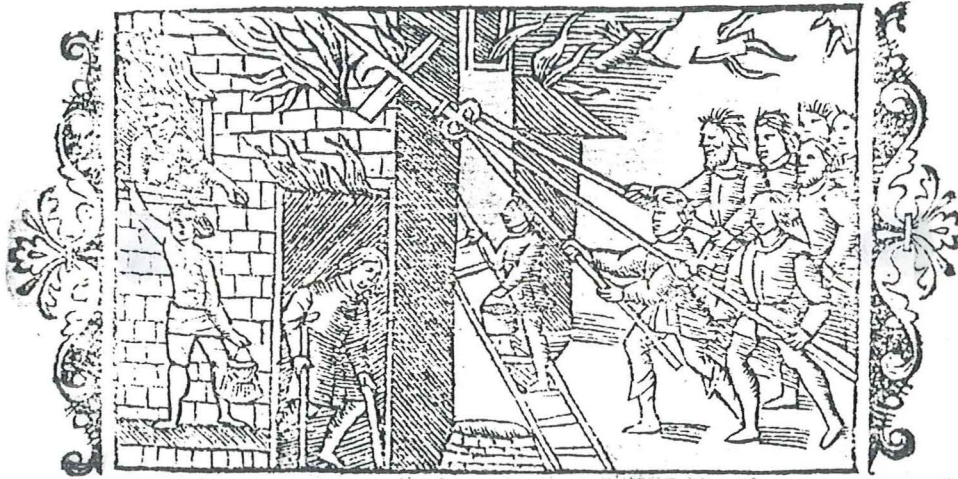


Fig. 7: Eldsläckning på 1500-talet. Källa /24/.

#### 4.3. 1619 STADGA OM STÄDERNAS ADMINISTRATION

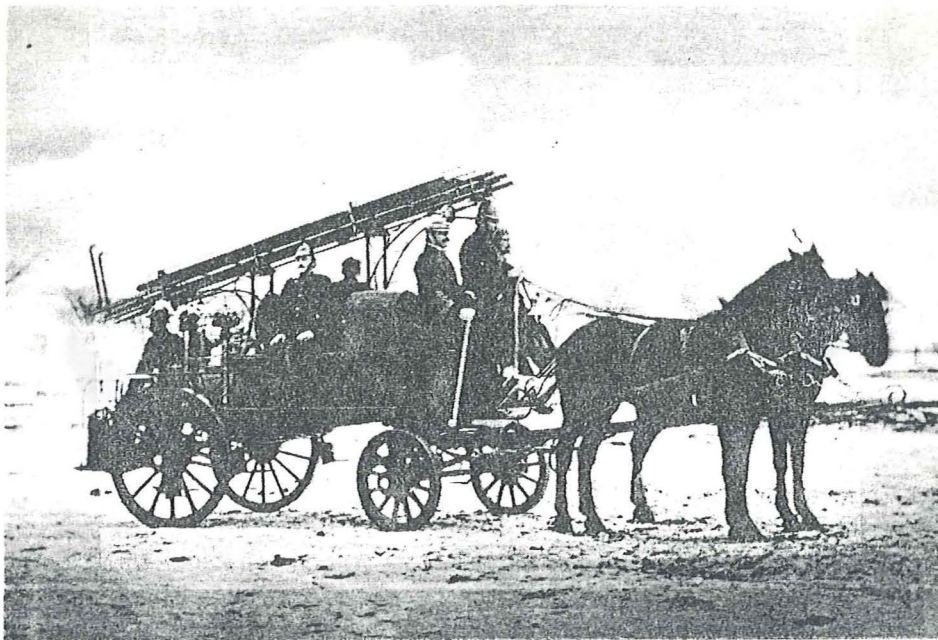
År 1619 införde Gustav II Adolf en ”stadga om städernas administration och opkomst i riket”, där städerna tilläts att skapa egna lokala förordningar och därigenom också brandreglemente. Många städer införde genast förbud mot bl.a. halmtak. Likaså stadgade man om vilka som var skyldiga att hjälpa till vid släckandet av bränder. I många av de olika lokala brandstadgarna infördes nu också straff för dem som underlät att varna för brand och tillkalla hjälp. I Göteborgs brandstadga, 1639 blev det var mans plikt att hjälpa till vid eldsvåda, även kvinnor och barn.

Många gånger var det dock endast en viss sorts personer som ansågs tillräckligt dugliga att hjälpa till i släcknings och bärgningsarbetena. Detta syns tydligast i Stockholms brandstadga från 1675, där murare, snickare, drängar och arbetskarlar snabbt skulle infinna sig vid en brand och hjälpa brandmästaren med släcknings och bärgningsarbetet. Militära förband kommenderades också att utan ersättning biträda vid släcknings och bärgningsarbetena.

#### 4.4. YRKESAVLÖNAD PERSONAL OCH UTRUSTNING

Det var först på 1800-talet som Sverige fick kasernad, yrkesavlönad personal. Även om man tidigare organiserat brandförsvaret bland stadens borgare var det först i och med 1874, 1923 och 1944 års brandlag och brandstadga som vi i Sverige fick en juridisk strukturering av brandförsvaret i kommunerna. Före 1944 hade detta bara berört städernas och tätorternas brandförsvaret men från och med 1944 gällde det även landsbygden.

Ända till långt in på 1800-talet var kampen mellan elden och släckutrustningen ojämn. De effektivaste redskapen var ofta långa svabbar som man blötte och sedan slog på elden med. Brandsprutorna var handdrivna och hade mycket dålig räckvidd. Dessutom var det inte alltför sällan som slangarna eller annan utrustning brann upp då dessa ofta var gjorda av eldfångt material. Många är också de städer som under århundradena brandhärjats och ödelagts.



**Fig. 8:** Hästdraget utryckningsfordon vid sekelskiftet. Källa /24/.



**- Brandsäkerhet i flervånings bostadshus med trästomme -  
- Utformning av en REI 90 vägg -**

---

## 5. TEORI OM BRAND OCH TRÄ

Följande kapitel kommer att ta upp trä kontra begreppen förbränning, antändning, brandförlopp, brandspridning samt träets styrka vid brand.

### 5.1. ANTÄNDNING

När ett brännbart material, exempelvis trä, utsätts för värme över en viss temperatur börjar det brinna antingen med glöd eller låga. Det måste dock finnas fri tillgång till syre. Ju högre temperatur desto snabbare antänds materialet.

För vätskor talar man ofta om flampunkt vilken är den lägsta temperatur som, vid provning under standardiserade förhållanden, en vätska måste uppvärmas till för att de från vätskan avgivna ångorna omedelbart skall antändas av en öppen låga. För ett fast material som trä finns det också en viss kritisk temperatur vid vilken antändning sker, men denna är nästan lika för vilket material som än brinner och är således ett dåligt mått på lättantändlighet.

Istället uppskattas lättantändligheten hos fasta material genom den tid som behövs för att värma upp materialet till antändning, man talar om tid till antändning. Det är den tid som behövs för att tillräckligt med brännbara gaser skall bildas för att kunna antändas av en flamma.

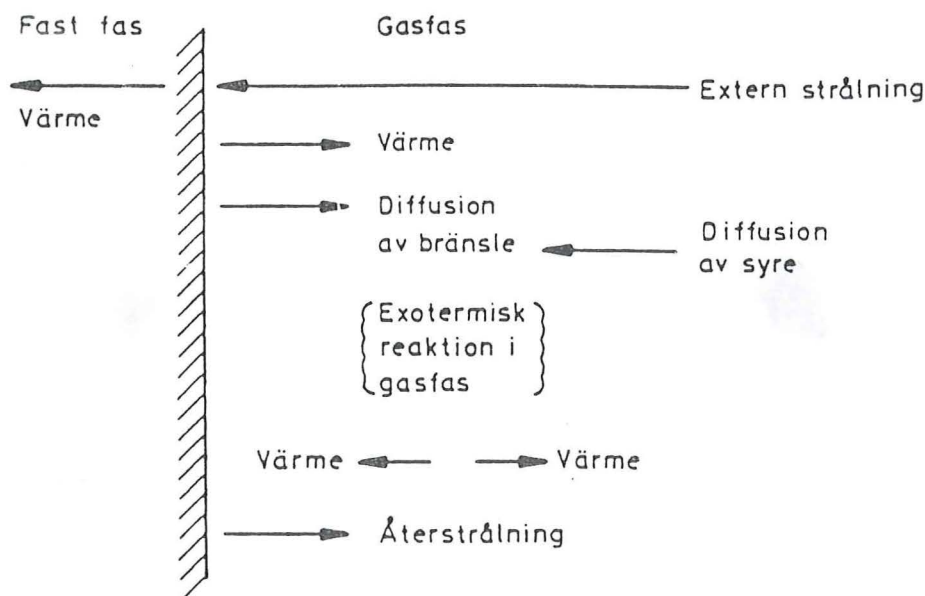
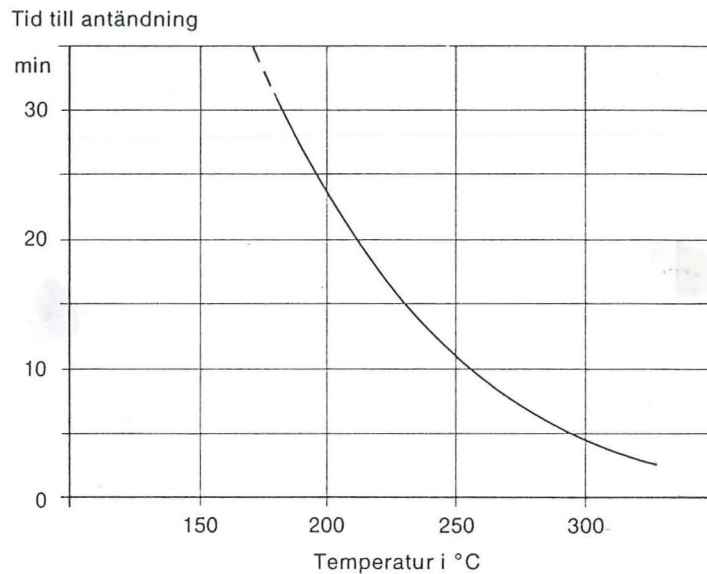
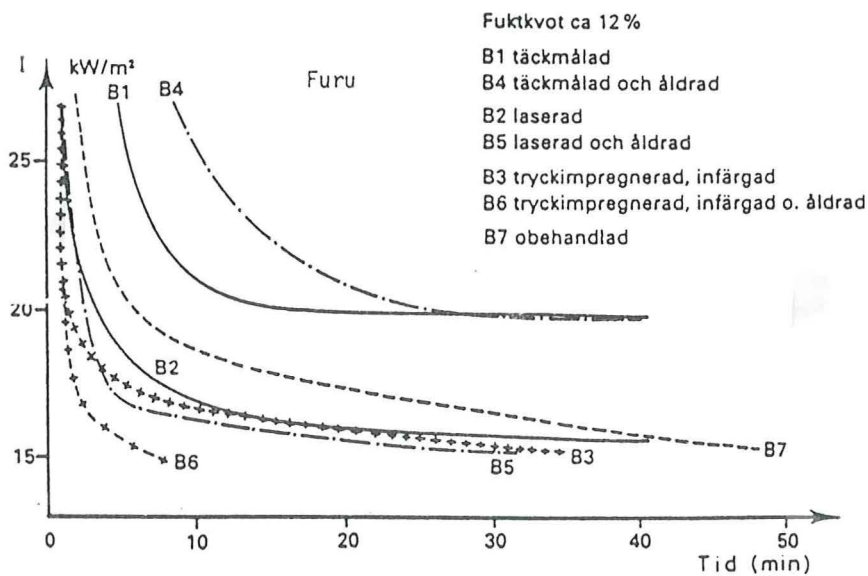


Fig. 9: Antändning av ett fast material genom extern värmestrålning. Källa /23/.

Antändningstiden hos trä beror förutom på temperaturen även på träets fuktkvot, trästyckets storlek, densitet, porositet, innehåll av harts och terpentin o.d. samt ev behandling. För lövträd som ofta har en högre densitet är antändningstiden ofta längre än för barrträd. Fuktkvoter över 20% förlänger ofta antändningstiden hos träet avsevärt. Exempel på tid till antändning visas i figurerna 10 och 11 nedan. Den övre figuren avser små hyvlade provkroppar av furu medan den undre avser furupanel som är behandlad med olika typer av ytbehandling.



**Fig. 10:** Tid till antändning som funktion av temperatur. Kurvan avser små hyvlade provkroppar av furu. Enligt Metz. Källa /3/.



**Fig. 11:** Antändningstid hos ytbehandlad furupanel som funktion av strålningsintensiteten. Källa /23/.

## 5.2. FÖRBRÄNNING, KOLSKIKTSTILLVÄXT

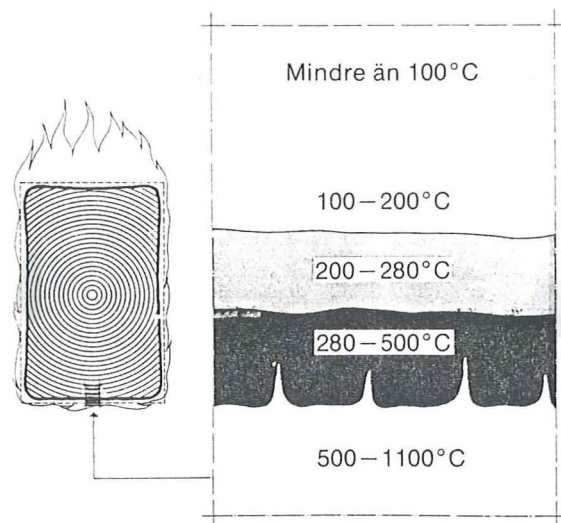
Redan vid temperaturer strax över 100 °C börjar trä att sönderdelas kemiskt. Denna sönderdelning går snabbare ju högre temperaturen är. En del av de gasformiga sönderdelningsprodukterna reagerar sedan med syre och det är denna reaktion eller oxidation som kallas förbränning d.v.s. att träytan brinner.

Vid temperaturer under 200 °C händer inte mycket mer än att vatten avgår i form av vattenånga. Träet genomgår dock en mycket långsam pyrolys, men de gaser som bildas är inte antändbara.

När temperaturen ligger mellan 200 och 280 °C är pyrolysen fortfarande mycket långsam och de flesta av de gaser som avges är inte antändbara. Vid förkolningen bildas delvis koldioxid om tillgången på syre är tillräcklig. Dessa reaktioner är i huvudsak endotermiska, vilket innebär att värme måste tillföras utifrån för att de skall fortgå.

Mellan 280 och 500 °C ökar pyrolyshastigheten markant. Till en början brinner inte träkolsskiktet därför att gasblandningen som tränger ut, innehåller för mycket vattenånga och koldioxid. Att träkolsskiktet inte antänds till att börja med beror också på att de utträngande gaserna avskärmar kolskiktet från luftens syre. Efter hand ökar dock antändligheten och gaserna kan antändas med hjälp av en tändlåga. De reaktioner som då sker är exoterma vilket innebär att den energi som utvecklas måste föras bort för att temperaturen inte skall stiga mycket snabbt. Fortfarande brinner det utanför träkolsskiktet, på grund av att de snabbt utströmmande gaserna inte hinner blanda sig med luftens syre förrän en bit utanför träkolsskiktet. Det brinner med en lysande flamma vars temperatur är cirka 1100 °C. Efter hand som pyrolysgasernas utströmningshastighet avtar kan syre tränga ned till kolskiktet och därmed kan även träkolet fatta eld.

Över 500 °C glöder träkolet och övergår efterhand till koldioxid och andra förbränningsprodukter. När yttemperaturen nått 1000 °C blir förbränningshastigheten i det närmaste konstant. För furu och gran blir förkolningshastigheten cirka 0,6 mm/min. När allt trä har förbrukats kommer de klara lågorna att ersättas med svaga lågor från brinnande kolmonoxid och vätgas. Så småningom återstår dock endast att träkolet glöder.



**Fig. 12:** Temperaturzoner i trä när det är utsatt för upphettning. De olika temperaturzonerna är visuellt väl avgränsade från varandra. Träkolet som bildas har lägre värmeledningsförmåga än träet. Mellanskiktet brukar kallas för ”varmt skikt”.  
Källa /3/.

Efter hand som pyrolysen tilltar och strukturen bryts ned och sönderdelas, uppstår ett omfattande nätverk av små sprickor i pyrolyszonen och dess närhet. Dessa växer och fördjupas samtidigt som kolskiktets tjocklek tilltar. Eftersom kol är mer isolerande än trä kommer det underliggande träet att skyddas till viss del. Dessutom kommer pyrolyspanprodukterna att få det svårare att passera genom det bildade kolskiktet. Därför kommer det huvudsakliga flödet mot ytan till slut gå via sprickorna, se figur 13 nedan.



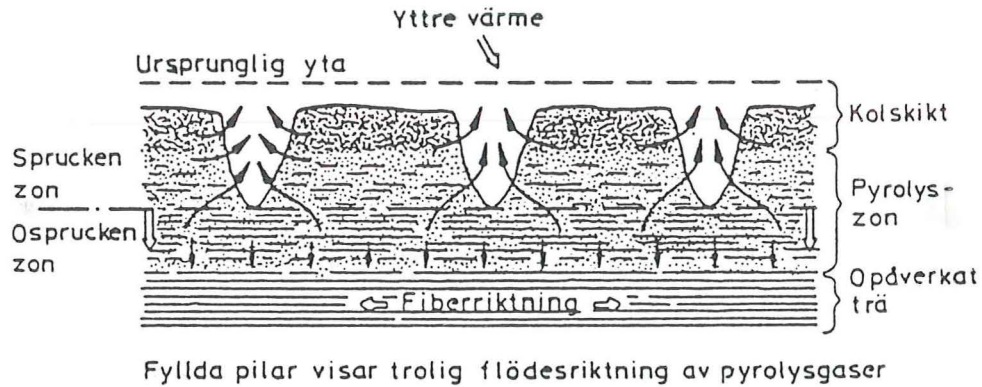


Fig. 13: Sprickbildning och pyrolysgasernas rörelse vid förbränning av trä. Källa /9/.

### 5.3. BRANDFÖRLOPP

En brand innebär enligt definition en ofrivillig eller okontrollerad förbränning. Trots att man i en verklig brand således inte kan styra utvecklingen samt att den ena branden inte är den andra lik, talar man ändå om det "normala" förloppet vid en brand. Detta görs dock bara för att man på ett schematiskt sätt skall kunna åskådliggöra brandens olika faser, som trots allt finns i alla bränder även om de kan variera avsevärt.

Temperaturutvecklingen vid brand i t.ex. en lägenhet beror till största delen på mängden och egenskaperna hos det brännbara materialet i lägenheten, fönsteröppningar och övriga öppningar samt golv, tak, väggar och deras termiska egenskaper. Nedan visas det s.k. normala förloppet av en brand.

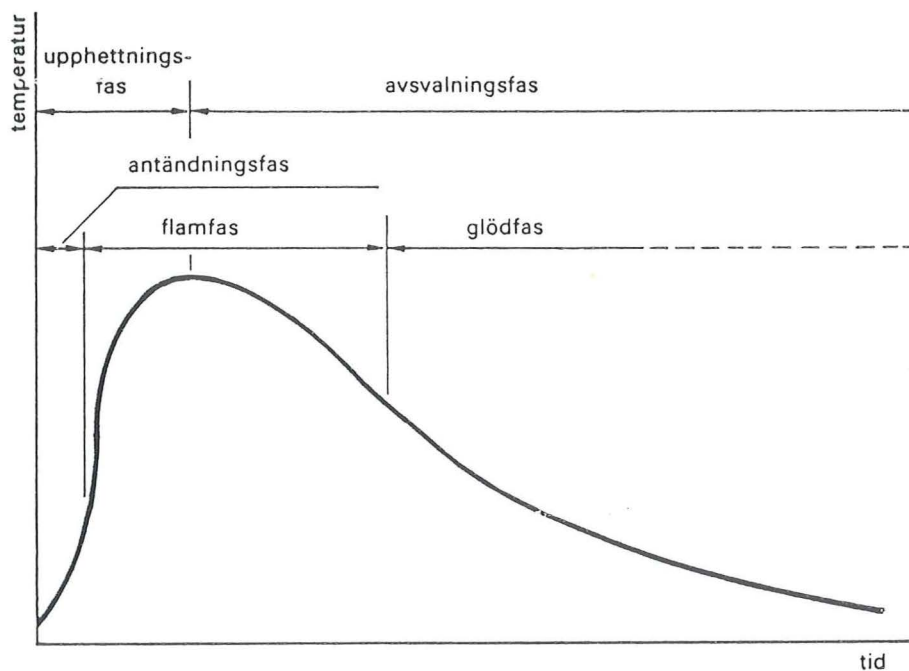


Fig. 14: Olika faser i ett "normalt" brandförlopp. Man kan grovt dela in brandförloppet i tre olika faser: antändningsfas, flamfas och glödfas. Källa /9/.

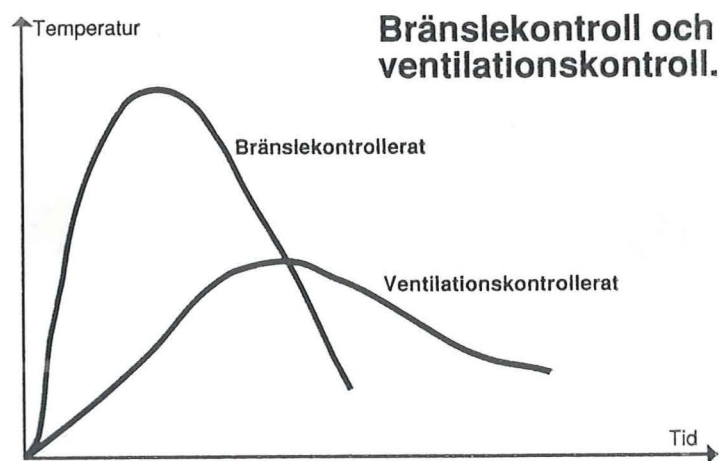
### 5.3.1. ANTÄNDNINGSFASEN

Under antändningsfasen är branden fortfarande liten och kan betraktas som en lokal brand i det fria. När branden sedan sprids kommer den att påverka temperatur och tryckförhållandena i rummet ( antaget en rumsbrand ). De delvis oförbrända pyrolysgaserna stiger upp mot taket där de samlas och bildar ett rökgaslager. Självklart är tillgången till syre av stor betydelse för brandförloppet i ett rum. Om dörrar och fönster är stängda och om inte fönstren krossas av gstrycket innan allt syre förbrukas, slocknar branden av sig själv. Men om en dörr plötsligt skulle öppnas får branden troligtvis en explosionsartad tillväxt. Rökgaslagrets tjocklek och temperatur ökar efter hand. När temperaturen i gasskiktet nått cirka 600 °C blir strålningsintensiteten inom brandcellen så hög att det inte dröjer länge innan allt brännbart material antänds, ofta samtidigt. Man har då fått en s.k. övertändning vilket medför en kraftig temperaturstegring på kort tid. Branden övergår nu till ett mer intensivt skede: flamfasen.

### 5.3.2. FLAMFASEN

När en brand nått flamfasen har den ofta tagit sig så mycket att det enda som återstår är att försöka begränsa dess verkningar. Detta görs bland annat passivt i våra bostäder genom att dela in varje lägenhet i brandceller, som skall motstå brand en viss tid och på så sätt ge möjlighet att rädda liv och egendom. Under tiden har kanske brandkårsinsatser gjort att det endast blev en enskild brandcell som brandhärjades.

Tekniskt kan flamfasen beskrivas som antingen ventilationskontrollerad eller bränslekontrollerad. Detta innebär två helt olika brandförlopp, se figuren nedan.



**Fig. 15:** Temperaturutvecklingen hos en ventilationskontrollerad resp. bränslekontrollerad brand. Källa /2/.

När tillgången på syre är obegränsad eller större än vad en fullständig förbränning kräver talar man om bränslekontrollerat brandförlopp. Denna brands omfattning beror alltså helt och hållet på dess tillgång på brännbart material. Bränslekontrollerat brandförlopp ger också en kort och intensiv brand med höga temperaturer. Detta kan ske vid brand utomhus eller i lokaler med stora öppningar till det fria. Bränslekontrollerat brandförlopp sker nästan alltid i det tidiga skedet av en brand, då lufttillförseln i rummet är tillräcklig i förhållande till brandens storlek.



Om lufttillförseln till branden är så dålig att förbränningen av allt förgasat bränsle inte kan ske talar man om ventilationskontrollerat eller underventilerat brandförlopp. Detta är fallet i lokaler med liten ventilation och få öppningar. När lufttillförseln är för liten bildas det rök-gaser som är mycket explosiva, ty det enda de behöver är ju lite syre för att de skall fatta eld. När så sker kan man få en s.k. rök-gasexplosion. Detta kan inträffa om t.ex. en brandman slår in en dörr eller fönster för att komma åt att släcka. Explosionen skapar då en kraftig tryckvåg samtidigt som eldslågor kommer att slå ut ur öppningen likt en eldkastare. Ett sätt att skydda sig mot denna typ av fenomen är att använda sig av rök-gasventilation. Detta innebär oftast att det finns luckor i taket, som öppnas automatiskt vid en brand, med syfte att leda ut de farliga brandgaserna och på så sätt minska risken för övertändning och rök-gasexplosioner.

### 5.3.3. GLÖDFASEN

Glödfasen inträffar när bränslet börjar att ta slut. Temperaturen sjunker mycket långsamt och är även flera timmar senare mycket hög. För trä med dess värmetröghet innebär detta att träet fortsätter att förkolna långt efter det att flamfasen har passerats. Under glödfasen finns det ofta också tillräckligt med värme för att en ny storbrand skall kunna slå upp igen, om bara tillgången på syre och bränsle är tillräcklig.

### 5.3.4. BRANDFÖRLOPP OCH DIMENSIONERINGSHÄNSYN

Enligt Boverkets byggregler 94 ( BBR 94 ) så kan man vid brandteknisk dimensionering utgå från något av nedanstående alternativ:

- 1) Provning enligt standardbrandkurvan ISO 834. Här antas temperaturen följa en på förhand given temperaturutveckling ( se figur 30 kapitel 7 ).
- 2) Beräkning enligt samma brandförlopp som ovan.
- 3) Kombinerad provning och beräkning enligt standardbrandkurvan.
- 4) Dimensionering via provning utifrån modell av verkligt brandförlopp. Även kombination av provning och beräkning får göras. Vid beräkningarna erhålles gastemperaturen ur värme och massbalansekvationer för den aktuella brandcellen.

## 5.4. BRANDSPRIDNING

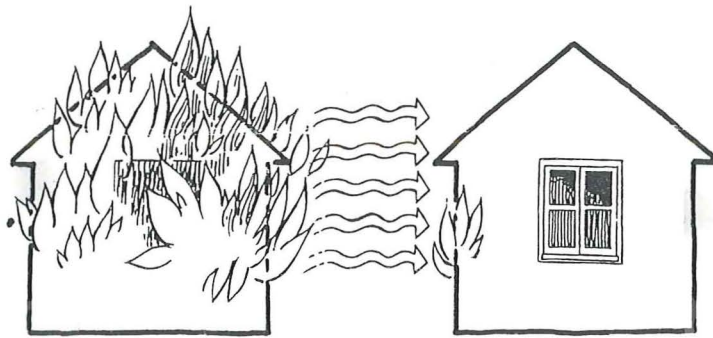
I en byggnad kan en brand sprida sig mellan olika brandceller om den inte bekämpas i tid. I bostadshus är det så att varje lägenhet i sig utgör en brandcell. Ofta sker spridningen av en brand med brinnande eller heta brandgaser som letar sig igenom små sprickor och glipor i väggar, golv och tak, eller så blir väggen så varm på baksidan att ytskiktet på andra sidan väggen antänds av denna anledning. Brand kan också spridas via bjälklag, dörrar, fönster, ventilationskanaler etc. Det är oftast således inte risken för att väggen skall bli genombränd som är dimensionerande för en brandspridning mellan brandceller.



Värme sprids på tre olika sätt:

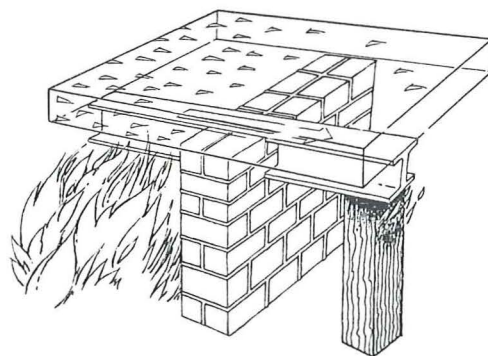
- 1) strålning
- 2) ledning
- 3) konvektion

Förutom att en brand kan spridas från en byggnad till en annan, eller från en brandcell till en annan genom gnistor, glödande eller brinnande flagor, kan en byggnad också antändas genom värmestrålning. Många gånger kan flygande glöd fungera som tändlåga på en redan genom strålning upphettad fasad. Det är också möjligt att flammor från en brinnande byggnad når en annan byggnad eftersom det bildas övertryck i en brinnande brandcell, som på så sätt pressar ut lågor genom dess öppningar, långt utanför den egna brandcellen. Det är dock strålningen som är det vanligaste fenomenet till brandspridning. Det är även strålningen som är främsta orsaken till att ett rum plötsligt kan bli övertänt.



**Fig. 16:** Brandspridning till närlägen byggnad genom strålning. Källa /2/.

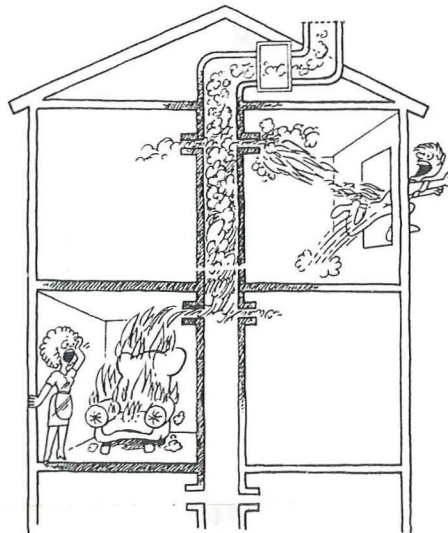
Material med god värmeledningsförmåga såsom metall kan också bidra till att föra en brand vidare. Exempelvis så kan genomföringar av vattenledningar, inbyggda stålbalkar etc. leda till att föremål i en intilliggande brandcell antänds, bara genom att de råkar vara nära det ledande föremålet. För att förhindra en sådan värmeledning måste genomföringar och andra närliggande riskabla element isoleras ordentligt.



**Fig. 17:** Brandspridning genom ledning. Källa /2/.

Mellan olika brandceller och olika delar av en byggnad kan en brand också sprida sig genom konvektion. Detta innebär i praktiken att brandgaserna, antingen de brinner eller ej, via luftförelse för med sig värme till olika delar av ett rum eller hus. Ofta sker brandspridningen via ventilationssystemet.

**Fig. 18:** Brandspridning till annan brandcell och del av byggnad genom konvektion.  
Källa /2/.



## 5.5. TRÄETS STYRKA VID BRAND

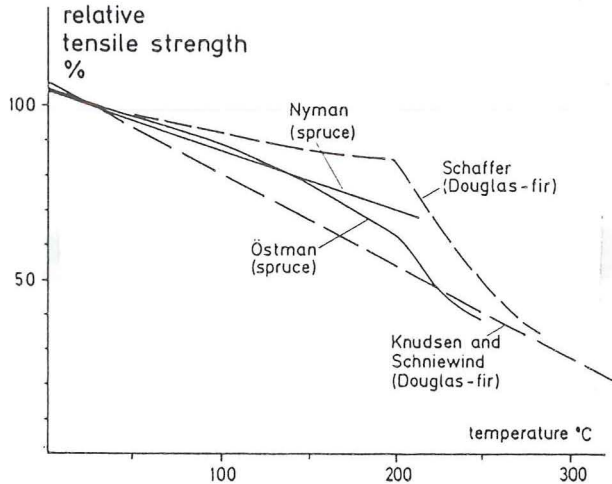
När man skall göra en brandteknisk dimensionering genom beräkning så måste ett materials egenskaper vara väl kända inom det temperaturintervall som beräkningarna avser. Detta gäller framförallt vid brandteknisk dimensionering med verkligt brandförlopp. Det finns dock beräkningsmetoder som gör att man slipper detta eftersom man i dessa hela tiden utgår från "värsta fallet". Dock finns det kanske mycket att vinna både i insikt om hur förhöjd temperatur påverkar trä och i resultatet man erhåller vid en noggrannare dimensionering.

Det är inte bara temperaturskillnaderna som påverkar träets styrka, utan också till mycket stor del fuktkvoten i träet. Fuktkvoten ändrar ju sig dessutom väldigt mycket i trä under en brand, då en hel del vattenånga avges samtidigt som det kvarvarande vattnet omfördelas i träet.

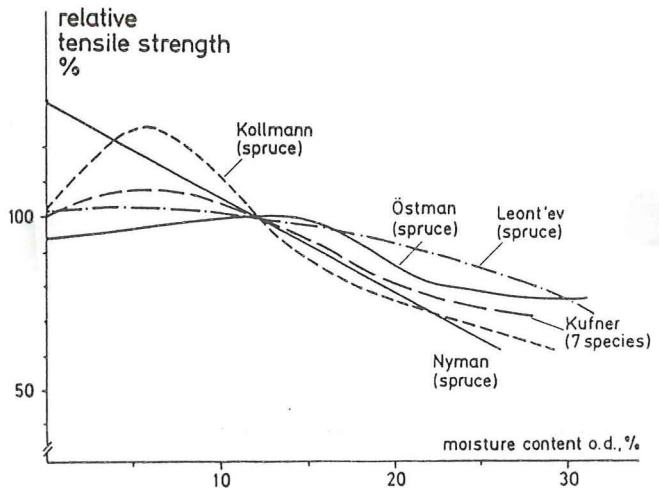
### 5.5.1. DRAGHÅLLFASTHET

Birgit Östman, /28/, har förutom egen forskning också sammanställt andra forskares resultat ( se figur 19 och 20 nedan ). Man kan tydligt urskilja en minskad hållfasthet vid en temperatur omkring 200 °C och vid fuktkvoter mellan 12 och 20 %. Detta beror enligt Östman på att vattenmolekylerna fungerar som mjukgörare för de ämnen som bygger upp vedcellerna. Mjukningstemperaturen ökar ju lägre fuktkvoten är och är för helt torrt virke cirka 200 °C.

**Fig. 19:** Relativ draghållfasthet parallellt med fiberriktningen som funktion av temperaturen hos virke med fuktkvoten 0. Källa /28/.



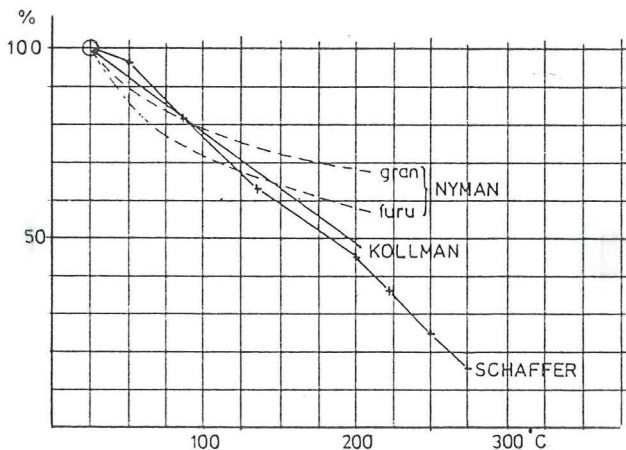
**Fig. 20:** Relativ draghållfasthet parallellt med fiberriktningen som funktion av fuktkvoten vid rumstemperatur. Källa /28/.



### 5.5.2. TRYCKHÅLLFASTHET

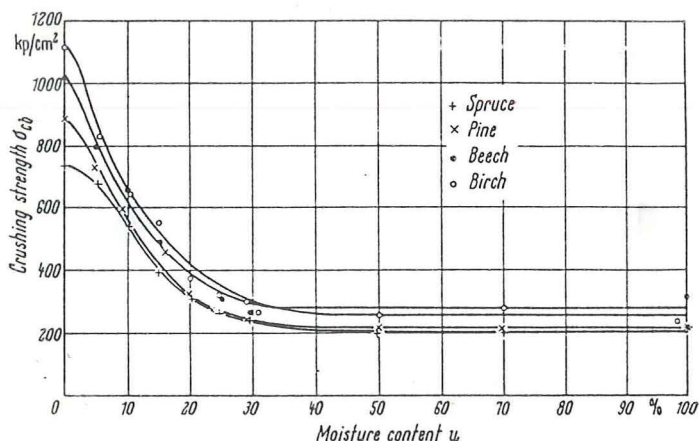
Även tryckhållfastheten är beroende av temperaturen och fuktkvoten. I figur 21 och 22 nedan visas tryckhållfastheten parallellt med fiberriktningen för både furu och gran vid olika temperatur och fuktförhållanden. Dessa diagram hittas sammanställda av Olle Carling, referens /9/.

**Fig. 21:** Relativ tryckhållfasthet parallellt med fiberriktningen som funktion av temperaturen hos virke med fuktkvoten 0. Källa /9/.





**Fig. 22:** Tryckhållfastheten parallellt med fiberriktningen som funktion av fuktkvoten vid 20 °C. Källa /9/.



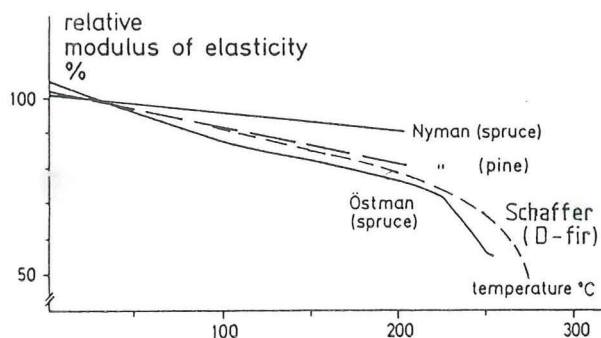
### 5.5.3. BÖJHÅLLFASTHET

Vid beräkning av bärförmåga avseende böjning, vid förhöjd temperatur, utgår man från träets karakteristiska värden som gäller vid rumstemperatur. Därefter reduceras både drag och trycksidan utifrån rent tryck respektive rent drag i förhållande till den temperatur och fuktkvot som råder i träet.

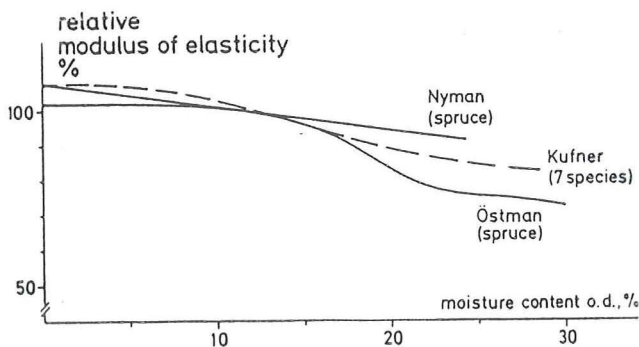
### 5.5.4. ELASTICITETSMODUL

Nedan visas en sammanställning av elasticitetsmodulens temperatur och fuktberoende som Östman, /28/, gjort utifrån egna och andra forskares resultat. Det är tydligt att vid fuktkvoter under 12 % påverkas inte elasticitetsmodulen nämnvärt. Man kan också se i temperaturdiagrammet att elasticitetsmodulen minskar linjärt upp till cirka 200 °C för att därefter sjunka mycket snabb. Detta beror på att vattenmolekylerna då börjar att fungera som mjukgörare ( se resonemang avsnitt 5.5.1. ).

**Fig. 23:** Relativ elasticitetsmodul som funktion av temperaturen hos virke med fuktkvoten 0. Dragning och böjning parallellt med fiberriktningen. Källa /28/.



**Fig. 24:** Relativ elasticitetsmodul som funktion av fuktkvoten. Dragning och böjning parallellt med fiberriktningen vid rumstemperatur. Källa /28/.



## 6. NÅGRA BERÄKNINGSMETODER

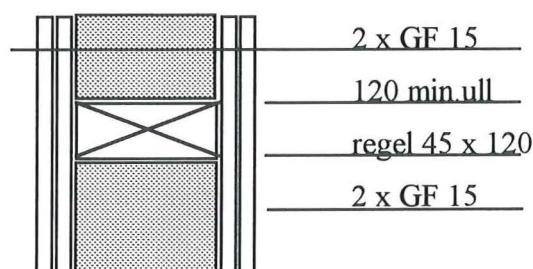
Som sades i inledningen var ett syfte med detta examensarbete att försöka komma fram till en brandklassad REI 90 vägg. En viktig del med att få fram en brandklassad REI 90 vägg är självklart att hitta beräkningsmetoder, som medger att man innan eventuella försök kan beräkna olika väggtyper, för att se om de har någon som helst chans att kunna uppfylla de ställda kraven. Nedan presenteras fyra olika metoder som man kan använda sig av för överslagsberäkning av en konstruktion. En av beräkningsmetoderna är svensk, en är dansk och de övriga två kommer från Eurocode. Dessutom kommer en kanadensisk additionsmetod att presenteras.

Den största nackdelen med de beräkningsmetoder finns idag är att de enbart gäller för brand i massiva träkonstruktioner. Det är dock tillåtet att sätta en viss skyddstid på olika beklädnader. Vilken skyddstid en beklädnad kan erhålla när det gäller att trygga en konstruktions bärande förmåga kan vara mycket svårt att komma fram till. Det finns idag inga tillgängliga tabeller eller resultat där man kan gå in och leta upp sin aktuella beklädnad och på så sätt erhålla en viss skyddstid för sin bärande konstruktion. Istället måste man genom logiskt resonemang, olika rapporter om enskilda material, vilken tid materialen har för en avskiljande förmåga, vilka material som ligger bakom det sökta materialet i konstruktionen samt vilken isolerande förmåga de ingående materialen har, försöka få fram en relevant skyddstid för den aktuella konstruktionen.

### 6.1. FÖRUTSÄTTNINGAR

Följande konstruktion beslöts att testas via de olika beräkningsmetoderna för en 90 minuters brand. ( GF 15 i nedanstående bild innebär en brandgipsskiva som är 15 mm tjock.)

Fig. 25: Konstruktion



Efter de 90 minuterna beräknades konstruktionens kvarvarande bärförmåga både i styva och veka riktningen, under förutsättning att reglarna i veka riktningen var avstyvade på halva höjden.

Då de olika dimensioneringsmetoderna gäller för brand av massiva träkonstruktioner får man vid beräkningarna sätta en tid som de två gipsskivorna skyddar. Dessutom gäller det att även se till betydelsen av isoleringen.

### 6.1.1. GIPSSKIVORNAS SKYDDANDE FÖRMÅGA

Varje gipsskiva har en kalcineringsstid på cirka 25 minuter. Under denna period kokar vattnet i gipsskivan. Således blir skivans temperatur inte mycket mer än 100°C under denna period. Genom att sätta den totala skyddstiden för de båda gipsskivorna till 50 minuter är man på den säkra sidan, eftersom den yttersta kommer att skydda den inre mot direkt exponering och på så sätt öka skyddstiden för denna. Vad man dock bör tänka på är att ju mer man isolerar bakom en skiva desto snabbare kommer temperaturen att stiga i denna. I detta fallet med två gipsskivor istället för en kommer den yttre gipsskivan ej att påverkas nämnvärt.

Då man använder sig av Protect F skivor kommer dessa inte att trilla ned och således kan den invändiga isoleringen ha en ganska normal densitet på cirka 20 kg / m<sup>3</sup>. I annat fall hade en hög densitet behövts för att motverka krympningen i isoleringen så att den hade suttit kvar trots att gipsskivorna gett med sig och för att vara på den säkra sidan hade dessutom en mekanisk infästning av isoleringen varit nödvändig. Trots dessa åtgärder hade det ändå inte varit säkert att en konstruktion klarat sig om de skyddande gipsskivorna hade trillat ned.

### 6.1.2. ISOLERINGENS BETYDELSE

Eftersom isoleringen sitter kvar under hela tiden på grund av att GF15 används, kommer man troligtvis inte att få någon självantändning eftersom syretillförseln, på grund av hindrad luftströmning, inte blir tillräcklig.

På grund av att regeln är isolerad på sidorna erhåller man en relativt enkelsidig brandpåverkan. Denna går något fortare i ytterkanterna och det bildas rundade hörn.



### 6.1.3. TOTAL SKYDDSTID

Studier som gjorts bland annat i ” Bärande B60-väggar vid dubbelsidig brand ” av Norén, /22/, visar att det tar minst tre minuter för gipsskivan att öka från 140 till 300°C när den är färdigkalcinerad. Vid temperaturer under 200 °C går dessutom pyrolysen så långsamt att den inte medtages i beräkningarna.

Således har man via ovanstående resonemang en **total skyddstid på 53 minuter**. Denna skyddstid är dessutom mycket väl på den säkra sidan, vilket även de prov som studerats i Gullfibers miniugn bekräftar ( se nästa kapitel ). I dessa prov erhöles nämligen en skyddstid på 65-70 minuter.



## 6.2. PRESENTATION AV DE OLIKA BERÄKNINGSMETODERNA

Följande metoder kommer att presenteras nedan:

Metod 1: Förenklad svensk metod med effektivt tvärsnitt.

Metod 2: Modifierad dansk metod utnyttjande energibalans.

Metod 3: Förenklad effektiv tvärsnittsmetod enligt Eurocode.

Metod 4: Reducerad styvhets och styrkemethod enligt Eurocode.

Då det är omöjligt att ge bakgrunden till alla formler och koefficienter i de olika beräkningsmetoderna samt att det inte är av intresse för denna rapport rekommenderas den som vill fördjupa sig i detta att gå direkt till källmaterialet, Carling:s rapport , referens /9/, samt Eurocode, referens /13/ och /15/.

### 6.2.1. METOD 1 OCH 2 ENLIGT CARLING

Både metod 1 och 2 är hämtade ur Olle Carling:s rapport ” Brandteknisk dimensionering av massiva träkonstruktioner ”. I kapitel 9 i ovan nämnda rapport presenterar han ett antal olika beräkningsmetoder, både enkla överslagsmetoder och mera nyanserade metoder.

Metod 1 följer de svenska bestämmelserna då man får visa att kravet på viss brandteknisk klass är uppfyllt genom att beräkna bärförmågan efter en termisk belastning motsvarande ISO 834. Man tänker sig att pyrolyszonen under hela branden har en konstant inträngningshastighet. Därefter beräknar man bärförmågan för kvarvarande effektiva tvärsnitt. Kolskiktintringningen får dock bara vara  $\frac{1}{4}$  av tvärsnittets ursprungliga mått i inträngningsriktningen. En annan begränsning är att slankhetstalet hos pelare efter brand inte får överstiga 170. Man räknar med en inträngningshastighet på 0,833 mm/min. Denna inträngningshastighet är högre än verklig och på så sätt slipper man att ta hänsyn till de hörnradier som bildas på en regel vid brandpåverkan.

Metoden som presenteras i Carling:s rapport är baserad på Nybyggnadsreglerna. Således kommer kanske några partialkoefficienter att skilja sig mot dagens i Boverketskonstruktionsregler. Detta torde dock ge försumbara skillnader och därför är beräkningarna gjorda med den metod som presenteras.

Metod 2 presenteras även denna av Carling i ovan nämnda rapport. Metoden baserar sig på den danska tränormen DS 413 som Carling sedan modifierat med avseende på inträngningshastighet och materialhållfasthet. Detta gjordes för att få en bättre överensstämmelse med verkliga provresultat. Beräkningsmetoden bygger på energibalanskvationer och följer således inte en på förhand ställd temperaturutveckling som t.ex. ISO 834 gör.

## 6.2.2. METOD 3 OCH 4 ENLIGT EUROCODE

I ”Eurocode 5, design of timber structures, part 1.2 ” /13/, finns det tre olika metoder för att beräkna bärförmågan mot brand:

Metod 3 i nedanstående beräkningar:

- Förenklad effektiv tvärsnittsmetod. Bärigheten beräknas för det effektiva tvärsnittet under antagandet att hållfastheten och styvheten inte påverkas under branden. Istället så kompenseras förlusten i styvhet och styrka genom att man sätter ett större förkolningsdjup.

Metod 4 i nedanstående beräkningar:

- Reducerad styrka och styvhets metod. Hållfastheten hos det kvarvarande tvärsnittet beräknas utifrån att man tar hänsyn till minskningen i styvhet och hållfasthet under brand.

- Generell metod där temperatur och fukttinhåll beaktas samt dess påverkan på hållfastheten och styvheten i varje punkt på tvärsnittet.

Då Eurocode endast behandlar massiva tvärsnitt får man här utgå från försök gjorda med brandgipsskiva, GF15, avseende dess brandmotståndstid, precis som i beräkningarna för alternativ 1 och 2.

I nedanstående beräkningar har ”Eurocode 5, design of timber structures, part 1.1 ” /15/, samt ”Eurocode 5, design of timber structures, part 1.2 ” /13/, utnyttjats tillsammans med respektive NAD - National Adjustment Document, /14/ /16/. Det är nödvändigt att använda NAD då varje land har regler och metoder som skiljer sig åt. Dessutom blir inte Eurocode giltig om man inte använder sig av NAD.

## 6.3. BERÄKNINGSMETOD 1

Detta är en förenklad metod med effektivt tvärsnitt ur Olle Carling:s ”Brandteknisk dimensionering av massiva träkonstruktioner ” /9/.

För att slippa räkna på hörnradier använder man sig av en förhöjd inträngningshastighet på 50 mm / h för konstruktionsvirke.

Eftersom exponeringstiden är  $90 - 53 = 37$  minuter blir inträngningen 30,8 mm. Detta uppfyller också kraven att inträngningen från varje sida är högst  $\frac{1}{4}$  av tvärsnittets ursprungliga mått i inträngningsriktningen.

Resterande effektiva tvärsnitt får då dimensionerna: 45 x 89,2

*Enligt kapitel 9 i /9/ erhålles följande ekvationer:*

Antag centriskt tryck.

Dimensionerande bärförmåga,  $N_{rd}$ , ges då av följande uttryck:

$$N_{rd} = K_{cr} * K * K_r * f_{ck} * b * (h - B * t)$$

$K_{cr}$  = omräkningsfaktor enl Nybyggnadsregler 6:4222 / BKR 94

$K$  = 1,11 :omräkningsfaktor för tryckfall

$$\begin{aligned}K_r &= 0,65 \text{ :omräkningsfaktor för lasttyp} \\f_{ck} &= 29 \text{ MPa :karakteristiskt grundvärde för tryckhållfasthet för K30 virke} \\b &= 0,045 \text{ m :bredd på regel} \\h &= 0,120 \text{ m :höjd på regel} \\B &= 0,8333 \text{ mm / minut :pyrolysens inträngningshastighet} \\t &= 37 \text{ min. :exponeringstid}\end{aligned}$$

Vid enkelsidig brand verkar de motstående skivorna stagande längs hela regelns längd. Detta gör att regeln troligtvis kommer att knäcka i styva riktningen.

$$\begin{aligned}\lambda_{red} &= L * \sqrt{12} / h = 2,4 * \sqrt{12} / 0,082 = 93,2 \\ \lambda_{red} &= 93,2 \text{ ger } K_{cr} = 0,28 \text{ enligt Nybyggnadsregler/ BBK 94} \\ N_{rd} &= 0,28 * 1,11 * 0,65 * 29000 * 0,045 * 0,0892 \quad [ \text{kN} ] \\ N_{rd} &= \mathbf{23,5 \text{ kN}} \text{ ( centriskt tryckt regel i styva riktningen )}\end{aligned}$$

Antag att skivorna på baksidan slås ut. Reglarna kommer då att knäcka i veka riktningen. Det krävs då kortlingar för att öka bärförmågan.

Antag kortlingar på halva höjden:

$$\begin{aligned}\lambda_{red} &= L * \sqrt{12} / h = 1,2 * \sqrt{12} / 0,045 = 92,4 \\ \lambda_{red} &= 92,4 \text{ ger } K_{cr} = 0,28\end{aligned}$$

Med övriga parametrar som ovan blir dimensionerande bärförmåga,  $N_{rd}$ , vid centriskt tryck:

$$\begin{aligned}N_{rd} &= 0,28 * 1,11 * 0,65 * 29000 * 0,045 * 0,0892 \quad [ \text{kN} ] \\ N_{rd} &= \mathbf{23,5 \text{ kN}} \text{ ( centriskt tryckt regel i veka riktningen )}\end{aligned}$$

Som synes blir det ingen skillnad mellan knäckning i styva riktningen respektive knäckning i veka riktningen med denna beräkningsmetod om man har kortlingar på halva höjden.

Man erhåller dessutom ganska låga värden på bärförmågan.



## 6.4. BERÄKNINGSMETOD 2

I denna modifierade danska metod som finns beskriven ovan och i /9/, beräknas den dimensionerande tvärsnittsreduktionen med hjälp av verkligt brandförlopp där man tar hänsyn till tillgången på bränsle och syre.

Normala öppningar i ett hus ger en öppningsfaktor ( $a\sqrt{h} / a_{tot}$ ) på  $0,04 \text{ m}^{1/2}$ .  
För bostäder gäller att  $f \leq 200 \text{ MJ} / \text{m}^2$ .

Den dimensionerande tvärsnittsreduktionen, X, beräknas enligt följande:

$$\begin{aligned} X &= B_0 * t && \text{för } 0 \leq t \leq t_1/3 \\ X &= B_0 * t ( 1,5 - (0,0833 * t_1 / t) - ( 0,75 * t / t_1 ) ) && \text{för } t_1/3 < t \leq t_1 \end{aligned}$$

där  $t_1 = 0,0175f / (a\sqrt{h} / a_{tot})$   
 $B_0 = B + ((2 a\sqrt{h} / a_{tot}) - 0,08) / ((3 a\sqrt{h} / a_{tot}) + 0,06)$  för  $0,02 \leq a\sqrt{h} / a_{tot} \leq 0,30$

B = 0,8 mm / min för konstruktionsvirke av gran eller furu.  
t = 37 min :tiden  
t<sub>1</sub> = brandvaraktighet ( min )  
 $a\sqrt{h} / a_{tot} = 0,04 \text{ m}^{1/2}$  :brandcellens öppningsfaktor  
f = 200 MJ / m<sup>2</sup> :brandbelastning per omslutningsyta  
B<sub>0</sub> = pyrolyszonens initiella inträngningshastighet ( mm / min )

Med ovanstående värden erhålles:

$$\begin{aligned} t_1 &= 0,0175 * 200 / 0,04 \quad [ \text{min} ] \\ t_1 &= 87,5 \text{ min} \end{aligned}$$

$$B_0 = ( 0,8 + 0 ) = 0,8 \text{ mm} / \text{min}$$

$$\begin{aligned} X &= 0,8 * 37 * ( 1,5 - ( 0,0833 * 87,5 / 37 ) - ( 0,75 * 37 / 87,5 ) ) \quad [ \text{mm} ] \\ X &= 29,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Antag centriskt tryck.

Dimensionerande bärförmåga, N<sub>rd</sub>, ges då av följande uttryck:

$$N_{rd} = K_{cr} * f_{ck} * b * ( h - X )$$

K<sub>cr</sub> = omräkningsfaktor enl Nybyggnadsregler 6:4222 / BKR 94

f<sub>ck</sub> = 29 MPa :karakteristiskt grundvärde för tryckhållfasthet för K30 virke

$$\begin{aligned} b &= 0,045 \text{ m :bredd på regel} \\ h &= 0,120 \text{ m :höjd på regel} \\ X &= 0,0292 \text{ m :pyrolsens inträngning} \end{aligned}$$

Vid enkelsidig brand verkar de motstående skivorna stagande längs hela regelns längd. Detta gör att regeln troligtvis kommer att knäcka i styva riktningen.

$$\lambda_{\text{red}} = L * \sqrt{12} / (h - X) = 2,4 * \sqrt{12} / 0,0908 = 91,6$$

$$\lambda_{\text{red}} = 91,6 \text{ ger } K_{\text{cr}} = 0,30 \text{ enligt Nybyggnadsregler/ BBK 94}$$

$$N_{\text{rd}} = 0,30 * 29000 * 0,045 * 0,0908 \quad [ \text{kN} ]$$

$$N_{\text{rd}} = \mathbf{35,5 \text{ kN}} \text{ ( centriskt tryckt regel i styva riktningen )}$$

Antag att skivorna på baksidan slås ut. Reglarna kommer då att knäcka i veka riktningen. Det krävs då kortlingar för att öka bärförmågan.

Antag kortlingar på halva höjden:

$$\lambda_{\text{red}} = L * \sqrt{12} / h = 1,2 * \sqrt{12} / 0,045 = 92,4$$

$$\lambda_{\text{red}} = 92,4 \text{ ger } K_{\text{cr}} = 0,28$$

Med övriga parametrar som ovan blir dimensionerande bärförmåga,  $N_{\text{rd}}$ , vid centriskt tryck:

$$N_{\text{rd}} = 0,28 * 29000 * 0,045 * 0,0908 \quad [ \text{kN} ]$$

$$N_{\text{rd}} = \mathbf{33,2 \text{ kN}} \text{ ( centriskt tryckt regel i veka riktningen )}$$

Även i denna beräkningsmetod blir det nästan ingen skillnad mellan knäckning i styva riktningen respektive knäckning i veka riktningen om man har kortlingar på halva höjden. Lägg märke till att bärförmågan i denna metod blir nästan 10 kN högre än i metod 1.

### 6.5. BERÄKNINGSMETOD 3

Beräkningsmetod 3 utgår från en förenklad effektiv tvärsnittsmetod enligt Eurocode. Denna metod liknar mycket den förenklade metod som beskrivs i Carling /9/ och som använts i metod 1 ovan och på så sätt medges en nästan direkt jämförelse mellan de båda metoderna.

Först bestäms ett inträngningsdjup hos kolskiktet,  $d_{ef}$ , som kompenserar för förlusterna i styvhet och hållfasthet.

$$d_{ef} = d_{char} + K_0 * d_0 \quad [ \text{mm} ]$$

$$d_{char} = B_0 * t \text{ :kolskiktets djup ( mm )}$$

$$B_0 = 0,8 \text{ mm / min}$$

$$t = 37 \text{ min :exponeringstid enl. tidigare resonemang}$$

$$d_0 = 7 \text{ mm :givet värde i Eurocode}$$

$$K_0 = 1,0 \text{ :beroende av brandtid } t_{freq} = 90 \text{ min och skyddstid } t_{pr} = 57 \text{ min.}$$

Utläses ur tabell 4.1 i /13/. I detta fall 1,0.

Detta ger:  $d_{ef} = 0,8 * 37 + 1,0 * 7 \quad [ \text{mm} ]$   
 $d_{ef} = 36,6 \text{ mm. Jämför med } 30,8 \text{ mm enligt metod 1.}$

Då man utnyttjar effektiv tvärsnittsmetod skall man dimensionera på samma sätt som för normal temperatur.

Antag centriskt tryckt pelare.

Dimensionerande spänning ges av:

$$f_d = K_{mod,f} * K_f * f_{ck} / \gamma_{M,f} \quad [ \text{MPa} ]$$

$$\gamma_{M,f} = 1,0 \text{ :givet värde i denna metod.}$$

$$K_{mod,f} = 1,0 \text{ :givet värde i denna metod.}$$

$$K_f = 1,25 \text{ :gäller för konstruktionsvirke}$$

Detta ger:  $f_d = 1,0 * 1,25 * 29 / 1,0 \quad [ \text{MPa} ]$   
 $f_d = 36,25 \text{ MPa}$

Om även bjälklaget hade varit brandklassat i 90 minuter så skulle det enl. Eurocode vara tillåtet att tillgodoräkna sig fast inspänning mellan golv och bjälklag. Vid enkelsidig brand kan reglarna anses vara stagade i veka riktningen då de motstående skivorna anses opåverkade.



Följande slankhetstal erhålles nu:

$$\lambda_{red} = L * \sqrt{12 / h} = 2,4 * \sqrt{12 / (0,120 - 0,0366)}$$
$$\lambda_{red} = 99,6$$

I Eurocode hittas följande dimensioneringskrav för centriskt tryck:  $\sigma_{cd} / (K_{c,z} * f_{cd}) \leq 1,0$   
Enligt NAD /16/ kan  $K_{c,z}$  bestämmas.

$$\lambda_{red} = 99,6 \Rightarrow K_{c,z} = 0,27$$

vilket ger dimensionerande bärförmåga  $F_{cd}$ :

$$\sigma_{cd} \leq 0,27 * 36,25 = 9,78 \text{ MPa}$$
$$F_{cd} = 9780 * 0,045 * (0,120 - 0,0366) = \mathbf{36,7 \text{ kN}}$$

Antag att skivorna på baksidan slås ut. Reglarna kommer då att knäcka i veka riktningen.  
Det krävs då kortlingar för att öka bärförmågan.

Antag kortlingar på halva höjden:

$$\lambda_{red} = L * \sqrt{12 / h} = 1,2 * \sqrt{12 / 0,045} = 92,4$$
$$\lambda_{red} = 92,4 \text{ ger } K_{cr} = 0,28$$

Med övriga parametrar som ovan blir dimensionerande bärförmåga,  $F_{cd}$ , vid centriskt tryck:

$$\sigma_{cd} \leq 0,28 * 36,25 = 10,15 \text{ MPa}$$
$$F_{cd} = 10150 * 0,045 * (0,120 - 0,0366) = \mathbf{38,1 \text{ kN}}$$

För jämförelse mellan de olika metoderna se avsnitt 6.7.

## 6.6. BERÄKNINGSMETOD 4

Beräkningsmetod 4 utgår från en reducerad styvhets och styrkemethod enligt Eurocode. I denna metod kan man välja om man vill ta hänsyn till hörnradien eller ej, vilket ger olika beräkningsförfaranden. Nedanstående beräkningar är gjorda med hänsyn till de bildade hörnradierna efter en brand.

Först bestäms ett inträngningsdjup hos kolskiktet,  $d_{char}$ .

$$d_{char} = B * t \quad [ \text{mm} ]$$

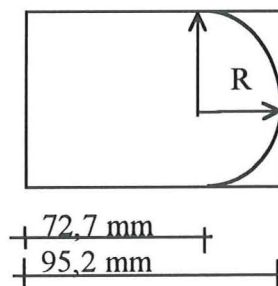
$$\begin{aligned} d_{char} &= B * t : \text{kolskiktets djup ( mm )} \\ B &= 0,67 \text{ mm / min} : \text{hämtat ur tabell A.1 i /13/ och beror på träslag.} \\ t &= 37 \text{ min} : \text{exponeringstid enl. tidigare resonemang} \end{aligned}$$

Med ovanstående kolskikt har följande tvärsnitt erhållits.

Radien,  $R$ , erhålls ur fig. A1 i /13/ och blir i detta fall 22,5 mm d.v.s. halva regelns bredd.

Arean,  $A$ , för detta tvärsnitt blir:

$$\begin{aligned} A &= 72,7 * 45 + ( 22,5^2 * 3,14 / 2 ) \\ A &= 4066 \text{ mm}^2 = 0,004066 \text{ m}^2 \end{aligned}$$



Den effektiva höjden,  $h_{ef} = 72,7 + 2R/\pi = 87,7 \text{ mm}$

Antag centriskt tryckt pelare.

Dimensionerande spänning ges av:

$$f_d = K_{mod,f} * K_f * f_{ck} / \gamma_{M,f} \quad [ \text{MPa} ]$$

$\gamma_{M,f} = 1,0$  : givet värde i denna metod.

$K_f = 1,25$  : gäller för konstruktionsvirke

$f_{ck} = 29 \text{ MPa}$  : karakteristiskt hållfasthetsvärde

$K_{mod,f} = 1 - (1 * P) / (125 * A)$

$P = \text{längd exponerad mot brand. I detta fall blir } P = R * \pi.$

$R = 0,0225 \text{ m}$

Ovan ger:

$$\begin{aligned} K_{mod,f} &= 1 - (1 * 0,0225 * 3,14) / (125 * 0,004066) \\ K_{mod,f} &= 0,86 \end{aligned}$$

Dimensionerande spänning blir sålunda:

$$f_d = 0,86 * 1,25 * 29 / 1,0 \quad [ \text{MPa} ]$$
$$f_d = 31,20 \text{ MPa}$$

Vid enkelsidig brand kan reglarna anses vara stagade i veka riktningen då de motstående skivorna anses opåverkade.

Följande slankhetstal erhålles nu:

$$\lambda_{red} = L * \sqrt{12} / h_{ef} = 2,4 * \sqrt{12} / 0,0877$$
$$\lambda_{red} = 94,8$$

I Eurocode hittas följande dimensioneringskrav för centriskt tryck:  $\sigma_{cd} / (K_{c,z} * f_{cd}) \leq 1,0$   
Enligt NAD /16/ kan  $K_{c,z}$  bestämmas.

$$\lambda_{red} = 94,8 \quad \Rightarrow \quad K_{c,z} = 0,285$$

vilket ger dimensionerande bärförmåga  $F_{cd}$ :

$$\sigma_{cd} \leq 0,285 * 31,2 = 8,89 \text{ MPa}$$
$$F_{cd} = 8890 * 0,004066 = \mathbf{36,1 \text{ kN}}$$

Antag att skivorna på baksidan slås ut. Reglarna kommer då att knäcka i veka riktningen. Det krävs då kortlingar för att öka bärförmågan.

Antag kortlingar på halva höjden:

$$\lambda_{red} = L * \sqrt{12} / h = 1,2 * \sqrt{12} / 0,045 = 92,4$$
$$\lambda_{red} = 92,4 \text{ ger } K_{cr} = 0,28$$

Med övriga parametrar som ovan blir dimensionerande bärförmåga,  $F_{cd}$ , vid centriskt tryck:

$$\sigma_{cd} \leq 0,28 * 31,2 = 8,74 \text{ MPa}$$
$$F_{cd} = 9360 * 0,004066 = \mathbf{38 \text{ kN}}$$



Som synes ger de båda olika metoderna från Eurocode nästan samma resultat. Metod 4 som var mer nyanserad gav i detta fall faktiskt en bärförmåga som var något lägre än den i metod 3. Dessutom är beräkningsmetoden i metod 3 enklare. Om det generellt är så att metod 3 ger högre värde på dimensionerande hållfasthet har inte studerats.

## 6.7. JÄMFÖRELSE MELLAN BERÄKNINGSMETODERNA

I nedanstående tabell redovisas resultaten från de fyra olika dimensionerings metoderna.

Metod	Knäckning i styva riktningen [kN]	Knäckning i veka riktningen Kortl. halva höjden [kN]
METOD 1 / svensk metod	23,5	23,5
METOD 2 / dansk metod	35,5	33,2
METOD 3 / Eurocode	36,7	38,1
METOD 4 / Eurocode	36,1	38

**Tabell 1:** Jämförelse av lastnivå mellan fyra olika dimensioneringsmetoder vid knäckning i styva resp. veka riktningen för konstruktionen i fig. 25 efter 90 minuters brand.

Som synes är resultaten väldigt lika. Det är bara den svenska förenklade metoden med effektivt tvärsnitt som ligger klart under de övriga metodernas resultat. Detta beror kanske på att det ligger en alldeles för hög säkerhetsnivå i metoden. Dessutom så kommer den svenska metoden att vara överspelad i och med Eurocodes frammarsch. Resultaten pekar dock mot att ganska stora lastnivåer kan tas av den konstruktion som beräkningarna gjorts på. Dessutom visar försöken gjorda i Gf:s miniugn ( se nästa kapitel ) att skyddstiden på gipsskivorna låg betydligt högre och att inbränningen blev avsevärt mindre än vad som räknats med i ovanstående exempel.

En annan mycket enklare metod för att dimensionera mot brand är den s.k. ”Additionsmetoden”. Denna återfinns i bl.a. NBCC- National Building Code of Canada. En kort beskrivning om metoden samt exempel på dimensionering av en 90 minuters bärande vägg ges i nedanstående stycke.

## 6.8. ADDITIONSMETOD ENLIGT NBCC

En mycket enkel metod för att beräkna både bärande och avskiljande träregelväggar, träbjälklag och tak finns beskriven i ett supplement till National Building Code of Canada, NBCC. Metoden grundar sig på ett stort antal fullskaliga brandprov enligt den amerikanska normen ASTM E 119, vilket är vår motsvarighet till ISO 834. En utförlig redogörelse och genomgång med exempel för denna metod hittas även i boken ” Canadian Wood Council, Fire Resistance ” /8/.

Metodens enkelhet ligger i att varje ingående material ges en viss tid som bidrar till brandmotståndet. Den totala brandmotståndstiden fås sedan som summan av bidraget från skivbeklädningen på den exponerade sidan, brandmotståndet för stommen samt ett tillägg för eventuell isolering mellan de stombärande träreglarna eller bjälkarna. Det är viktigt att notera

att även om olika delar i konstruktionen ges olika brandmotståndstider, är dessa tider inte desamma som brandmotståndstiden för det enskilda skiktet i sig, utan dessa tider måste sättas i samband med brandskyddet för hela konstruktionen.

Metoden ger således en tid som en konstruktion kan vara bärande utan att på något vis ta hänsyn till konstruktionens aktuella lastnivå. På så sätt är detta en ganska okänslig metod som vid låga laster många gånger kanske har en för hög säkerhetsnivå, men vid höga laster kanske ligger på gränsen till vad som i praktiken skulle vara en godkänd konstruktion. Dock ligger dess stora fördel i att den är så enkel att vem som helst kan använda den och dessutom medger den att man på ett mycket enkelt och snabbt sätt kan laborera med olika konstruktioner för att få fram den som passar eller uppfyller kraven bäst. En begränsning är dock att angivna tider för många skivbeklädnader saknas samt att centrumavståndet för reglar skall vara 400 mm. Dessutom är det endast givet en skyddstid för 2"x4" reglar d.v.s. reglar med dimensionen 38x89 mm. Detta är också den minsta dimension en regel tillåts ha. Värt att notera vad gäller isoleringen är att för stennull så är tilläget 15 minuter både när det gäller bärande och avskiljande konstruktion medan för glasull så är tilläget 5 minuter enbart för avskiljande konstruktion.

Nedan visas utdrag från olika tabeller som visar brandmotståndstiderna för skivbeklädnad, stomme samt isolering.

Time Assigned for Additional Protection	
Description of Additional Protection	Fire Resistance min
Add to the fire-resistance rating of wood stud walls if the spaces between the studs are filled with preformed insulation of rock or slag fibres conforming to CSA A101, "Thermal Insulation, Mineral Fibre, for Buildings" and with a mass of not less than 1.22 kg/m <sup>2</sup> of wall surface <sup>(1)</sup>	15
Add to the fire-resistance rating of non-loadbearing wood stud walls if the spaces between the studs are filled with preformed insulation of rock or slag fibres conforming to CSA A101, "Thermal Insulation, Mineral Fibre, for Buildings" and with a mass of not less than 0.6 kg/m <sup>2</sup> of wall surface <sup>(1)</sup>	5

**Tabell 2:** Tabell med tider för extra skydd av stomme. Källa /8/.

**Tabell 3:** Utdrag ur tabell med tider för reglar och bjälkar med minsta tvärsnitt 38x89 mm. Källa /8/.

Time Assigned for Contribution of Wood or Light Steel Frame	
Description of Frame	Time assigned to Frame min
Wood studs 400 mm o.c.	20
Steel studs 400 mm o.c.	10
Wood floor and wood roof joists 400 mm o.c.	10
Open web steel joist floors and roofs with ceiling supports 400 mm o.c.	10
Wood roof and wood floor truss assemblies 600 mm o.c.	5



**Tabell 4:** Utdrag ur tabell med angivna skyddstider för några olika skivbeklädnader. Källa /8/.

Time Assigned to Wallboard Members on Fire Exposed Side	
Description of Finish	Time min
12.5 mm fiberboard (x)	5
8.0 mm Douglas Fir Plywood phenolic bonded	5
11.0 mm Douglas Fir Plywood phenolic bonded	10
14.0 mm Douglas Fir Plywood phenolic bonded	15
9.5 mm gypsum wallboard	10
12.7 mm gypsum wallboard	15
12.7 mm Type X gypsum wallboard	25
15.9 mm gypsum wallboard	20
15.9 mm Type X gypsum wallboard	40
Double 9.5 mm gypsum wallboard	25
12.7 mm and 9.5 mm gypsum wallboard	35
Double 12.7 mm gypsum wallboard	40
Double 12.7 mm gypsum wallboard	50 <sup>11</sup>
Double 12.7 mm Type X gypsum wallboard	80 <sup>21</sup>

Notes to Table 2.3.A:

<sup>11</sup> Wire mesh with 1.57 mm diam wire and 25 by 25 mm openings must be fastened between the two sheets of wallboard.

<sup>21</sup> Applies to non-loadbearing steel framed walls only

(x) troligen porös board (med densitet ca 300 kg/m<sup>3</sup>)

Antag att vi utgår från den konstruktion som beskrivs i figur 25 avsnitt 6.1 och som föregående beräkningsmetoder också grundar sig på. Om man antar dubbla 12.7 mm brandgipsskivor, typ X, istället för GF 15 och om man ersätter 45x120 reglarna med 38x89 regler med centrumavstånd 400 mm, erhålles med hjälp av tabellerna 2, 3 och 4 ovan, följande resultat:

<u>MATERIAL</u>	<u>BRANDMOTSTÅND</u>	<u>TABELL</u>
2 x 12.7 mm typ X, ( motsvarande GF 15 )	80 minuter	4
Träreglar 38x89	20 minuter	3
Stenull 89 mm	15 minuter	2
Total brandmotståndstid:		115 minuter

Som synes så ger denna beräkningsmetod ganska långa brandmotståndstider för en bärande konstruktion. Hur relevanta dessa tider är i förhållande till svenska krav och provningsförhållande kommer inte att diskuteras närmare, då det viktiga här är att visa att det utomlands finns mycket enkla metoder för dimensionering av bärande konstruktioner. Dessutom bör man ställa sig själv frågan varför sådana enkla metoder inte finns i Sverige.



## 7.FÖRSÖK I REDUCERAD SKALA

Med försök i reducerad skala menas i det här fallet att endast en liten bit av en väggkonstruktion utsätts för brandprov, istället för en fullskalig vägg på 3 x 3 meter. Syftet med de reducerade brandproven av väggelement var att erhålla data som gjorde det möjligt att bedöma om ett fullskaligt försök var något att sträva efter, samt att utifrån de erhållna data kunna bedöma brandmotståndstider för olika material och relevans hos olika beräkningsmetoder. Väggelementens konstruktion utformades så att de dels skulle motsvara en slags grundkonstruktion, som möjliggjorde utvärdering och extrapolering till andra konstruktioner och dels så att konstruktionerna skulle motsvara den konstruktion som de tidigare redovisade beräkningarna och beräkningsmetoderna var grundade på.

Försöken genomfördes hos Gullfiber AB i Billesholm där man har utrustning och stor erfarenhet av reducerade brandförsök.

Till detta kapitel hör också bilaga A och B som är bildkollage över montering, utförande och resultat av prov. Bilagorna kan med fördel studeras innan eller samtidigt som detta kapitel. I nedanstående text finns också hänvisningar till några av bilagornas bilder.

### 7.1. KONSTRUKTION

#### 7.1.1. MATERIAL

Följande material användes vid de reducerade försöken:

Glasull	3624 - 20 kg / m <sup>3</sup>
Träregel	45 x 120 resp. 45 x 170
Gips	GF 15, GN13

Att glasull användes istället för stenull beror på att om en konstruktion klarar av ställda krav med glasull som isolering så klarar nästan alltid stenullen det också. Om man således hade använt stenull som isolermaterial så hade man inte vetat om det hade gått att byta ut detta mot glasull. Dessutom kan man se det hela ur ett myndighetsperspektiv ty om en konstruktion är godkänd med stenull som isolerande material tillåts man inte byta ut detta mot glasull, däremot om det motsatta förhållandet råder så är det inga problem att byta ut isoleringen.

Träreglarna bestod av firsidigt hyvlade furureglar som förvarats torrt en tid innan försöken. I 7.7. redovisas fuktkvoterna för de ingående reglarna.

Gipsen bestod av Gyprocs brandgipsskiva GF 15 samt Gyprocs normalgipsskiva GN 13. I försöken var det brandgipsskivorna som var exponerade mot ugnen och normalgipsen hade endast funktionen att hålla kvar vattenånga och hålla isoleringen på sin plats.

## 7.1.2. KONSTRUKTION OCH TERMOELEMENTPLACERING

Fig. 26: Prov 1-4

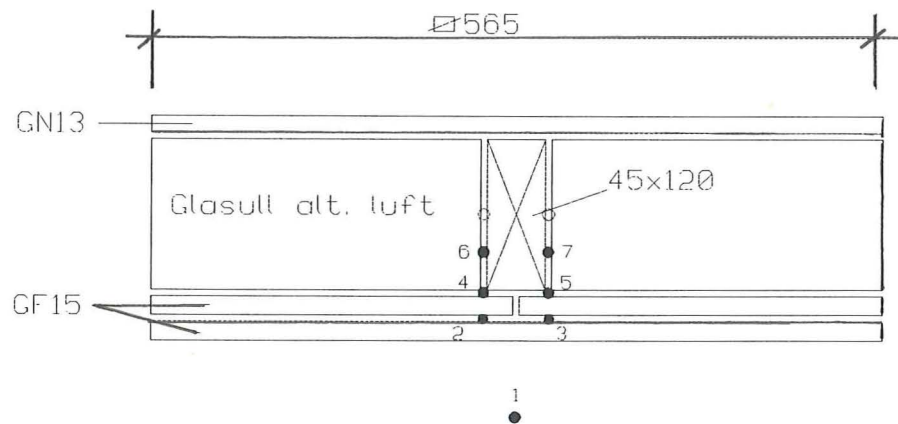
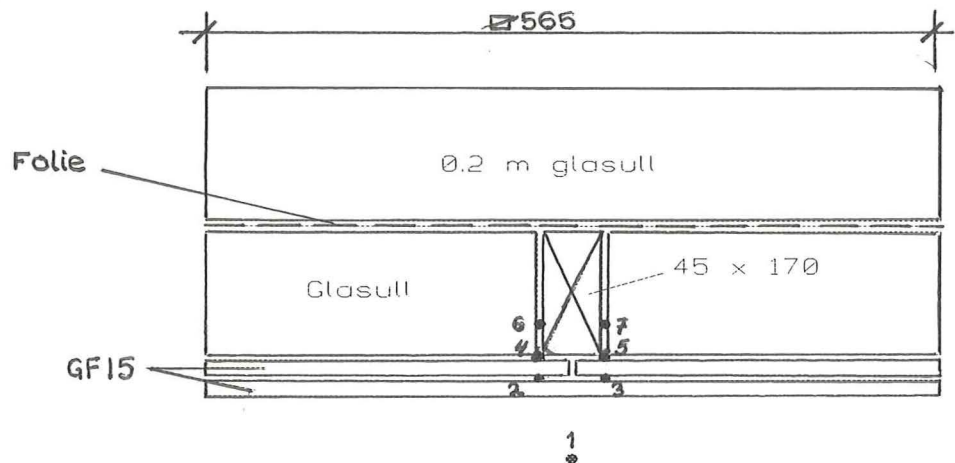


Fig. 27: Prov 5-6



Figur 26 och 27 ovan visar tvärsnittet genom provkropparnas mitt. Termoelementen 6 och 7 placeras på höjden 30 mm utom i prov 1 och 2 där de sitter på halva höjden 60 mm. Vid prov 5 och 6 infördes även ett tätskikt ovanför regeln, GN 13 togs bort och ersattes med en 0,2 meter tjock isolering. Detta gjordes för att med hjälp av symmetri försöka simulera en dubbelsidig brandpåverkan.

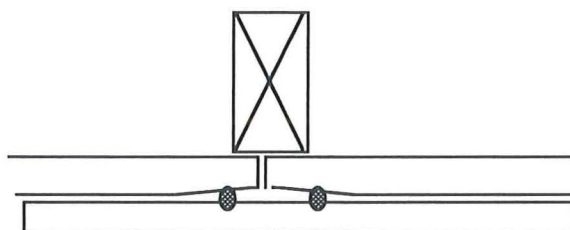
Termoelement nr	Märkning
01	UGNSTEMP
02	VÄ. MELLAN GIPS
03	HÖ. MELLAN GIPS
04	VÄ. BALKKANT GIPS
05	HÖ. BALKKANT GIPS
06	VÄ BALK 30/60 mm
07	HÖ BALK 30/60 mm

Tabell 5: Termoelementens placering i konstruktionerna

## 7.2. MONTERING

Först kapades reglarna och gipsskivorna så att de fick de rätta måtten. Därefter märkte man ut var de olika termoelementen skulle sitta. Gipsskivorna skruvades sedan i träregeln med Grabber gipsskruv 58 mm. På grund av att man inte ville störa provet alltför mycket fästes endast den understa skivan med två skruvar 58 mm. Gipsskruven fästes med 20 cm avstånd.

För att få termoelementen att sitta på rätt plats fick man i ena änden på regeln borra snett igenom denna, för att på så sätt kunna sticka igenom termoelementen. Termoelementen fästes sedan med klammerpistol, (se bild 2 bilaga A ). Genom att vända de innersta gipsskivorna på rätt håll erhöles en glipa där termoelementen mellan gipsskivorna kunde stickas in och fästas. Se bild nedan.



**Fig. 28:** När de innersta gipsskivorna monterades på rätt håll erhöles en glipa där termoelementen kunde placeras.

Isoleringen som användes i prov 3-6 applicerades med hjälp av övermått. Detta är viktigt för att på ett bra sätt kunna skydda sidorna på träregeln. Folien som infördes i prov 5-6 bestod av en grövre PE-folie så att man var säker på att ett tätt skikt upprätthölls under hela provningen.

## 7.3. PROVNINGSFÖRFARANDE

Konstruktionerna provades i Gullfibers miniugn ( se bild 3 bilaga A ) med brandpåverkan enligt standardbrandkurvan ( se fig. 30 ). Ugnen sköttes manuellt vilket bland annat bidrog till de något hackiga ugnstemperaturkurvorna. Den totala mängden tillförd energi stämmer dock väldigt bra överens med den från en korrekt utförd standardbrandpåverkan.

Tre konstruktioner testades för både 60 resp. 90 minuters brandpåverkan, sålunda totalt 6 brandprov. Prov nummer 5 och 6 var ett försök att efterlikna en dubbelsidig brandpåverkan. Material och märkning enligt nedanstående tabell 6.

Efter avslutat prov togs provkroppen omedelbart ut ur ugnen och glödbranden i träregeln släcktes. Detta tog cirka tre minuter.



Provnr	Material	Provtid [min]
1	GF15, GF15, luft, R45x120, GN13	60
2	GF15, GF15, luft, R45x120, GN13	90
3	GF15, GF15, 3624-120, R45x120, GN13	60
4	GF15, GF15, 3624-120, R45x120, GN13	90
5	GF15, GF15, 3624-170, R45x170, folie, 3624-200	60
6	GF15, GF15, 3624-170, R45x170, folie, 3624-200	90

Tabell 6: Konstruktionernas ingående material och provtid.

## 7.4. RESULTAT OCH DISKUSSION

### 7.4.1. TEMPERATURKURVOR

Provningsförloppen för de enskilda proven redovisas i figur 31 - 36.

Figur 29 visar en för gips typisk temperaturutveckling med plåtår då kristalliskt vatten avgår. Figur 30 visar standardbrandkurvans utseende. Övriga figurer visar temperaturutvecklingen för respektive prov.

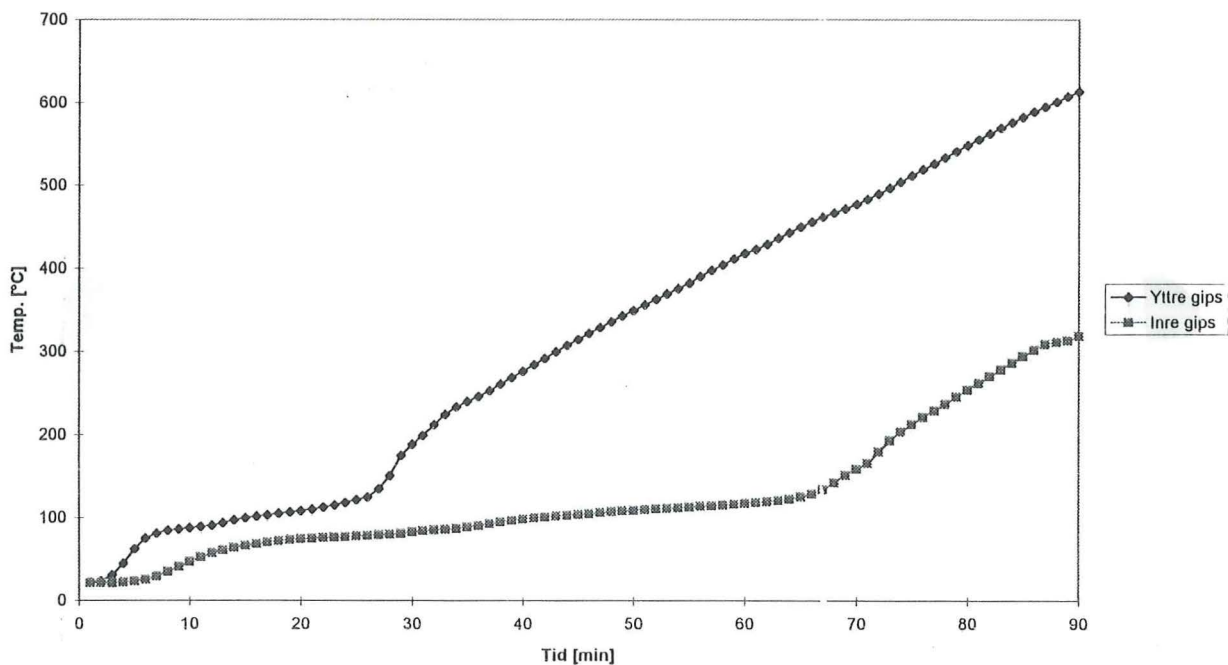
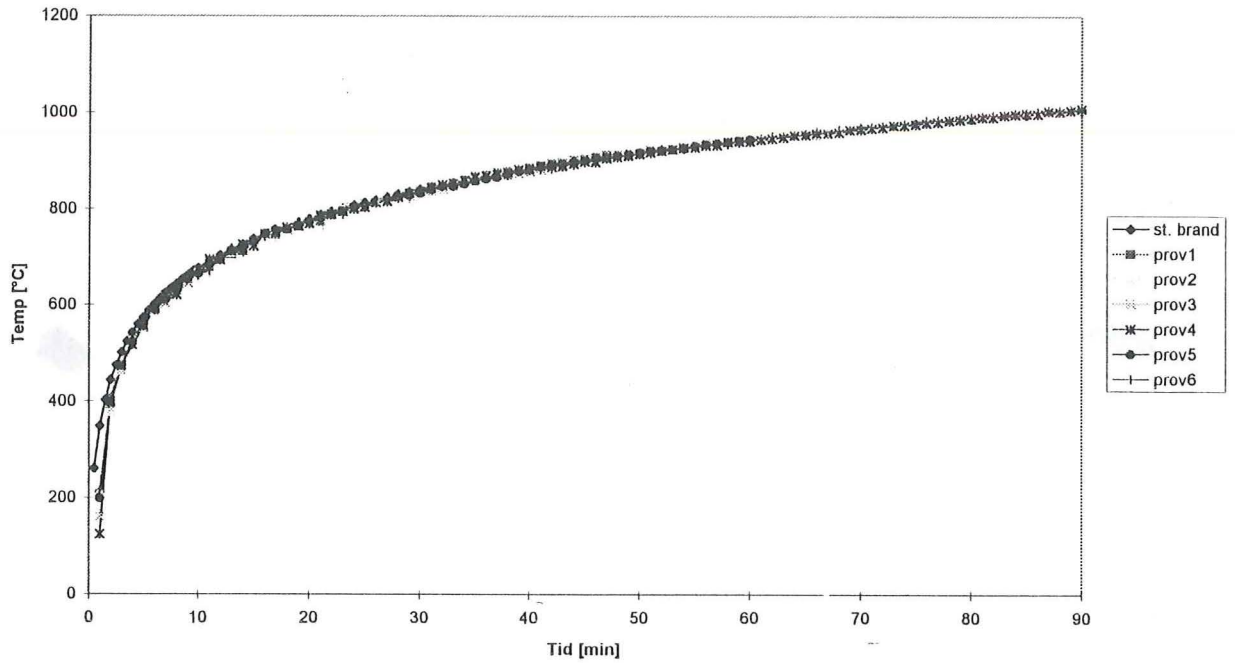


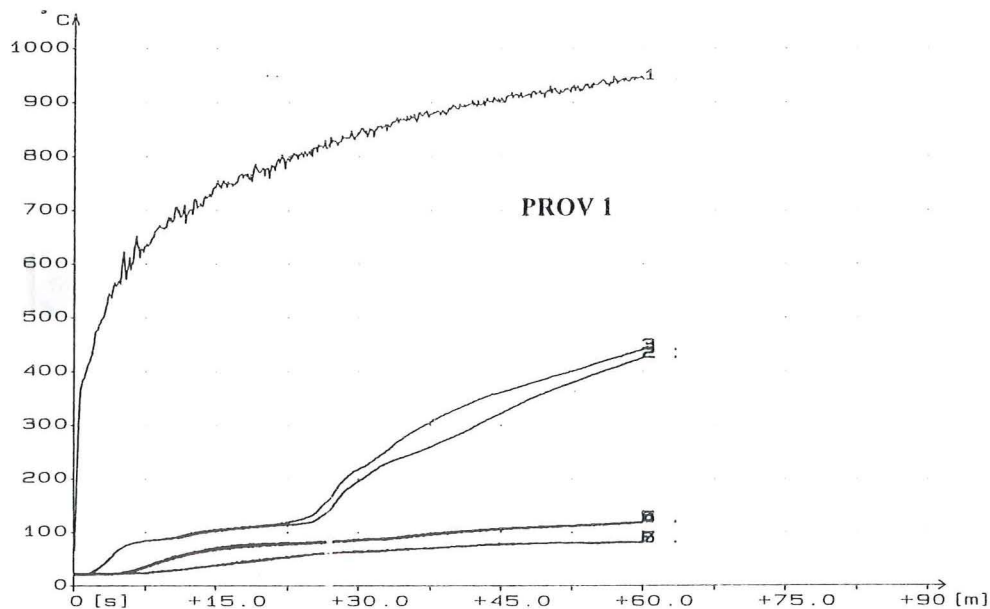
Fig. 29: Temperaturutveckling för den yttre resp. inre brandgipsskivan.

- Brandsäkerhet i flervånings bostadshus med trästomme -  
 - Utformning av en REI 90 vägg -



**Fig. 30:** Jämförelse av tillförd energi ( temperaturutveckling ) mellan de olika proven och standardbrandkurvan. Kurvorna ligger så tätt att någon skillnad i praktiken inte existerar.

1 : UGNSTEMP                    3 : HÖ. MELLAN GIPS   5 : HÖ. BALKKANT GI   7 : HÖ. BALK h/2  
 2 : VÄ. MELLAN GIPS   4 : VÄ. BALKKANT GI   6 : VÄ. BALK h/2



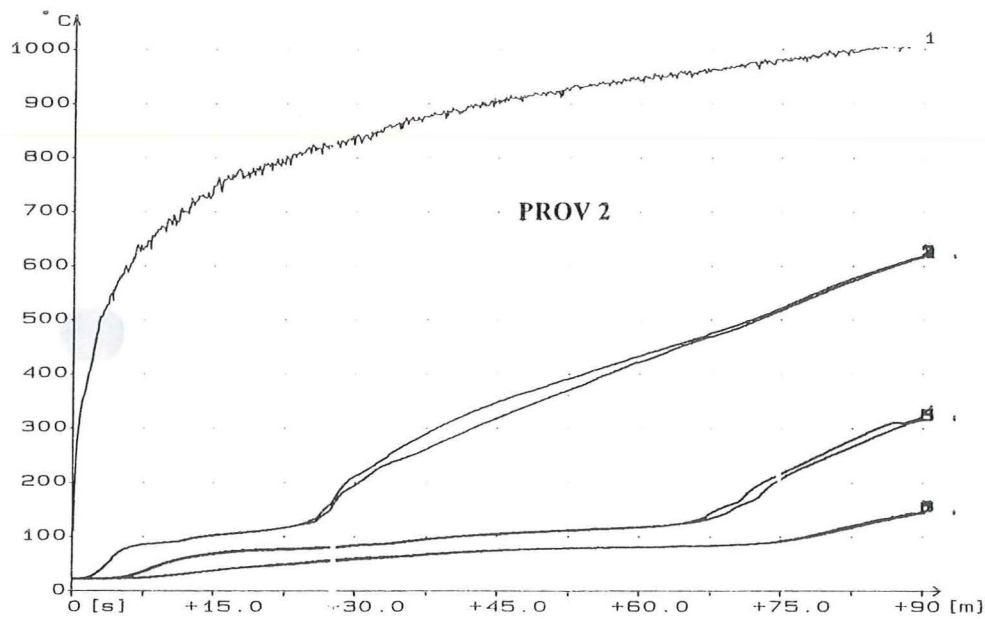
F15, F15, LUFT-120, N13

Start: 950724-12.59.18  
 dts/dt1: 1s/1s

GfLab

**Fig. 31:** Temperaturutveckling för prov 1. Provet är ett 60 minutersprov utan isolering med regeldimension 45x120.

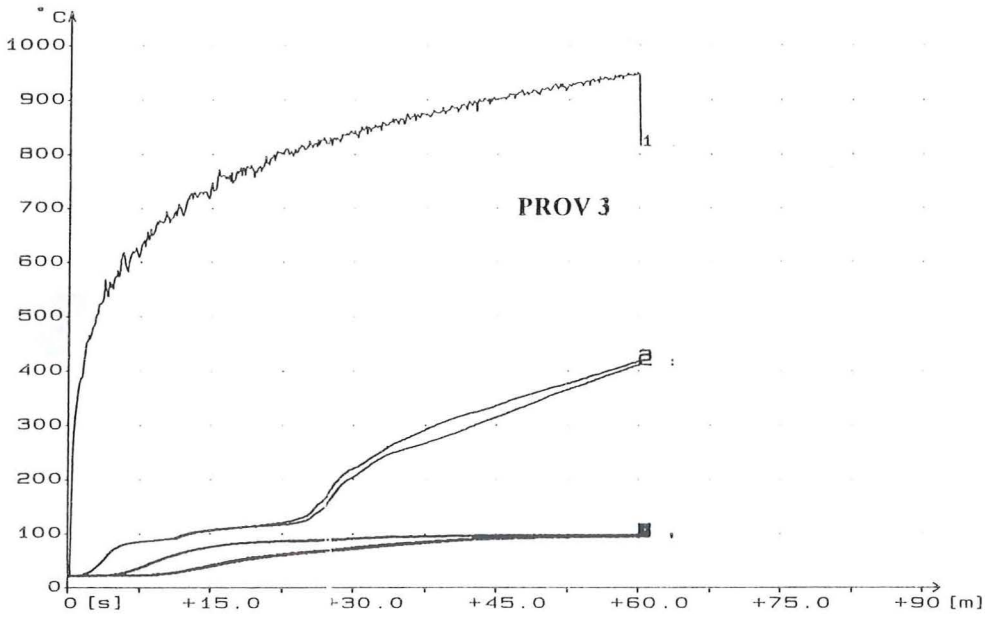
1 : UGNSTEMP      3 : HÖ.MELLAN GIPS 5 : HÖ.BALKKANT GI 7 : HÖ.BALK h/2  
 2 : VÄ.MELLAN GIPS 4 : VÄ.BALKKANT GI 6 : VÄ.BALK h/2



B.s.950724 - 90min      Start: 950725-09.39.50      GfLab  
 dts/dt1: 1s/1s

**Fig.32:** Temperaturutveckling för prov 2. Provet är ett 90 minutersprov utan isolering med regeldimension 45x120.

1 : UGNSTEMP      3 : HÖ.MELLAN GIPS 5 : HÖ.BALKKANT GI 7 : HÖ.BALK h/4  
 2 : VÄ.MELLAN GIPS 4 : VÄ.BALKKANT GI 6 : VÄ.BALK h/4

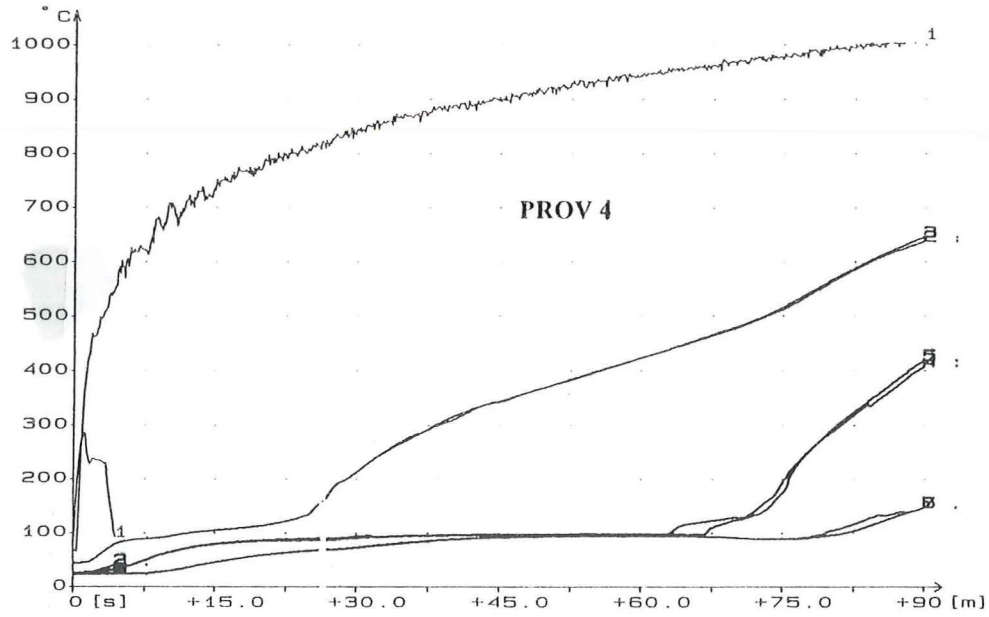


F15, F15, 3624-120, N13      Start: 950726-11.10.57      GfLab  
 dts/dt1: 1s/1s

**Fig. 33:** Temperaturutveckling för prov 3. Provet är ett 60 minutersprov med isolering och har en regeldimension på 45x120.



1 : UNGSTEMP.      3 : HÖ.MELLAN GIPS 5 : HÖ.BALKKANT GI 7 : HÖ.BALK h/4  
 2 : VÄ.MELLAN GIPS 4 : VÄ.BALKKANT GI 6 : VÄ.BALK h/4



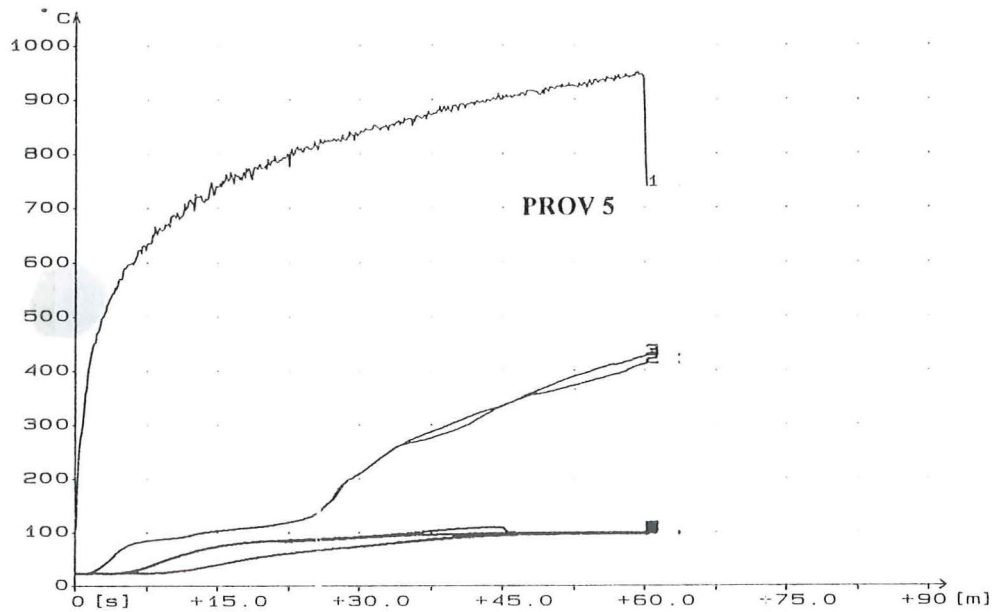
B. s. 950726

Start: 950727-13.02.08  
 dts/dt1: 1s/1s

GfLab

**Fig. 34:** Temperaturutveckling för prov 4. Provet är ett 90 minutersprov med isolering och har en regeldimension på 45x120.

1 : UNGSTEMP.      3 : HÖ.MELLAN GIPS 5 : HÖ.BALKKANT GI 7 : HÖ.BALK h/5.67  
 2 : VÄ.MELLAN GIPS 4 : VÄ.BALKKANT GI 6 : VÄ.BALK h/5.67



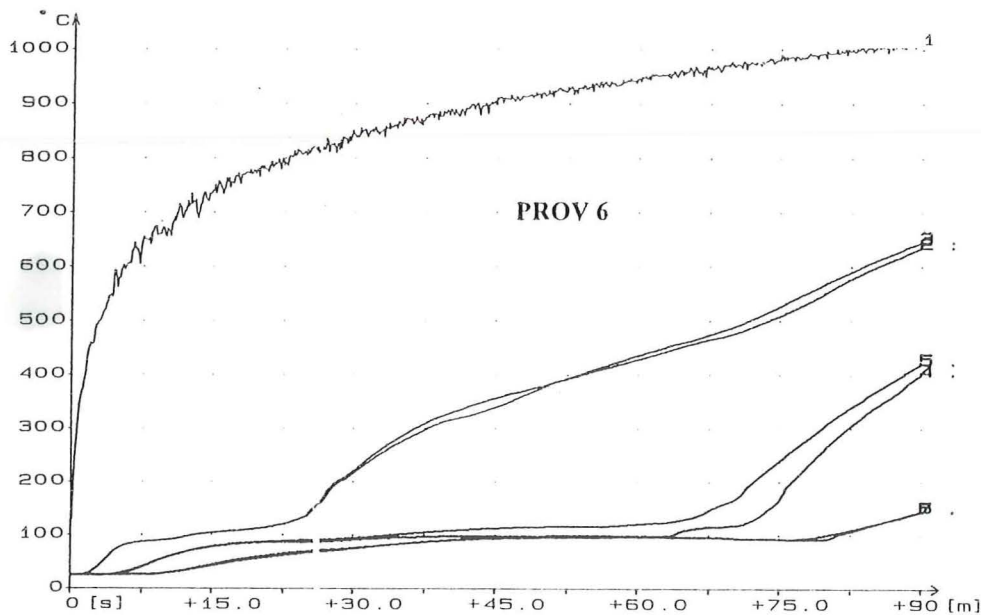
2xF 15, 3624-170, PE, UL

Start: 950731-09.04.57  
 dts/dt1: 1s/1s

GfLab

**Fig. 35:** Temperaturutveckling för prov 5. Provet är ett 60 minutersprov med isolering och har en regeldimension på 45x170.

1 : UNGSTEMP.      3 : HÖ.MELLAN GIPS 5 : HÖ.BALCKANT GI 7 : HÖ.BALK h/5.67  
 2 : VÅ.MELLAN GIPS 4 : VÅ.BALCKANT GI 6 : VÅ.BALK h/5.67



B. s. 950731 90min

Start: 950801-14.04.06  
 dts/dtl: 1s/1s

GfLab

**Fig.36:** Temperaturutveckling för prov 6. Provet är ett 90 minutersprov med isolering med regeldimension 45x170.

#### 7.4.2. KOMMENTARER TILL TEMPERATURKURVORNA

På temperaturkurvorna syns det klart och tydligt när den första skivan börjar att kalcineras. Detta sker under de första 26 minuterna. Vattnet som då ångas bort inuti skivan kommer att kondensera mot ett kallare skikt, antingen längre upp i samma skiva eller i gränsskiktet mellan de båda skivorna. När sedan det understa skivlagret är färdigkalcinerat, efter 26 min, kommer temperaturen att ganska snabbt öka i detta lager. Därvid kommer det andra gipslagret att ta vid. Detta andra gipslager har faktiskt en mycket längre kalcineringsperiod. Detta beror på att den yttre skivan hindrar mot direkt exponering och bidrar således till en lägre temperatur samt att den övre skivan tagit upp en del av den undre skivans vatten som nu ytterligare en gång behöver förångas. Denna vattenånga kondenseras sedan i gränsskiktet mot isoleringen för att sedan förångas och kondensera längre upp i isoleringen o.s.v. ( se bild 4 bilaga A ).

Vilken skyddstid skall man sätta på två stycken GF 15 ? Försöken har visat att det dröjer så mycket som 75 minuter innan gipsskivans ovansida/ träregelns undersida når en temperatur på 200 °C. Således bör en skyddstid på 65- 70 min kunna införas vid eventuella beräkningar.

#### 7.4.3. FÖRKOLNING

De olika träreglarna sågades av på mitten för att kontrollera hur mycket som hade förkolnat. Reglarna från prov 4 och 6 sågades itu på ytterligare ett ställe eftersom den maximala förkolningen där skilde sig från mitten. Fotostatkopior över dessa tvärsnitt visas i bilaga B. Det kan dock vara svårt att urskilja den förkolnade zonen gentemot den varma zonen då den varma

zonen även ter sig svart i en fotostatkopia. Dessa gränser har dock registrerats visuellt och framgår av nedanstående tabell.

Provnr.	Förkolnat [ mm ]	Varmt skikt [ mm ]
1	0	0
2	3	5
3	0	0
4	3	5
5	0	0
6	4	6

**Tabell 7:** Pyrolysens totala inträngning uppdelat i ett förkolnat resp. varmt skikt.

Ovanstående tabell visar utseendet i regelns mittnitt. Detta är det samma som maximal förkolning utom för prov 4 och 6 som hade max förkolning skilt från mittnittet. Max förkolning för prov 4 och 6 visas i tabellen nedan. En intressant notering är att hos prov 6 inföll maximal inbränning där gipsskruven satt. Detta syns klart och tydligt även på fotostatkopian.

Provnr.	Förkolnat (max)	Varmt skikt (max)
4	4	5
6	7	7

**Tabell 8:** Max förkolning för prov 4 och 6.

Som tydligt framgår av fotostatkopiorna i bilaga B så är samtliga träreglar som testats under 60 minuter helt opåverkade. Provnnummer 2 och 4 som testades i 90 minuter skiljer sig inte åt i inbränningen av tvärsnittet trots att prov 4 var isolerat och prov 2 saknade isolering. Viss skillnad i temperaturstegring finns dock och vid en längre provtid hade detta gett större utslag i inbränningen. En annan risk med att ha en konstruktion oisolerad är att man tillåter luft rörelser och detta kan medföra att regeln antänds. Prov 6 som var ett försök att simulera dubbelsidig brand genom symmetri skiljer sig något från prov 2 och 4, då man fick en något större inbränning i denna regeln. Det är dock alldeles för osäkert att dra några slutsatser om detta försök är relevant eller ej om man inte har ett riktigt dubbelsidigt brandprov att jämföra med.

I och med att man i Gullfibers miniugn testat väggkonstruktionen horisontellt får man inte någon skorstenseffekt. Detta kan bidra till en något lägre belastning på konstruktionen. Något som kanske upphäver detta är att konstruktionen exponeras direkt mot en flamma från en brännare med bara cirka 80 cm avstånd.



## 7.5. SLUTSATS

Slutsatserna man kan dra av dessa försök i reducerad skala tillsammans med tidigare gjorda beräkningar är att väggkonstruktionerna i prov nummer 1-4 bör klara sin bärande funktion i 90 minuter även vid ett fullskaleförsök. Däremot är simuleringen av den dubbelsidiga branden alltför oviss för att kunna dra några slutsatser.

## 7.6. FELKÄLLOR

Då gasoltuben till brännaren var fylld, var det svårt att följa standardbrandkurvan. Detta lyckades dock ganska bra (se fig. 30). Ändå blev kurvan något hackig i övergången mellan den branta och flacka temperaturstegringen.

Termoelementets placering intill regeln innebär att endast cirka 30 % av termoelementet ligger an mot regeln. Termoelementmätningarna med termoelement som är rörelement typ k (Ni-Crom / Ni) håller en noggrannhet på cirka 1°C.

Nedmonteringen tog cirka tre minuter vilket gjorde att man erhöll en något för hög inbränning.

Eftersom provet testades horisontellt så erhöles ingen skorstenseffekt. Detta kan dock till viss del upphävas av att provet var direktexponerat mot brännaren.

I och med att provet hade en liten yta medförde detta att infästningen av gipsskivorna inte hade någon större betydelse. Detta skiljer sig markant mot ett fullskaleförsök där det är mycket noga med hur man fäster gipsskivorna. Dessutom kunde gipsskivorna krympa fritt utan mothåll vilket gjorde att inga långsgående sprickor bildades i gipsen. Så är inte fallet vid ett fullskaligt brandprov.

## 7.7. TRÄREGLARNAS FUKTNIVÅ

Fuktkvoterna hos virket är som bekant av stor betydelse då det gäller brand. Fuktkvoterna i dessa prov bestämdes genom att överblivna bitar från reglarna vägdes och sedan torkades i en ugn. Resultaten redovisas i tabellen nedan.

Provnr.	Fuktkvot %
1	12,7
2	13,3
3	12,6
4	12,1
5	12,8
6	11,4

Tabell 9: Fuktnivån i de olika prov reglarna.

De fuktkvoter som reglarna visar innebär att den relativa fuktigheten i reglarna är cirka 50%. Detta stämmer bra överens med de träreglar som finns hos innerväggar i uppvärmda hus. Sålunda utgör de använda träreglarna ett representativt underlag.

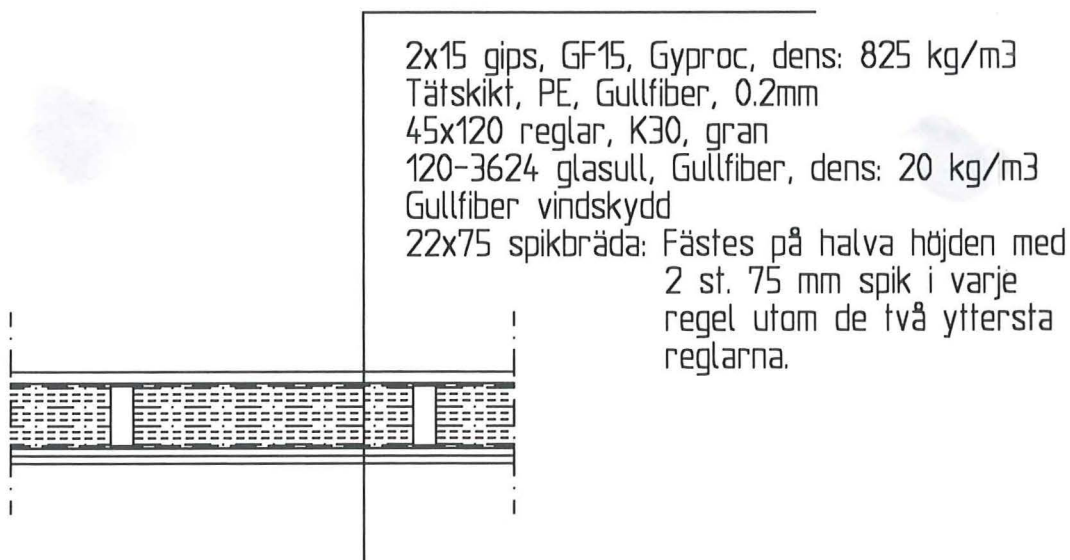
## 8. FULLSKALIGT BRANDPROV

Syftet med det fullskaliga brandprovet var att försöka erhålla en typgodkänd REI 90 vägg. Följande kapitel kommer att ta upp förberedelser, montering, utförande och resultat av ett fullskaligt standardbrandprov på Sveriges Provnings och Forskningsinstitut, SP, i Borås. Till detta kapitel hör bilaga D och E. Bilaga D är ritningar på den väggkonstruktion som testades och bilaga E är SP:s fullständiga rapport om fullskaleförsöket.

### 8.1. KONSTRUKTION OCH MATERIAL

Utförliga ritningar på väggens stomme, infästningar, ingående material, termoelement m.m. visas i bilaga D och E.

Valet av väggtyp som skulle testas för 90 minuters brandpåverkan utgick från de ovan gjorda beräkningarna och reducerade brandproven. Eftersom träreglarna i de reducerade brandproven erhöll en mycket mindre inbränning än den i beräkningarna antagna inbränningen fanns det goda förutsättningar för att en konstruktion motsvarande de tidigare testade skulle kunna uppfylla en standardbrand i 90 minuter. Därför valdes en "grundkonstruktion", se fig. 37 nedan, som i princip motsvarade prov 4 i de reducerade brandförsöken.



**Fig. 37:** Aktuell provkonstruktion för 90 minuters standardbrand, ISO 834.  
Se även bilaga D.

Väggens storlek på 3 x 3 meter valdes utifrån rekommendationer från SP ( Sveriges provnings och forskningsinstitut ) men även utifrån det faktum att ugnen som väggen skulle testas i fungerade bäst med dessa mått. Då man får använda sig av vanliga dimensioneringsregler även vid typgodkända konstruktioner, d.v.s. att man kan tillgodoräkna sig högre last om knäcklängden hos reglarna minskar, gjorde detta att vägghöjden inte spelade någon roll.

## 8.2. PROVUPPSTÄLLNING

Provuppställningen visas i bilaga E. Noterbart är att väggen inte förankras i betongramen samt att de yttersta väggreglarna inte når ända upp till hammarbandet. Detta gjordes för att de är gynnade under provet och inte blir lika brandpåverkade. Att veta hur provuppställningen skulle se ut var viktigt redan efter det att väggtyp hade valts, eftersom fortsatta beräkningar och försök var tvungna att grunda sig på de villkor och randvillkor som provutrustningen i Borås gav.

## 8.3. E-MODUL BESTÄMNING AV REGLAR

Eftersom lasterna i ett femvåningshus är stora är det mycket viktigt att ha regler av god kvalitet. Då ett fullskaligt brandprov dessutom kostar närmare 60000 kr väljer man således inte regler på måfå. Därför bestämdes att de regler som skulle ingå i konstruktionen skulle E-modul testas.

### 8.3.1. FÖRBEREDELSE

Då tidigare beräkningar utgått från K30 virke valdes att även provet skulle utföras med K30 virke. Eftersom försöket krävde minst 5 stycken regler av hög kvalitet och med någorlunda lika E-modul, beställdes 25 stycken 45x120 K30 regler för att testas på E-modul. Reglarna som erhöles vid beställningen var sorterade för hand och dessutom ohyvlade. Efter att ha hyvlat reglarna till deras rätta dimension ( 45x120 ) testades deras E-modul.

### 8.3.2. PROVUPPSTÄLLNING

Provuppställningen utfördes enligt internationell standard ISO 8375 ( se fig. 38 nedan ).

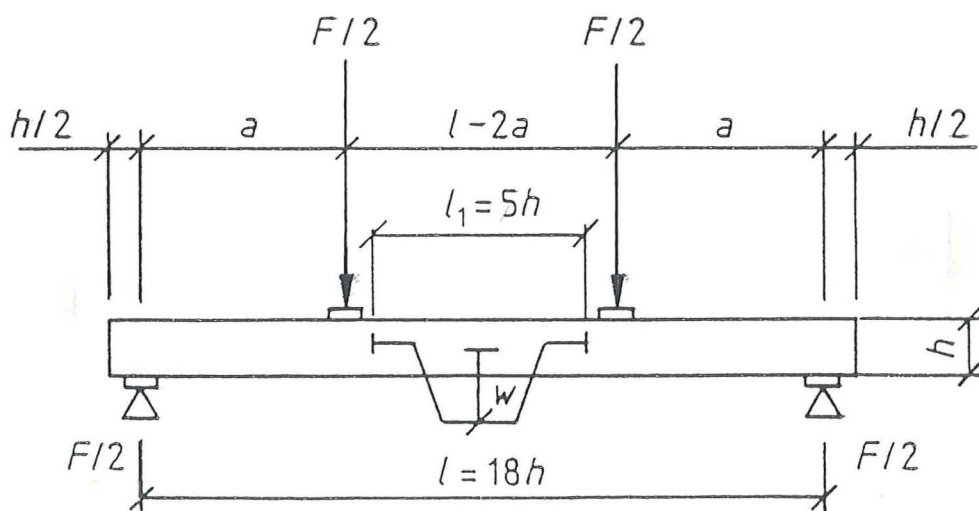


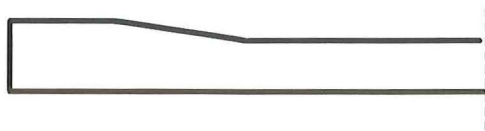
Fig. 38: Provuppställning för bestämning av E-modul enligt internationell standard.



Eftersom standarden tillåter viss flexibilitet i försöksuppställningens mått kunde en redan existerande utrustning användas. Med den existerande utrustningen blev:

$$\begin{aligned}l_1 &= 725 \text{ mm} = 6,04 \cdot h \\l &= 2410 \text{ mm} = 20,08 \cdot h \\a &= 820 \text{ mm} \\h &= 120 \text{ mm}\end{aligned}$$

Eftersom reglarna i provväggen har en längd på 2910 mm var det cirka 250 mm i varje ände där inte E-modulen mättes. Detta hade ingen praktisk betydelse då en regel blir betydligt mycket mer brandpåverkad i mittsnittet än i dess ändar, där man erhåller en inbränning ungefär enligt nedanstående figur.



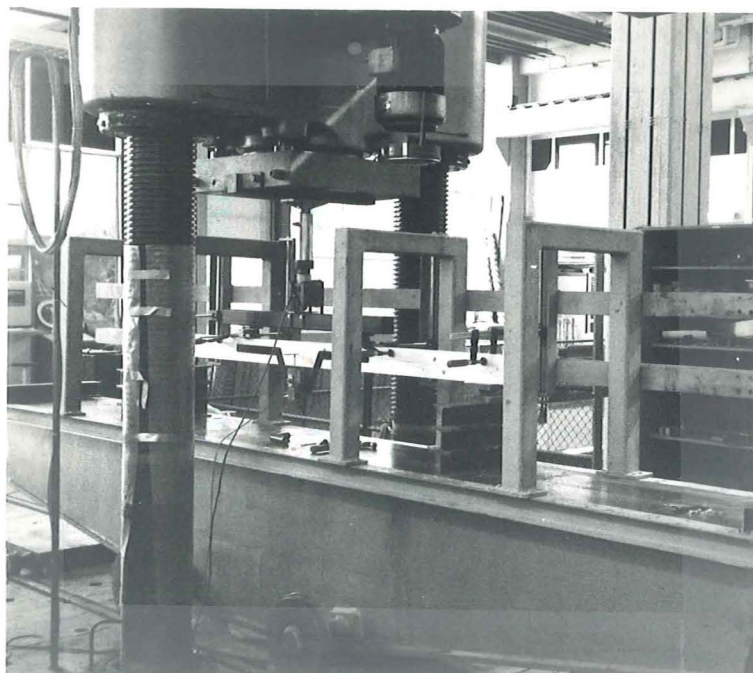
**Fig. 39:** Inbränningen på regelns ändar blir inte lika stor som på regelns mitt.

### 8.3.3. UTFÖRANDE

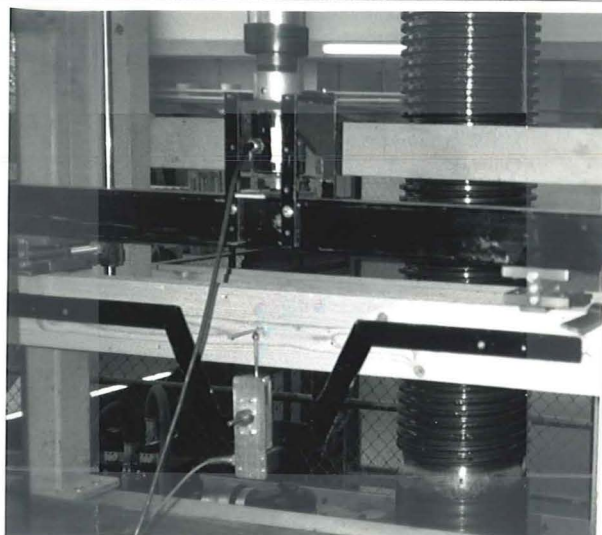
E-modulmätningen utfördes enligt ISO 8375.

Mätdata erhöles genom att trycka reglarna på högkant och samtidigt mäta sambandet deformation och kraft. Kraften mättes genom att en lastcell och en lägesgivare registrerade rörelsen respektive kraften. Detta registrerades sedan i en datalogger. Figurerna nedan visar utförandet av ett prov.

**Fig. 40:** Hela provkonstruktionen under utförandet av ett prov. På bilden syns även den hydraulkolv som användes vid försöken. Skruvtingarna som syns var ledade samt rörliga i höjdlid och användes enbart för att förhindra att regeln skulle vippa under belastning.



**Fig. 41:** På denna bild syns tydligare både lastcell och deformationsgivare. Deformationsgivaren låg an mot en spik som var inslagen på halva höjden.



### 8.3.4. RESULTAT FRÅN E-MODULS MÄTNINGARNA

Följande ekvation utnyttjas enligt ISO för att bestämma E-modulen.

$$E_m = a * l_1^2 * \Delta F / 16 * I * \Delta w$$

$$l_1 = 725 \text{ mm ( se fig. 38 ovan )}$$

$$a = 820 \text{ mm ( se fig. 38 ovan )}$$

$$I = \text{yttröghetsmoment} = 6480000 \text{ mm}^4$$

$$\Delta F = \text{differens i Newton i förhållande till en differens i nedböjningen}$$

$$\Delta w = \text{differens i mm i förhållande till en differens i påförd last}$$

Med hjälp av de mätdata som dataloggern registrerade kunde linjär regression utnyttjas för att erhålla ”riktningskoefficienten”  $\Delta F/\Delta w$ . Därefter beräknades E-modulen med hjälp av formeln ovan. Varje regel numrerades kronologiskt och följande resultat erhöles:

Fallande ordning	E-modul ( kPa )	Fallande ordning	E-modul ( kPa )
regel 13	17738	regel 23	13988
regel 21	17285	regel 3	13872
regel 9	16915	regel 15	13801
regel 1	16890	regel 8	13664
regel 10	16744	regel 5	13228
regel 11	16121	regel 4	12891
regel 14	16121	regel 18	12695
regel 12	15472	regel 24	12355
regel 22	15348	regel 7	12076
regel 19	14213	regel 20	11893
regel 17	14196	regel 16	11789
regel 2	14076	regel 6	10970

**Tabell 9:** E-modul för reglar som ingick i tryckprov och fullskaligt brandprov.

E-modulgränsen för att virket skall tillhöra K30 är 11580 kPa. Således är regel 6 inte av K30 kvalitet, samtidigt som regel 16,20 och 7 är gränsvärd. Med ovanstående resultat bestämdes att de sju översta reglarna i ovanstående lista skulle användas för fullskaleförsöket medan regel 12,22,19,17,2 och 23 skulle ingå i tryckprov, detta för att få en uppfattning om hur mycket last reglarna i praktiken kunde klara av efter en brand.

#### 8.4. TRYCKPROV AV REGELKONSTRUKTION

För att ytterligare få en uppfattning om vilken lastnivå reglarna, i det fullskaliga brandprovet, skulle kunna klara av efter 90 minuters standardbrand, utfördes tryckprov på regelkonstruktion motsvarande del av vägg.

För att simulera den förkolning som reglarna erhåller vid en brand, sågades 15 mm av från regelns höjd så att måtten 45x105 mm erhöles.

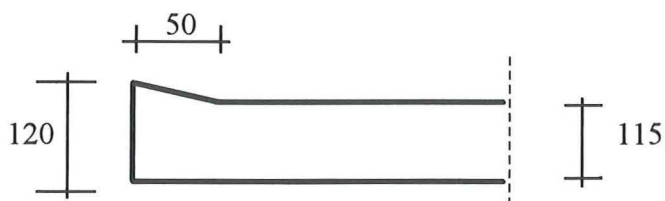


Fig. 42: För att simulera brand sågades reglarna i ändarna så att ovanstående mått erhöles.

På grund av att slaglängden i den apparat som skulle trycka reglarna inte tillät större höjd på konstruktionen än 2890 mm kunde inte dubbla hammarband och spänningssamlagrande tråklossar mellan hammarband och lastcell användas. Detta fick göras eftersom höjden på reglarna prioriterades. Reglarnas höjd blev därför endast 2800 mm eftersom syll och hammarband vardera byggde 45 mm.

Följande provuppställning användes.

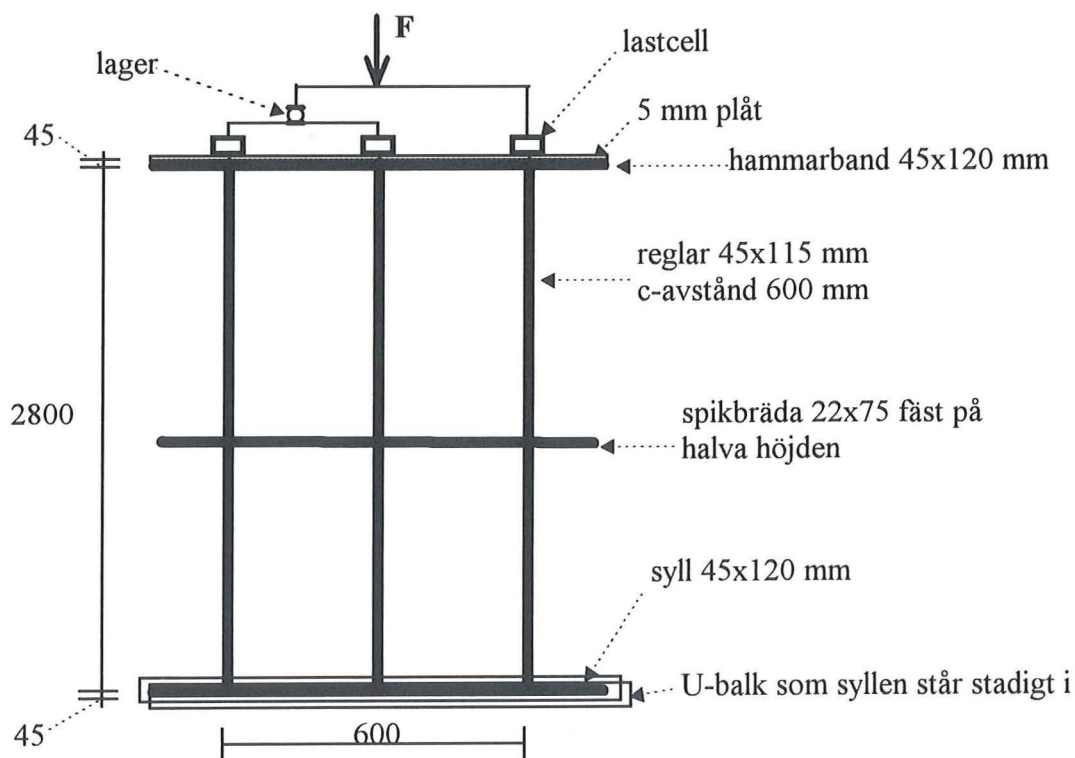


Fig. 44: Provuppställning för tryckprov av regelkonstruktion.





## 8.5. BESTÄMNING AV FULLSKALEPROVETS LASTNIVÅ

### 8.5.1. LASTNIVÅN FÖR ETT FEMVÅNINGSHUS

Vid bestämningen av lastnivån för provet var det viktigt att inte ligga på för låg last, då detta vid ett lyckat försök skulle innebära att man ändå inte skulle få lov att använda konstruktionen för de laster som ett femvåningshus kräver.

För att få grepp om vilka laster det verkligen rör sig om i ett hus med fem våningar, gjordes beräkningar för ett av de femvåningshus som ingår i Wälludden projektet i Växjö. Beräkningarna gjordes enligt BKR 94 i lastkombination 7 vilket motsvarar brandlastfallet. Genom att identifiera den vägg som tog mest last kunde således en lastnivå som en regel skall klara bestämmas.

Beräkningarna redovisas i bilaga C.

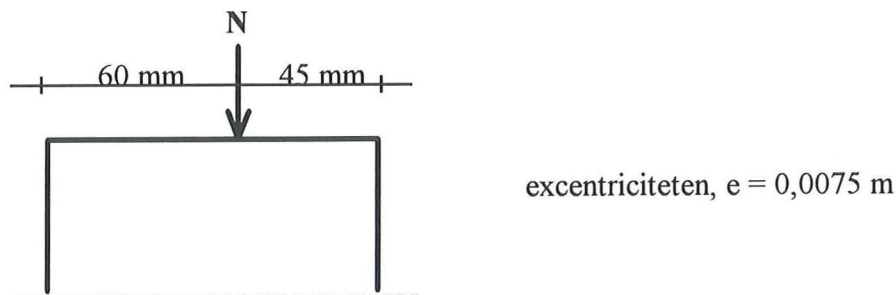
Resultatet från beräkningarna blev att lastnivån för reglar i ett femvåningshus med trästomme ligger ungefär på **30 kN/ regel** ( i brandlastfallet ).

### 8.5.2. LASTKAPACITET FÖR FULLSKALEPROVETS REGLAR

Nedan redovisas först beräkningar av lastkapaciteten gjorda för en antagen inbränning hos reglarna och i nästa stycke diskuteras en del andra effekter som kan påverka reglarnas lastkapacitet och val av lastnivå.

Antag att reglarna knäcker i veka riktningen.

Efter 90 minuters brand erhålls följande form och last på regeltvärsnittet ( enligt de reducerade brandförsöken i kapitel 7 ):



**Fig. 46:** Regeltvärsnittets dimensioner efter 90 minuters standardbrand i de reducerade standardbrandförsöken.

För att ta större hänsyn till det moment som uppkommer antages i beräkningarna nedan att excentriciteten blir  $2e = 0,015 \text{ m}$ .

Följande formel hittas i Eurocode:

$$0,7 * M / M_{rd} + N / (k_c * N_{rd}) = 1$$

$$M = N * 0,015 \text{ ( enligt resonemang ovan )}$$

⇔

$$0,7 * ( N * 0,015 ) / M_{rd} + N / (k_c * N_{rd}) = 1$$

Bestämning av  $M_{rd}$  och  $N_{rd}$ .

Då de regler som ingår i provet är sorterade K30 regler och valda efter deras höga E-modul utgår  $M_{rd}$  och  $N_{rd}$  från reglarnas troliga medelvärde  $\bar{x}$ .

Följande formel kan då utnyttjas:

där

$$f_k = \bar{x} - k * s \quad [ \text{MPa} ]$$

$\bar{x}$	= brotthållfasthetens medelvärde
$k$	= 1,7 ( för 5% fraktilen )
$s$	= $\delta * \bar{x}$
$\delta$	= varians $\approx 25 \%$
$f_{mk}$	= 30 MPa
$f_{ck}$	= 29 MPa

detta ger

$$29 = \bar{x} - 0,25 * \bar{x} * 1,7 \Rightarrow \bar{x} \approx 50 \text{ MPa}$$

Regelhöjden i fullskaleprovet är 2,91m.

Detta ger följande slankhetstal:

$$\lambda_{red} = L * \sqrt{12 / h} = 2,91 * \sqrt{12 / 0,105} = 96$$

Enligt NAD /16/ blir  $K_{c,z}$  följande.

$$\lambda_{red} = 96 \Rightarrow k_c = 0,28$$



Enligt beräkningarna ovan kan man antaga att både  $f_{cd}$  och  $f_{md} \approx 50$  MPa. Man erhåller då följande tryck och momentkapacitet:

$$N_{rd} = f_{cd} * A = 50000 * 0,045 * 0,105 = \mathbf{236 \text{ kN}}$$

$$M_{rd} = f_{md} * (b * h^2 / 6) = 50000 * 0,045 * 0,105^2 / 6 = \mathbf{4,13 \text{ kNm}}$$

Således har man:

$$(0,7 * N * 0,015 / 4,13) + (N / 0,28 * 236) = 1$$

$$\Rightarrow N = \mathbf{56 \text{ kN}}$$

Antag istället knäckning i veka riktningen. Spikbrädan är under provet fixerad på halva höjden vilket halverar knäcklängden på reglarna. Eftersom det inte blir någon asymmetri i veka riktningen uppkommer inget moment. Med  $f_{cd} = 50$  MPa erhålls analogt med beräkningar ovan följande resultat:

$$\lambda_{red} = L * \sqrt{12} / h = 1,445 * \sqrt{12} / 0,045 = 112$$

$$\lambda_{red} = 112 \Rightarrow k_c = 0,22$$

detta ger

$$N = 50000 * 0,045 * 0,105 * 0,22 \quad [\text{kN}]$$

$$N = \mathbf{51,9 \text{ kN}}$$

Eftersom ovanstående resultat är lika skulle knäckningen kunna ske i vilken riktning som helst.

### 8.5.3. VAL AV LASTNIVÅ

Enligt ovan blev dimensionerande last för femvåningshuset i Wälludden ungefär 30,1 KN/regel. Innerväggarna har där en höjd på cirka 2,6 meter medan provreglarna har en höjd på 2,91 meter. Denna skillnad i knäcklängd motsvarar en lastdifferens på 18 %. Vid lastnivåer omkring 30 kN motsvaras detta av 5 kN. Således kan en provlast på 26 kN motsvara en last på 31 kN vid en regelhöjd på 2,6 meter.

Enligt tidigare beräkningar knäckte reglarna vid en lastnivå på 51,9 kN. Genom att ta hänsyn till reduktionsfaktorer för temperaturökning (0,7) och elasticitetsmodulminskning (0,9) erhålls följande nya maxlast:  $N = 51,9 * 0,7 * 0,9 = \mathbf{32,7 \text{ kN}}$ .

Slutsatsen blir att vid val av en provlast på 26 kN / regel blir det möjligt att klara de höga lastnivåer som finns i Wälluddens femvåningshus genom att utnyttja att minskade knäcklängder medger högre belastning.

**Om provreglarna ändå inte klarar av en lastnivå på 26 kN / regel, är denna typ av väggkonstruktion ointressant. Då beräkningarna visade en knäckning runt 32 kN, valdes därför provväggens lastnivå till 26 kN / regel.**

Om en väggkonstruktion skulle hålla tiden ut vid ett brandprov är det möjligt att trycka den till brott. Man får då tillgodoräkna sig en del av den extra last som lagts på. Den nya godkända lastnivån blir då enligt följande:  $(\text{provlast} + (\text{brottlast} - \text{provlast}) * (\text{provlast} / \text{brottlast}))$ . Som synes får man alltså tillgodoräkna sig procentuellt mer av extralasten om man redan från början ligger nära brottmlasten.

## 8.6. MONTERING

**Utförliga ritningar på väggens stomme, infästningar, ingående material, termoelement m.m. visas i bilaga D och E.** Monteringen av väggen utfördes på SP i Borås ett par dagar innan provet. Följande huvudsakliga material användes.

gips: GF 15, Gyproc Protect F  
tätskikt: PE, 0.2 mm, Gullfiber  
reglar: 45 x 120, K30, gran  
glasull: 120-3624, Gullfiber  
vindskydd: Gullfiber  
spikbräda: 22 x 75

Först kapades de reglar som skulle användas upp i sina rätta längder. Därefter spikades reglarna med vardera 2+2 st 100 mm blankspik till syll och hammarband, termoelementen märktes ut och på reglarnas framsida fästes tätskiktet. De båda gipslagren skruvades sedan fast. När det första gipslagret var skruvat, fästes de termoelement som skulle sitta mellan detta och det yttersta gipslagret. Det inre gipslagret skruvades med 41 mm gipsskruv, c 200 i kant samt c 300 i fält. Det yttre gipslagret skruvades med 58 mm gipsskruv, även detta med c 200 i kant och c 300 i fält. Skruvlängderna och skruvavstånden kan tyckas vara alltför väl på den säkra sidan, men dessa är valda utifrån nya rekommendationer från Gyproc.

När gipsskivorna var fastsatta spacklades det yttersta gipslagrets skarvar och därefter vändes väggkonstruktionen om och de olika termoelementen fästes. Därefter isolerades väggen och sedan sattes vindskyddet på. Vindskyddet räckte inte över hela väggytan utan fick skarvas med överlapp. I skarven lades sedan en mjuk tätningsmassa.

Spikbrädan fästes på halva höjden först när konstruktionen kommit på plats i provugnen. Detta gjordes för att spikbrädan exakt skulle kunna nå ut till den betongram som fanns runt provugnen och på så sätt erhålla ett stöd på halva höjden i veka riktningen. Brädan spikades med 2 st 75 mm blankspik i varje regel.

## 8.7. UTFÖRANDE AV BRANDPROV

En utförligare beskrivning av brandprovet finns i SP:s rapport, bilaga E. Nedan visar endast schematiskt tillvägagångssättet.

45 minuter innan brandprovets start, påfördes lasten. Lasten påfördes som linjelast och lastnivån motsvarade 26 kN / regel. Lasten påfördes med hydrauliska kolvar via tråkloss, stålbalk och liggande träregel ( fig. 47 ). När brandprovet startades sköttes temperaturutvecklingen, enligt ISO 834, från kontrollrummet ( fig. 48 ) samtidigt som temperaturen i de olika termoelementen registrerades ( fig. 49 ). Ugnens värmekälla bestod av sex stycken oljebrännare ( fig. 50 ), tre på var sida. Under merparten av testet var endast tre ( 2+1 ) oljebrännare igång. Horisontaldeformationer hos väggen mättes kontinuerligt och iakttagelser av förändringar hos väggen noterades. Under hela provtiden rådde ett övertryck i ugnen på cirka 10 Pa. Efter provets slut separerades väggen från ugnen, gipsskivorna revs ner och den kvarvarande branden i reglarna släcktes.

**Fig. 47:** Påföring av lasten skedde med hudrauliskolv via tråkloss, stålbalk och liggande träregel.

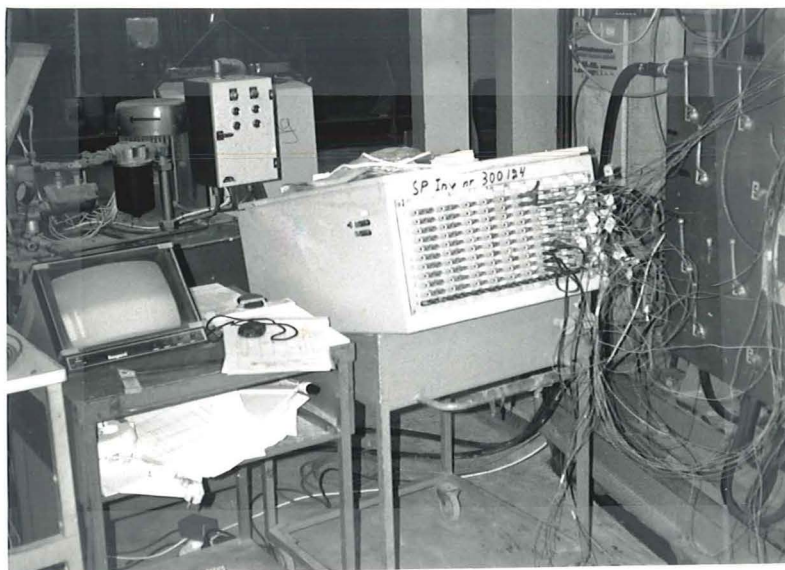


**Fig. 48:** Bild över kontrollrummet där temperaturutvecklingen i ugnen övervakades.

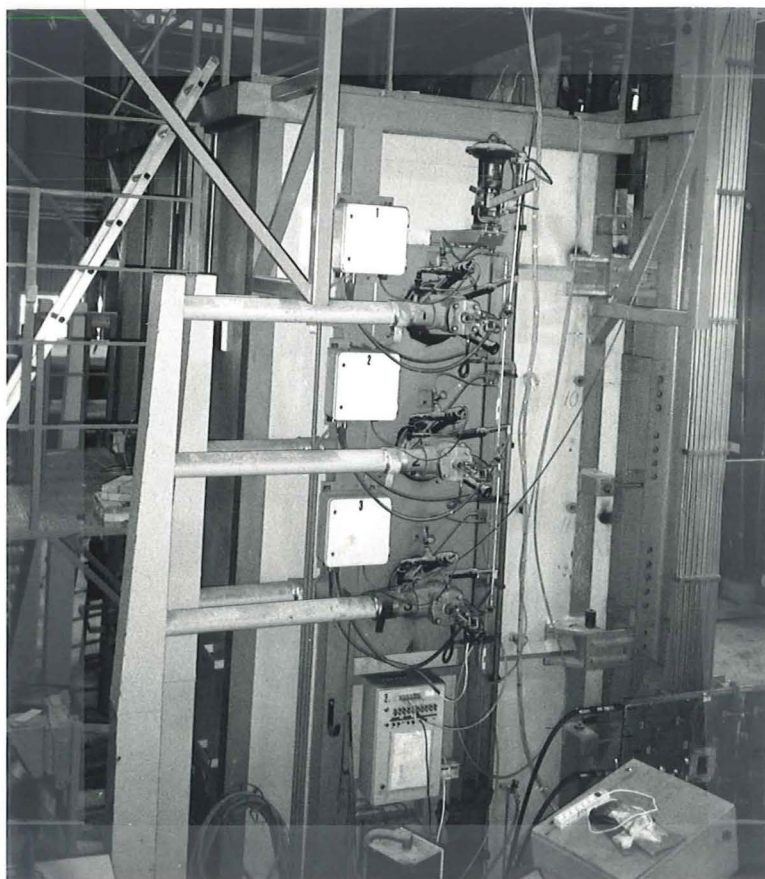




**Fig. 49:** På bilden syns hur de olika termoelementen är kopplade till det instrument som med hjälp av en datalogger registrerar varje termoelements temperaturutveckling.



**Fig. 50:** Bilden visar den provvugn som väggen testades i. På ugnens sida syns de tre oljebrännare som fanns på båda sidor och som svarade för temperaturutvecklingen i ugnen. På det plan som stegen står på fanns det fönster så att man kunde se in i ugnen under provets gång.



## 8.8. RESULTAT OCH DISKUSSION

Nedan redogörs endast för de viktigaste faktorerna som bidrog till provresultatet. För detaljer såsom ett enskilt termoelements temperaturutveckling hänvisas läsaren till SP:s rapport, bilaga E.

Väggen gick till brott efter 81,5 minuter, varför ?

Det som direkt kunde noteras var att det var regel A ( se bilaga E ) som först gick till brott. Detta skedde strax ovanför 2/3 av regelns höjd. Därefter knäckte också de övriga reglarna. Samtliga regler knäckte i styva riktningen. Sålunda kan sägas att den spikbräda som fungerade som avstyvning, i veka riktningen, fungerade utmärkt under hela provet.

Det som också syntes när väggen skildes från ugnen och branden hade släckts, var att inbränningen på provväggens regler var betydligt större än den inbränning som de reducerade brandförsöken hade visat och som hade legat till grund för de beräkningar och tester som hade gjorts inför fullskaleförsöket. Det är därför troligt att om inbränningen inte hade blivit större än vad som var beräknat innan provet, så hade väggen klarat sina 90 minuter galant.

Efter 75 minuter började brandrök att tränga ut vid regel A:s ovkant. Denna rökutveckling ökade ganska snabbt och det stod klart att en kanal hade bildats mellan regel A och dess isolering. Därför erhöles också en kraftig skorstenseffekt. Det var sålunda inte konstigt att det var just regel A som knäcktes först. Att regel A skulle knäcka i sin ovkant hade också förutsetts av Lief Andersson, Gullfiber AB som var närvarande vid provet. Leif Andersson har varit närvarande vid många brandprov på väggar och tydligen har många av dessa prov havererat på motsvarande ställe där regel A knäcktes. Detta för tankarna till att det möjligtvis föreligger någon form av asymmetri i ugnen. Enligt PS:s rapport finns det dock inget som tyder på en termisk ojämnhet i provugnen. Trots detta kan det ändå förekomma en viss lokal asymmetri som inte termoelementen i ugnen registrerar. Att så borde vara fallet styrks av att under provets gång var det 2 brännare som var igång på ugnens ena sida och endast en brännare på andra sidan. Detta borde rimligtvis ge någon form av asymmetri. Asymmetri skulle givetvis också kunna förekomma i lastpåföringen. Då inga bevis för asymmetri finns skall därför detta endast betraktas som spekulationer.

Termoelement 17-24 ( se bilaga E ) var placerade på regel A och dessutom satt de nästan på den höjd som regeln knäcktes. Därför är det extra intressant att studera just dessa och relatera deras temperaturutveckling till de termoelement som användes i försök 4 i de reducerade brandproven ( se kap. 7 ).

Termoelement 17 i brandprovet motsvarar termoelement 2 och 3 i det reducerade försöket. Vid jämförelse dessa emellan så märks ingen större skillnad under provningen. De sista minuterna ligger dock element 17 nästan 50 °C högre. Detta är dock inget som är anmärkningsvärt.

Vad som däremot är anmärkningsvärt är att termoelement 18 i provet som kan sägas motsvara termoelement 4 i de reducerade brandförsöken skiljer sig betydligt i temperaturstegring efter 65 minuter. När den inre gipsskivan är färdigkalcinerad, dvs. efter cirka 65 minuter, har bägge termoelementen ungefär samma temperatur. Därefter blir temperaturstegringen i element 18 betydligt större och efter 80 minuter skiljer det nästan 100 °C. Däremot så följer element 19 i provet ganska väl den temperaturutveckling som element 5 i det reducerade provet visar. Detta tyder på att det på ena sidan om regeln har bildats en luftspalt som gjort att man fått en skorstenseffekt. Detta bevisas av termoelement 20, som trots att den ligger en bit upp på regeln, har samma temperaturutveckling och temperatur som termoelement 18. Utan luftspalt borde termoelement 20 istället ha en temperatur motsvarande termoelement 21 som ligger på samma höjd som 20, men som tydligen inte har hamnat i någon luftspalt. Termoelement 21 motsvaras också mycket väl av termoelement 6 i det reducerade brandprovet eftersom bägge har samma placering på regeln. Att den ena sidan av regel A skulle ha en luftspalt mellan sig



själv och isoleringen visar också termoelement 22 och 23 i provet då dessa har temperaturer motsvarande termoelement 20 och 21.

Att en luftspalt har funnits redan på ett tidigt stadium i provningen är möjligt då termoelement 20 och 22 tidigt följer termoelement 18:s temperaturutveckling. Detta tyder på att luftspalten bildats redan i början av provningen eller t.o.m. innan provets igångsättande. På grund av att temperaturen hos termoelementen visar ganska låga temperaturer vid provets början är det därför inte troligt att luftspalterna i detta skedet bildats genom sintring av glasullen.

Luftspalter uppkommer bland annat när regeln börjar att pyrolyseras och temperaturen på isoleringen blir så hög att den sintras. Regeln rundas under pyrolysen av i hörnen och därmed bildas luftspalter även på detta sätt. Sprickor i gipsskivorna kan göra att man lokalt får en hög temperatur och därmed sintring av isolering. Sprickor uppkommer i gipset redan på ett tidigt stadium dvs. så fort gipset börjar att kalcineras. Detta beror på att gipsskivan krymper och att skruvningen försöker motverka detta. Det är därför vanligt att man får stora vertikala sprickor mellan två vertikala skruvrader. Så blev även fallet under denna provning då de yttre gipsskivorna började spricka upp redan efter 10 minuter.

Att gipsskarvarna också har stor betydelse vad gäller inbränningen på reglarna och därför också är av betydelse vid luftspaltsbildning, visar det faktum att de regler som visuellt verkade ha störst inbränning efter provet, var de regler som hade haft skarvarna från det inre gipslagret.

Det är också tydligt att man inte kan lita på att en brandgipsskiva sitter kvar under hela brandperioden, ty mot slutet av brandprovet föll små bitar av det yttre gipslagret ned.

Samma tendens till tidig luftspaltsbildning som regel A hade, visar också termoelementen som satt på regel E. Däremot så visar de termoelement som satt på mittregeln inga sådana tendenser. Att det är de yttersta bärande reglarna som visar denna eventuella tidiga luftspaltsbildning och dessutom båda på samma sida om regeln, dvs. den sida som är närmst betongramen, är kanske ingen slump. Man kan bland annat spekulera i att isoleringen redan innan provningen inte låg an regeln. Detta är dock inte troligt eftersom isoleringen vid båda dessa regler applicerades med övermått. En annan orsak till en luftspaltsbildning kan vara de termoelement som var fästa på regeln och som löpte längs regelns sidor. De skulle därmed ha kunnat orsaka en luftspalt mellan regeln och isoleringen. Vad som talar mot denna teori är att mittregeln som också var utrustad med termoelement inte visade detta beteende. En tredje teori är att de yttersta bärande reglarna skulle ha rört på sig i förhållande till de yttersta icke bärande reglarna, när de bärande reglarna kom under samtidig brand och belastning. Det finns även en möjlighet att de icke bärande reglarna kan ha rört på sig. Detta skulle vara möjligt eftersom dessa regler inte var fästa i hammarbandet och inte låg an betongramen. På så sätt medgavs ett visst spel i sidled. Förutsättningen för detta måste vara att de båda gipsskivelagren inte har tillräcklig hållfasthet för att hålla emot dessa rörelser utan istället spricker upp.

Det är självklart att det så här i efterhand är omöjligt att säga vad en eventuell tidig luftspaltsbildning kunnat bero på. Ovanstående resonemang visar dock på några faktorer som man bör se upp med vid ett nytt försök.

Temperaturstegringen på väggens icke exponerade sida uppgick enligt SP:s rapport som mest till 50 °C. Likaså uppfyllde väggen kraven på integritet ända tills precis innan väggen gick till brott. Det är således inte orimligt att tänka sig att väggen, om den klarat den bärande funktionen och man löst problemet med luftspaltsbildning, även skulle ha klarat kraven på integritet ( E ) och isolering ( I ).

Knäckningen hos reglarna verkade för samtliga ha skett i en kvist. Detta bekräftar också de resultat som erhöles vid de tidigare gjorda tryckproven. Det ultimata hade således varit att ha helt kvistfria regler. Detta är förstås inte möjligt men man bör ändå beakta detta faktum så att när man väljer regler så bör dessa ha så få och så små kvistar som möjligt.



Sammanfattningsvis kan sägas om resultatet att en betydligt större inbränning erhöles på de ingående reglarna. Detta berodde på att luftspalter redan på ett tidigt stadiet hade bildats intill några av reglarna och därmed uppkom också en förödande skorstenseffekt. Således gick inbränningen av reglarna betydligt fortare än vad fallet hade varit om en fullgod isolering längs regelns kanter funnits. Stora sprickor i gipsskivorna samt ett yttre gipsskivelager som på en del ställen var nära att falla bort, är säkerligen också faktorer som påskyndade inbränningen, men vars egentliga effekter är mycket svåra att bedömma.

De reducerade brandproven gav inte upphov till någon skorstenseffekt och trots att brännaren bara var 80 cm från provföremålet, står det klart att detta inte kan kompensera för skorstenseffekten. Något som de reducerade brandförsöken inte heller beaktar är de stora sprickor som uppkommer i gipslagren vid ett fullskaleförsök. Detta eftersom gipsskivorna i de reducerade försöken tillåts att krympa fritt. Inte heller är det någon risk för att det yttre gipslagret faller bort vid ett reducerat brandprov. Det står således klart att för detta fullskaleförsök var resultaten från de reducerade försöken inte helt relevanta och att ovanstående effekter till viss del därför inte beaktats fullt ut inför det fullskaliga försöket. Svårigheterna ligger dock i att försöka förutspå ovanstående effekter ty ena gången kanske allting fungerar dvs. inga luftspalter bildas, endast få sprickor i gipsen erhålls och det yttre gipslagret sitter kvar under hela provningen. En annan gång kanske allting samverkar till det sämre. Om man hela tiden ligger på den säkra sidan blir det därför ganska svårt att erhålla en ekonomisk konstruktion.

En annan sak som man skall ha klart för sig är att om man hade testat ytterligare en vägg så hade denna kanske klarat 87 minuter. Likaså skulle det vara möjligt att E-moduln testa 1000 regler och sedan välja de styvaste och de med minst antal kvistar och på så sätt kanske klara brandprovet. Som synes är ett fullskaligt brandförsök inte särskilt vetenskapligt korrekt.

**Fig. 50:** Provväggen efter det att försöket avslutats och branden släckts. Notera förkolningen och hur samtliga regler har knäckt i styva riktningen.



**- Brandsäkerhet i flervånings bostadshus med trästomme -  
- Utformning av en REI 90 vägg -**

---

## 9. SLUTSATSER

I detta kapitel presenteras förutom en del viktiga slutsatser också några förslag på REI 90 väggar. Dessa förslag bygger på de resultat och erfarenheter som erhållits vid de tidigare beräkningarna, reducerade brandproven samt det fullskaliga brandprovet.

Beräkningsmetoder är ett bra sätt att försöka komma fram till om en konstruktion är värd att testas i ett fullskaligt försök eller ej. Även om det idag inte finns några beräkningsmetoder för annat än massivt trä, kan man ändå genom sunt förnuft åstadkomma lämpliga brandmotståndstider på ingående material i en konstruktion. Lämpliga beräkningsmetoder är t.ex. de som återfinns i Eurocode eftersom de är mycket lätta att använda.

Innan ett fullskaligt brandprov görs är det lämpligt att prova aktuell konstruktion i ett reducerat brandprov. Om konstruktionen visar sig klara provet kan man gå vidare med ett försök i full skala. Man skall dock komma ihåg att effekter såsom skorstenseffekt, sprickbildning i gipsskivor och skivbortfall inte uppstår i reducerade försök, men att det är just dessa effekter som ofta är avgörande för en konstruktions överlevnad eller ej. Skulle en konstruktion inte klara ett reducerat brandprov är det således inte lönt att gå vidare med ett i full skala.

Inför ett fullskaligt försök är det viktigt att man noga väljer material och så noga som möjligt försöker bestämma deras egenskaper vid den temperatur som de kommer att utsättas för. Särskilt viktigt när en bärande träregelvägg skall provas är att reglarna är så kvistfria som möjligt och att de har så hög E-modul som möjligt. Vad man också måste vara noga med är gipsskivors hantering och infästning. Dålig hantering eller infästning kan lätt leda till sprickzoner i gipsskivan.

I ett fullskaligt försök är det ofta faktorer såsom luftspaltsbildning intill regler, sprickor i gipslagren samt skivbortfall under provets gång som är avgörande för ett provs vara eller icke vara. Effekterna av dessa faktorer är dock mycket svåra att bestämma.

Ett fullskaligt brandprov är inte någon exakt vetenskap. Om man provar flera likadana konstruktioner är det kanske bara en av tio som klarar kraven, men detta räcker för att konstruktionen skall bli godkänd.

Om man utför ett fullskaligt försök är det mycket viktigt att försöka få ut så mycket information av det som möjligt, vare sig konstruktionen klarar provet eller ej. Detta kan göras bland annat genom att placera termoelement både utanpå och inuti konstruktionen.

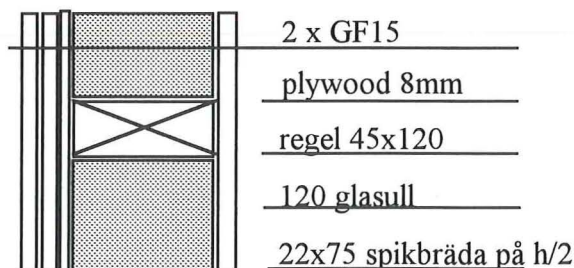
Den kanske viktigaste slutsatsen, som man kan dra av denna rapport, är att det är fullt möjligt att uppnå en REI 90 vägg som är ekonomiskt gångbar. Även om den konstruktion som testades gick till brott efter 81,5 minuter, skulle ett likadant test till kunna medföra att konstruktionen klarade ytterligare några minuter. Självklart skulle även en försämring kunna erhållas. Med hjälp av de kunskaper som erhållits under detta arbetes gång samt utifrån resultatet av det fullskaliga brandprovet visas nedan några förslag på troliga REI 90 väggar samt kommentarer till varför de olika väggarna tros uppfylla REI 90 kraven.



## 9.1. REI 90 VÄGGAR

1. Det som skiljer denna vägg från den provade är endast den 8 mm tjocka plywoodskivan som sitter bakom de båda brandgipsskivorna. Denna typ av konstruktion är vanlig eftersom plywood ofta används för att stabilisera en byggnad. Den 8 mm tjocka plywooden har ett brandmotstånd på ca 10 minuter. Således borde denna vägg klara en 90 minutersbrand. Det finns dock problem med att plywooden skulle kunna fatta eld redan på ett tidigt stadi. Detta skulle kunna ske p.g.a. sprickor i gipsen. Det finns då en möjlighet att de bärande reglarna blir brandpåverkade på ett tidigare stadi, än om plywooden inte hade funnits.

### 1.Möjlig



2 x GF15

plywood 8mm

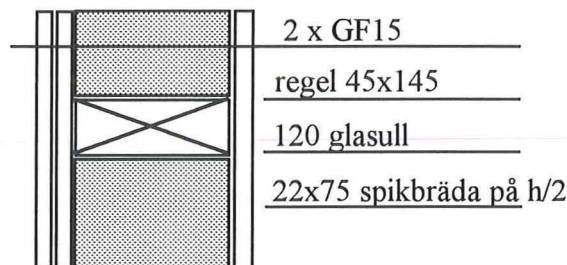
regel 45x120

120 glasull

22x75 spikbräda på h/2

2. I denna konstruktion är det bara regel-dimensionen som skiljer sig från fullskaleprovet. 45x120 regeln har ersatts med en 45x145 regel. Eftersom samtliga regler i fullskaleprovet knäckte i den styva riktningen och avstyvningen i veka riktningen verkade fungera bra, borde därför en ökning av regelhöjden vara ett effektivt sätt att öka brandmotståndet.

### 2.Mycket trolig



2 x GF15

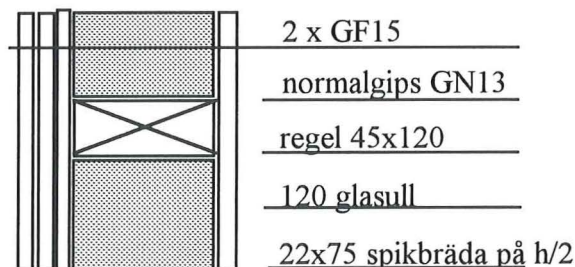
regel 45x145

120 glasull

22x75 spikbräda på h/2

3. En extra skiva normalgips, 13 mm, ger ett extra brandmotstånd på cirka 15 minuter. Med en sådan extra skiva har man med all sannolikhet uppnått en REI 90 vägg.

### 3.Nästan säkert



2 x GF15

normalgips GN13

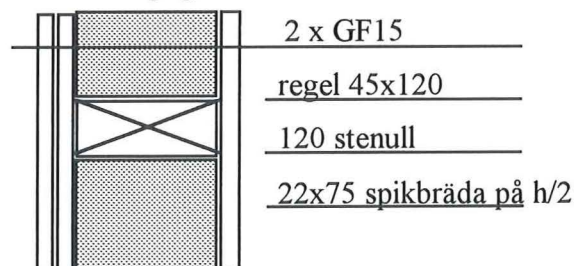
regel 45x120

120 glasull

22x75 spikbräda på h/2

4. Eftersom stenull sintras vid en högre temperatur än glasull, är det möjligt att stenull istället för glasull, hade bidragit till ett högre brandmotstånd. En högre sintringstemperatur kan innebära att det tar längre tid innan luftspalter kring regler bildas och på så sätt kanske man kan fördröja en skorstenseffekt i konstruktionen. Vad som mer tyder på att stenull kanske skulle klara ett prov bättre, är att i den additionsmetod som finns beskriven i NBCC, National Building Code of Canada, erhåller bärande träregelkonstruktioner med stenull, 15 minuters längre brandmotståndstid än motsvarande med glasull.

### 4.Möjlig



2 x GF15

regel 45x120

120 stenull

22x75 spikbräda på h/2

Självklart kan man också laborera med ovanstående konstruktioner för att hitta ännu fler möjligheter. T.ex. kan man sätta en 8 mm gipsskiva bakom brandgipsen i konstruktion 2, men då kan de problem uppkomma som beskrivs i 1. De ovanstående förslagen får därför ses som "grundkonstruktioner" vars problem och möjligheter har beskrivits och som bör beaktas om man väljer att sätta ihop en helt egen konstruktion utifrån ovan givna förslag.

## REFERENSER

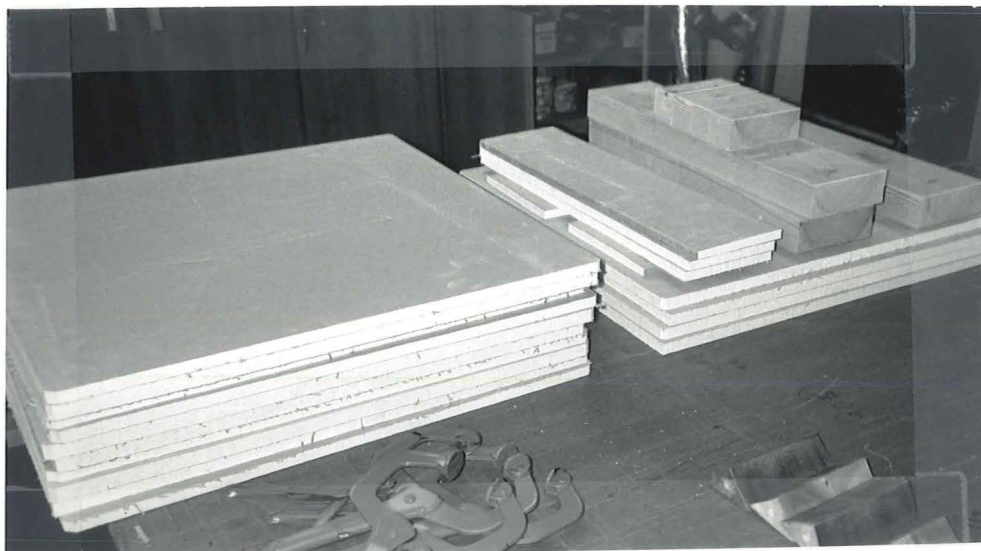
- /1/ **Alsmarker, T.**, Trähus i fyra våningar - En renässans för träbyggnadstekniken, Lunds Tekniska Högskola, Bärande Konstruktioner, 1993
- /2/ **Andersson, L.**, Brandboken, Gullfiber AB, 1993
- /3/ **Billman, H., Hagstedt, J., Lundborg, N., Ödeen, K.**, Trä och brand, Träinformation, 1974
- /4/ **Boverket**, Boverkets Byggregler 94 - föreskrifter och allmänna råd, Boverket, 1994, BFS 1993: 57
- /5/ **Boverket**, Boverkets Konstruktionsregler 94 - föreskrifter och allmänna råd, Boverket, 1994, BFS 1993:58
- /6/ **Boverket**, Nybyggnadsregler - föreskrifter och allmänna råd, Boverket, 1991, BFS 1988:18, BFS 1990:28
- /7/ **Boverket**, Godkännandelista B2, 1992:1
- /8/ **Canadian Wood Council**, Wood and Fire Safety, CWC, 1991, Canada
- /9/ **Carling, O.**, Brandteknisk dimensionering av massiva träkonstruktioner, Träteknik - Institutet för träteknisk forskning, 1990
- /10/ **Danevid, R., Johansson, C.-J.**, Bärande Konstruktioner AK2 - Träkonstruktioner, Lunds Tekniska Högskola, Bärande Konstruktioner, 1994,
- /11/ **Eriksson, P.-E.**, 2-tum-4 - Ryggraden i amerikanska flerbostadshus, Sveriges Tekniska Attachéer, 1993, USA
- /12/ **Eriksson, P.-E.**, Trästommar i flerbostadshus - Erfarenheter från byggande och förvaltning, Träteknik - Institutet för träteknisk forskning, 1995
- /13/ **Eurocode 5**, Design of timber structures Part 1.2 - General rules - Supplementary rules for structural fire design, CEN - Comité Européen Normalisation, ENV 1995-1-2
- /14/ **Eurocode 5**, NAD- Nationellt Anpassnings Dokument, Del 1-2, ENV 1995-1-2
- /15/ **Eurocode 5**, Design of timber structures Part 1-1: General rules and rules for buildings, CEN - Comité Européen Normalisation, ENV 1995-1-1:1993
- /16/ **Eurocode 5**, NAD- Nationellt Anpassnings Dokument - Design of timber structures Part 1-1, SS-ENV 1995-1-1
- /17/ **Gyproc**, Teknisk information: Väggar och bjälklag med Gyproc Protect F, Gyproc AB, 1994
- /18/ **Hagstedt, J., Nyström, P.**, Skiljande träkonstruktioner - Ljud- brand och värmeisolerande egenskaper, Statens råd för byggforskning, 1977
- /19/ **Lundqvist, A., Wickström, U.**, Bestämning av belastade träväggars brandmotstånd genom försök i reducerad skala, Statens Provnings Anstalt, SP1987:42
- /20/ **Norén, J.**, Brandmotstånd hos träkonstruktioner - Sammanställning av provresultat, Träteknik - Institutet för träteknisk forskning, 1986

- /21/ **Norén, J.**, Additionsmetoden - Beräkning av brandmotstånd hos avskiljande väggar, Trätec - Institutet för träteknisk forskning, 1993
- /22/ **Norén, J.**, Bärande B60-väggar vid dubbelsidig brand, Trätec - Institutet för träteknisk forskning, 1991
- /23/ **Ondrus, J.**, Brandförlopp, Lunds Tekniska Högskola, Inst. för Brandteknik, 1990
- /24/ **Räddningsverket**, Lagar och ansvarsförhållanden i det svenska brandväsendets historia, Statens räddningsverk, Planerings och utvecklingssekreteriatet, 1992
- /25/ **Thorson, B.R., Eng, P.**, Fire safety in multistore timber residential buildings, Quadrant Development Ltd.,
- /26/ **Underwriters**, Fire resistance manual for: beams - columns - floors - roofs - walls and partitions, Underwriters Laboratories INC., 1983
- /27/ **Östman, B. m.fl.**, Kontenta: 3-4 våningshus i trä - brandteknisk dimensionering, Trätec - Institutet för träteknisk forskning, 1994:1
- /28/ **Östman, B.**, Wood tensile strength at temperatures and moisture contents simulating fire conditions, Wood Science and Technology, 1985

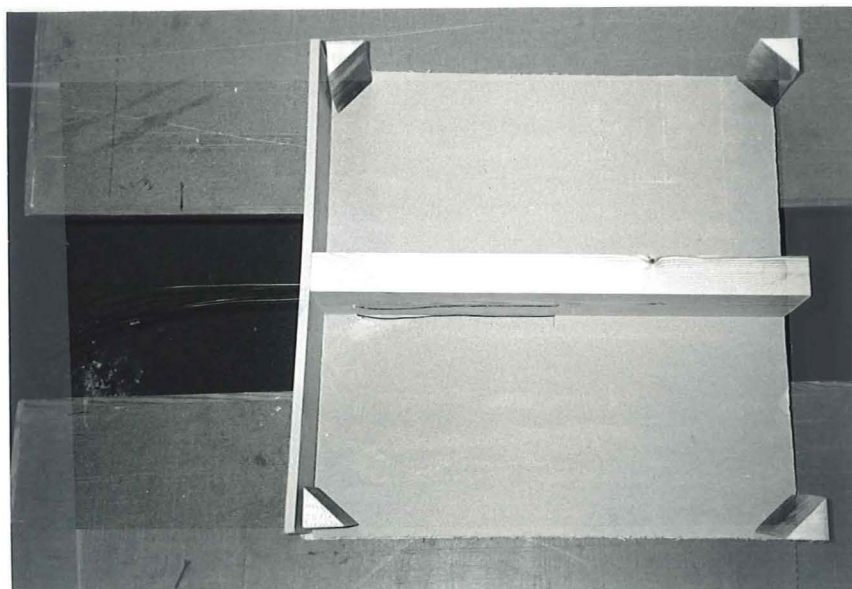


## Bilaga A : Fotokollage över de reducerade brandförsöken

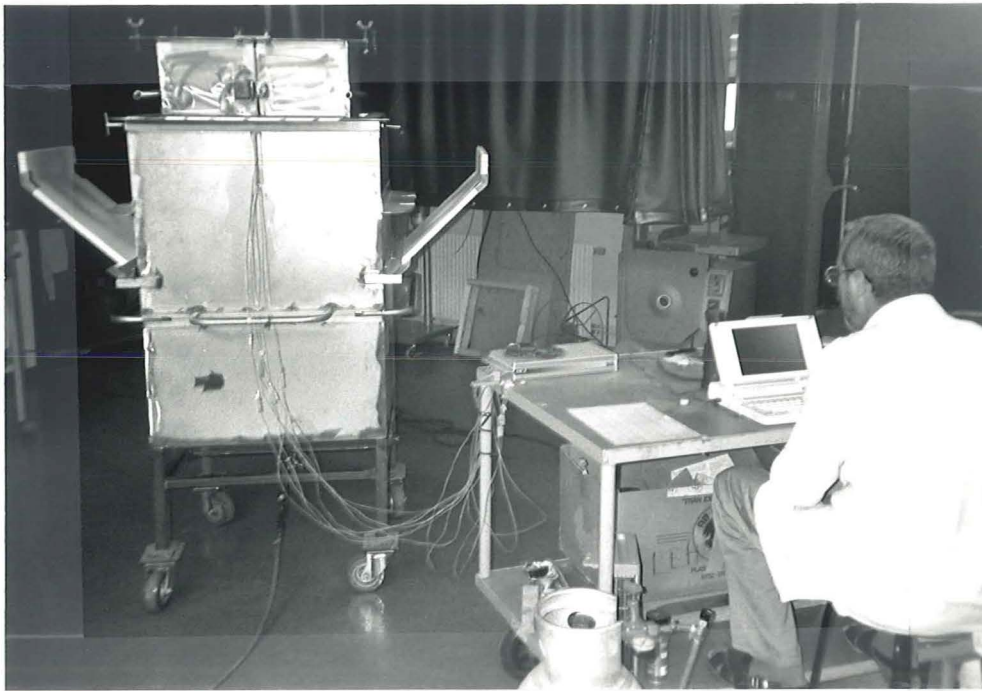
Bilderna nedan visar både förberedelser, utförande och resultat av utförda brandprov. De kan med fördel studeras samtidigt som kapitel 7 för att tydligare skaffa sig en uppfattning om utseendet hos provkroppar, mätutrustning, resultat av brända gipsskivor, isolering m.m. Bilderna är insatta i kronologisk ordning.



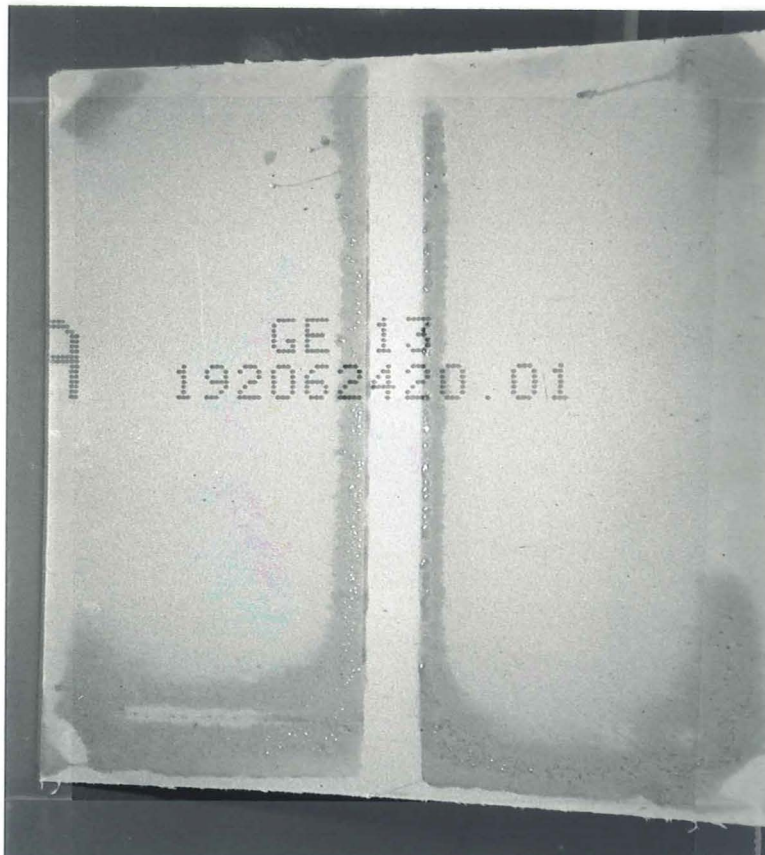
**Bild 1:** Innan monteringen kapades materialet till samtliga prov eftersom provkropparna såg likadana ut. På bilden syns gipsskivor och reglar.



**Bild 2:** Vid monteringen fästes först termoelementen mellan gipsskivorna och därefter monterades de båda gipsskivorna vid regeln. Sedan fästes de termoelement som skulle sitta på regelns sidor. Slutligen applicerades ev. isolering och den överliggande gipsskivan sattes dit. Bilden visar när termoelementen som satt på regelns sidor precis är ditsatta.

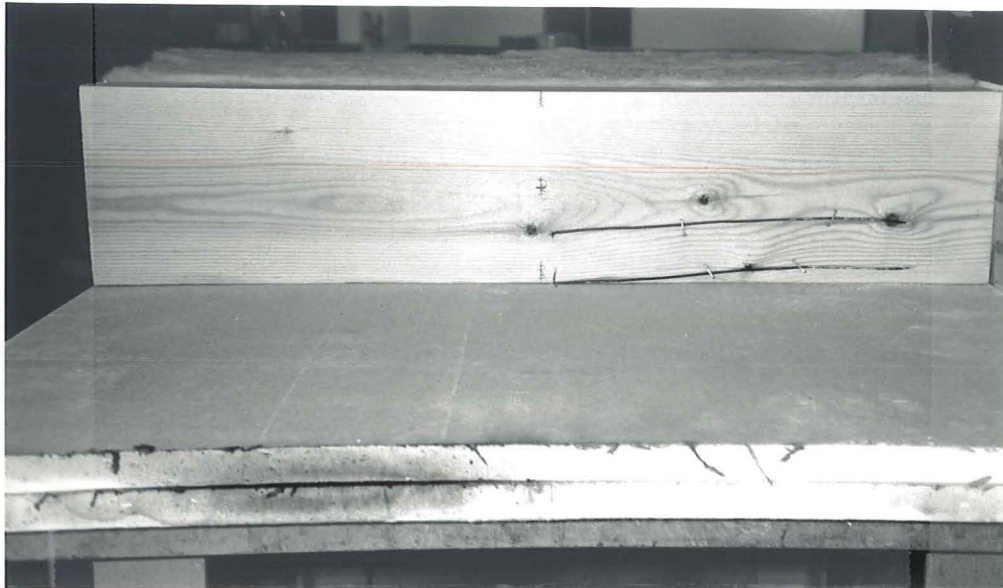


**Bild 3:** Bilden visar Gullfibers miniugn tillsammans med tillhörande utrustning såsom datalogger och gasolflaska. Temperaturutvecklingen i ugnen sköttes manuellt genom att öka eller minska gasolflödet.

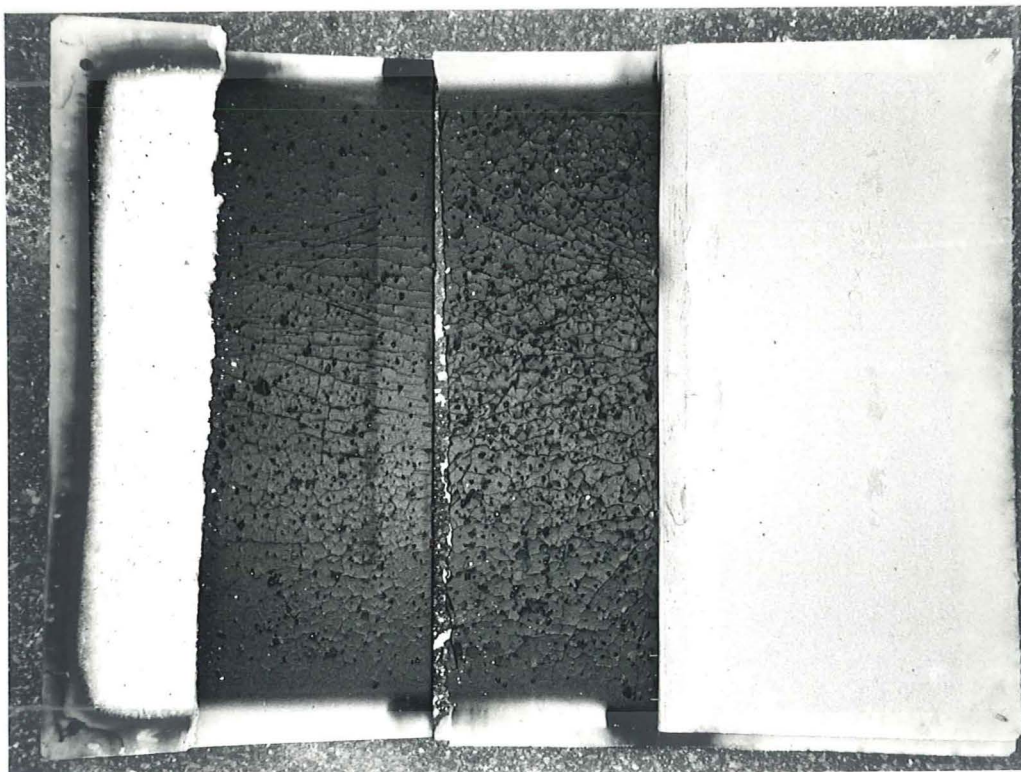


**Bild 4:** Här visas den gipsskiva som låg ovanpå regeln dvs. normalgipsskivan. Lägg märke till hur mycket vatten som har kondenserat på gipssivan. Man ser tydligt var regeln har suttit och på ”regelns kanter” kan man t.o.m. urskilja vattendroppar.





**Bild 5:** Bilden visar prov 3 efter 60 minuters standardbrandpåverkan. Som synes är regeln överhuvudtaget inte brandpåverkad (jämför med bild 9). I prov 1 utan isolering erhöles samma resultat.

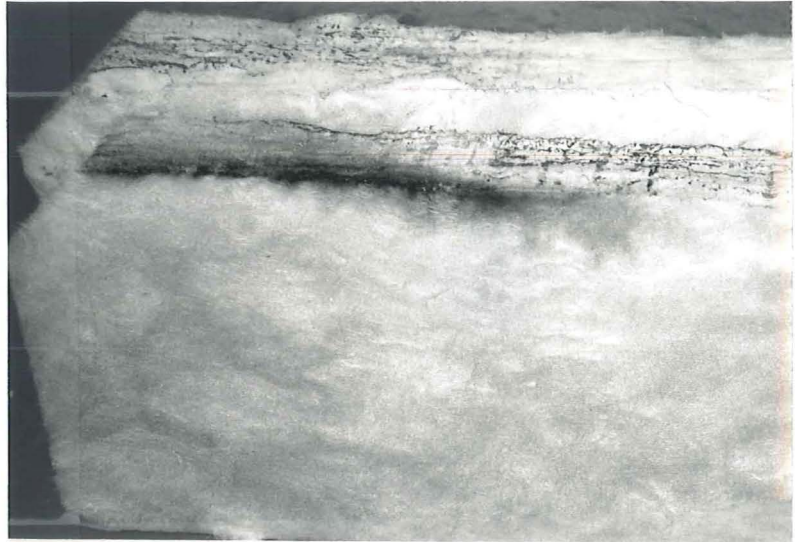


**Bild 6:** Här visas de brandgipsskivor som skyddade prov 3 under brandpåverkan. Skivorna är delade på mitten och den ena halvan är vänd. Den vänstra biten har ett vitt och ett svart parti. Det vita partiet är den gipssida som varit direktexponerad i ugnen. Pappkartongen har på denna sida helt bränts bort och det vita fältet som syns är ren kalcinerad gips. Det svarta på både vänstra och högra delen är skiktet mellan de båda gipssivorna och detta består av bränt papper. Den ljusa delen på högra sidan är den gipssida som låg an mot regeln, denna består av helt opåverkad kartong.

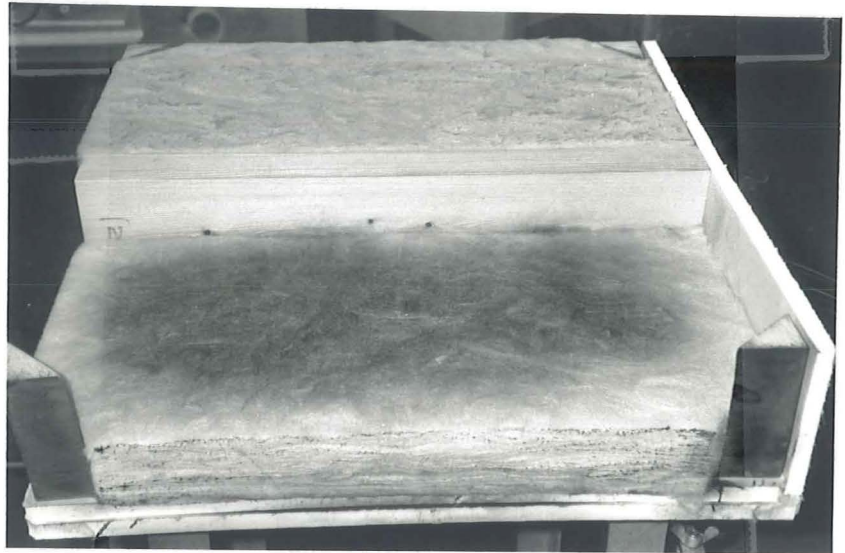


## BILAGA A

**Bild 7:** Isoleringen i prov 3 efter 60 minuters brandpåverkan. Den är nästan helt opåverkad och det är bara i kanterna som den är lite bränd.



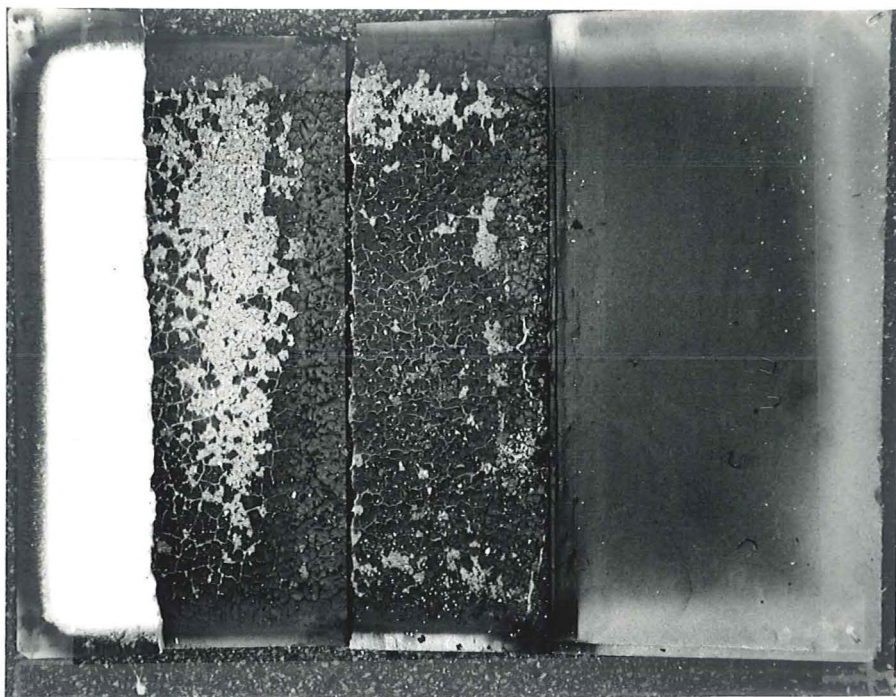
**Bild 8:** Prov 4 efter 90 minuters brandpåverkan. Som synes är isoleringen även på 60 cm höjd brandpåverkad. Jämför med figur 7 ovan.



**Bild 9:** Regeln i prov 4 efter 90 minuters brand. Man ser att regeln har förkolnat en bit upp på kanten. I snitt är förkolningen dock inte så stor ( se bilaga B ).



**Bild 10:** Gipsskivorna efter 90 minuters brand. Se bild 6 för utförligare information. Till skillnad från bild 6 så är även den gipssida som låg an mot regeln nu brandpåverkad. Detta syns på kartongen som förkolnat till skillnad från 60 minutersprovet i bild 6.



**Bild 11:** Prov 5 och 6 kläddes in i folie för att med hjälp av symmetri försöka simulera en dubbelsidig brandpåverkan.



**Bild 12:** Bilden visar regeln i prov 6 efter 90 minuters brandpåverkan. Precis som i prov 4 så är regeln förkolnad en bit upp på dess sidor. I ett tvärsnitt ( se bilaga B ) syns dock att det mesta bara är ytligt.



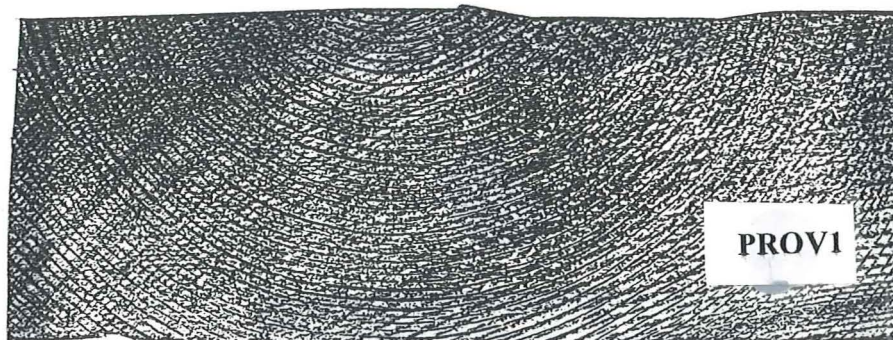




## Bilaga B : Förkolning hos träreglarna i de reducerade brandproven

### FÖRKOLNING MITTSKIKT

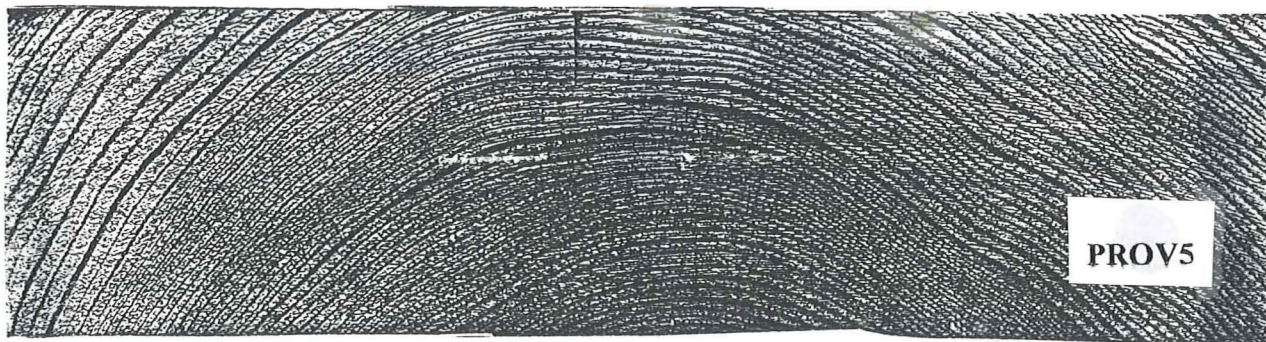
Observera att inte hela det svarta området är förkolnat. Mer än hälften av det svarta i fotostatkopian utgörs av ett s.k. varmt skikt. Se även tabell 7 kapitel 7.





### FÖRKOLNING MITTSKIKT

Observera att inte hela det svarta området är förkolnat. Mer än hälften av det svarta i fotostatkopian utgörs av ett s.k. varmt skikt. Se även tabell 7 kapitel 7.



### MAX FÖRKOLNING SKILT FRÅN MITTSKIKT

Bilderna visar max förkolning för de prov där den maximala förkolningen inte fanns i mittnittet. Observera att inte hela det svarta området är förkolnat. Mer än hälften av det svarta i fotostatkopian utgörs av ett s.k. varmt skikt. Se även tabell 8 kapitel 7.

Notera även det tydliga skruvmärket i prov 6.





## Bilaga C : Bestämning av lastnivå för ett femvåningshus

Denna bilaga hör till avsnitt 8.5.1 där en representativ lastnivå för ett femvånings bostadshus med trästomme sökes. Nedanstående beräkningar är grundade på del av ritning till ett av de femvåningshus som ingår i Wälluddenprojektet i Växjö.

Vid brand gäller lastkombination 7 enl. BKR 94

Permanent last	$1,0G_k$
Variabel last $\psi > 0,5$	$1,0\psi Q_k$
Last som följd av brand	$1,0Q_{ak}$

Last som följd av brand tas ej hänsyn till under dessa beräkningar.

Då  $\psi \geq 0,5$  endast skall vara med, försvinner vindlasten. Likaså försvinner den fria delen av vistelselasten.

Genom att dela in de olika väggarnas influensområde erhålls fyra olika grupper ( se ritning sist i denna bilaga ) som direkt kan sägas ta det mesta av lasterna. Av dessa grupper är det grupp 1 som tar mest last.

### Egentyngd yttervägg 3

20 mm puts, ( $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ )	0,40
50 mm Serporocskiva, ( $\gamma = 0,55 \text{ kN/m}^3$ )	0,03
9 mm gips, ( $\gamma = 7,9 \text{ kN/m}^3$ )	0,07
120 mm reglar + min.ull, c600	0,10
8 mm plywood, ( $\gamma = 7 \text{ kN/m}^3$ )	0,06
70 mm min.ull + reglar, c300	0,10
15 gips, ( $\gamma = 7,9 \text{ kN/m}^3$ )	0,12
SUMMA	0,9 kN / m <sup>2</sup>

### Egentyngd innervägg 15

13 mm gips, ( $\gamma = 7,9 \text{ kN/m}^3$ )	0,10
8 mm plywood, ( $\gamma = 7 \text{ kN/m}^3$ )	0,06
120 mm reglar, c600	0,08
8 mm plywood, ( $\gamma = 7 \text{ kN/m}^3$ )	0,06
13 gips, ( $\gamma = 7,9 \text{ kN/m}^3$ )	0,10
SUMMA	0,4 kN / m <sup>2</sup>



Bjälklag

Bjälklagens egentyngd sätts till  $1,0 \text{ kN/m}^2$

Egentyngd trappa = egentyngd bjälklag

Egentyngd tak ( C/C 1200 )

Tungt tak	$0,7 \text{ kN/m}^2$	( takpannor, råspont, papp )
Takstolar, stolpar	$0,1 \text{ kN/m}^2$	
SUMMA	$0,8 \text{ kN/m}^2$	

Snölast

Ort: Växjö

Snözon: 1,5

$S_0 = 1,5 \text{ kN/m}^2$  ,  $\psi = 0,6$

$\mu_1$  och  $\mu_2$  sätts till 1,0

Detta ger  $S_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$  ,  $\psi = 0,6$

Nyttiga laster ,kN/m<sup>2</sup>

	<u>bunden del</u> ( $\psi = 1,0$ )	<u>fri lastdel</u> / $\psi$
Personer, inredning	0,5	1,5 / 0,33
Vind	0,5	0
Trappor	0	4,0/0,5
Balkonger	0	2,0 / 0,5

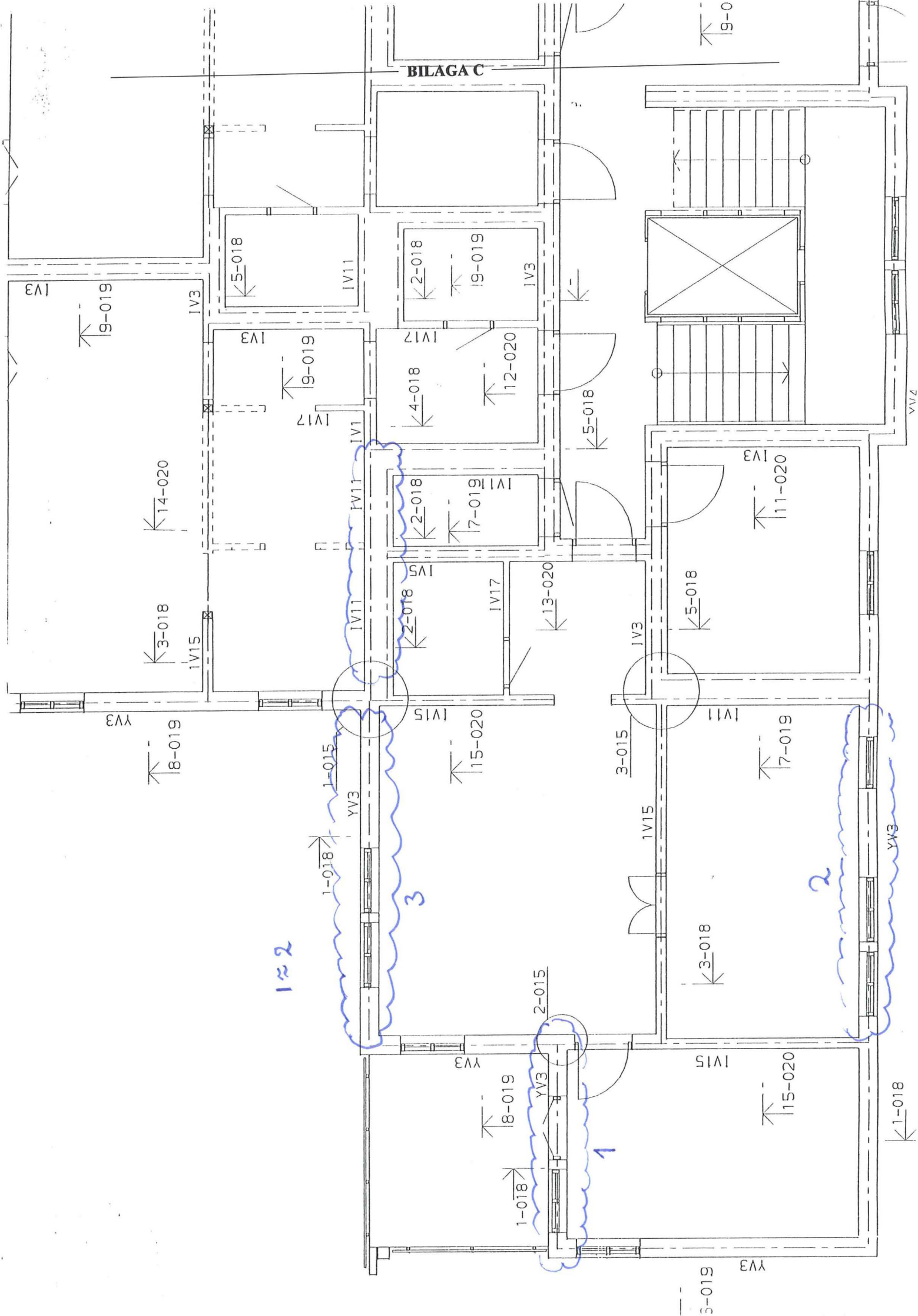
**Grupp 1 nedräkning av laster**Area balkong = 4,8 m<sup>2</sup> / planArea bjälklag = 8,0 m<sup>2</sup> / planYttervägg = 2,8 \* 3,20 = 9 m<sup>2</sup> / plan

Snölast	1,5 * 0,6 * 12,8	= 11,52	
Tak, egt.	0,8 * 12,8	= 10,24	
Bjälklag, egt.	1,0 * 8 * 5	= 40,00	
Balkong, egt.	1,0 * 4,8 * 4	= 19,20	
Personer, inredning	0,5 * 4 * 8	= 16,00	
Vindsutrymme	0,5 * 1 * 8	= 4,00	
Balkonger	2,0 * 0,5 * 4 * 4,8	= 19,20	
	SUMMA	= 120,16 kN	
Yttervägg	9 * 0,9 * 5	= 40,50	
	TOTALSUMMA	160,66 kN	

Då väggen är 3.20 m bred ger detta en last på: **50,2 kN/m vägg**  
 CC 600 ger en last på: 30,1 kN/ regel.

Lokalt kan lasten på en regel bli högre t.ex. vid avvaxlingar över fönster. Detta kan i så fall kompenseras med en extra regel intill eller en regel av grövre dimension.

BILAGA C



1 ≈ 2

3

2

1

5-019 YV3

1-018

15-020

3-018

3-015

7-019

15-020

1-018

1-015

8-019

3-018

14-020

9-019

9-0

VV4

11-020

5-018

13-020

4-018

12-020

2-018

9-019

5-018

9-019

2-018

7-019

2-018

5-018

15-020

1V15

1V15

3-018

1V15

1V15

1V15

1V15

5-019

YV3

YV3

YV3

YV3

YV3

YV3

YV3

YV3

YV3

IV3

IV3

IV3

IV3

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

IV17

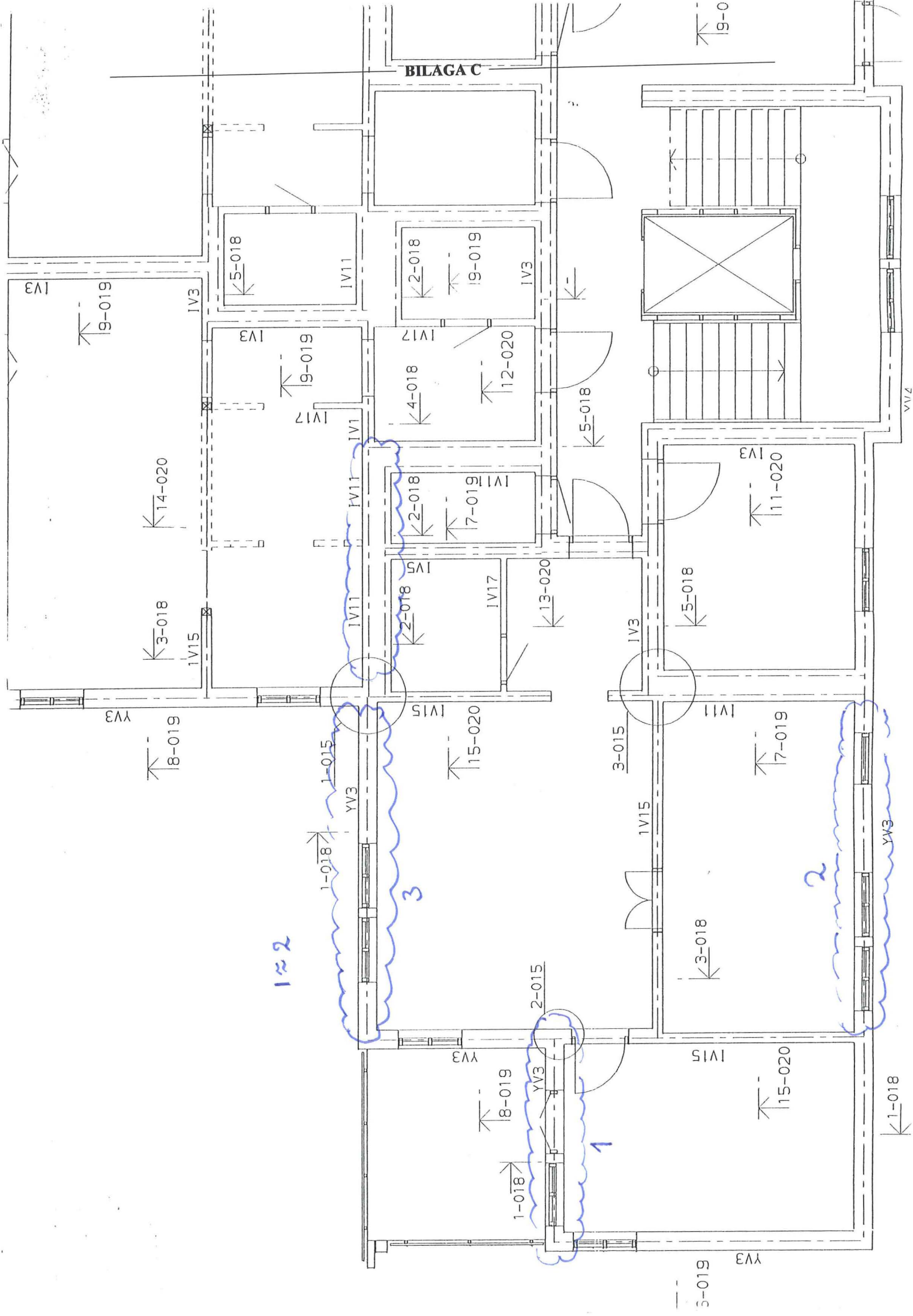
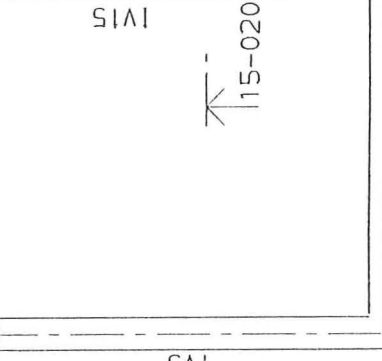
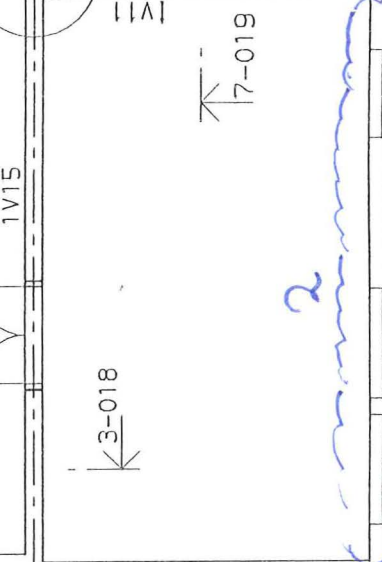
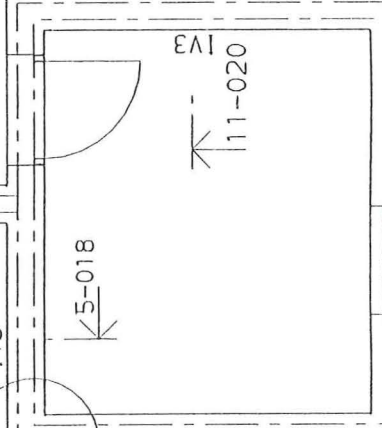
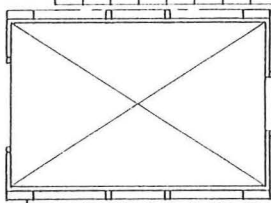
IV17

IV17

IV17

IV17

IV17





## **Bilaga D : Ritningar på fullskaleförsökets väggkonstruktion**

\* EX01: REGELSTOMME

\* EX02: INGÅENDE MATERIAL

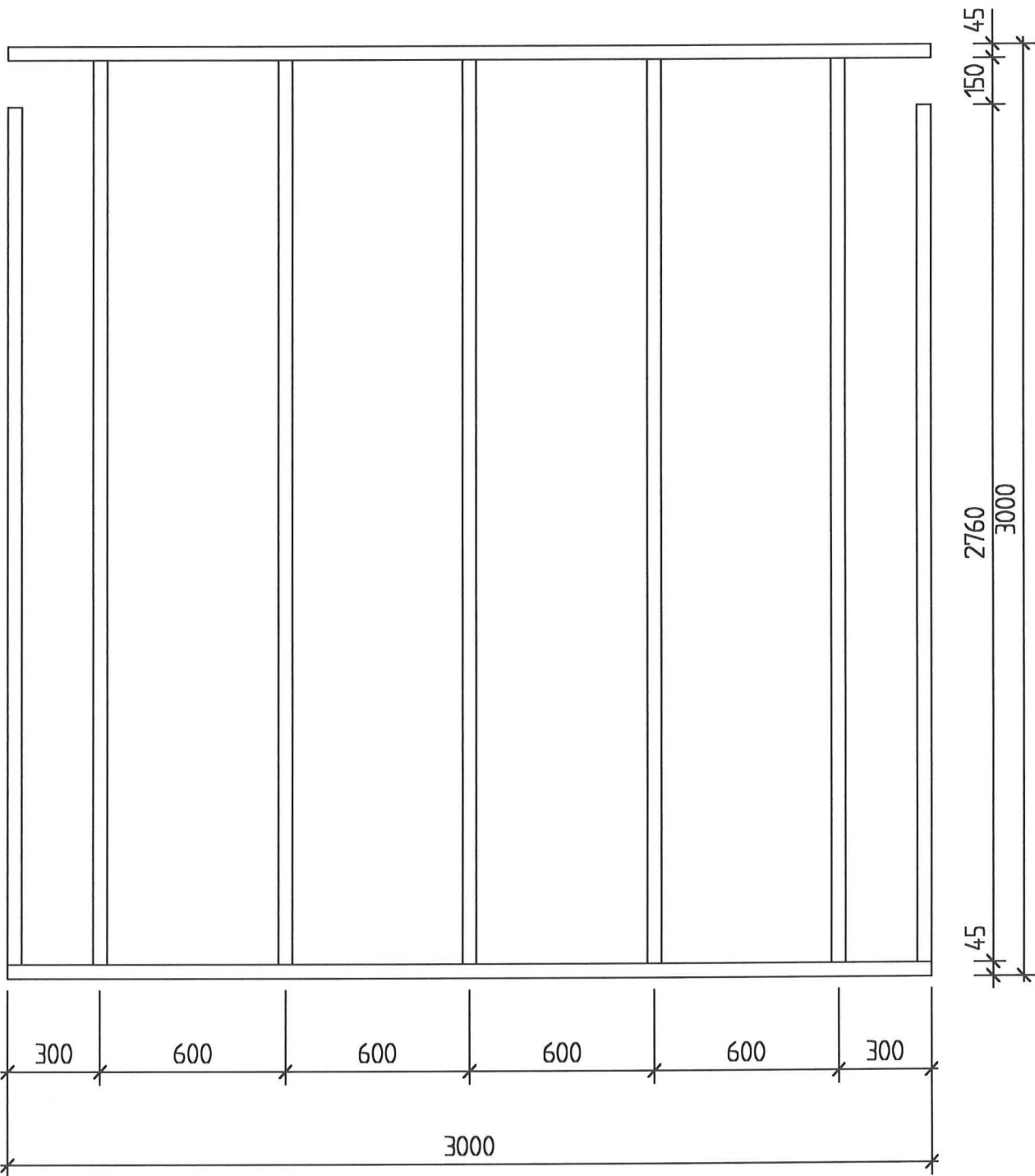
\* EX03: SKARVAR INRE GIPSLAGRET

\* EX04: SKARVAR YTTRE GIPSLAGRET

\* EX05: TERMOELEMENTPLACERING

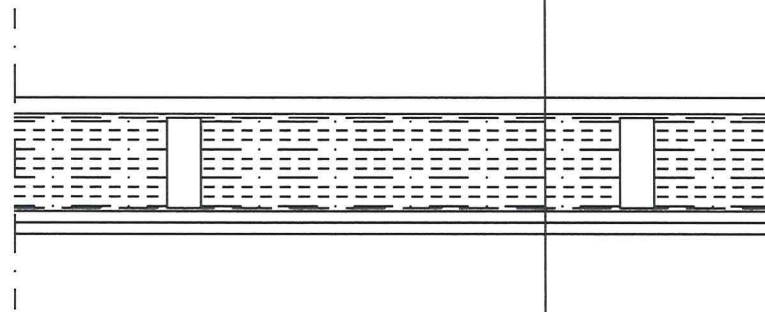
\* EX06: TERMOELEMENTPLACERING

— BILAGA D —



BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	DATUM	SIGN
		REGELSTOMME		
<small>FITAD AV, KONSTRUKTERAD AV</small> <b>ROGER SVENSSON</b>		<small>ARBETSNUMMER</small>	1:20	
LUND	950825	<small>MOD TYP PÅS</small>	<small>FITINGSNUMMER</small> EX01 / 95	<small>TEK. BET</small>

2x15 gips, GF15, Gyproc, dens: 825 kg/m<sup>3</sup>  
 Tätskikt, PE, Gullfiber, 0.2mm  
 45x120 reglar, K30, gran  
 120-3624 glasull, Gullfiber, dens: 20 kg/m<sup>3</sup>  
 Gullfiber vindskydd  
 22x75 spikbräda: Fästes på halva höjden med  
 2 st. 75 mm spik i varje  
 regel utom de två yttersta  
 reglarna.



BILAGA D

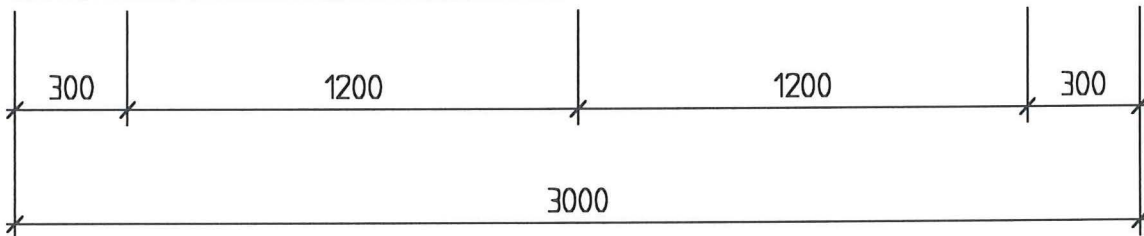
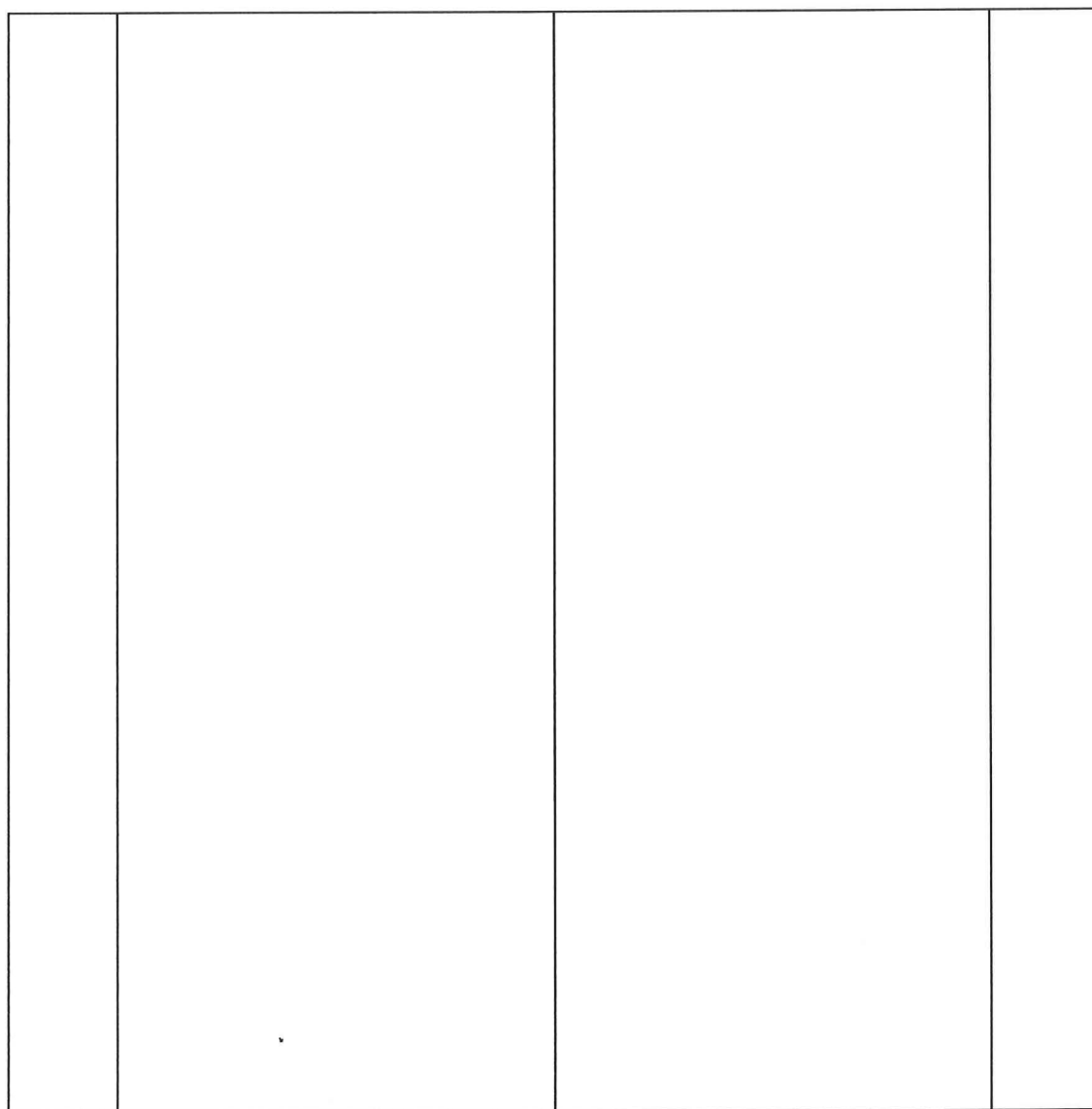
- \* Syll och hammarband består av 3m långa 45x120 reglar.
- \* Reglarna fästes i syllerna med 2st. 100mm blankspik.
- \* Reglarna fästes i hammarbandet på motsvarande sätt.

- \* Den yttersta gipsskivan ( direktexponerade ) fästes med 58 mm gipsskruv c200 längs kanter och c300 i fält.
- \* Den inre gipsskivan fästes med 41mm gipsskruv c200 längs kanter och c300 i fält ( enligt rekommendationer från Gyproc ).

BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	DATUM	SIGN
MATERIAL				
RITAD AV, KONSTRUERAD AV ROGER SVENSSON		ARBETSNUMMER		
LUND		950825		
KOD TYP POS		RITINGSNUMMER		1:10
		EX02 / 95		ÄNDR BET



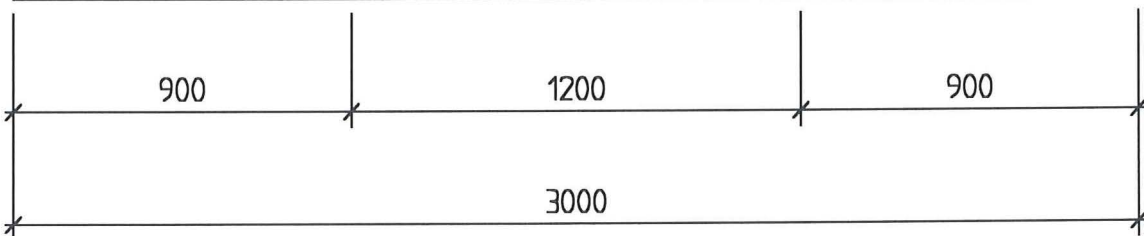
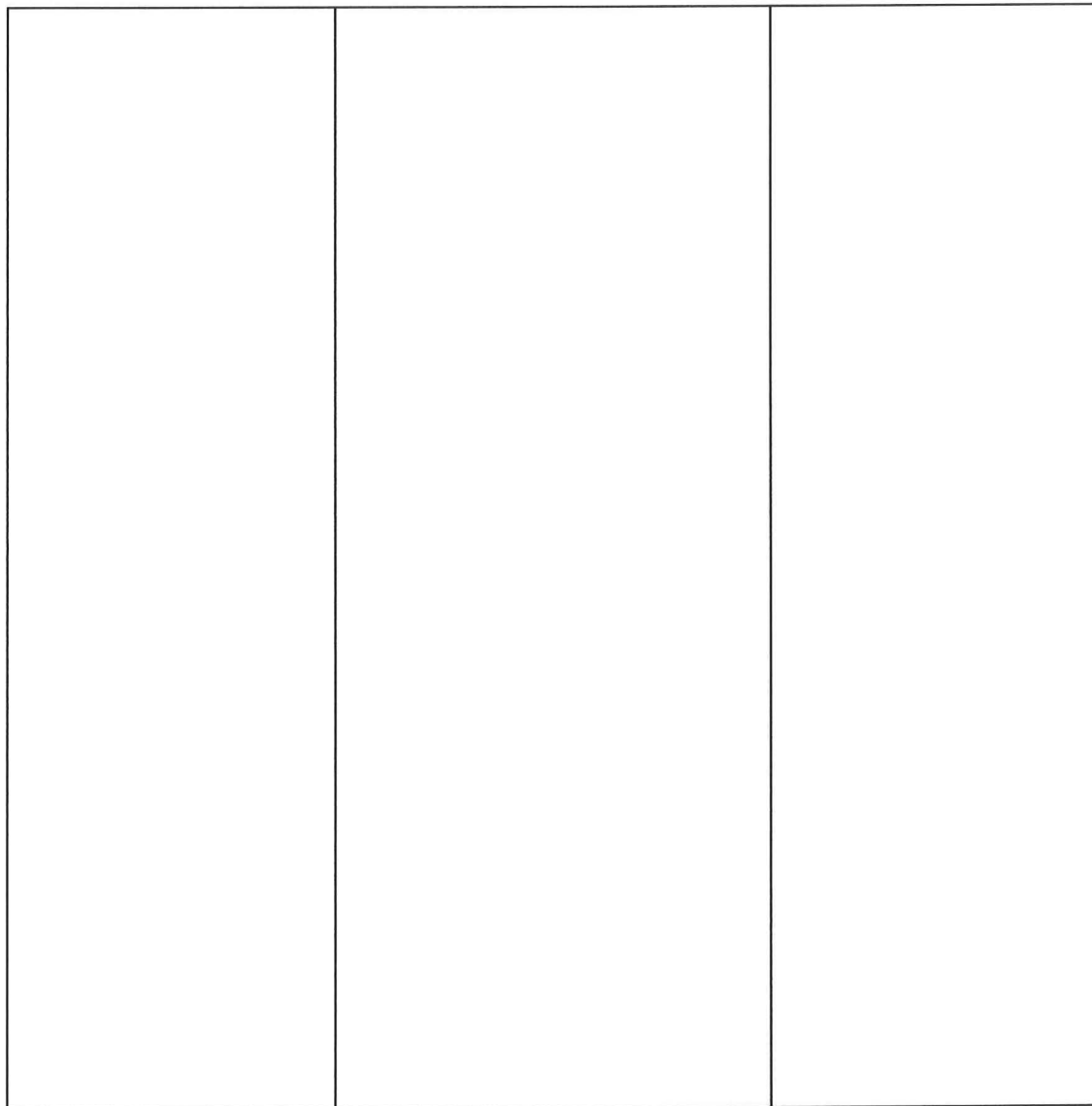
— BILAGA D —



BET	ANT	ÖNDRINGEN AVSER	DATUM	SIGN
-----	-----	-----------------	-------	------

		GIPSSKARVAR INNERSTA LAGRET		
		<ul style="list-style-type: none"> <li>* 32mm gipsskruv</li> <li>* c200 kant</li> <li>* c300 fält</li> </ul>		
<small>BYTT AV KONSTRUKTÖR AV</small> ROGER SVENSSON	<small>ARBETSNUMMER</small> 950825	<small>SKALA</small> 1:20		
LUND		<small>BYTT AV</small> EX03 / 95	<small>BYTT AV</small>	<small>BYTT AV</small>

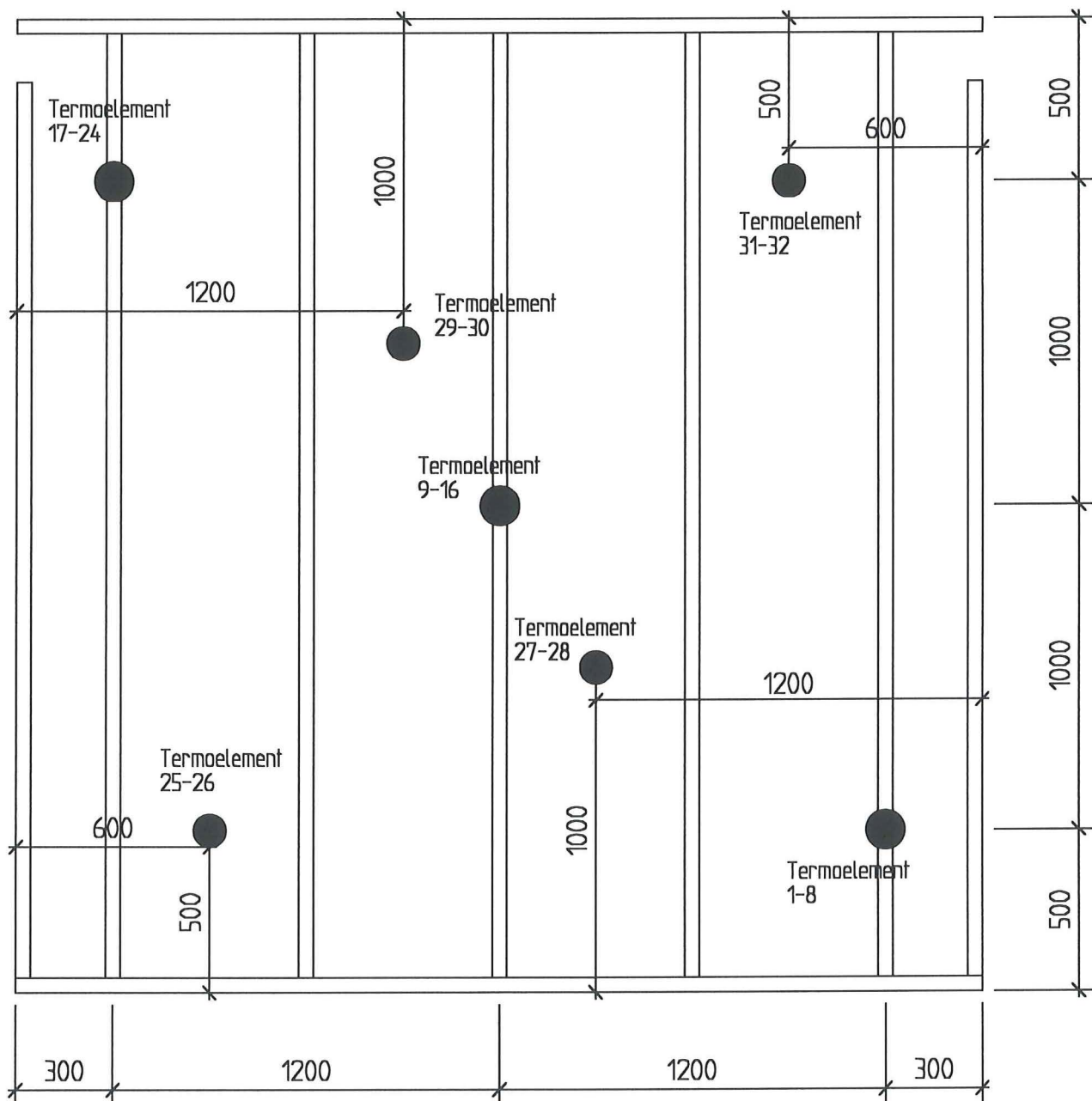
— BILAGA D —



BET	ANT	?NDRINGEN AVSER	DATUM	SIGN
-----	-----	-----------------	-------	------

		GIPSSKARVAR YTTERSTA LAGRET EXPONERAD SIDA		
		* 58mm gipsskruv		
		* c200 kant		
		* c300 fält		
RITAD AV, KONSTRUERAD AV ROGER SVENSSON		ARBETSNUMMER	1:20	
LUND	950825	RIKID TYP FÖS	RITNINGNUMMER EX04 / 95	TEK. BET

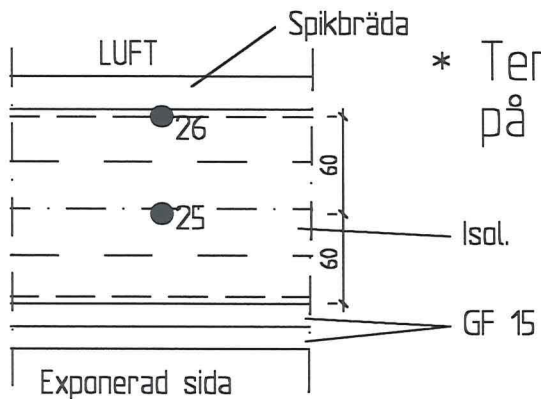
— BILAGA D —



BET	ANT	?NDRINGEN AVSER	DATUM	SIGN
-----	-----	-----------------	-------	------

RITAD AV KONSTRUKTION AV <b>ROGER SVENSSON</b>		ARBETSNUMMER	
		LUND 950825	
TERMoeLEMENT PLACERING HÖJDLED OCH SIDLED *Snitt se EX06		1:20	
RITAD AV KONSTRUKTION AV LUND		RITINGSNUMMER EX05 / 95	ÖVER BET





\* Termoelement 27-32 placeras på motsvarande sätt.

### Termoelement 1-8

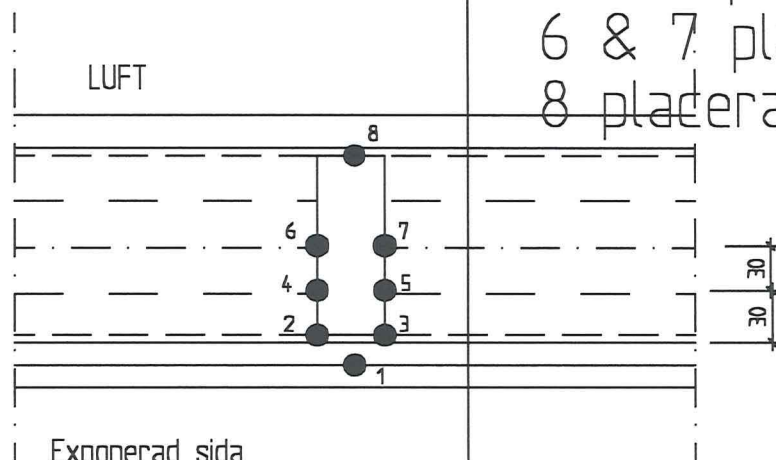
1 placeras mellan gipsskivorna

2 & 3 placeras på regelns kanter

4 & 5 placeras 30mm upp på regeln

6 & 7 placeras 60mm upp på regeln

8 placeras på regelns baksida



Exponerad sida  
90 min. standardbrand, ISO 834

\* 9-16 samt 17-24 placeras på samma sätt.

— BILAGA D —

BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	DATUM	SIGN
TERMOELEMENT SNITT				
Placering sid & höjled se EX05				
RITAD AV, KONSTRUERAD AV ROGER SVENSSON		ARBETSNUMMER		
LUND		950825		1:5
KOD TYP POS		RITNINGNUMMER		ÄNDR BET
		EX06 / 95		



## Bilaga E : SP:s slutrapport över standardbrandprovet

	<u>SIDA</u>
1. PROVNINGENS ÄNDAMÅL	2
2. PROVFÖREMÅL	2
3. PROVNING OCH RESULTAT	4
4. SAMMANFATTNING	7

BILAGOR: 1 - 21