

# Behaviour of laminated beams in fire

Wood can be used as a fuel: it burns. One would believe that this makes it dangerous to use wood for buildings. Exactly the contrary is the case. If there is a fire in a building, there are two facts that very clearly determine the damage:

## a) the open time:

The open time can be determined as the time in which one still can move within the building without hazard, evacuate people, animals and goods, fight the fire and protect those parts that have not been attacked yet by the fire.

## b) The overall damage

This damage can be determined as the total amount of goods destroyed in the building and the parts of the building which must be removed and replaced after the fire.

Experience has clearly shown that buildings made from laminated beams have a much longer open time and much less overall damage after fire than any other building. The physical reason for this fact is a well known property of wood: when burning, the outer layers of

Concrete 1.2 kcal/mh°C  
Bricks 0.7 kcal/mh°C  
Wood 0.13 kcal/mh°C  
Charcoal 0.03 kcal/mh°C

This "closed book effect" which is known to everyone (if you try to burn a closed book you will be surprised that within a big fire, the inner pages are still white after a long time) has been demonstrated by tests performed by the Technical University of Stuttgart, Prof. Dr. Ing. Egner. Wooden beams of cross section 16 cm x 40 cm exposed to a "standard fire" (a typical fire configuration where the temperature rises in 30 minutes from 20°C to 880°C) showed after 30 minutes still 2.4 times their nominal safety bearing strength.

The thickness of the charcoal layer was only 2 cm.

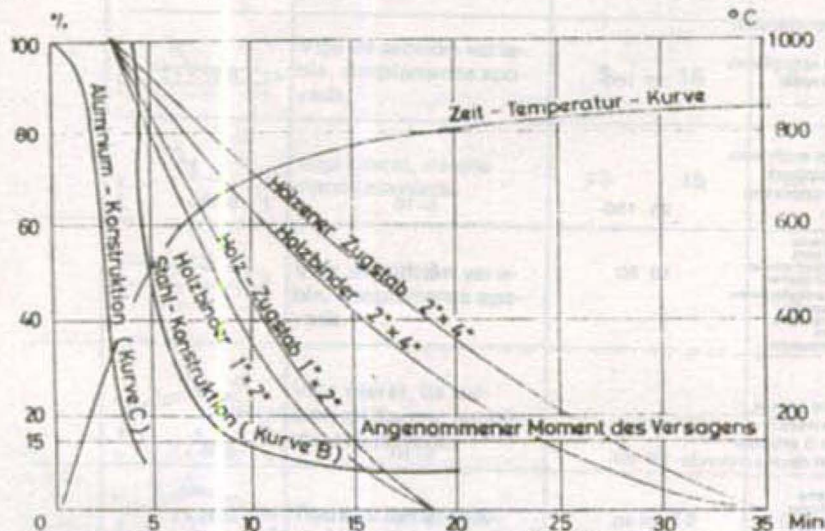
Another beam, exposed for an additional 30 min. to 1000°C, still was capable to bear 60 % of the nominal safety load, which is the sum of all theoretical loads for wind, snow, and traffic.

Neither steel nor aluminium would by far reach such a long open time as wood.

The picture shows the situation of a building where laminated wood beams and steel beams as well as aluminium structures were used combinedly for test purposes.

The steel and the aluminium have come down whereas the wood is still in its

# Comportamiento de las vigas laminadas en incendios



the wood carbonize and insulate the inner layers from the heat. Since, in addition, wood has a low thermal conductivity, the heat is transferred from one place to another very slowly. As a consequence, the strength of a wooden beam, even if it burns, is preserved over a long time.

It makes no difference for the practical use whether the building element burns itself or is damaged by the heat. What counts is, to what extent it is damaged. A comparison of the specific thermal conductivities of several materials explains this phenomenon.

## Thermal conductivity

|           |    |           |
|-----------|----|-----------|
| Aluminium | 75 | kcal/mh°C |
| Steel     | 45 | kcal/mh°C |

place and capable of bearing a considerable part of its nominal load. According to DIN 4074, building materials are classified for their fire resistance in class F 30 (30 minutes open) and F 60 (60 minutes open). For laminated beams, the following situation has been found (see page 159):

Madera sirve de leña, no puede quemar. Uno podría concluir que es peligroso usar madera para edificios, sin embargo, no es cierto.

Si hay un fuego en un edificio, son tres los que cuentan, los que determinan claramente el peligro y el daño: a) el tiempo abierto.

El tiempo abierto puede ser definido como aquel tiempo durante el cual uno puede quedarse en el edificio, evacuar gente, animales y objetos, combatir el incendio y proteger aquellas partes que todavía no han sido atacadas por el fuego.

## b) el daño final.

Este daño puede ser definido como el total de elementos destruidos, tanto en el edificio como los que hacen parte del edificio mismo, y que tienen que ser reemplazados después del incendio.

La experiencia comprobó que edificios con vigas laminadas tienen un tiempo abierto más prolongado y un daño final menor después de un incendio que cualquier otro tipo de edificio. El motivo físico de este fenómeno es una propiedad bien conocida de la madera. Madera que quema desarrolla en su superficie una capa carbonizada la que es un aislante térmico para las capas interiores de la madera. Como además la madera tiene una conductividad térmica baja, se propaga la temperatura a muy lentamente en ella. De esto resulta que la resistencia mecánica de una viga laminada de madera en plenas llamas se conserva por un tiempo prolongado.

DISEÑO DE VIGAS RECTAS DE MADERA LAMINADA

bajo la supervisión del Dr. Erkki Niskanen, Consultor de la FAO.

I) DIMENSIONES

Consideremos 2 casos:

Caso A  
(Viga de techumbre)

Caso B  
(Viga interior de un edificio)

Luz  $l = 15m.$

$l = 8 m.$

Distancia entre vigas  $D = 4 m.$

$D = 2 m.$

II) CARGAS

|                      |                      |                       |
|----------------------|----------------------|-----------------------|
|                      | <u>Caso A</u>        | <u>Caso B</u>         |
| Peso propio estruct. | 40 Kg/m <sup>2</sup> | 50 Kg/m <sup>2</sup>  |
| Sobrecarga           | 20 Kg/m <sup>2</sup> | 250 Kg/m <sup>2</sup> |

|                      |                       |
|----------------------|-----------------------|
|                      | <u>Caso B</u>         |
| Peso propio estruct. | 50 Kg/m <sup>2</sup>  |
| Sobrecarga           | 250 Kg/m <sup>2</sup> |

Total  $60 Kg/m^2$

$300 Kg/m^2$

Carga por metro lineal  $q = 240 Kg/ml$

$q = 600 Kg/ml$

III) SOLICITACIONES (Considera viga simplemente apoyada)

1.- Momentos de flexión al centro:

$$M = \frac{q l^2}{8}$$

Caso A

$$M = \frac{240 \times 15^2}{8}$$

Caso B

$$M = \frac{600 \times 8^2}{8}$$

$$M = 6.750 \text{ Kg-m}$$

$$M = 4.800 \text{ Kg-m}$$

2.- Esfuerzo de corte en los apoyos:

$$Q = \frac{q l}{2}$$

$$Q = 1.800 \text{ Kg.}$$

$$Q = 2.400 \text{ Kg.}$$

IV) DISEÑO

1.- Fatigas admisibles

En el caso de la viga de techumbre, el efecto del viento produciría succión sobre la superficie, la que, tomando la presión básica máxima de  $100 \text{ Kg/m}^2$ , sería:

$$p = - 0,4 \times 100 = - 40 \text{ Kg/m}^2$$

succión que produce un efecto menor que el del peso propio, de manera que no la consideramos en el cálculo.

Por tratarse de madera laminada, tomaremos los siguientes coeficientes de amplificación, correspondientes a pino insigne de II clase (según consideraciones hechas en ejemplos de marcos anteriormente):

- Para fatiga admisible de flexión: 1,3
- Para fatiga admisible de cizalle: 1,2
- Para módulo de elasticidad en flexión: 1,2

De manera que:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{adm. flexión}} &= 70 \times 1,3 = 91 \text{ Kg/cm}^2 \\ \tau_{\text{adm. //}} &= 8 \times 1,2 = 10 \text{ Kg/cm}^2 \\ E_{\text{flexión}} &= 100.000 \times 1,2 = 120.000 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

2.- Dimensionamiento de las secciones

Tomaremos el ancho  $b = 11,5 \text{ cm}$  (5") en ambos casos

$$h_{\text{nec}}^2 = \frac{6 M}{b \sigma}$$

Caso A

$$h_{\text{nec}}^2 = \frac{6 \times 675000}{11,5 \times 91}$$

$$h_{\text{nec}}^2 = \frac{6 \times 480000}{11,5 \times 91}$$

Tomamos:

29 laminaciones de 2,2 x 11,5 cm

$$h = 63,5 \text{ cm.}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{63,5}{11,5} = 5,5 < 6$$

$\frac{h}{b} = 6$ : límite dado por las especificaciones finlandesas

24 laminaciones de 2,2 x 11,5 cm.

$$h = 53 \text{ cm.}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{53}{11,5} = 4,6 < 6$$

### 3.- Verificaciones

a) Esfuerzo de corte

$$\tau = \frac{3}{8} \times \frac{2,40 \times 1800}{384 \times 120000 \times 11,5 \times 63,5} \tau = 1,5 \frac{Q}{bh}$$

$$\tau_{//} = 1,5 \frac{1800}{11,5 \times 63,5}$$

$$\tau_{//} = 3,7 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{// \text{ adm}}$$

$$\tau = \frac{3}{8} \times \frac{2,40 \times 2400}{384 \times 120000 \times 11,5 \times 53}$$

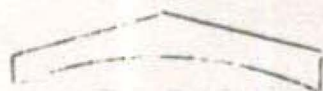
$$\tau_{//} = 1,5 \frac{2400}{11,5 \times 53}$$

$$\tau_{//} = 5,9 \text{ Kg/cm}^2 // \text{ adm}$$

En el caso A se podría pensar en vigas de sección variable:



utilizando al centro la sección recién diseñada y en los apoyos un mínimo de 11,5 x 24 cm. También se podría adoptar la solución



pero en este caso debería considerarse el efecto del viento.

b) Deformación máxima

De acuerdo con las especificaciones finlandesas se tomarán los siguientes límites restrictivos:

$$\text{Caso A} \\ f_{\text{máx}} = \frac{1}{200} \quad (\text{para peso propio estruct.})$$

$$f_{\text{máx}} = \frac{1500}{200} = 7,5 \text{ cm.}$$

$$f = \frac{5 q \cdot l^4}{384 EI}$$

$$f = \frac{5 \times 2,40 \times 1500^4 \times 1}{384 \times 120000 \times 11,5 \times 63,5^3}$$

$$f = 5,4 \text{ cm } f_{\text{máx}}$$

$$\text{Caso B} \\ f_{\text{máx}}^1 = \frac{1}{300} \quad (\text{para carga máxima})$$

$$f_{\text{máx}}^2 = \frac{1}{500} \quad (\text{para peso estructura + 1/2 sobrecarga})$$

$$f_{\text{máx}}^1 = \frac{800}{300} = 2,7 \text{ cm}$$

$$f_{\text{máx}}^2 = \frac{800}{500} = 1,6 \text{ cm}$$

$$f^1 = \frac{5 \times 6,00 \times 800^4 \times 12}{384 \times 120000 \times 11,5 \times 53^3}$$

$$f^2 = f^1 \times \frac{3,5}{6,0}$$

$$f^1 = 1,9 \text{ cm } f^1_{\text{máx}}$$

$$f^2 = 1,1 \text{ cm } f^2_{\text{máx}}$$

#### 4.- Contraflecha

Caso A: Se dará una contraflecha igual a la deformación calculada, debido a que el cálculo se efectuó con las cargas estáticas

$$\triangle = 5,4 \text{ cm}$$

Caso B: Se dará una contraflecha equivalente a la flecha debida a las cargas estáticas más la mitad de la sobrecarga

$$\triangle = 1,1 \text{ cm}$$

#### 5.- Resumen

|                        |                            |                     |
|------------------------|----------------------------|---------------------|
| N° laminaciones        | 29lam. de 2,2x11,5cm(1"x5) | 24lam/ DE2,2x11,5cm |
| Dimensiones sección    | 11,5x63,5 cm               | 11,5 x 53 cm        |
| Contraflecha al centro | 5,4 cm                     | 1,1 cm              |