

Tính toán sàn liên hợp thép - bê tông trong điều kiện cháy theo tiêu chuẩn châu Âu

Calculations of steel-concrete composite slabs in fire conditions according to Eurocodes

> TS PHẠM THANH HÙNG⁽¹⁾, PGS.TS CHU THỊ BÌNH⁽²⁾

⁽¹⁾ GV Khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, Email: hungpt@hau.edu.vn

⁽²⁾ GV Khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, Email: chuthibinh@hau.edu.vn

TÓM TẮT:

Bài báo này trình bày phương pháp tính toán kết cấu sàn liên hợp thép - bê tông trong điều kiện cháy theo tiêu chuẩn châu Âu EN 1994-1-2 sử dụng mô hình tính toán đơn giản. Các ví dụ tính toán cụ thể được thực hiện để làm sáng tỏ phương pháp. Kết quả tính toán khảo sát giới hạn chịu mô men của sàn với các thời gian chịu lửa khác nhau cũng được trình bày.

Từ khóa: Sàn; liên hợp thép và bê tông; chịu lửa; điều kiện cháy

ABSTRACT:

In this article the method to calculate the bearing capacity of steel-concrete slabs in fire conditions according to Eurocode 4 (EC4) was introduced. Some work examples are presented to clarify the calculation method. Some calculated results of moment resistance of composite slabs with various fire duration are presented also.

Keywords: Steel-concrete; composite slabs; fire; eurocodes

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kết cấu liên hợp thép - bê tông là kết cấu sử dụng thép hình kết hợp với bê tông để làm kết cấu chịu lực chính cho công trình. Loại kết cấu này tận dụng được các ưu điểm riêng về đặc trưng cơ lý của cả hai loại vật liệu thép và bê tông.

Việc xác định khả năng chịu lực của sàn liên hợp thép - bê tông trong điều kiện cháy là phức tạp do phải kể đến sự biến dạng do nhiệt, sự thay đổi các tính chất cơ lý của vật liệu khi nhiệt độ tăng cao. Tiêu chuẩn Việt Nam hiện nay chưa có chỉ dẫn tính toán cho loại kết cấu liên hợp thép - bê tông trong điều kiện cháy. Theo tiêu chuẩn châu Âu, có hai phương pháp tính toán sàn liên hợp thép - bê tông chịu lửa:

- Phương pháp tính toán đơn giản hóa: sử dụng các giả thiết nhằm đơn giản hóa quá trình tính toán; phương pháp này áp dụng cho sàn liên hợp thép - bê tông chịu lửa theo đường thời gian - nhiệt độ tiêu chuẩn;

- Phương pháp sử dụng mô hình tiên tiến: sử dụng các phần mềm mô phỏng kỹ thuật để phân tích kết cấu chịu cháy như: ANSYS, ABAQUS, VULCAN, SISMEF và SAFIR... Khi sử dụng mô hình tiên tiến, có thể tính toán nhiều hình dạng sàn và nhiều đường cong thời

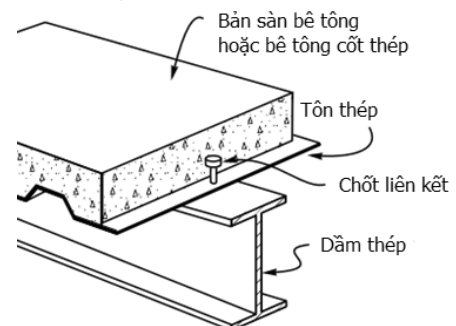
gian-nhiệt độ khác nhau.

Bài báo trình bày phương pháp tính toán sàn liên hợp thép - bê tông chịu lửa theo tiêu chuẩn châu Âu sử dụng mô hình tính toán đơn giản hóa và diễn giải một số ví dụ nhằm làm sáng tỏ các bước tính toán. Ngoài ra, kết quả khảo sát ảnh hưởng của thời gian cháy đến khả năng chịu lực của sàn cũng được trình bày.

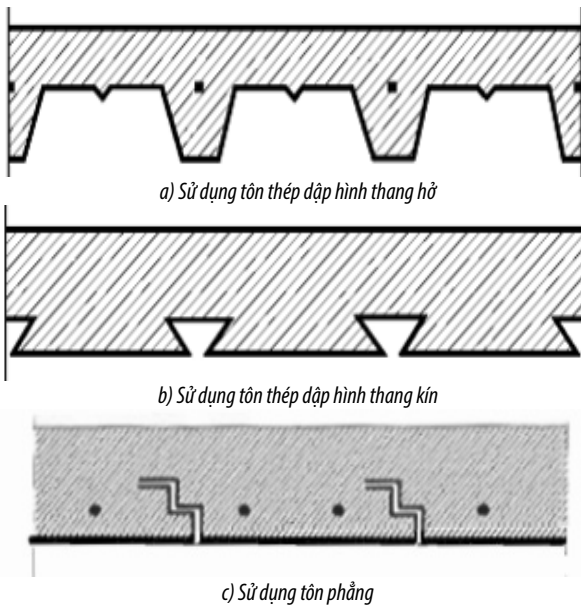
2. TÍNH TOÁN SÀN LIÊN HỢP THÉP - BÊ TÔNG TRONG ĐIỀU KIỆN CHÁY THEO PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN ĐƠN GIẢN HÓA

2.1. Cấu tạo sàn liên hợp thép và bê tông

Sàn liên hợp thép - bê tông phổ biến có dạng như Hình 1, cấu tạo bao gồm: bản sàn bê tông, tấm tôn và chốt liên kết để liên kết sàn liên hợp với dầm. Một số ví dụ điển hình của sàn liên hợp có tấm tôn bên dưới, có hoặc không có cốt thép được giới thiệu như trên Hình 2. Ưu điểm cơ bản của dạng kết cấu này là thi công dễ dàng và tiết kiệm thời gian thi công. Tùy thuộc vào từng công trình cụ thể mà tấm sàn có thể có gờ tựa đơn giản hay liên tục. Để đảm bảo chịu lửa, dầm thép thường được phun lớp vật liệu chịu lửa bằng sơn, vữa hoặc bọc bằng tấm chống cháy. Khi tiết diện sàn thỏa mãn các điều kiện như ghi ở mục D.5 trong tiêu chuẩn EN 1994-1-2, tấm tôn của bản sàn không cần bảo vệ cách nhiệt mà yêu cầu tính toán thiết kế đảm bảo giới hạn chịu lửa yêu cầu. Các phần sau đây trình bày chi tiết phương pháp tính nội lực giới hạn trong điều kiện cháy của tấm sàn liên hợp thép-bê tông mà tấm sàn không được bảo vệ cách nhiệt. Các cấu kiện được thiết kế chịu lửa đảm bảo 3 tiêu chí: tính toàn vẹn (ký hiệu bằng chữ E), tính cách nhiệt (ký hiệu bằng chữ I), và khả năng chịu lực (ký hiệu R)



Hình 1. Cấu tạo sàn liên hợp thép và bê tông



Hình 2. Hình dạng của sàn liên hợp

2.2. Nguyên tắc tính toán chung

Phương pháp đơn giản hoá được sử dụng với các trường hợp sàn bê tông liên hợp không được bảo vệ cách nhiệt chịu tác động của lửa phía dưới bản sàn theo đường nhiệt độ - thời gian tiêu chuẩn ISO 834.

Điều kiện mô men thiết kế ở điều kiện cháy không vượt quá mô men giới hạn ở điều kiện cháy:

$$M_{fi,t,d} \leq M_{fi,t,Rd} \text{ hay } p_{fi,t,d} \leq p_{fi,t,Rd}$$

trong đó: $M_{fi,t,d}$ là mô men tính toán của sàn và $M_{fi,t,Rd}$ là mô men giới hạn của sàn ở thời gian chịu cháy t ; $p_{fi,t,d}$ là tải trọng tính toán của sàn và $p_{fi,t,Rd}$ là tải trọng giới hạn của sàn ở thời gian chịu cháy t . Trục trung hòa dẻo của sàn liên hợp xác định theo biểu thức (1) sau:

$$\sum_{i=1}^n A_i k_{y,\theta,i} \left(\frac{f_{y,i}}{Y_{M,fi,a}} \right) + 0,85 \sum_{j=1}^m A_j k_{c,\theta,j} \left(\frac{f_{c,j}}{Y_{M,fi,c}} \right) = 0 \quad (1)$$

trong đó: $f_{y,i}/Y_{M,fi,a}$ là cường độ tính toán của phần diện tích thép A_i ở điều kiện nhiệt độ thường, lấy giá trị dương với phần chịu nén và lấy giá trị âm với phần chịu kéo của tiết diện bản sàn; $f_{c,j}/Y_{M,fi,c}$ là cường độ tính toán của phần diện tích bê tông A_j ở điều kiện nhiệt độ thường, chỉ lấy giá trị dương (vì bỏ qua sự làm việc của bê tông chịu kéo); $k_{y,\theta,i}$ và $k_{c,\theta,j}$ là hệ số suy giảm cường độ của vật liệu thép và bê tông khi làm việc trong điều kiện chịu lửa, $k_{y,\theta,i}$ lấy theo Bảng 3.1 của EN 1993-1-2 [2] và Bảng 3.2 của EN 1992-1-2 [1] và $k_{c,\theta,j}$ lấy theo Bảng 3.1 của EN 1992-1-2 [1].

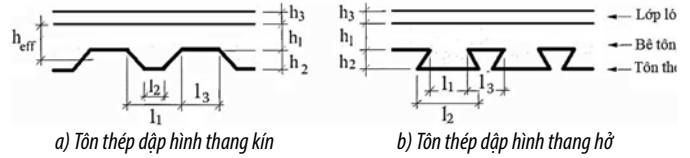
Mô men giới hạn của sàn ở thời gian chịu cháy t xác định theo biểu thức sau:

$$M_{fi,t,Rd} = \sum_{i=1}^n A_i z_i k_{y,\theta,i} \left(\frac{f_{y,i}}{Y_{M,fi,a}} \right) + 0,85 \sum_{j=1}^m A_j z_j k_{c,\theta,j} \left(\frac{f_{c,j}}{Y_{M,fi,c}} \right) \quad (2)$$

trong đó: z_i và z_j lần lượt là khoảng cách từ trục trung hòa đến trọng tâm của phần diện tích A_i và A_j ; các đại lượng khác tương tự như trong biểu thức (1).

2.3. Phạm vi áp dụng của sàn liên hợp không cần bảo vệ cách nhiệt

Phạm vi ứng dụng đối với sàn bê tông liên hợp không được bảo vệ cách nhiệt quy định theo mục D.5 của EN 1994-1-2 [3] được giới thiệu trong Bảng 1. với các ký hiệu kích thước như trên Hình 3.



Hình 3. Các ký hiệu kích thước của sàn liên hợp [3]

Bảng 1: Phạm vi áp dụng sàn bê tông liên hợp không cần bảo vệ cách nhiệt [3]

Tôn thép dập hình thang kín	Tôn thép dập hình thang hở
$77,0 \text{ mm} \leq l_1 \leq 135,0 \text{ mm}$	$80,0 \text{ mm} \leq l_1 \leq 155,0 \text{ mm}$
$110,0 \text{ mm} \leq l_2 \leq 150,0 \text{ mm}$	$32,0 \text{ mm} \leq l_2 \leq 132,0 \text{ mm}$
$38,5 \text{ mm} \leq l_3 \leq 97,5 \text{ mm}$	$40,0 \text{ mm} \leq l_3 \leq 115,0 \text{ mm}$
$50,0 \text{ mm} \leq h_1 \leq 130,0 \text{ mm}$	$50,0 \text{ mm} \leq h_1 \leq 125,0 \text{ mm}$
$30,0 \text{ mm} \leq h_2 \leq 60,0 \text{ mm}$	$50,0 \text{ mm} \leq h_2 \leq 100,0 \text{ mm}$

2.4. Chiều dày tính toán của bản sàn liên hợp

Chiều dày tính toán h_{eff} được xác định theo công thức sau:

$$\text{Khi } h_2/h_1 \leq 1,5 \text{ và } h_1 > 40 \text{ mm: } h_{eff} = h_1 + 0,5h_2 \left(\frac{l_1 + l_2}{l_1 + l_3} \right) \quad (3a)$$

$$\text{Khi } h_2/h_1 > 1,5 \text{ và } h_1 > 40 \text{ mm: } h_{eff} = h_1 \left(1 + 0,75 \left(\frac{l_1 + l_2}{l_1 + l_3} \right) \right) \quad (3b)$$

Nếu $l_3 > 2h_1$, chiều dày tính toán của sàn liên hợp có thể lấy bằng $h_{eff} = h_1$.

Mối quan hệ giữa khả năng chịu lửa với tiêu chí cách nhiệt I và chiều dày tính toán nhỏ nhất h_{eff} được giới thiệu trong Bảng 2 với h_3 là chiều dày lớp vữa trên sàn bê tông.

Bảng 2: Chiều dày tính toán tối thiểu theo tiêu chí cách nhiệt [3]

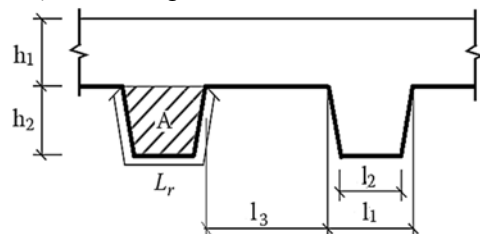
Khả năng chịu lửa tiêu chuẩn	130	160	190	1120	1150	1240
Chiều dày tính toán h_{eff} (mm)	60 - h_3	80 - h_3	100 - h_3	120 - h_3	150 - h_3	175 - h_3

2.5. Khả năng chịu lửa theo tính cách nhiệt (I)

Khả năng chịu lửa t_i (phút) liên quan đến tính cách nhiệt (nhiệt độ gia tăng trung bình (140 °C) và nhiệt độ gia tăng lớn nhất (180 °C)), tiêu chí "I", xác định như sau:

$$t_i = a_0 + a_1 h_1 + a_2 \Phi + a_3 \frac{A}{L_r} + a_4 \frac{1}{l_3} + a_5 \frac{A}{L_r} \times \frac{1}{l_3} \quad (4)$$

trong đó: h_1, h_2, l_1, l_2, l_3 là các kích thước định hình sàn (xem Hình 4); A/L_r là hệ số hình học của sườn (mm), xác định theo công thức (5); Φ là hệ số hình dạng, xác định theo biểu thức (6) và a_i là các thông số xác định theo Bảng D.1 của EN 1994-1-2 [3].



Hình 4. Xác định hệ số hình học cho sườn của sàn liên hợp [3]

$$\frac{A}{L_r} = \frac{h_2 \left(\frac{l_1 + l_2}{2} \right)}{l_2 + 2\sqrt{h_2^2 + \left(\frac{l_1 - l_2}{2} \right)^2}} \quad (5)$$

$$\Phi = \frac{\sqrt{h_2^2 + \left(l_3 + \frac{l_1 - l_2}{2} \right)^2} - \sqrt{h_2^2 + \left(\frac{l_1 - l_2}{2} \right)^2}}{l_3} \quad (6)$$

2.6. Tính toán khả năng chịu mô men uốn dương

Khả năng chịu mô men uốn dương của sàn liên hợp xác định theo biểu thức (2). Để tính toán được theo biểu thức (2) cần tiến hành tuần tự theo các bước:

- Bước 1: xác định nhiệt độ các phần tham gia chịu lực của sàn liên hợp;
- Bước 2: dựa vào nhiệt độ các phần, xác định hệ số suy giảm cường độ;
- Bước 3: Tính khả năng chịu mô men uốn dương của sàn liên hợp theo (2).

Nhiệt độ θ_s (°C) của các phần của tấm tôn thép được xác định theo biểu thức sau:

$$\theta_a = b_0 + b_1 \frac{1}{l_3} + b_2 \frac{A}{L_r} + b_3 \Phi + b_4 \Phi^2 \quad (7)$$

trong đó: $b_0, b_1, b_2, \dots, b_4$ là các thông số xác định theo Bảng D.2 của EN 1994-1-2 [3].

Nhiệt độ θ_s (°C) của cốt thép trong sườn được xác định theo biểu thức sau:

$$\theta_s = c_0 + c_1 \frac{u_3}{h_2} + c_2 z + c_3 \frac{A}{L_r} + c_4 \alpha + c_5 \frac{1}{l_3} \quad (8)$$

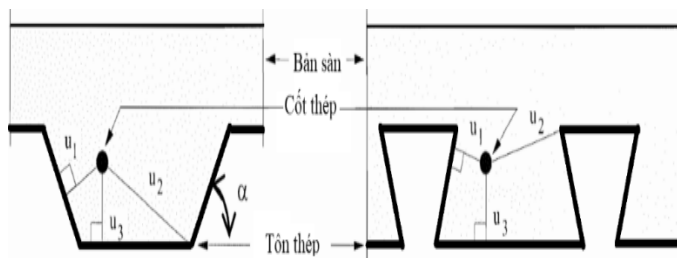
trong đó: α là góc nghiêng của bản bụng tấm tôn so với phương nằm ngang (Hình 5);

z là thông số vị trí cốt thép trong sườn (mm^{0.5}), z xác định từ biểu thức sau:

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{\sqrt{u_1}} + \frac{1}{\sqrt{u_2}} + \frac{1}{\sqrt{u_3}} \quad (9)$$

với u_1, u_2 và u_3 (mm) lần lượt là khoảng cách ngắn nhất từ tâm cốt thép đến hai bản bụng và cánh dưới của tấm tôn thép (xem Hình 5);

c_i là các thông số xác định theo Bảng D.3 của EN 1994-1-2 [3].



Hình 5. Các thông số vị trí của cốt thép [3]

2.7. Tính toán khả năng chịu mô men uốn âm

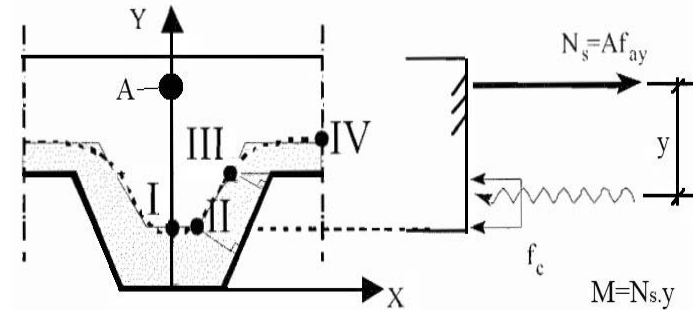
Khi tính khả năng chịu uốn mô men âm có thể bỏ qua sự tham gia chịu lực của tôn thép - bê tông chịu kéo và phần bê tông chịu nén nếu có nhiệt độ vượt quá nhiệt độ giới hạn θ_{lim} , phần tiết diện còn lại được tính toán như ở điều kiện nhiệt độ phòng. Nhiệt độ giới hạn θ_{lim} được tính bằng biểu thức:

$$\theta_{lim} = d_0 + d_1 N_s + d_2 \frac{A}{L_r} + d_3 \Phi + d_4 \frac{1}{l_3} \quad (10)$$

trong đó: N_s là lực pháp tuyến trong cốt thép khi chịu mô

men uốn âm; $N_s = A_s \cdot f_{ay}$; và d_i là các thông số xác định theo Bảng D.4 của EN 1994-1-2.

Đường đẳng nhiệt đối với nhiệt độ tới hạn θ_{lim} được lược đồ hóa bằng 4 điểm đặc trưng như trên Hình 6. Bốn điểm này có tọa độ như trong Bảng 3.



Hình 6. Đường đẳng nhiệt nhiệt độ tới hạn θ_{lim} [3]

Bảng 3: Tọa độ các điểm đặc trưng xác định đường đẳng nhiệt

Điểm	Tọa độ X	Tọa độ Y
I	$X_I = 0$	$Y_I = 1 / \left(\frac{1}{z} - \frac{4}{\sqrt{l_1 + l_3}} \right)^2$
II	$X_{II} = l_2/2 + Y_I(\cos\alpha - 1)/\sin\alpha$	$Y_{II} = Y_I$
III	$X_{III} = l_1/2 - b/\sin\alpha$	$Y_{III} = h_2$
IV	$X_{IV} = (l_1 + l_3)/2$	$Y_{IV} = h_2 + b$

với: $b = 0,5l_1 \sin\alpha \left(1 - \left(\sqrt{a^2 - 4a + c} \right) / a \right)$;

$$\alpha = \arctan \left(\frac{2h_2}{l_1 - l_2} \right); a = \left(\frac{1}{z} - \frac{1}{\sqrt{h_2}} \right)^2 l_1 \sin\alpha$$

$c = -8(1 + \sqrt{1 + a})$ khi $a \geq 8$ và $c = +8(1 + \sqrt{1 + a})$ khi $a < 8$.

$$z = \left(\theta_{lim} - c_0 - 0,75c_1 - c_3 \frac{A}{L_r} - c_4 \alpha - c_5 \frac{1}{l_3} \right) / c_2 \quad (11)$$

Trong trường hợp $Y_I > h_2$, có thể bỏ qua các sườn của bản sàn bê tông. Sử dụng Bảng D.5 của EN1994-1-2 [3] để xác định gần đúng vị trí của đường đẳng nhiệt.

3. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

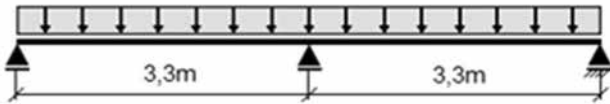
Ví dụ này giới thiệu cách tính toán kiểm tra khả năng chịu lực sàn liên hợp thép - bê tông trong tình huống cháy. Sàn liên tục hai nhịp tựa lên 3 gối với nhịp bằng nhau và bằng 3,3 m. Tải trọng tác dụng lên sàn trong tình huống cháy $p_{fi,t,d} = 6,02$ kN/m². Khả năng chịu lửa yêu cầu R60. Kích thước và cấu tạo sàn như trên Hình 8, Các thông số vật liệu cho trong Bảng 4 và các thông số hình học của sàn cho trong Bảng 5.

Bảng 4: Các thông số vật liệu

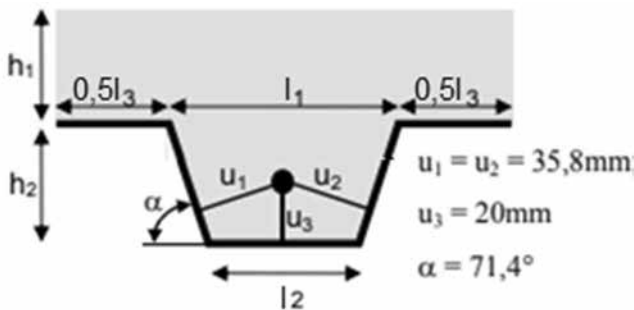
Thông số	Ký hiệu	Giá trị
Cường độ thép tôn sàn	f_y	350 N/mm ²
Cấp bê tông	C	25/30
Cường độ bê tông	f_c	25 N/mm ²
Cường độ cốt thép sàn	f_y	500 N/mm ²
Diện tích lưới thép	A	2,73 cm ² /m
Thép gia cường sườn		1Φ8/sườn

Bảng 5: Các thông số hình học của sàn

Thông số	Ký hiệu	Giá trị
Các kích thước theo phương đứng	h_d	120 mm
	h_1	62 mm
	h_2	58 mm
Các kích thước theo phương ngang phần lượn sóng	l_1	101 mm
	l_2	62 mm
	l_3	106 mm
Chiều dày tấm tôn sàn		0,75 mm



Hình 7: Sơ đồ tính sàn



Hình 8. Mặt cắt ngang sàn kiểm tra điều kiện áp dụng phương pháp tính

Các thông số hình học của sàn trong Bảng 5 thỏa mãn các điều kiện áp dụng phương pháp tính theo Bảng 1.

a) Kiểm tra khả năng chịu lửa theo tính cách nhiệt

Bảng 6: Các thông số xác định khả năng chịu lửa liên quan đến tính cách nhiệt

Nguồn xác định	Tra Bảng 1 tương ứng với bê tông thường						Công thức (5)	Công thức (6)
	a_0 phút	a_1 phút/mm	a_2 phút	a_3 phút/mm	a_4 mm. phút	a_5 phút		
Thông số đơn vị							A/Lr mm	Φ
Giá trị	-28,8	1,55	-12,6	0,33	-735	48	25,6	0,727

Khả năng chịu lửa theo tiêu chí cách nhiệt được xác định theo biểu thức (4), với các thông số trong công thức như trong Bảng 5 và Bảng 6:

$$t_i = -28,8 + 1,55 \times 62 - 12,6 \times 0,727 + 0,33 \times 25,6 - 735 \frac{1}{106}$$

$$+ 48 \times 25,6 \times \frac{1}{106} = 71 \text{ phút}$$

Vậy sàn đảm bảo tiêu chí cách nhiệt đối với đám cháy 60 phút.

b) Tính toán khả năng chịu mô men uốn dương (tại nhịp sàn)

Khả năng chịu uốn xác định theo công thức (2), để xác định hệ số giảm $k_{y,\theta}$ của cánh trên, bản bụng và cánh dưới của tấm tôn sàn cần phải biết được nhiệt độ phân bố trên tấm tôn sàn.

Bảng 7: Các thông số xác định nhiệt độ các phần của bản thép tương ứng với bê tông thường với khả năng chịu lửa 60 phút

Bộ phận của tấm thép	b_0 (°C)	b_1 (°C.mm)	b_2 (°C/mm)	b_3 (°C)	b_4 (°C)
Cánh dưới	951	-1197	-2,32	86,4	-150,7
Bụng	661	-833	-2,96	537,7	-351,9
Cánh trên	340	-3269	-2,62	1148,4	-679,8

Nhiệt độ θ_a (°C) của các phần của tấm tôn thép (cánh trên, cánh dưới và phần bụng) tại thời điểm cháy 60 phút được xác định theo biểu thức (7), với các thông số b_i tra theo Bảng D.2 của EN 1994-1-2 [3] và được cho trong Bảng 7, các thông số khác lấy theo Bảng 5 và Bảng 6:

Cánh trên:

$$\theta_a = 951 - 1197 \frac{1}{106} - 2,32 \times 25,6 + 86,4 \times 0,727 - 150,7 \times 7,27^2 = 863,4 \text{ °C}$$

Bản bụng:

$$\theta_a = 661 - 833 \frac{1}{106} - 2,96 \times 25,6 + 537,7 \times 0,727 - 351,9 \times 7,27^2 = 782,2 \text{ °C}$$

Cánh dưới:

$$\theta_a = 340 - 3269 \frac{1}{106} - 2,62 \times 25,6 + 1148,4 \times 0,727 - 679,8 \times 7,27^2 = 711,6 \text{ °C}$$

Nhiệt độ θ_s (°C) của cốt thép trong sườn được xác định theo biểu thức (8) với thông số z xác định theo (9) và c_i xác định theo Bảng 5 tương ứng với bê tông thường và cho trong Bảng 8:

$$\theta_s = 1191 - 250 \times \frac{20}{58} - 240 \times 1,79 - 5,01 \times 25,6 + 1,04 \times 71,4 - 925 \times \frac{1}{106} = 611,7 \text{ °C}$$

Bảng 8: Các thông số xác định nhiệt độ cốt thép trong sườn

Thông số đơn vị	c_0 °C	c_1 °C	c_2 °C.mm ^{0,5}	c_3 °C.mm	c_4 °C/°	c_5 °C.mm	z mm ^{0,5}
Giá trị	1191	-250	-240	-5,01	1,04	-925	1,79

Với tấm tôn sàn, hệ số giảm cường độ tra Bảng 3.2 của EN1994-1-2 phụ thuộc vào nhiệt độ của từng phần. Với cốt thép trong sườn, hệ số giảm cường độ tra Bảng 3.4 của EN 1994-1-2.

Sự phân bố khả năng chịu lực của từng phần tấm tôn sàn và cốt thép sườn được tính toán, kết quả tính toán được trình bày trong bảng sau:

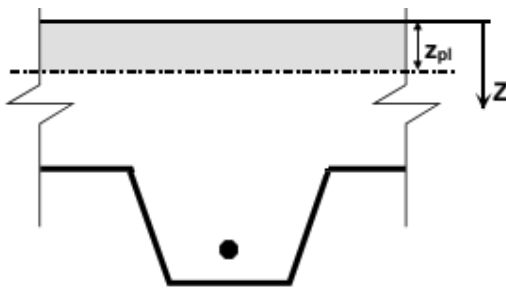
	θ_i (°C)	$k_{y,i}$	$f_{y,i,\theta}$ (kN/cm ²)	A_i (cm ²)	$F_i = A_i \cdot k_{y,i} \cdot f_{y,i,\theta}$ (kN)
Cánh dưới	863,4	0,078	2,74	0,465	1,274
Bụng	782,2	0,131	4,60	0,917	4,217
Cánh trên	717,6	0,209	7,31	0,795	5,813
Cốt thép trong sườn	611,7	0,367	18,37	0,503	9,232
				ΣF_i	20,54 kN

Trục trung hòa dẻo được xác định từ điều kiện cân bằng lực dọc theo biểu thức (1). Với một sườn của sàn, vị trí trục trung hòa dẻo được xác định như sau:

$$z_{pl} = \frac{\sum F_i}{\alpha_{slab}(I_1 + I_3)f_c} = \frac{20,54}{0,85 \times (101 + 106) \times 25 \times 10^{-3}} = 4,67 \text{ mm}$$

Khả năng chịu mô men từng phần và của một sườn (có bề rộng 207 mm) được xác định và cho trong bảng sau:

	F_i (kN)	z_i (cm)	$M_i = F_i \cdot z_i$ (kNcm)
Cánh dưới	1,274	11,96	15,25
Bụng	4,217	9,10	38,38
Cánh trên	5,813	6,16	35,82
Cốt thép trong sườn	9,232	10,0	92,32
Bê tông	-20,536	0,23	-4,79
		ΣM_i	176,96



Hình 9. Vị trí trục trung hòa dẻo

Bề rộng của một sườn bằng 207 mm, với 1 m bề rộng của sàn, khả năng chịu uốn của sàn là:

$$M_{fi,t,Rd}^+ = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{\text{bề rộng một sườn}} = \frac{1,7696}{0,207} = 8,55 \text{ kNm/m}$$

c) Tính toán khả năng chịu mô men uốn âm (tại gối) của sàn trong điều kiện chịu cháy

Bảng 9: Các thông số d_i xác định nhiệt độ cốt thép trong sườn

Thông số	d_0 (°C)	d_1 (°C.N ⁻¹)	d_2 (°C.mm ⁻¹)	d_3 (°C)	d_4 (°C.mm)
Giá trị	867	-1,9.10 ⁻⁴	-8,75	-123	-1378

Lưới thép đặt cách mép trên của sàn 20 mm và chiều dày tính toán của sàn theo tính toán của sàn tính theo công thức (3.a) bằng $h_{eff} = 84,8$ mm, vậy nhiệt độ cốt thép tra Bảng D.5 của EN 1994-1-2 tương ứng với $x = 85 - 20 = 65$ mm, được $\theta_s = 166,5$ °C, vậy, cường độ của cốt thép không bị suy giảm. Lực pháp tuyến trong cốt thép khi chịu mô men uốn âm (tính cho một sườn):

$$N_s = A_s \cdot f_{ay} = 2,73 \times 0,207 \times 50 = 28,3 \text{ kN}$$

Nhiệt độ giới hạn θ_{lim} được xác định theo biểu thức (10) với các thông số d_i tra theo Bảng D.4 của EN 1994-1-2, tương ứng với bê tông thường, các giá trị của thông số d_i cho trong Bảng 9:

$$\theta_{lim} = 867 - 1,9 \times 10^{-4} \times 28,3 - 8,75 \times 25,6 - 123 \times 0,727 - 1378/106 = 535 \text{ °C}$$

Thông số z xác định biểu thức (11):

$$z = \frac{535 - 1191 + 0,75 \times 250 + 5,01 \times 25,6 - 1,04 \times 71,4 + 925/106}{-240}$$

$$= 1,69 \text{ mm}^{0,5}$$

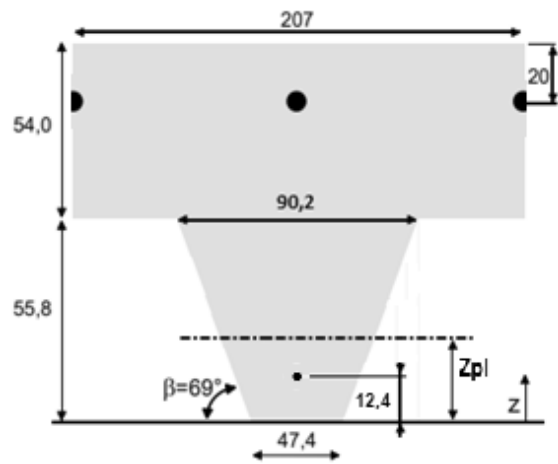
Các thông số để xác định tọa độ các điểm đường đẳng nhiệt:

$$\alpha = 71,4 \text{ độ}; \quad a = 20,28;$$

$$c = -44,9; \quad b = 8,00 \text{ mm.}$$

Tọa độ các điểm của đường đẳng nhiệt xác định theo Bảng 3:

Điểm	X (mm)	Y (mm)
I	0,0	10,1
II	23,7	10,1
III	42,1	58,0
IV	103,5	66,0



Hình 10. Tiết diện làm việc còn lại của sàn

Cân bằng lực theo phương ngang:

$$N_s = 0,85f_c \left(\frac{z_{pl}^2}{\text{tg}\beta} + 47,4 \times z_{pl} \right) \rightarrow z_{pl} = 23,6 \text{ mm}$$

Khả năng chịu mô men từng phần và của một sườn cho trong bảng sau:

	F_i (kN)	z_i (cm)	$M_i = F_i \cdot z_i$ (kNcm)
Lưới thép trong sườn	26,6	8,98	253,76
Bê tông sườn	-26,6	1,24	-35,12
		ΣM_i	218,6 kNcm

Bề rộng của một sườn bằng 207 mm, với 1 m bề rộng của sàn, khả năng chịu uốn của sàn là:

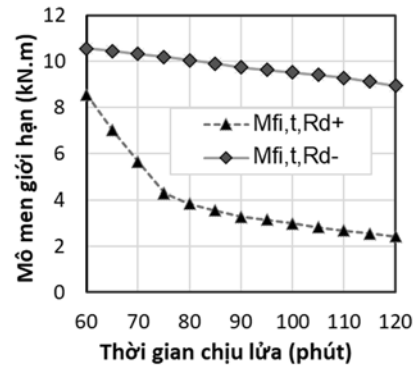
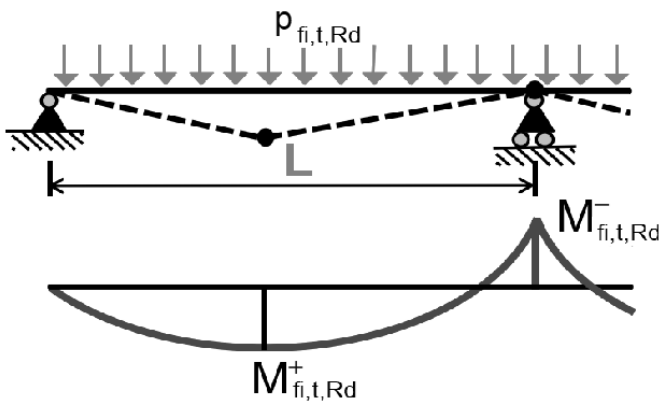
$$M_{fi,t,Rd}^- = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{\text{bề rộng một sườn}} = \frac{2,186}{0,207} = 10,56 \text{ kNm/m}$$

Khả năng chịu tải trọng của sàn có thể suy ra từ mô men tại nhịp và gối theo mối quan hệ sau:

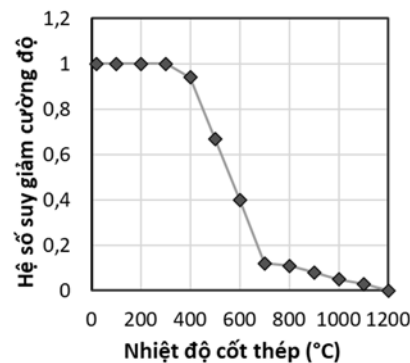
$$p_{fi,t,Rd} = \frac{2M_{fi,t,Rd}^- + 4M_{fi,t,Rd}^+}{L^2} + \frac{2}{L^2} \sqrt{(M_{fi,t,Rd}^- + 2M_{fi,t,Rd}^+)^2 - (M_{fi,t,Rd}^-)^2}$$

Bảng 10: Mô men giới hạn của sàn với các giá trị thời gian chịu lửa

	Thời gian chịu lửa (phút)												
	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
$M_{fi,t,Rd}^+$	8,5	7,0	5,6	4,3	3,8	3,5	3,3	3,2	3,0	2,8	2,7	2,6	2,4
$M_{fi,t,Rd}^-$	10,6	10,4	10,3	10,2	10,1	9,9	9,7	9,6	9,5	9,4	9,3	9,1	8,9
$p_{fi,t,Rd}$	9,8	8,6	7,5	6,3	5,9	5,7	5,4	5,3	5,1	4,9	4,8	4,6	4,5



Hình 11. Mô men giới hạn tiết diện sàn theo thời gian chịu lửa



Hình 12. Hệ số suy giảm cường độ của cốt thép theo nhiệt độ [1,3]

Với dải sàn rộng 1m:

$$\begin{aligned}
 p_{fi,t,Rd} &= \frac{2 \times 10,56 + 4 \times 8,55}{3,3^2} \\
 &\quad + \frac{2}{3,3^2} \sqrt{(10,56 + 2 \times 8,55)^2 - (10,56)^2} \\
 &= 9,78 \frac{\text{kN}}{\text{m}}
 \end{aligned}$$

Thấy rằng: $p_{fi,t,d} = 6,02 \text{ kN/m}^2 < p_{fi,t,Rd} = 9,78 \text{ kN/m}^2$

Kết luận, tiết diện sàn liên hợp đã cho đạt giới hạn chịu lửa R60.

4. KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG THỜI GIAN CHỊU LỬA ĐẾN MOMEN GIỚI HẠN CỦA SÀN

Trong phần này, bài báo trình bày kết quả tính khảo sát mô men giới hạn của sàn theo thời gian chịu lửa, tiết diện sàn tương tự như trong ví dụ trên, thời gian chịu lửa thay đổi từ 60 phút đến 120 phút với bước thời gian là 5 phút. Quá trình tính toán tương tự như ở ví dụ trên, kết quả tính cho trong bảng 10.

Mô men giới hạn tiết diện sàn theo thời gian chịu lửa được trình bày trên Hình 11, thấy rằng:

- Khả năng chịu mô men uốn âm của sàn giảm nhẹ theo thời gian cháy, điều này do nhiệt độ cốt thép chịu mô men tăng ít theo thời gian (tại $t = 120$ phút thì $\theta_s = 324^\circ\text{C}$);

- Khả năng chịu mô men uốn dương của sàn giảm mạnh khi sàn chịu lửa từ 60 phút đến 75 phút sau đó mức độ giảm ít hơn. Điều này có thể giải thích như sau, tại thời điểm từ 60 phút đến 75 phút, nhiệt độ cốt thép gia cường sườn (thành phần đóng góp nhiều (đến 50%) vào khả năng chịu mô men uốn dương của sàn) đạt từ $612^\circ\text{C} - 698^\circ\text{C}$ cường độ của cốt thép suy giảm nhanh, và sau đó nhiệt độ cốt thép tăng từ $698^\circ\text{C} - 883^\circ\text{C}$ thì tốc độ suy giảm chậm lại như theo Hình 12.

5. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Tính toán sàn liên hợp thép - bê tông không có lớp cách nhiệt bảo vệ có thể thực hiện khá dễ dàng theo phương pháp đơn giản. Tuy nhiên còn một số hạn chế như chỉ tính được cho trường hợp đám cháy có đường nhiệt độ - thời gian theo tiêu chuẩn ISO 834.

Khảo sát ảnh hưởng thời gian chịu lửa đến mô men giới hạn của sàn cho thấy rằng khả năng chịu mô men uốn âm của sàn giảm nhẹ theo thời gian cháy, và khả năng chịu mô men uốn dương của sàn có giai đoạn đầu giảm mạnh sau đó mức độ giảm ít hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. EN 1992-1-2 (2004): Eurocode 2- Design of concrete structures - Part 1.2: General rules- Structural fire design, European committee for Standardization.
2. EN 1993-1-2 (2005): Eurocode 3- Design of steel structures - Part 1.2: General rules- Structural fire design, European committee for Standardization.
3. EN 1994-1-2 (2005): Eurocode 4- Design of composite steel and concrete structures- Part 1-2: General rules-structural fire design, European committee for Standardization.
4. ISO 834-1:1999. Fire-resistance tests - Elements of building construction - Part 1: General requirements