

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ XÂY DỰNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KIẾN TRÚC HÀ NỘI

NCS. TRƯỜNG QUANG VINH

**PHÂN TÍCH KẾT CẤU LIÊN HỢP THÉP - BÊ TÔNG
TRONG ĐIỀU KIỆN CHÁY CÓ XÉT ĐẾN QUÁ TRÌNH
TĂNG NHIỆT VÀ GIẢM NHIỆT**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI – 2018

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ XÂY DỰNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KIẾN TRÚC HÀ NỘI

NCS. TRƯƠNG QUANG VINH

**PHÂN TÍCH KẾT CẤU LIÊN HỢP THÉP - BÊ TÔNG
TRONG ĐIỀU KIỆN CHÁY CÓ XÉT ĐẾN QUÁ TRÌNH
TĂNG NHIỆT VÀ GIẢM NHIỆT**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Chuyên ngành: Kỹ thuật xây dựng công trình dân dụng và công nghiệp

Mã số : 62.58.02.08

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

GS. TS. NGUYỄN TIẾN CHƯƠNG

HÀ NỘI – 2018

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan, đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi.

Các số liệu và kết quả được trình bày trong luận án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tác giả luận án

Trương Quang Vinh

LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành tới thầy hướng dẫn: **GS.TS Nguyễn Tiến Chương** đã tận tình hướng dẫn, giúp đỡ, tạo điều kiện thuận lợi, thường xuyên động viên, cho nhiều chỉ dẫn khoa học có giá trị cao trong luận án.

Tác giả xin trân trọng cảm ơn Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, Khoa Sau đại học, Bộ môn Sau đại học Kết cấu công trình, Trường Đại học PCCC - Bộ Công an, tất cả các nhà khoa học và các bạn đồng nghiệp đã tạo điều kiện thuận lợi, giúp đỡ và hợp tác trong quá trình nghiên cứu để tác giả hoàn thành luận án này.

Tác giả luận án

Trương Quang Vinh

LỜI CAM ĐOAN.....	i
LỜI CẢM ƠN.....	ii
MỤC LỤC.....	iii
DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT.....	vi
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU.....	vii
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ.....	ix
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ PHÂN TÍCH KẾT CẤU TRONG ĐIỀU KIỆN CHÁY.....	6
1.1 Giới thiệu các nội dung phân tích kết cấu trong điều kiện cháy.....	6
1.2 Sự phát triển nhiệt độ trong buồng cháy.....	7
1.3 Sự truyền nhiệt trong kết cấu.....	10
1.4 Tính chất cơ lý của vật liệu ở nhiệt độ cao.....	12
1.4.1 Các đặc tính của vật liệu thép dưới tác động của nhiệt độ cao.....	12
1.4.2 Các đặc tính của vật liệu bê tông dưới tác động của nhiệt độ cao.....	16
1.4.3 Ứng xử của kết cấu dưới tác động của nhiệt độ cao.....	18
1.5 Các nghiên cứu kết cấu trong điều kiện cháy.....	20
1.5.1 Các nghiên cứu trong nước.....	20
1.5.2 Các nghiên cứu trên thế giới.....	21
1.6 Các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu công trình đảm bảo điều kiện an toàn cháy.....	23
1.6.1 Tiêu chuẩn và quy chuẩn Việt Nam.....	23
1.6.2 Một số quy chuẩn, tiêu chuẩn trên thế giới.....	28
1.7 Giới thiệu về kết cấu liên hợp thép - bê tông.....	30
1.8 Kết luận chương 1.....	33
CHƯƠNG 2. PHƯƠNG PHÁP VÀ THUẬT TOÁN PHÂN TÍCH SỰ LÀM VIỆC CỦA KẾT CẤU LIÊN HỢP THÉP - BÊ TÔNG TRONG ĐIỀU KIỆN CHÁY.....	35
2.1 Phương pháp phân tích kết cấu liên hợp thép - bê tông trong điều kiện cháy, sử dụng phần mềm SAFIR.....	35
2.1.1 Tính toán sự truyền nhiệt bên trong kết cấu.....	36
2.1.2 Phân tích ứng xử của kết cấu trong điều kiện nhiệt độ tăng cao.....	38
2.2 Sự thay đổi ứng suất-biến dạng của kết cấu trong điều kiện cháy.....	42
2.3 Lựa chọn mô hình vật liệu.....	43

2.3.1 Mô hình vật liệu thép	44
2.3.2 Mô hình vật liệu bê tông	47
2.4 Xây dựng thuật toán và lập trình	58
2.5 Kiểm chứng mô hình tính	61
2.5.1 Thí nghiệm tại trường Đại học Kỹ thuật Vienne, Austria [108].....	62
2.5.2 Thí nghiệm tại trường Đại học Kỹ thuật miền Nam, Trung Quốc [119]	63
2.5.3 Thí nghiệm tại trường Đại học Michigan, Hoa Kỳ [50].....	66
2.5.4 Thí nghiệm tại trường Đại học Liege, Vương quốc Bỉ [35].....	69
2.6 Kết luận chương 2	73
CHƯƠNG 3 NGHIÊN CỨU SỰ LÀM VIỆC CỦA KẾT CẤU KHUNG LIÊN HỢP THÉP-BÊ TÔNG TRONG GIAI ĐOẠN TĂNG NHIỆT CỦA ĐÁM CHÁY	74
3.1 Đặt vấn đề	74
3.2 Sự làm việc của dầm liên hợp thép - bê tông trong điều kiện cháy	77
3.2.1 Ảnh hưởng của biến dạng do nhiệt.....	77
3.2.2 Ảnh hưởng của điều kiện biên	83
3.2.3 Ảnh hưởng của tỉ số tải trọng sử dụng.....	85
3.3 Sự làm việc của cột liên hợp thép - bê tông trong điều kiện cháy	87
3.3.1 Ứng suất - biến dạng của cột khi không chịu tải trọng.....	88
3.3.2 Khảo sát ảnh hưởng của số bề mặt tiếp xúc lửa.....	89
3.3.3 Khảo sát ảnh hưởng của tỉ số tải trọng sử dụng	91
3.3.4 Khảo sát ảnh hưởng của độ mảnh cột.....	94
3.4 Sự làm việc của khung phẳng liên hợp thép- bê tông trong điều kiện cháy.....	94
3.4.1 Sự làm việc của liên kết dầm-cột	94
3.4.2 Ảnh hưởng của độ cứng liên kết	99
3.4.3 Ảnh hưởng của vị trí đám cháy	103
3.4.4 Khảo sát sự thay đổi nội lực trong dầm và cột khung trong giai đoạn tăng nhiệt của đám cháy.....	104
3.5 Kết luận chương 3	108
CHƯƠNG 4. NGHIÊN CỨU SỰ LÀM VIỆC CỦA KẾT CẤU KHUNG LIÊN HỢP THÉP-BÊ TÔNG TRONG GIAI ĐOẠN GIẢM NHIỆT CỦA ĐÁM CHÁY	109

4.1 Sự làm việc của khung phẳng liên hợp thép- bê tông trong giai đoạn giảm nhiệt của đám cháy.....	109
4.2 Khái niệm chỉ số đánh giá giới hạn chịu giai đoạn tăng nhiệt (DHP) của kết cấu	113
4.3 Khảo sát ảnh hưởng của tốc độ giảm nhiệt đến ứng xử của cấu kiện	116
4.4 Xây dựng thuật toán tính DHP cho cấu kiện cột liên hợp thép- bê tông.....	118
4.4.1 Giới thiệu chung về ngôn ngữ lập trình AutoIT.....	118
4.4.2 Ứng dụng AutoIT để lập trình phần mềm tự động tính DHP của cấu kiện kết cấu trên nền tảng SAFIR.....	119
4.5 Khảo sát các tham số ảnh hưởng tới DHP của cấu kiện cột liên hợp thép- bê tông	122
4.5.1 Ảnh hưởng của tỉ số tải trọng sử dụng	122
4.5.2 Ảnh hưởng của cường độ ống thép bao ngoài	124
4.5.3 Ảnh hưởng của cường độ thép hình bên trong.....	125
4.5.4 Ảnh hưởng của cường độ bê tông	126
4.5.5 Ảnh hưởng của độ lệch tâm của tải trọng.....	126
4.5.6 Ảnh hưởng của độ mảnh của cột.....	127
4.5.7 Khái niệm Thời gian phá hoại trễ (DelayT) của kết cấu	128
4.6 Khảo sát các tham số ảnh hưởng tới thời gian phá hoại trễ DelayT của cấu kiện cột liên hợp thép - bê tông	129
4.6.1 Ảnh hưởng của thời gian tăng nhiệt	129
4.6.2 Ảnh hưởng của tỉ số tải trọng sử dụng.....	130
4.6.3 Ảnh hưởng của cường độ bê tông	131
4.6.4 Giá trị lớn nhất của DelayT trong các cột đã tính toán.....	131
4.7 Kết luận chương 4	132
KẾT LUẬN.....	134
1. Các kết quả chính đã đạt được	134
2. Hướng phát triển của luận án	135
DANH MỤC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN.....	136
TÀI LIỆU THAM KHẢO	137
PHỤ LỤC 1: Các đoạn code chương trình SAFIR thêm vật liệu CONC-ETC	
PHỤ LỤC 2: Code chương trình tự động tính DHP	

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT

QCVN:	Quy chuẩn kỹ thuật Việt Nam
TCVN:	Tiêu chuẩn Việt Nam
EC2 :	Tiêu chuẩn châu Âu EN 1992-1-2 - Thiết kế kết cấu bê tông cốt thép
EC3 :	Tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1-2 - Thiết kế kết cấu thép
ENV :	Tiêu chuẩn châu Âu ENV 1992-1-2: 1995
BTCT:	Bê tông cốt thép
PCCC:	Phòng cháy chữa cháy
TTGH:	Trạng thái giới hạn
R :	Giới hạn chịu lửa của cấu kiện kết cấu (Fire resistance Rating)
HeatT :	Khoảng thời gian (tính bằng phút) giai đoạn tăng nhiệt của đám cháy (Heating time)
DHP :	Giá trị nhỏ nhất của thời gian tăng nhiệt gây ra sự phá hoại cấu kiện trong giai đoạn giảm nhiệt (Critical Duration of Heating Phase)
Tail :	Khoảng thời gian (tính bằng phút) kết cấu chịu được đám cháy cho đến khi bị phá hoại (Time of failure)
DelayT:	Khoảng thời gian (tính bằng phút) kể từ khi đám cháy giảm nhiệt đến khi kết cấu bị phá hoại

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Số hiệu bảng	Tên bảng	Trang
Bảng 1.1	Cấp công trình theo độ bền vững và bậc chịu lửa của nhà và công trình (QCVN 03:2012/BXD)	24
Bảng 1.2	Bậc chịu lửa của nhà và công trình	25
Bảng 1.3	Số tầng lớn nhất cho phép của một số dạng nhà và công trình công cộng độc lập	26
Bảng 1.4	Giới hạn chịu lửa danh định của dầm thép	27
Bảng 2.1	Quan hệ ứng suất- biến dạng của vật liệu thép ở điều kiện nhiệt độ cao ứng với các giai đoạn như hình 2.7	46
Bảng 2.2	Giá trị các hệ số suy giảm modul đàn hồi, giới hạn chảy và giới hạn tỉ lệ của vật liệu thép ở nhiệt độ θ	47
Bảng 2.3	Các giá trị biến dạng trong bê tông theo mô hình ETC	56
Bảng 2.4	Các giá trị của $\phi(T)$ theo mô hình CONC - ETC	57
Bảng 2.5	Các thông số của cột thí nghiệm	70
Bảng 3.1	Giới hạn chịu lửa của dầm một nhịp với các điều kiện biên khác nhau	83
Bảng 3.2	Giới hạn chịu lửa của dầm đơn giản với các tải trọng khác nhau	87
Bảng 3.3	Giới hạn chịu lửa của cột liên hợp với các giá trị độ mảnh khác nhau	94
Bảng 4.1	Kết quả tính cột với các giá trị tỉ số tải trọng sử dụng	123
Bảng 4.2	Kết quả tính toán với nhiều giá trị cường độ ống thép bao ngoài	124
Bảng 4.3	Kết quả tính toán với nhiều giá trị cường độ thép hình bên trong	125
Bảng 4.4	Kết quả tính toán với nhiều giá trị cường độ bê tông	126
Bảng 4.5	Kết quả tính toán với nhiều giá trị độ lệch tâm của tải trọng	127

<i>Bảng 4.6</i>	<i>Kết quả tính cột Profile 15 với nhiều giá trị chiều cao cột</i>	127
<i>Bảng 4.7</i>	<i>Kết quả tính cột có tiết diện Profile 14</i>	129
<i>Bảng 4.8</i>	<i>Kết quả tính các cấu kiện với các giá trị tỉ số tải trọng sử dụng</i>	130
<i>Bảng 4.9</i>	<i>Kết quả tính các cấu kiện với các giá trị cường độ bê tông</i>	131
<i>Bảng 4.10</i>	<i>Kết quả tính DelayT cho cột profile 17</i>	132

DANH MỤC HÌNH, SƠ ĐỒ, ĐỒ THỊ

Số hiệu hình	Tên hình	Trang
Hình 1.1	<i>Quan hệ giữa thời gian cháy và nhiệt độ bề mặt biên kết cấu</i>	07
Hình 1.2	<i>Một số đường cong cháy tiêu biểu theo ISO 834</i>	08
Hình 1.3	<i>Quan hệ giữa thời gian cháy và nhiệt độ bề mặt biên chuẩn (ISO834 và ASTM E119-16a)</i>	09
Hình 1.4	<i>Mô hình thời gian cháy- nhiệt độ bề mặt biên có kể đến giai đoạn giảm nhiệt</i>	10
Hình 1.5	<i>Nhiệt độ trong một tiết diện ngang của liên hợp thép- bê tông sau 60 phút chịu cháy</i>	11
Hình 1.6	<i>Nhiệt độ trong một dầm thép liên kết với cột thép sau 90 phút chịu cháy</i>	12
Hình 1.7	<i>Cường độ thép giảm theo nhiệt độ</i>	12
Hình 1.8	<i>Biểu đồ ứng suất- biến dạng của vật liệu thép trong điều kiện nhiệt độ cao</i>	13
Hình 1.9	<i>Biểu đồ hệ số suy giảm môđun đàn hồi, giới hạn chảy và giới hạn tỷ lệ của vật liệu thép ở nhiệt độ cao</i>	14
Hình 1.10	<i>Sự biến thiên hệ số giãn nở vì nhiệt của kết cấu thép theo nhiệt độ</i>	14
Hình 1.11	<i>Sự biến thiên nhiệt dung riêng của thép theo nhiệt độ</i>	15
Hình 1.12	<i>Sự biến thiên dẫn nhiệt của thép theo nhiệt độ</i>	15
Hình 1.13	<i>Biểu đồ quan hệ ứng suất – biến dạng của vật liệu bê tông trong điều kiện chịu nhiệt độ cao</i>	16
Hình 1.14	<i>Sự biến thiên khả năng giãn nở vì nhiệt của vật liệu bê tông theo nhiệt độ</i>	17
Hình 1.15	<i>Sự biến thiên tính dẫn nhiệt của vật liệu bê tông theo nhiệt độ</i>	17
Hình 1.16	<i>Sự biến nhiệt dung riêng của vật liệu bê tông theo nhiệt độ</i>	18
Hình 1.17	<i>Giãn dài do nhiệt độ trong dầm sàn gây chuyển vị cưỡng bức trong cột</i>	19
Hình 1.18	<i>Giãn dài do nhiệt độ trong cột gây chuyển vị cưỡng bức trong dầm sàn</i>	19
Hình 1.19	<i>Tiết diện cột liên hợp thép – bê tông</i>	31

Hình 1.20	Mặt cắt ngang dầm liên hợp thép- bê tông	32
Hình 2.1	Nhiệt độ trong tiết diện dầm, cột	36 - 37
Hình 2.2	Nhiệt độ trong các điểm trong kết cấu, tính bằng phần mềm SAFIR	38
Hình 2.3	Mô hình tính cột bằng phần mềm SAFIR	39
Hình 2.4	Vòng lặp đầu tiên của quy trình tính toán tại bước thời gian $(s+1)$	40
Hình 2.5	Sự thay đổi nhiệt độ, ứng suất trên các phần của cột trong quá trình chịu đám cháy tự nhiên	43
Hình 2.6	Sự biến thiên độ giãn dài của thép theo nhiệt độ	45
Hình 2.7	Các thông số đặc trưng cho trạng thái làm việc của vật liệu thép ở một nhiệt độ θ cho trước	45
Hình 2.8	Biến dạng do nhiệt độ của bê tông cốt liệu đá silic và cốt liệu đá canxit	48
Hình 2.9	Mô hình toán học biểu diễn quan hệ ứng suất – biến dạng của bê tông chịu nén ở nhiệt độ cao.	50
Hình 2.10	Biến dạng khi giảm ứng suất trong mô hình tích hợp (implicit model) và mô hình phân lập (explicit model)	52
Hình 2.11	So sánh ứng suất- biến dạng ở 500°C của 2 mô hình với kết quả thí nghiệm	53
Hình 2.12	So sánh kết quả thí nghiệm theo (Schneider 1998) với kết quả tính theo một số mô hình	55
Hình 2.13	Sơ đồ khối chương trình tính SAFIR	60
Hình 2.14	So sánh biến dạng theo 2 mô hình và kết quả thí nghiệm	62
Hình 2.15	Kích thước cột thí nghiệm	64
Hình 2.16	So sánh nhiệt độ trong cột tiết diện chữ T	65
Hình 2.17	So sánh nhiệt độ trong cột tiết diện chữ L	65
Hình 2.18	So sánh chuyển vị theo 2 mô hình và kết quả thí nghiệm cột chữ T	66
Hình 2.19	So sánh chuyển vị theo 2 mô hình và kết quả thí nghiệm cột chữ L	66
Hình 2.20	Các đường nhiệt độ- thời gian dùng trong thí nghiệm	67

Hình 2.21	Mặt cắt dọc và ngang dầm thí nghiệm	67
Hình 2.22	So sánh nhiệt độ trong cốt thép (tại vị trí đặt TC6) của dầm B2	68
Hình 2.23	So sánh chuyển vị tại điểm giữa dầm của dầm B2	68
Hình 2.24	Tiết diện cột trong thí nghiệm của nghiên cứu	69
Hình 2.25	So sánh nhiệt độ trong cột theo mô phỏng và theo thí nghiệm của nghiên cứu	71
Hình 2.26	So sánh chuyển vị ngang giữa cột theo mô phỏng và theo thí nghiệm của nghiên cứu	72
Hình 3.1	Rời rạc hóa cấu kiện thành các phần tử trong bước phân tích nhiệt	75
Hình 3.2	Chia mặt cắt dầm và cột thành các phần tử trong bước phân tích nhiệt	75
Hình 3.3	Nhiệt độ trong tiết diện dầm, cột	76
Hình 3.4	Mô hình cột trong SAFIR	77
Hình 3.5	Mô hình dầm trong SAFIR	77
Hình 3.6	Mô hình dầm đơn giản tiết diện thép I330 đỡ bản sàn liên hợp dày 100mm	78
Hình 3.7	Chuyển vị của dầm đơn giản không tải trọng ở thời điểm 6000s (100 phút)	78
Hình 3.8	Ứng suất trong dầm ở thời điểm 1 giây (ngay khi bắt đầu chịu cháy)	79
Hình 3.9	Ứng suất trong dầm ở thời điểm 3000 giây (50 phút)	79
Hình 3.10	Biến dạng tại mặt cắt dầm khi có biến dạng do nhiệt	80
Hình 3.11	Mô hình dầm có gối đàn hồi	80
Hình 3.12	Chuyển vị trong dầm ở thời điểm 3000 giây (50 phút)	81
Hình 3.13	Ứng suất trong dầm ở thời điểm 3000 giây (50 phút)	81
Hình 3.14	Mô men trong dầm ở thời điểm 3000 giây (50 phút)	82
Hình 3.15	Mô men tại giữa dầm thay đổi trong quá trình chịu cháy	82
Hình 3.16	Mô hình dầm	83

Hình 3.17	Sự thay đổi lực dọc giữa dầm của dầm 2 gối khớp cố định (pin-pin)	84
Hình 3.18	Sự thay đổi mô men giữa dầm của dầm 2 gối khớp cố định (pin-pin)	84
Hình 3.19	Sự thay đổi lực dọc theo thời gian cháy của dầm một gối khớp cố định một đầu gối đàn hồi (pin-spring)	84
Hình 3.20	Mô hình dầm đơn giản	85
Hình 3.21	Biến dạng của dầm chịu tải $0.5q_{max}$ ở trạng thái giới hạn (TTGH)	86
Hình 3.22	Ứng suất tại mặt cắt ngang giữa dầm chịu tải $0.5q_{max}$ tại TTGH	86
Hình 3.23	Mô phỏng cột	87
Hình 3.24	Chuyển vị đầu cột không chịu tải khi nhiệt độ tăng cao	88
Hình 3.25	Ứng suất (N/mm^2) trong tiết diện cột ở thời điểm 6600s khi chịu cháy	89
Hình 3.26	Tiết diện cột với các trường hợp bề mặt tiếp xúc lửa	89
Hình 3.27	Nhiệt độ trong tiết diện cột với các trường hợp bề mặt tiếp xúc lửa tại một thời điểm cháy (3600s)	90
Hình 3.28	Ứng suất (N/mm^2) trong tiết diện cột bốn mặt tiếp xúc lửa tại một thời điểm cháy (3600 s)	90
Hình 3.29	Ứng suất trong tiết diện cột một mặt tiếp xúc lửa tại một thời điểm cháy (3600 s)	91
Hình 3.30	Chuyển vị đỉnh cột khi chịu tải $N=0.5N_{max}$ trong suốt quá trình chịu cháy: lúc giãn nở rồi bị co ngắn	91
Hình 3.31	Ứng suất (N/mm^2) trong cột ở thời điểm bắt đầu chịu cháy, toàn bộ tiết diện chịu nén ($N=0.5N_{max}$)	92
Hình 3.32	Ứng suất trong cột ở thời điểm trước khi bị phá hoại, ứng suất phân bố phức tạp do có biến dạng nhiệt khác nhau ở từng điểm trên tiết diện ($N=0.5N_{max}$)	92
Hình 3.33	Chuyển vị đỉnh cột chịu tải $N=0.3N_{max}$	93
Hình 3.34	Ứng suất trong cột ở thời điểm trước khi bị phá hoại, cột chịu tải $N=0.3N_{max}$	93
Hình 3.35	Mô phỏng liên kết trong nghiên cứu của Hanus F.	95
Hình 3.36	Mô hình ứng suất- biến dạng của các thành phần	95

	<i>(component) trong liên kết (Hanus F)</i>	
Hình 3.37	<i>Mặt bằng vị trí các thí nghiệm của chuỗi thí nghiệm Cardington</i>	96
Hình 3.38	<i>Sơ đồ khung</i>	97
Hình 3.39	<i>Nhiệt độ trong tiết diện dầm, cột</i>	98
Hình 3.40	<i>Nhiệt độ trong dầm tính theo (-SAFIR) và kết quả thí nghiệm (test)</i>	98
Hình 3.41	<i>Biến dạng trong khung sau thí nghiệm đốt cháy</i>	99
Hình 3.42	<i>Chuyển vị đứng ở điểm giữa dầm- liên kết nửa cứng: So sánh kết quả tính (-SAFIR) và kết quả thí nghiệm (test)</i>	100
Hình 3.43	<i>Chuyển vị đứng ở điểm giữa dầm- liên kết cứng: So sánh kết quả tính (-SAFIR) và kết quả thí nghiệm (test)</i>	100
Hình 3.44	<i>Chuyển vị đứng ở điểm giữa dầm- liên kết khớp: So sánh kết quả tính (-SAFIR) và kết quả thí nghiệm (test)</i>	101
Hình 3.45	<i>Mô men, nhiệt độ trong khung khi thay đổi độ cứng liên kết</i>	102
Hình 3.46	<i>So sánh kết quả tính khi thay đổi cường độ điều kiện cháy</i>	103
Hình 3.47	<i>Quan hệ nhiệt độ và mô men trong dầm khi thay đổi vị trí điều kiện cháy</i>	104
Hình 3.48	<i>Sơ đồ khung và vị trí các phần tử khảo sát</i>	104
Hình 3.49	<i>Sơ đồ biến dạng khung ở thời điểm sau 6000 s chịu cháy</i>	105
Hình 3.50	<i>Biểu đồ mô men trong khung ở thời điểm sau 6000 s chịu cháy</i>	105
Hình 3.51	<i>Sự thay đổi mô men dầm và cột tầng 4 nhịp 1 có tiếp xúc điều kiện cháy</i>	106
Hình 3.52	<i>Sự thay đổi mô men dầm và cột tầng 4 nhịp 3 và tầng 1 nhịp 1 không tiếp xúc điều kiện cháy</i>	107
Hình 3.53	<i>Sự thay đổi lực dọc dầm và cột tầng 4 nhịp 1 có tiếp xúc điều kiện cháy</i>	107
Hình 3.54	<i>Sự thay đổi lực dọc dầm và cột tầng 4 nhịp 3 và tầng 1 nhịp 1 không tiếp xúc điều kiện cháy</i>	108
Hình 4.1	<i>Mô hình thời gian cháy- nhiệt độ có kể đến giai đoạn giảm nhiệt</i>	109

Hình 4.2	Sơ đồ hình học và sơ đồ chuyển vị của khung	110
Hình 4.3	Các đường quan hệ thời gian cháy - nhiệt độ bề mặt dùng để tính khung	111
Hình 4.4	Biểu đồ biến thiên mô men uốn tại mặt cắt ở giữa dầm (nút 295)	111
Hình 4.5	Biểu đồ biến thiên mô men uốn tại mặt cắt ở đầu cột (nút 341)	112
Hình 4.6	Biểu đồ biến thiên lực dọc ở trong dầm (nút 341)	112
Hình 4.7	Quan hệ giữa khả năng chịu tải của cấu kiện và thời gian cháy	114
Hình 4.8	Sự thay đổi nhiệt độ trong tiết diện cột chịu đám cháy tự nhiên có thời gian tăng nhiệt 60 phút.	115
Hình 4.9	Ba đường nhiệt độ bùng cháy tính toán	117
Hình 4.10	Chuyển vị ngang giữa cột khi tính theo ba đường nhiệt độ bùng cháy	117
Hình 4.11	Sơ đồ khối chương trình tự động tính DHP	121
Hình 4.12	Tiết diện ngang của cột nghiên cứu	122
Hình 4.13	Quan hệ giữa DHP và tỉ số tải trọng sử dụng cho cột	123
Hình 4.14	Quan hệ giữa DHP và độ mảnh cột (λ)	128

MỞ ĐẦU

1. Lý do lựa chọn đề tài

Kết cấu liên hợp thép - bê tông ngày càng được sử dụng rộng rãi trong các công trình xây dựng do ưu điểm chịu lực tốt phù hợp để xây dựng các công trình cao tầng, các công trình vượt nhịp lớn. Kết cấu liên hợp còn có một ưu điểm so với kết cấu thép là khả năng chịu cháy cao hơn do có bê tông truyền nhiệt chậm. Tuy nhiên, việc tính toán kết cấu liên hợp thép - bê tông trong điều kiện cháy phức tạp hơn so với kết cấu thép và kết cấu bê tông. Việc đưa ra các chỉ dẫn tính toán liên quan đến khả năng chịu cháy của kết cấu liên hợp thép - bê tông vẫn còn là một hướng ngỏ, cần nhiều nghiên cứu chuyên sâu.

Hệ thống quy chuẩn và tiêu chuẩn Việt Nam mới có chỉ dẫn thí nghiệm xác định giới hạn chịu lửa của kết cấu mà chưa đề cập đến việc phân tích kết cấu trong điều kiện cháy.

Phần lớn các nghiên cứu trên thế giới về kết cấu trong điều kiện cháy chỉ nghiên cứu ứng xử của kết cấu trong giai đoạn tăng nhiệt của đám cháy mà chưa xét đến quá trình giảm nhiệt của đám cháy. Thực tế nhiều công trình sụp đổ khi đám cháy đang ở giai đoạn giảm nhiệt nên vấn đề phân tích kết cấu trong điều kiện cháy có xét đến quá trình giảm nhiệt là cần thiết.

2. Mục đích nghiên cứu

Nghiên cứu các đặc tính làm việc của kết cấu liên hợp thép - bê tông trong điều kiện cháy có xét đến quá trình tăng nhiệt và giảm nhiệt.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: các cấu kiện và kết cấu khung phẳng liên hợp thép - bê tông.

Phạm vi nghiên cứu: ứng xử của các cấu kiện và kết cấu khung phẳng liên hợp thép - bê tông trong điều kiện cháy có xét đến quá trình tăng nhiệt và giảm nhiệt.

4. Phương pháp nghiên cứu

Luận án sử dụng phương pháp nghiên cứu lý thuyết: (1) lựa chọn mô hình vật liệu bê tông phù hợp với cả trạng thái tăng và giảm ứng suất trong điều kiện cháy để lập trình tính toán kết cấu trên cơ sở phần mềm SAFIR; (2) xây dựng thuật toán và lập

trình tính kết cấu khung phẳng liên hợp thép - bê tông trong điều kiện cháy; (3) dùng phần mềm được lập để phân tích sự làm việc của các cấu kiện và kết cấu khung phẳng liên hợp thép - bê tông trong điều kiện cháy có xét đến quá trình tăng và giảm nhiệt; (4) khảo sát các đặc tính làm việc của kết cấu trong điều kiện cháy có xét đến quá trình giảm nhiệt.

5. Những đóng góp của luận án

- Đề xuất được mô hình nhiệt học và cơ học cho vật liệu bê tông để mô phỏng kết cấu liên hợp thép - bê tông trong điều kiện cháy có xét đến quá trình tăng và giảm nhiệt. Mô hình vật liệu bê tông lựa chọn có tách riêng biến dạng từ biến nhanh và biến dạng do lực nên đúng hơn trong phân tích kết cấu có sự giảm ứng suất trong quá trình tăng và giảm nhiệt. Lập trình tính toán đưa mô hình vật liệu bê tông lựa chọn tên là CONC-ETC vào phần mềm phân tích kết cấu SAFIR. Mô hình vật liệu thép được lấy theo tiêu chuẩn châu Âu, có sẵn trong phần mềm SAFIR;

- Khảo sát sự làm việc của khung phẳng liên hợp thép- bê tông trong điều kiện cháy bằng mô phỏng số. Nghiên cứu tham số ảnh hưởng đến sự làm việc của khung liên hợp thép- bê tông trong điều kiện cháy như sự giãn nở do nhiệt của vật liệu, tỉ số tải trọng sử dụng, điều kiện liên kết... để làm rõ ứng xử của kết cấu trong điều kiện cháy;

- Phát triển ý tưởng về việc dùng chỉ số DHP để đánh giá kết cấu trong điều kiện cháy. Đây là một chỉ số đánh giá kết cấu trong đám cháy tự nhiên có cả giai đoạn tăng và giảm nhiệt. Các quy chuẩn, tiêu chuẩn trong và ngoài nước hiện dùng chỉ đưa ra chỉ số đánh giá khả năng chịu cháy của kết cấu trong đám cháy chuẩn không xét đến quá trình giảm nhiệt. Xây dựng được thuật toán tính chỉ số DHP cho kết cấu sử dụng phần mềm phân tích kết cấu SAFIR. Nghiên cứu các tham số ảnh hưởng đến DHP của cột liên hợp thép- bê tông. Tìm qui luật của DHP với một số tham số ảnh hưởng chủ yếu đến DHP như: tỉ số tải trọng sử dụng, loại tiết diện cột, cường độ vật liệu, độ lệch tâm của lực dọc, độ mảnh của cấu kiện. Đề xuất chỉ số DelayT để đánh giá khả năng bị phá hoại của kết cấu trong giai đoạn giảm nhiệt của đám cháy. Chỉ số này có ý nghĩa trong công tác tính toán lựa chọn phương án chữa

cháy song chưa được các nghiên cứu khác đề cập. Nghiên cứu các tham số ảnh hưởng đến DelayT của cột liên hợp thép - bê tông. Tìm qui luật của DelayT với một số tham số ảnh hưởng.

6. Cấu trúc luận án

Luận án gồm có 4 chương:

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ PHÂN TÍCH KẾT CẤU TRONG ĐIỀU KIỆN CHÁY

Chương này trình bày kiến thức tổng quan về sự phát triển nhiệt độ trong buồng cháy, sự truyền nhiệt trong kết cấu và ứng xử của kết cấu trong đám cháy. Ngoài ra, chương 1 còn giới thiệu các tiêu chuẩn, quy chuẩn của Việt Nam và châu Âu liên quan đến thiết kế kết cấu đảm bảo điều kiện an toàn cháy.

CHƯƠNG 2. PHƯƠNG PHÁP VÀ THUẬT TOÁN PHÂN TÍCH SỰ LÀM VIỆC CỦA KẾT CẤU LIÊN HỢP THÉP- BÊ TÔNG TRONG ĐIỀU KIỆN CHÁY

Chương 2 phân tích các mô hình ứng suất - biến dạng của vật liệu bê tông và thép đang dùng trong phần mềm SAFIR, nêu vấn đề của mô hình bê tông tích hợp biến dạng nhiệt tức thời cùng biến dạng do lực (mô hình đang dùng trong tiêu chuẩn châu Âu) gây ra sai số về biến dạng trong trường hợp ứng suất giảm. Đề xuất mô hình phân lập cho bê tông tách riêng biến dạng nhiệt tức thời với biến dạng do lực gọi là mô hình CONC-ETC. Sau đó, chương 2 trình bày cách xây dựng thuật toán và lập trình để thêm loại vật liệu CONC-ETC vào nguồn của phần mềm SAFIR, tạo ra chương trình chạy mới. Chương trình chạy mới thêm vào được kiểm chứng bằng cách so kết quả tính bằng phần mềm với kết quả thí nghiệm đã công bố ở các nghiên cứu khác. Các so sánh đều cho thấy dùng mô hình bê tông mới thêm vào CONC-ETC cho kết quả tính gần kết quả thí nghiệm hơn so với mô hình hiện tại dùng trong tiêu chuẩn châu Âu.

CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU SỰ LÀM VIỆC CỦA KẾT CẤU KHUNG LIÊN HỢP THÉP- BÊ TÔNG TRONG GIAI ĐOẠN TĂNG NHIỆT CỦA ĐÁM CHÁY

Chương 3 nêu kết quả mô phỏng một số cấu kiện và kết cấu khung phẳng liên hợp thép - bê tông xét đến quá trình tăng nhiệt của đám cháy, sử dụng phần mềm SAFIR có mô hình vật liệu bê tông CONC-ETC. Chương này phân tích rõ ảnh hưởng của biến dạng do nhiệt đến biến dạng chung của kết cấu gây thay đổi nội lực và chuyển vị trong cấu kiện. Đây là phần đóng góp mới của chương 3 vì chưa thấy công bố nào trình bày rõ bản chất của sự thay đổi ứng suất - biến dạng trong kết cấu trong điều kiện tải trọng không đổi mà nhiệt độ tăng cao. Ngoài ra, chương 3 còn khảo sát ảnh hưởng của tỉ số tải trọng sử dụng và điều kiện biên đến sự làm việc của dầm, ảnh hưởng của bề mặt tiếp xúc với lửa, tỉ số tải trọng sử dụng và độ mảnh đến sự làm việc của cột. Mục 3.4 trình bày kết quả khảo sát một khung phẳng với các ảnh hưởng của độ cứng liên kết dầm - cột, cường độ đám cháy, vị trí đám cháy trong khung và nêu rõ sự thay đổi nội lực trong khung trong quá trình chịu cháy.

CHƯƠNG 4. NGHIÊN CỨU SỰ LÀM VIỆC CỦA KẾT CẤU KHUNG LIÊN HỢP THÉP- BÊ TÔNG TRONG GIAI ĐOẠN GIẢM NHIỆT CỦA ĐÁM CHÁY

Mục 4.1 trình bày kết quả mô phỏng khung phẳng có xét đến quá trình giảm nhiệt của đám cháy với các đường tăng và giảm nhiệt khác nhau, qua đó chỉ rõ khả năng bị phá hoại của khung khi đám cháy đang trong quá trình giảm nhiệt.

Mục 4.2 trình bày khái niệm "giới hạn của giai đoạn tăng nhiệt" DHP để nêu rõ ý nghĩa thực tế của chỉ số DHP. Kết cấu đã được thiết kế đảm bảo không bị phá hoại trong thời gian tăng nhiệt R như yêu cầu trong tiêu chuẩn nhưng chưa đảm bảo là không bị phá hoại trong quá trình giảm nhiệt của đám cháy có thời gian tăng nhiệt là R . Như vậy nếu chỉ số R được quy định trong tiêu chuẩn để đảm bảo kết cấu không bị phá hoại trong giai đoạn tăng nhiệt để đủ thời gian cứu nạn cứu hộ thì chỉ số DHP cần được quy định để đảm bảo kết cấu không bị phá hoại sau khi đám cháy đã được khống chế giảm nhiệt. DHP luôn nhỏ hơn R .

Trong phạm vi luận án, chỉ cột ống thép nhồi bê tông và thép hình bên trong được khảo sát tính toán DHP. Các cấu kiện dầm, sàn hay kết cấu khung chưa được khảo sát vì tính phức tạp của biến dạng nhiệt và các yếu tố cản trở biến dạng nhiệt. Mục 4.3 trình bày thuật toán xây dựng chương trình tự động tính DHP, sử dụng ngôn ngữ AutoIt để gọi chương trình SAFIR, tính lặp để có kết quả DHP.

Sau khi có chương trình tự động tính DHP, các nghiên cứu tham số được tiến hành cho cột ống thép nhồi bê tông. Mục 4.4 trình bày kết quả khảo sát các tham số ảnh hưởng tới DHP của cấu kiện cột liên hợp thép - bê tông và nêu ra một số quy luật.

Ngoài ra, chương 4 còn giới thiệu một khái niệm mới: thời gian phá hoại trễ của kết cấu DelayT. DelayT được định nghĩa là khoảng thời gian (tính bằng phút) kể từ khi đám cháy giảm nhiệt đến khi kết cấu bị phá hoại. Số liệu DelayT của kết cấu công trình có ý nghĩa rất quan trọng cho các tính toán phương án chữa cháy và cứu nạn, cứu hộ. Mục 4.5 trình bày kết quả khảo sát các tham số ảnh hưởng tới thời gian phá hoại trễ DelayT của cấu kiện cột ống thép nhồi bê tông. Sự ảnh hưởng tới DelayT của các tham số: thời gian tăng nhiệt, tỉ số tải trọng sử dụng, cường độ bê tông được khảo sát và đưa ra nhận xét về quy luật. Giá trị của DelayT có thể lên đến 250 phút trong các cấu kiện đã khảo sát.

KẾT LUẬN: Các kết quả chính đạt được và hướng phát triển của luận án.

PHẦN PHỤ LỤC: Trình bày nội dung các chương trình đã lập.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ PHÂN TÍCH KẾT CẤU TRONG ĐIỀU KIỆN CHÁY

1.1 Giới thiệu các nội dung phân tích kết cấu trong điều kiện cháy

Để phân tích một kết cấu trong điều kiện cháy (đám cháy) cần có các bước sau:

1. Phân tích sự phát triển của đám cháy: Từ một nguồn nhiệt xác định, với một phòng cháy có các chất cháy, kích thước lỗ cửa, hệ thống thông gió xác định, nhiệt độ tại các vị trí trong phòng sẽ được xác định theo thời gian cháy. Do đó nhiệt độ tại bề mặt kết cấu được xác định.

2. Tính toán sự truyền nhiệt từ bề mặt cấu kiện kết cấu đến các điểm bên trong cấu kiện kết cấu.

3. Phân tích ứng xử của kết cấu trong điều kiện nhiệt độ của các điểm trong kết cấu tăng cao theo thời gian.

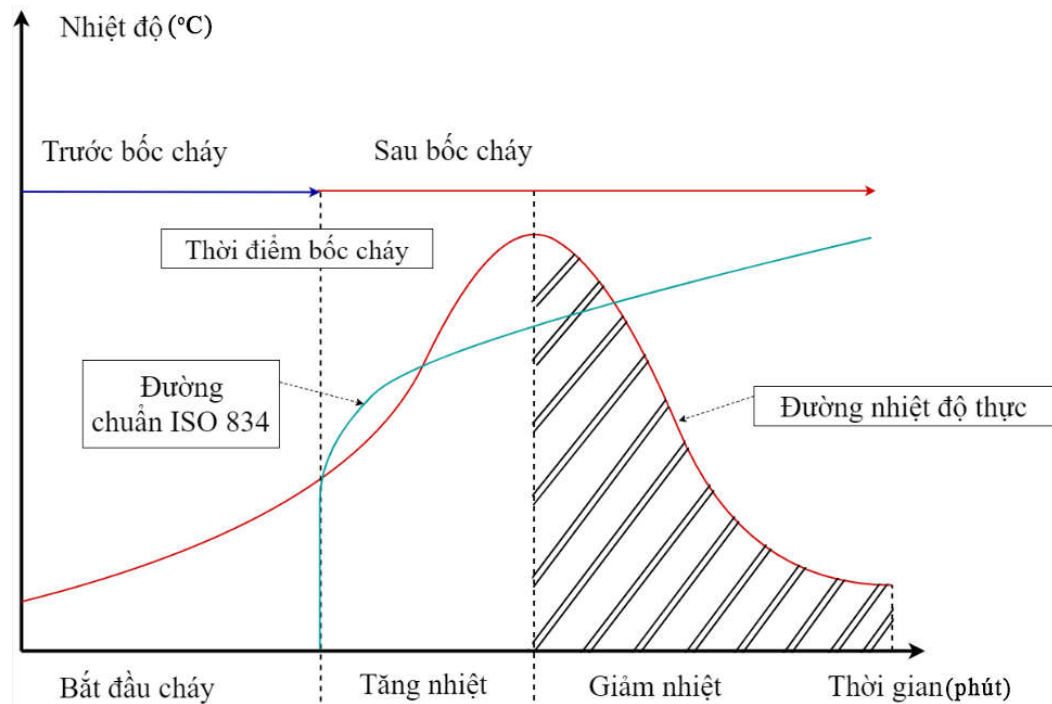
Bước 1 - Nghiên cứu sự phát triển của đám cháy: Khi một đám cháy xảy ra, nhiệt độ tại các điểm xung quanh phụ thuộc vào kích thước phòng cháy, vị trí và lượng chất cháy, kích thước lỗ cửa v.v... đặc biệt là khoảng cách từ nguồn cháy đến điểm cần xác định nhiệt độ. Công việc này thường do các kỹ sư an toàn phòng cháy chữa cháy tiến hành, thường dùng lý thuyết mô phỏng quá trình cháy. Kết quả nghiên cứu của Bước 1 là xây dựng được đường quan hệ nhiệt độ xung quanh bề mặt kết cấu và thời gian cháy.

Bước 2 - Tính toán sự truyền nhiệt từ bề mặt kết cấu đến các điểm bên trong cấu kiện kết cấu: thường dùng phương trình truyền nhiệt Fourier để giải bài toán này.

Bước 3 - Phân tích ứng suất, biến dạng của kết cấu trong điều kiện nhiệt độ của các điểm trong kết cấu tăng cao theo thời gian: Khi nhiệt độ trong kết cấu tăng cao, ngoài các biến dạng do tải trọng còn có các biến dạng do nhiệt ảnh hưởng đáng kể đến ứng xử của kết cấu. Quan hệ ứng suất - biến dạng của vật liệu thay đổi theo nhiệt độ nên việc phân tích kết cấu khi nhiệt độ tăng cao tương đối phức tạp, không phỏng đoán được nếu chỉ dùng các kiến thức về kết cấu ở điều kiện thường.

1.2. Sự phát triển nhiệt độ trong buồng cháy

Trong thực tế, mỗi đám cháy có đặc điểm riêng: loại nhiên liệu gây cháy, vị trí bắt đầu xảy ra cháy, kích thước cửa ra vào, cửa thông gió v.v... nên sự gia tăng nhiệt độ trong từng đám cháy là khác nhau. Mỗi đám cháy thường có 3 giai đoạn nhiệt độ: giai đoạn bắt đầu cháy, giai đoạn tăng nhiệt mạnh và giai đoạn giảm nhiệt, song hầu hết các nghiên cứu chỉ quan tâm đến giai đoạn tăng nhiệt và coi đó là giai đoạn nguy hiểm nhất, kết cấu có thể bị sụp đổ trong giai đoạn đó. Sự truyền nhiệt từ nguồn cháy đến bề mặt kết cấu thông qua 2 hình thức: truyền nhiệt bức xạ và truyền nhiệt đối lưu. Việc tính toán nhiệt độ từ nguồn cháy đến bề mặt kết cấu thuộc về Bước 1 (phân tích nhiệt độ buồng cháy) không trong phạm vi nghiên cứu của đề tài này. Việc phân tích kết cấu trong điều kiện cháy được tiến hành khi đã biết nhiệt độ trên bề mặt kết cấu theo thời gian.

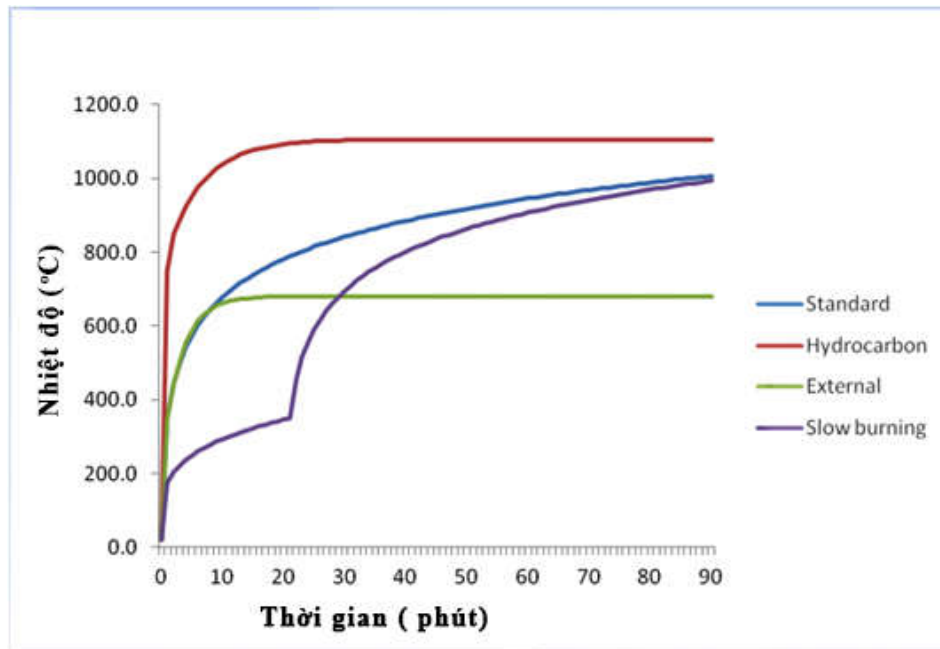


Hình 1. 1 Quan hệ giữa thời gian cháy và nhiệt độ bề mặt biên kết cấu [73]

Mỗi một đám cháy có đường quan hệ giữa thời gian cháy và nhiệt độ bề mặt biên kết cấu khác nhau, song để phân tích tính toán hoặc từ kết quả thí nghiệm có thể quy về các đường cong thời gian cháy - nhiệt độ tiêu chuẩn (Hình 1. 2). Nhiệt độ ở đây được tính là nhiệt độ trên bề mặt biên kết cấu.

Đường tiêu chuẩn (Standard) phù hợp cho việc mô phỏng đám cháy trong các công trình mà vật liệu gây cháy là vật liệu gốc Xenlulozo. Đường Hydrocarbon phù hợp cho việc mô phỏng đám cháy có nguồn gốc từ Hydrocarbon, những đám cháy này gây nhiệt độ tăng lên rất cao và nhanh. Đường External phù hợp cho việc mô phỏng các đám cháy xảy ra bên ngoài công trình. Đường Slow burning phù hợp cho việc mô phỏng đám cháy có nguồn gốc từ các vật liệu xảy ra phản ứng hấp thụ nhiệt.

Trong kết cấu nhà cửa thường được thiết kế chịu cháy với đường Standard. Đường này được gọi là đường chuẩn ISO 834.



Hình 1. 2 Một số đường cong cháy tiêu biểu theo ISO 834 [78]

Đường chuẩn ISO 834 được xác định từ phương trình sau:

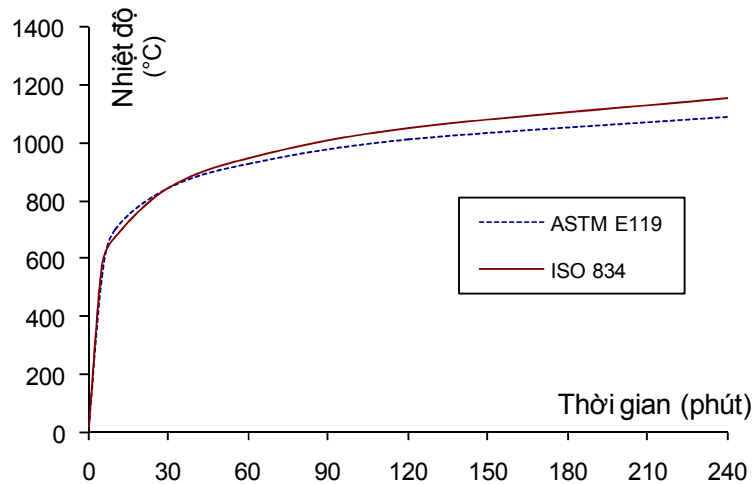
$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + T_0 \quad (1.1)$$

Trong đó t là thời gian (phút) và T là nhiệt độ trong buồng cháy ($^{\circ}\text{C}$), T_0 là nhiệt độ ban đầu của buồng cháy (thường lấy 20°C).

Sau 15 phút cháy, nhiệt độ trong buồng cháy của đám cháy chuẩn là 625°C .

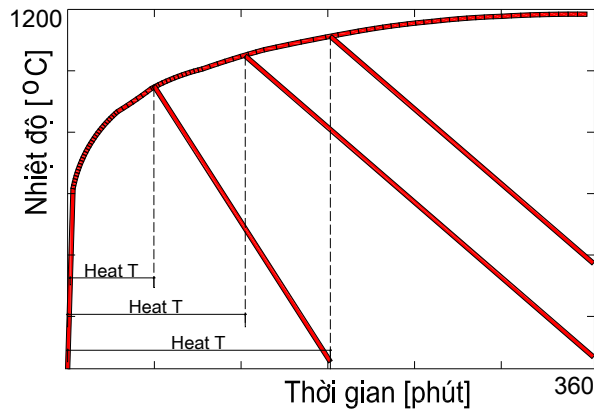
Hai đường nhiệt độ chuẩn thường được dùng trong hầu hết các nghiên cứu là đường chuẩn ISO 834 [78] và đường ASTM E119-16a. Đường ASTM E119-16a [28] (sử dụng rộng rãi ở Nam Mỹ) được xác định thông qua một số điểm rời rạc.

Hai đường cong này không khác nhau nhiều (Hình 1. 3). Một số tiêu chuẩn quốc gia như: tiêu chuẩn Canada [33] và tiêu chuẩn Australia [26] cũng đưa ra đường cong thời gian cháy - nhiệt độ nhưng đều dựa trên đường chuẩn ISO 834 hoặc ASTM E119 -16a. TCVN cũng dùng đường chuẩn ISO 834 trong các thí nghiệm.



Hình 1. 3 Quan hệ giữa thời gian cháy - nhiệt độ bề mặt biên (theo đường chuẩn ISO834 và ASTM E119-16a)

Các nghiên cứu về kết cấu trong điều kiện cháy đã được quan tâm từ những năm 60 của thế kỷ trước song phần lớn chỉ tập trung nghiên cứu kết cấu ở giai đoạn nhiệt độ tăng cao. Chỉ vài năm gần đây, ứng xử của kết cấu ở giai đoạn giảm nhiệt mới được quan tâm [53], [111] bởi thực tế và thí nghiệm chỉ ra rằng có nhiều cấu kiện kết cấu bị phá hoại ở giai đoạn giảm nhiệt chứ không bị phá hoại ở giai đoạn tăng nhiệt. Mối quan hệ thời gian cháy - nhiệt độ bề mặt biên có xét đến quá trình giảm nhiệt được thể hiện ở Hình 1. 4 trong đó thông số HeatT chỉ thời gian của giai đoạn tăng nhiệt.



Hình 1. 4 Mô hình thời gian cháy- nhiệt độ bề mặt biên có xét đến quá trình giảm nhiệt

1.3. Sự truyền nhiệt trong kết cấu

Khi biết nhiệt độ ở bề mặt biên kết cấu, nhiệt độ bên trong kết cấu được tính toán theo lý thuyết truyền dẫn nhiệt trong vật rắn. Dẫn nhiệt là quá trình trao đổi nhiệt năng do sự tiếp xúc trực tiếp giữa các vật hoặc giữa các bộ phận của cùng một vật có nhiệt độ khác nhau.

Sự truyền dẫn nhiệt trong vật rắn liên tục được tính toán dựa vào phương trình truyền nhiệt Fourier:

$$k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + Q - C\rho \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad (1.2)$$

trong đó k: hệ số dẫn nhiệt, W/mK

T nhiệt độ, K

x, y, z các tọa độ, m

Q nhiệt lượng sinh ra bên trong kết cấu (nếu có), W/m³

C nhiệt dung riêng của vật liệu, J/kgK

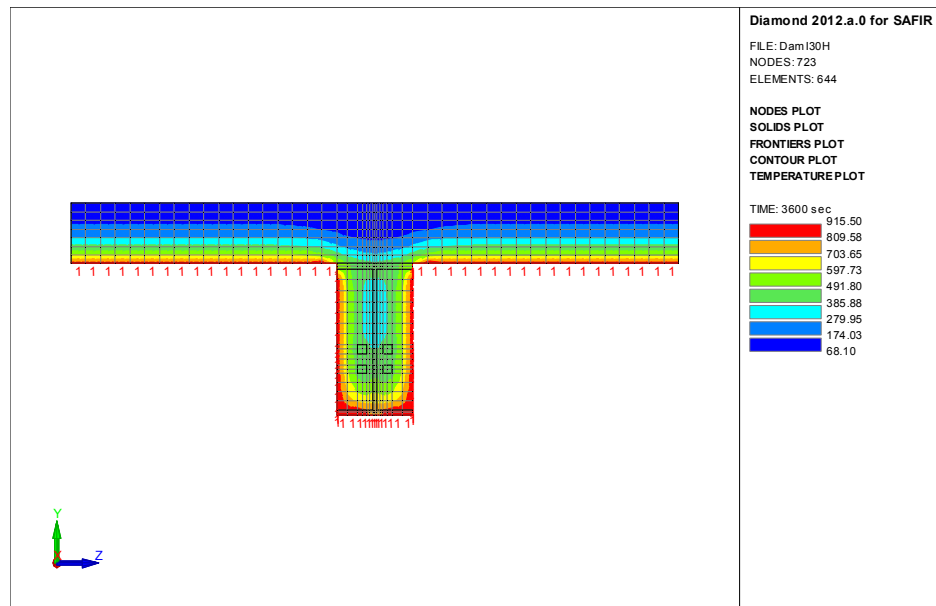
ρ khối lượng riêng của vật liệu, kg/m³

t thời gian, s.

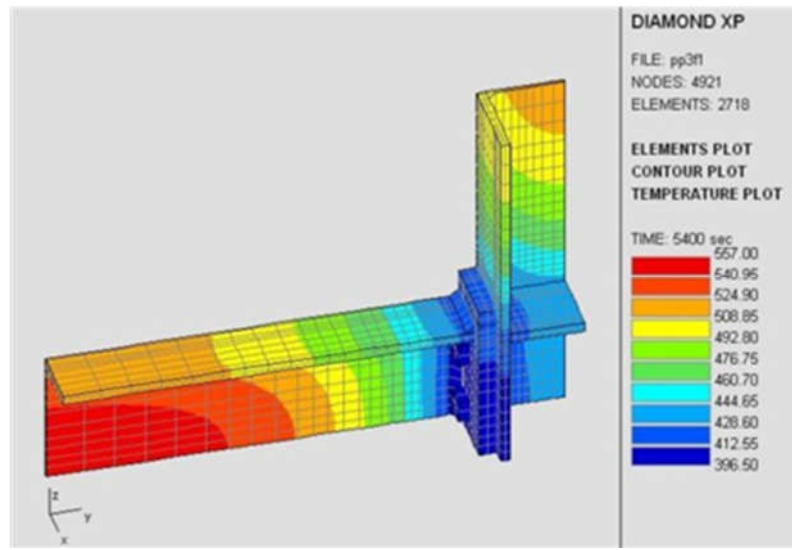
Trong kết cấu liên hợp thép-bê tông, phương trình Fourier được sử dụng với giả thiết cấu kiện liên hợp gồm phần thép và bê tông là một khối liên tục, không có khoảng hở giữa bề mặt tiếp xúc giữa thép và bê tông.

Để giải phương trình này, một số nghiên cứu đã dùng phương pháp sai phân hữu hạn như [37], [85]. Nhiều nghiên cứu khác dùng phương pháp phần tử hữu hạn [61], [70], [105] để xây dựng các phần mềm phân tích kết cấu như SIMEF, SAFIR. Một số phần mềm mô phỏng kỹ thuật cũng dùng phương pháp phần tử hữu hạn để giải phương trình này như ANSYS, ABAQUS.

Phần mềm SAFIR được phát triển tại đại học Liege- Vương quốc Bỉ dùng phương pháp phần tử hữu hạn tính toán kết cấu trong điều kiện cháy. Phần mềm này có thể tính nhiệt độ trong kết cấu theo cả mô hình truyền nhiệt hai chiều (Hình 1. 5) và ba chiều (Hình 1. 6). Dữ liệu đầu vào là quan hệ thời gian - nhiệt độ ở bề mặt biên kết cấu và các tính chất cơ nhiệt của vật liệu trong kết cấu. Đầu ra là nhiệt độ tại các điểm trong kết cấu tại các thời điểm trong quá trình chịu cháy.



Hình 1. 5 Nhiệt độ trong một tiết diện ngang của dầm sàn liên hợp thép - bê tông sau 60 phút chịu cháy



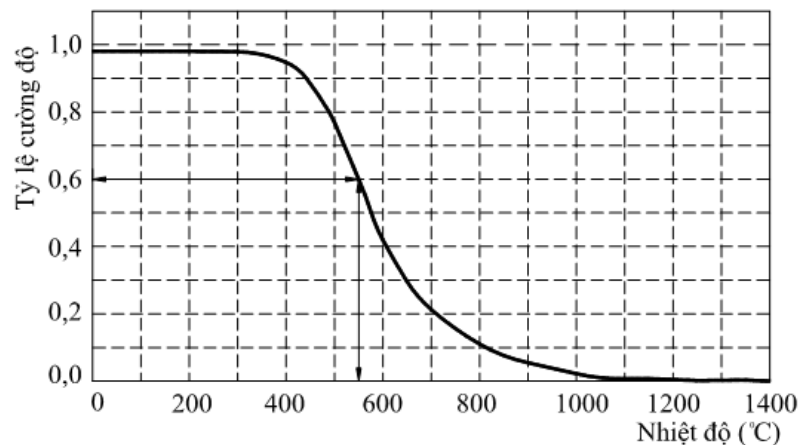
Hình 1. 6 Nhiệt độ trong một dầm thép liên kết với cột thép sau 90 phút chịu cháy

Như vậy, ứng dụng phần mềm SAFIR có thể tính toán nhiệt độ trong kết cấu khi đã biết đường quan hệ giữa thời gian cháy - nhiệt độ bề mặt biên và các tính chất cơ nhiệt của vật liệu thép và bê tông.

1.4. Tính chất cơ lý của vật liệu ở nhiệt độ cao

1.4.1 Các đặc tính của vật liệu thép dưới tác động của nhiệt độ cao

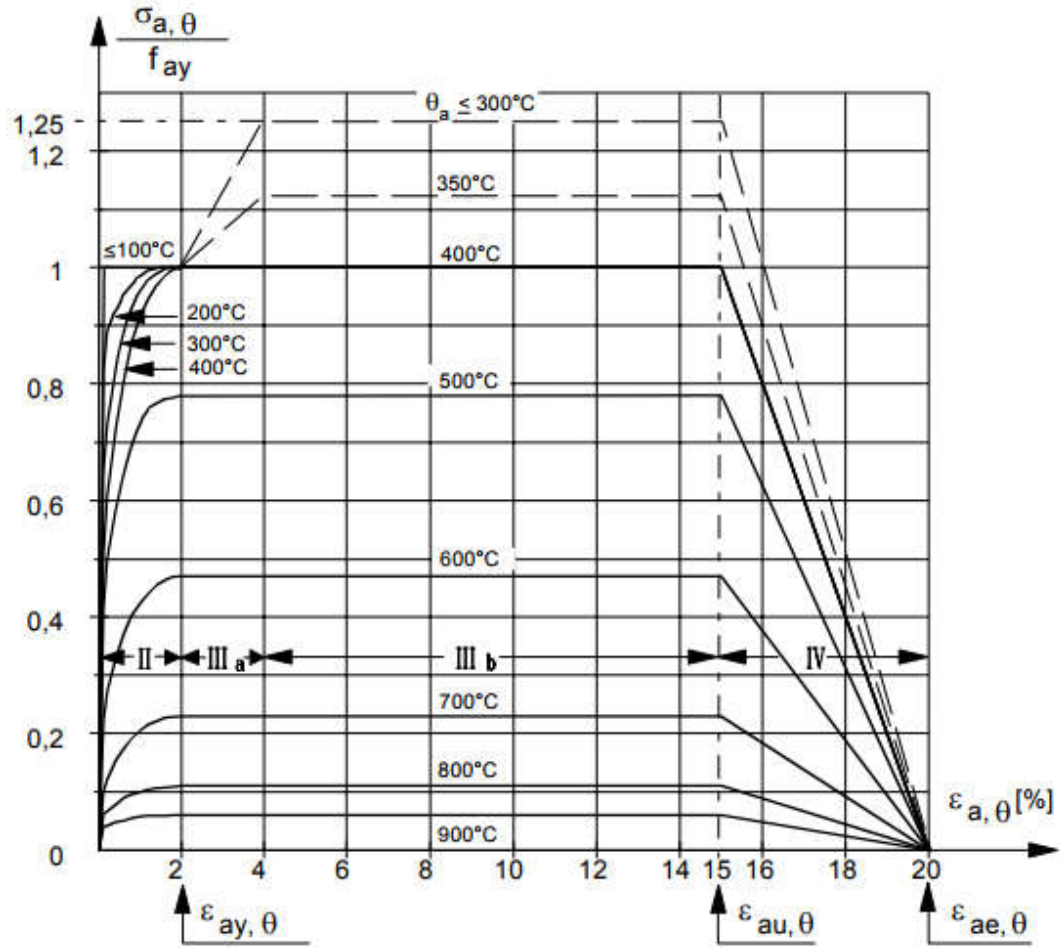
Khi tiếp xúc với lửa, tất cả các vật liệu trở nên yếu hơn. Đối với thép, cường độ bắt đầu giảm ở nhiệt độ trên 300°C. Ở nhiệt độ 550°C kết cấu thép sẽ giữ lại 60% cường độ ở nhiệt độ thường (Hình 1. 7).



Hình 1. 7 Cường độ thép giảm theo nhiệt độ [56]

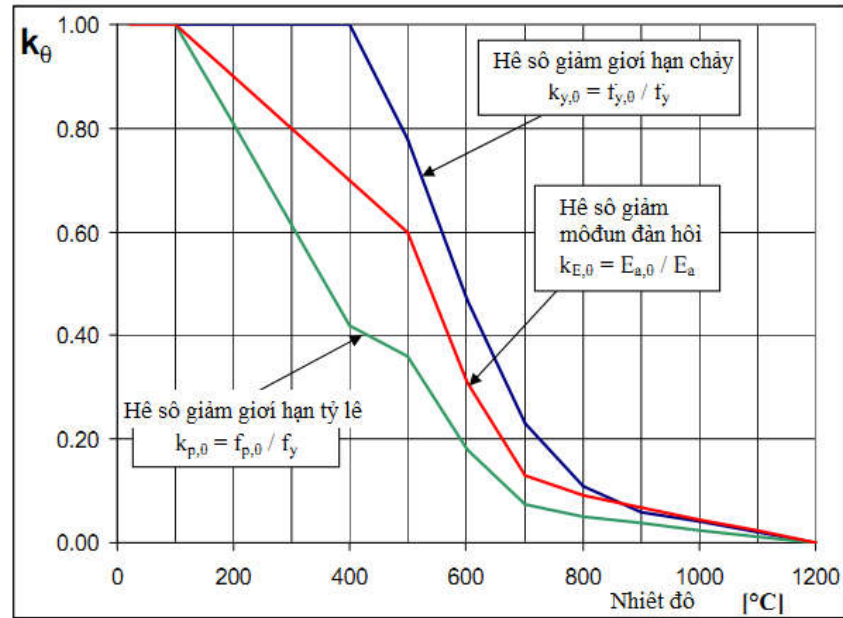
a. Mối quan hệ ứng suất - biến dạng của vật liệu thép ở nhiệt độ cao

Khi nhiệt độ tăng cao, mô đun đàn hồi, giới hạn đàn hồi và giới hạn chảy của thép đều giảm. Các giá trị suy giảm ứng với nhiệt độ cao được cho trong bảng tra của tiêu chuẩn châu Âu [56].



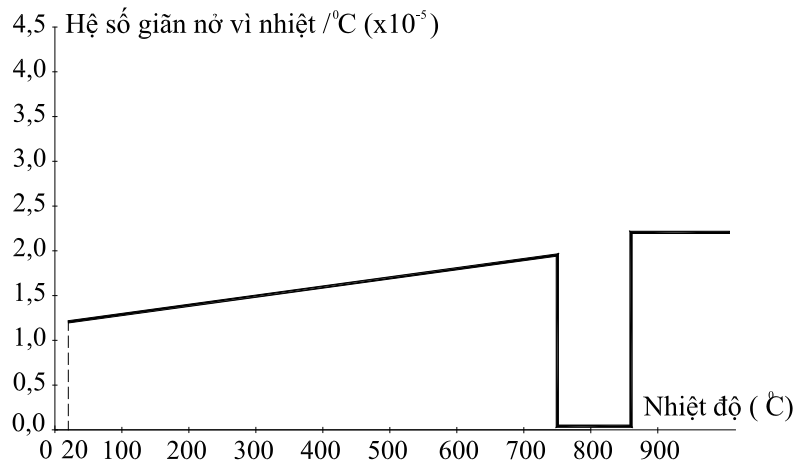
Hình 1. 8 Biểu đồ ứng suất- biến dạng của vật liệu thép trong điều kiện nhiệt độ cao

[56]



Hình 1. 9 Biểu đồ hệ số giảm môđun đàn hồi, giới hạn chảy và giới hạn tỷ lệ của vật liệu thép ở nhiệt độ cao [56]

b. Hệ số giãn nở vì nhiệt của vật liệu thép

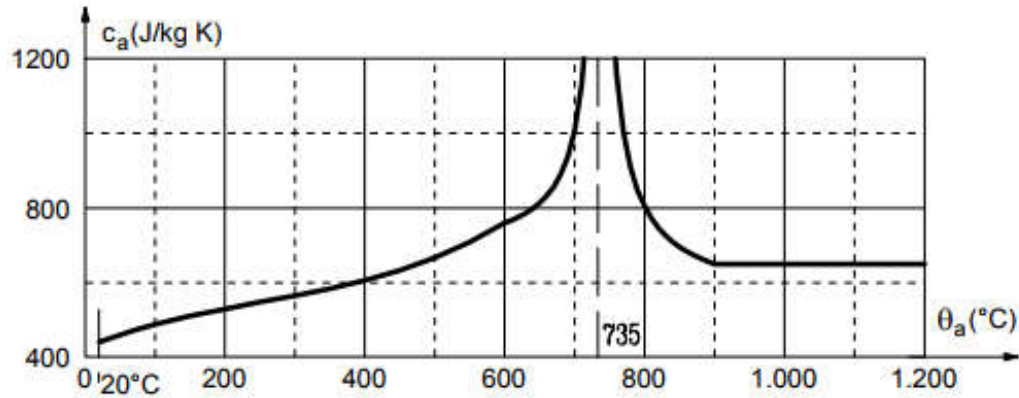


Hình 1. 10 Sự biến thiên hệ số giãn nở vì nhiệt của kết cấu thép theo nhiệt độ [56]

c. Nhiệt dung riêng của vật liệu thép

Nhiệt dung riêng của thép là nhiệt lượng lưu giữ trong một đơn vị khối lượng của thép để tăng 1°C hay 1K . Vật liệu có nhiệt dung riêng càng lớn thì sự thay đổi nhiệt độ (tăng lên để vật liệu hấp thụ một năng lượng nhiệt cho trước hoặc giảm đi để

tỏa ra một lượng nhiệt cho trước) càng nhỏ. Tiêu chuẩn châu Âu đã đưa ra biểu đồ mô tả mối quan hệ giữa nhiệt dung riêng và nhiệt độ như sau:

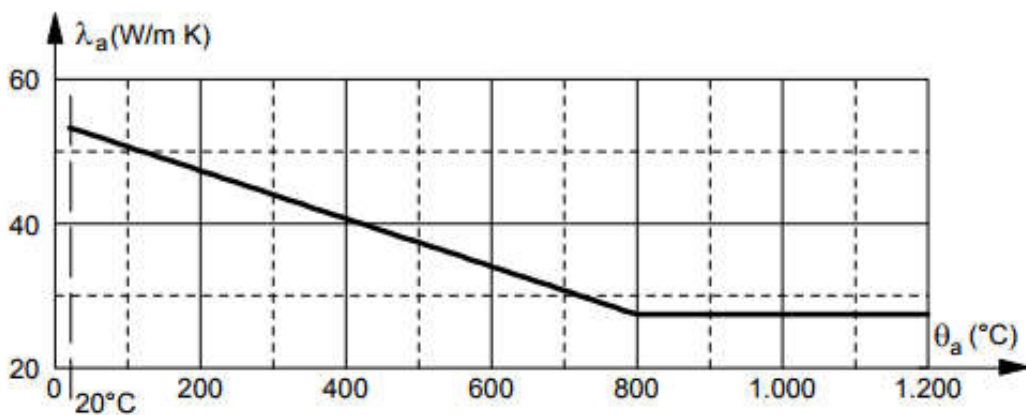


Hình 1. 11 Sự biến thiên nhiệt dung riêng của thép theo nhiệt độ [56]

Các công thức toán học được cho trong tiêu chuẩn châu Âu [56].

d. Tính dẫn nhiệt của vật liệu thép

Tính dẫn nhiệt (λ_a) được định nghĩa là lượng nhiệt truyền qua một đơn vị diện tích tiết diện ngang của vật liệu trong một đơn vị thời gian tương ứng với một đơn vị nhiệt (tức là 1°C hoặc 1K thay đổi trên một đơn vị chiều dài). Thông số này ít quan trọng hơn đối với thép so với các vật liệu bảo vệ bởi tính dẫn nhiệt của thép rất lớn, lớn hơn 50 lần so với bê tông và 500 lần so với xi măng khoáng (một loại vật liệu bảo vệ điển hình). Tính dẫn nhiệt của thép cũng biến thiên theo nhiệt độ:

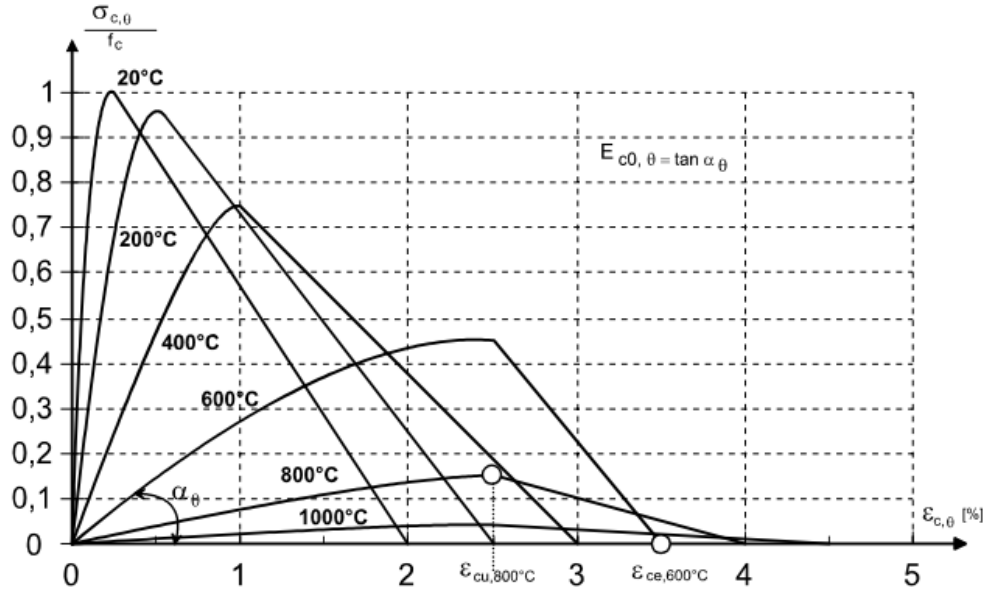


Hình 1. 12 Sự biến thiên dẫn nhiệt của thép theo nhiệt độ [56]

1.4.2. Các đặc tính của vật liệu bê tông dưới tác động của nhiệt độ cao

a. Cường độ của bê tông

Bê tông cũng giảm cường độ khi nhiệt độ tăng. Dạng của đường cong thể hiện mối quan hệ ứng suất – biến dạng của bê tông ở những nhiệt độ khác nhau như trên Hình 1. 13.

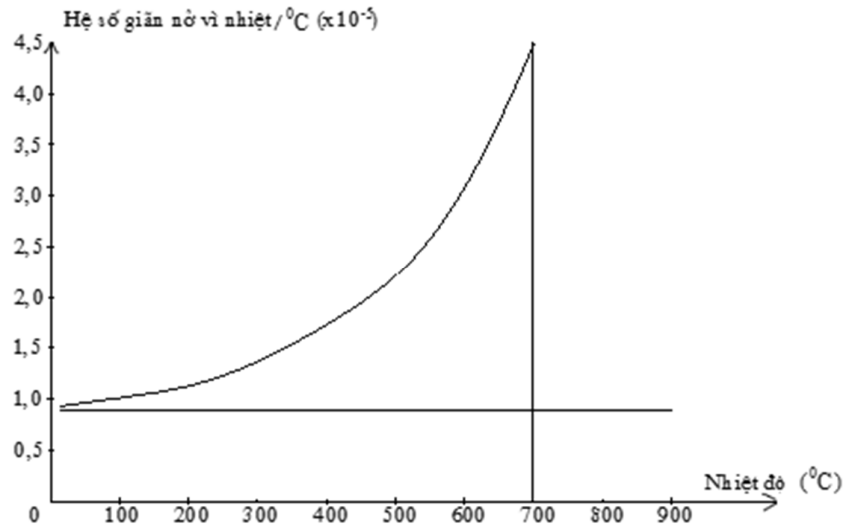


Hình 1. 13 Biểu đồ quan hệ ứng suất – biến dạng của vật liệu bê tông trong điều kiện nhiệt độ cao [56]

Tương tự như đối với vật liệu thép, giá trị các hệ số suy giảm cường độ và biến dạng cực hạn của vật liệu bê tông ở một nhiệt độ θ nhất định cũng được cho trong tiêu chuẩn châu Âu EN 1992-1-2 [54].

b. Các đặc tính khác của bê tông

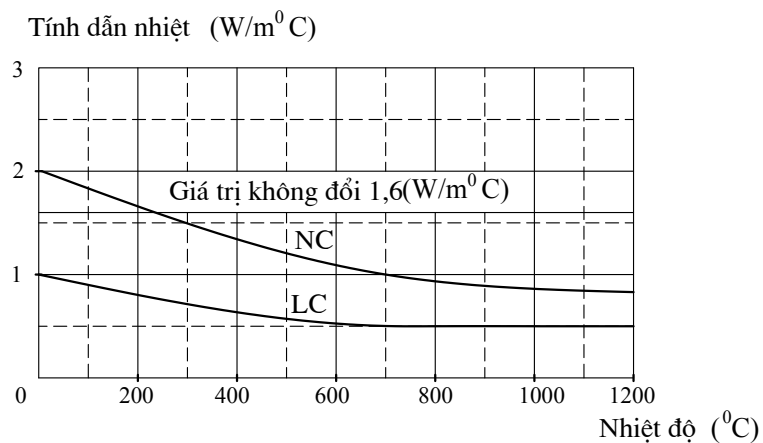
Sự giãn nở vì nhiệt của bê tông tăng theo nhiệt độ. Quá trình chuyển pha của bê tông xảy ra ở nhiệt độ 700⁰C, khi đó sự giãn nở vì nhiệt trong bê tông ngưng hoàn toàn, đường cong thể hiện mối quan hệ giữa hệ số giãn nở vì nhiệt và nhiệt độ trong bê tông được thể hiện ở Hình 1. 14



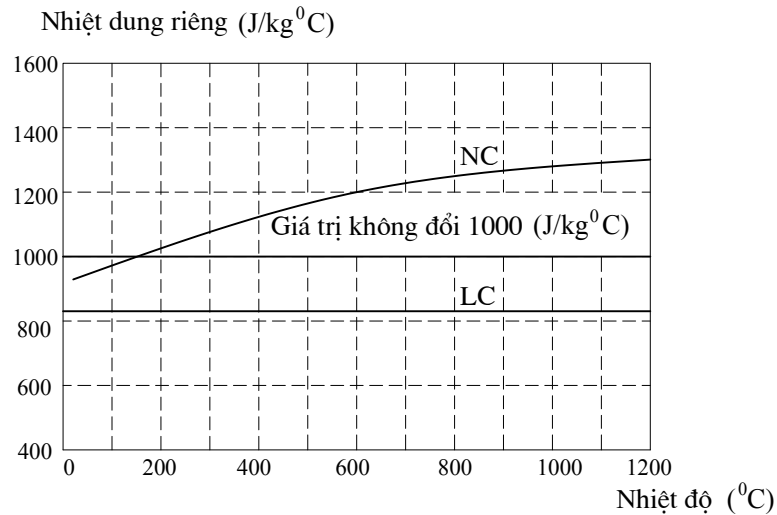
Hình 1. 14 Sự biến thiên khả năng giãn nở vì nhiệt của vật liệu bê tông theo nhiệt độ [56]

Khả năng truyền nhiệt của bê tông phụ thuộc vào khả năng truyền nhiệt của các thành phần bao gồm hàm lượng nước, dạng cốt liệu, tỷ lệ trộn và loại xi măng. Trong đó, dạng cốt liệu có ảnh hưởng lớn nhất đến khả năng truyền nhiệt của bê tông khô.

Bên cạnh đó, lượng nước trong bê tông cũng làm tăng khả năng truyền nhiệt. Trong thực tế, khả năng truyền nhiệt của bê tông là một hàm của nhiệt độ đối với cả bê tông thường (NC) và bê tông nhẹ (LC). Để đơn giản cho tính toán, tiêu chuẩn châu Âu cho phép sử dụng một giá trị không đổi cho thông số này $k_c=1,6\text{W/m}^0\text{C}$.



Hình 1. 15 Sự biến thiên tính dẫn nhiệt của vật liệu bê tông theo nhiệt độ [56]



Hình 1. 16 Sự biến nhiệt dung riêng của vật liệu bê tông theo nhiệt độ [56]

1.4.3. Ứng xử của kết cấu dưới tác động của nhiệt độ cao

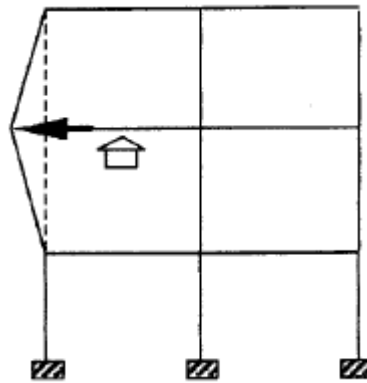
Khi kết cấu chịu cháy, ngoài nội lực do tải trọng gây ra trong kết cấu, sự giãn nở do nhiệt độ cao còn gây ra sự phân phối nội lực đáng kể. Với cấu kiện đơn lẻ, ảnh hưởng của sự giãn dài do nhiệt độ cao có thể xác định rõ ràng. Song với kết cấu siêu tĩnh, sự tác động do biến dạng nhiệt có khi không xác định được nếu không có phần mềm phân tích chuyên sâu. Sự làm việc của kết cấu khi ở nhiệt độ cao có thể khác hẳn với trạng thái làm việc của kết cấu khi ở nhiệt độ thường. Do vậy, việc phân tích kết cấu có kể đến biến dạng do nhiệt cần được chú trọng.

Kết cấu bê tông cốt thép được xếp vào loại chịu lửa tốt. Song thống kê cho thấy, rất nhiều công trình bằng bê tông cốt thép cũng sụp đổ do cháy. Đó chính là do tính giòn của vật liệu bê tông. Kết cấu bê tông cốt thép thường mất khả năng chịu lực do lớp bê tông bên ngoài bị nứt vỡ, bong ra làm tiết diện cấu kiện bị giảm yếu và lớp cốt thép bên trong không được bảo vệ. Sự giãn nhiệt của sàn bê tông cốt thép không những ảnh hưởng đến kết cấu sàn mà còn ảnh hưởng đến cột liên kết với sàn (Hình 1. 17). Sự chuyển dịch của kết cấu sàn - cột làm cho cột chịu ứng suất cắt rất lớn và cột có thể bị phá hoại do cắt (khác hẳn với cơ chế phá hoại của cột ở nhiệt độ thường). Tùy theo sự phân bố của tải trọng và độ cứng của các cấu kiện, khung bê tông cốt thép có thể bị phá hoại do cắt hoặc do mất ổn định của dầm khi độ võng của sàn lớn, có thể bị phá hoại do cắt hoặc do mất ổn định của cột, thậm chí có thể

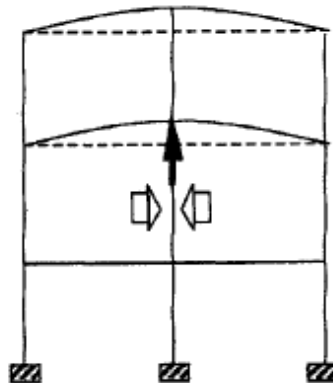
bị phá hoại liên kết do lực cắt. Cả ba cách thức phá hoại khung bê tông cốt thép (dầm trước, cột trước hay liên kết trước) đều liên quan đến lực cắt phát sinh do chuyển dịch ngang bởi giãn nở nhiệt của bản sàn.

Kết cấu thép thường mạnh hơn kết cấu bê tông. Sự giãn nở theo phương ngang của kết cấu thép nhỏ hơn so với kết cấu bê tông vì dầm và bản sàn bị võng nhiều hơn và chuyển dịch ngang của liên kết ít hơn. Do vậy cách thức phá hoại của khung thép trái hẳn với cách thức phá hoại của khung bê tông cốt thép: dầm, sàn bị phá hoại trước cột.

Trong kết cấu liên hợp thép - bê tông, bê tông còn đóng vai trò làm lớp vật liệu bảo vệ, làm chậm quá trình tăng và lan truyền nhiệt trong kết cấu thép, làm cho kết cấu có khả năng chịu lực lớn hơn. Chính sự kết hợp này đã làm nổi bật rõ những ưu điểm vượt trội, hạn chế các nhược điểm của hai loại vật liệu trên trong quá trình sử dụng.



Hình 1. 17 Giãn dài trong dầm sàn gây chuyển vị cưỡng bức trong cột [117]



Hình 1. 18 Giãn dài trong cột gây chuyển vị cưỡng bức trong dầm sàn [117]

1.5 Các nghiên cứu về kết cấu trong điều kiện cháy

1.5.1. Các nghiên cứu trong nước

Tại Việt Nam, nghiên cứu về kết cấu trong điều kiện cháy còn hạn chế. Chỉ có một số công bố liên quan đến kết cấu công trình trong điều kiện cháy như:

Luận án tiến sĩ của Nguyễn Đức Việt [7] nghiên cứu thực nghiệm sự làm việc của cột thép chịu nén đúng tâm được bảo vệ bằng tấm thạch cao chống cháy bọc dạng hộp chịu tác động của lửa. Luận án tập trung nghiên cứu thực nghiệm sự làm việc của cột thép chịu nén đúng tâm được bảo vệ bằng tấm thạch cao chống cháy bọc dạng hộp chịu tác động của lửa. Mục đích của luận án nghiên cứu xác định hệ số dẫn nhiệt của tấm thạch cao chống cháy và sự làm việc của cột thép chịu nén đúng tâm được bảo vệ bằng tấm thạch cao chống cháy bọc dạng hộp chịu tác động của lửa.

Phạm Văn Hội đã tiến hành đề tài NCKH cấp Bộ Xây dựng [15]: Nghiên cứu trạng thái làm việc của khung nhà thép trong điều kiện nhiệt độ cao khi cháy và các biện pháp cấu tạo kết cấu để nâng cao khả năng chịu lửa của chúng.

Trương Quang Vinh [21], nghiên cứu phương pháp tính toán về khả năng chịu lực của kết cấu thép - kết cấu bê tông cốt thép trong điều kiện cháy theo tiêu chuẩn châu Âu và Canada. Đề tài trình bày phương pháp tính khả năng chịu lực của cấu kiện sàn, dầm và cột bằng thép và liên hợp thép- bê tông theo các chỉ dẫn trong tiêu chuẩn châu Âu và tiêu chuẩn Canada. Đề tài có trình bày kết quả tính toán một số cấu kiện theo hai tiêu chuẩn kể trên. Như vậy, đề tài chưa đề cập đến phần mô phỏng số phân tích kết cấu trong điều kiện cháy.

Chu Thị Bình [1] thực hiện đề tài nghiên cứu khoa học cấp Trường (Trường Đại học Kiến Trúc Hà Nội) "Thiết kế kết cấu công trình theo điều kiện an toàn cháy". Đề tài trình bày các bước thiết kế kết cấu thép, bê tông cốt thép và liên hợp thép-bê tông đảm bảo điều kiện an toàn cháy theo hệ thống quy chuẩn và tiêu chuẩn Việt Nam. Qua đó, đề tài chỉ ra những hạn chế và giới hạn mà tiêu chuẩn Việt Nam chưa đầy đủ để áp dụng thiết kế. Đề tài tìm hiểu phương pháp thiết kế theo tiêu

chuẩn châu Âu và có áp dụng tính toán theo tiêu chuẩn và mô phỏng số một số cấu kiện sử dụng phần mềm phân tích kết cấu trong điều kiện cháy SAFIR.

Ngoài ra còn có các bài viết đăng trong các tạp chí khoa học và kỉ yếu Hội nghị như [2], [3], [4], [12]. Một số luận văn thạc sĩ kỹ thuật về kết cấu công trình trong điều kiện cháy như: [5], [6], [9], [10], [13]. Các tài liệu này đều trình bày kết quả tính toán dựa theo tiêu chuẩn châu Âu, ít đề cập đến phần mô phỏng số.

1.5.2. Các nghiên cứu trên thế giới

Trên thế giới, nghiên cứu về kết cấu trong điều kiện cháy đã được thực hiện từ những năm 1920. Phần lớn các nghiên cứu kết cấu trong điều kiện cháy đều làm với cấu kiện riêng rẽ như cột thép, dầm thép - bê tông liên hợp, sàn bê tông [60], [89], [91], [115]. Khả năng chịu lực của cấu kiện riêng rẽ (cột, dầm, sàn) trong điều kiện cháy đã được chỉ dẫn tính toán trong một số tiêu chuẩn như tiêu chuẩn châu Âu [54], [55], [56] và tiêu chuẩn Hoa Kỳ [27]. Các nghiên cứu đi tìm cách tính toán đơn giản hóa hoặc làm chính xác hơn cách tính các cấu kiện vẫn đang được tiến hành [65], [72], [75], [107], [114]. Nhiều nghiên cứu về mối nối dầm - cột khi bị cháy cũng đã được công bố [34], [38]. Tuy nhiên, sự làm việc của cả một kết cấu công trình sẽ phức tạp hơn bởi ảnh hưởng của biến dạng (do tải trọng, do nhiệt độ) của các cấu kiện tác động lẫn nhau trong kết cấu. Khả năng chịu cháy của một kết cấu siêu tĩnh bậc cao sẽ khác xa với khả năng chịu cháy của một kết cấu tĩnh định được tổ hợp bằng các cấu kiện tương tự. Năm 1990, sự kiện Broadgate Phase 8 fire tại Anh đã thu hút sự chú ý. Hòa loạn xảy ra khi một phần công trình bằng khung thép, sàn liên hợp thép - bê tông đang trong giai đoạn xây dựng. Dưới nhiệt độ cao nhưng sàn liên hợp vẫn không sụp đổ. Khả năng chịu cháy của kết cấu thực vượt xa khả năng chịu cháy tính toán dựa vào khả năng chịu cháy của từng cấu kiện riêng rẽ.

Nhận thức được vấn đề phức tạp trong nghiên cứu hệ kết cấu khi bị cháy, từ năm 1995 tại Building Research Establishment's (BRE's) - Cardington - UK, một khung không gian 8 tầng bằng kết cấu liên hợp thép - bê tông đã được xây dựng làm mẫu thí nghiệm nguyên hình chịu tác động của đám cháy [31]. Thí nghiệm này

(được biết rộng rãi với tên Cardington test) đã làm sáng tỏ rất nhiều nghiên cứu về ứng xử của kết cấu khi chịu cháy. Kết quả thí nghiệm thường được dùng để kiểm chứng các mô hình tính toán. Một số nghiên cứu ứng xử của cả kết cấu cũng đã được công bố [22], [69], [80], [81], [83], [104], [116]. Trong số đó, có thể điểm một vài nghiên cứu liên quan đến toàn hệ kết cấu như sau:

- Năm 2001, dựa trên kết quả thí nghiệm Cardington test, tại trường đại học Edinburgh - Scotland - UK, luận án tiến sĩ đã nghiên cứu ứng xử của khung nhiều tầng liên hợp thép - bê tông trong đám cháy [80]. Ở đây đã nghiên cứu về ảnh hưởng của các thông số: vị trí và độ lớn của đám cháy, vật liệu và vị trí dùng sơn cách nhiệt cho dầm, cột.

- Ở sự kiện 11-9, tháp đôi trung tâm thương mại bị sụp đổ do máy bay đâm vào. Tuy nhiên, các tầng trực tiếp bị tác động của máy bay đâm chỉ bị phá hoại cục bộ. Sự sụp đổ của tòa nhà là do đám cháy tại một số tầng làm mất khả năng chịu lực của kết cấu. Sau sự kiện này, nhiều nghiên cứu đã được tiến hành để làm rõ cách thức phá hoại do cháy. Graeme 2005 [69] đã công bố kết quả nghiên cứu cơ chế phá hoại của một tòa nhà cao tầng tương tự như tháp đôi trung tâm thương mại. Ảnh hưởng của lửa đối với hệ sàn liên hợp nhịp lớn được mô phỏng bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Cơ chế phá hoại cục bộ cũng như phá hoại tổng thể được nghiên cứu. Ứng xử qua lại giữa cột và sàn chỉ ra rằng, cột làm gối đỡ cho sàn chịu tải đứng đồng thời sàn là gối tựa đỡ cột khỏi chuyển vị ngang. Hiệu ứng này có thể làm kết cấu chịu lửa tốt hơn so với tính toán từng cấu kiện riêng lẻ. Luận án tiến sĩ của Graeme [69] đã đạt các mục tiêu nghiên cứu ảnh hưởng của đám cháy cục bộ đối với hệ sàn liên hợp nhịp lớn; nghiên cứu ảnh hưởng của đám cháy đặt ở vị trí khác nhau trong một tòa nhà cao tầng đến hệ sàn liên hợp nhịp lớn; xác định các cơ chế phá hoại có thể xảy ra đối với tòa nhà cao tầng tương tự tháp đôi trung tâm thương mại khi có đám cháy ở một số tầng. Nghiên cứu của Graeme đã dùng phần mềm ABAQUS để phân tích kết cấu.

- Ngoài ra còn một số nghiên cứu thí nghiệm khung thép liên hợp trên mô hình thu nhỏ như [40], [86], [93], [122], [118], [125].

Dong Y.L and Prasad K. [44], [45], [46] đã công bố kết quả nghiên cứu thực nghiệm các khung liên hợp một tầng một nhịp bằng cột thép, dầm thép đỡ sàn bê tông. Mỗi nghiên cứu đều thí nghiệm hai khung liên hợp thép – bê tông: một khung có cột và mỗi nối được bọc chống cháy, khung còn lại chỉ có mỗi nối bọc chống cháy. Khung được thí nghiệm trong lò đốt có xét đến quá trình tăng nhiệt và giảm nhiệt. Nghiên cứu chỉ ra rằng, giới hạn chịu lửa của dầm thép liên hợp tốt hơn nhiều so với cột thép và khuyến nghị trong kết cấu khung liên hợp thép- bê tông cần có biện pháp bọc chống cháy cho cột còn dầm liên hợp thì có thể không cần bọc chống cháy.

Dong Y.L et al. (2016) [48] đã tiến hành thí nghiệm cho ba khung hai tầng hai nhịp có cột thép, dầm thép đỡ sàn bê tông. Chỉ có mỗi nối dầm-cột được bọc chống cháy. Các khung có cấu tạo giống hệt nhau, chỉ có khác nhau ở thí nghiệm đốt cháy trong 1 nhịp, 2 nhịp hay 2 tầng cùng 1 nhịp (tương ứng với thí nghiệm 1, 2 và 3). Tăng nhiệt độ trong lò đốt đến khi khung bị mất ổn định, không chịu được tải trọng cố định gia tải ban đầu thì giảm nhiệt. Kết quả thí nghiệm cho thấy, các khung đều bị phá hoại do mất ổn định của cột thép sau thời gian tăng nhiệt là 32, 59 và 50 phút tương ứng với thí nghiệm 1, 2 và 3. Nghiên cứu đã đề xuất phương trình quan hệ mô men - độ cong trong cột thép ứng với 3 trường hợp của vị trí đám cháy và kiểm chứng đề xuất bằng kết quả thực nghiệm. Công thức tính nhiệt độ tới hạn cho các khung liên hợp thép- bê tông tương tự khung đã thí nghiệm cũng được đưa ra và kiểm chứng bằng kết quả thí nghiệm.

1.6 Các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu công trình đảm bảo điều kiện an toàn cháy

1.6.1 Tiêu chuẩn và quy chuẩn Việt Nam

Hiện nay, Việt Nam có các tài liệu liên quan đến thiết kế kết cấu theo điều kiện an toàn cháy như sau: QCVN 03:2012/BXD [16] - Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về nguyên tắc phân loại, phân cấp công trình dân dụng, công nghiệp và hạ tầng kỹ thuật đô thị; QCVN 06:2010/BXD [17] - Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về an toàn cháy cho nhà và công trình; TCVN 2622:1995 [18] - Phòng cháy, chống cháy cho nhà và công trình -Yêu cầu thiết kế. Ngoài ra còn một số tiêu chuẩn quy định về

thiết kế kiến trúc công trình đảm bảo an toàn cháy như: TCVN 3391:1985 [19] - Tiêu chuẩn phòng cháy trong thiết kế xây dựng; TCVN 6160:1996 [20] - Phòng cháy chữa cháy nhà cao tầng – Yêu cầu thiết kế.

QCVN 03:2012/BXD [16]- Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về nguyên tắc phân loại, phân cấp công trình dân dụng, công nghiệp và hạ tầng kỹ thuật đô thị.

Quy chuẩn này quy định bậc chịu lửa của công trình tùy thuộc vào cấp công trình và quy định giới hạn chịu lửa yêu cầu của cấu kiện trong điều kiện cháy dựa vào bậc chịu lửa của công trình. Ví dụ quy định như ở Bảng 1. 1.

Bảng 1. 1 Cấp công trình theo độ bền vững - bậc chịu lửa của nhà và công trình

Cấp công trình	Chất lượng xây dựng công trình	
	Độ bền vững	Bậc chịu lửa
Đặc biệt	Bậc I: Niên hạn sử dụng trên 100 năm	Bậc I
I		
II	Bậc II: Niên hạn sử dụng từ 50 năm đến 100 năm	Bậc II
III	Bậc III: Niên hạn sử dụng từ 20 năm đến dưới 50 năm	Bậc III, bậc IV
IV	Bậc IV: Niên hạn sử dụng dưới 20 năm	Bậc IV
<p>CHÚ THÍCH: Đối với các công trình ở cấp đặc biệt (cấp cao hơn cấp I), ngoài những yêu cầu đã quy định trong Bảng này còn phải bổ sung những yêu cầu kỹ thuật đặc biệt (tải trọng và tác động, an toàn cháy nổ...) được lập riêng cho thiết kế và xây dựng công trình.</p>		

Quy chuẩn quy định giới hạn chịu lửa yêu cầu của cấu kiện chịu lửa dựa vào bậc chịu lửa của công trình như ở Bảng 1. 2.

Trong đó khái niệm "Giới hạn chịu lửa của cấu kiện xây dựng" được xác định bằng khoảng thời gian (tính bằng phút) kể từ khi bắt đầu thử chịu lửa theo chế

độ nhiệt tiêu chuẩn, cho đến khi xuất hiện một hoặc một số dấu hiệu nối tiếp nhau của các trạng thái giới hạn, được quy định đối với cấu kiện đã cho như sau:

- Mất khả năng chịu lực (khả năng chịu lực được ký hiệu bằng chữ R – Mechanical Resistance);
- Mất tính toàn vẹn (tính toàn vẹn được ký hiệu bằng chữ E - Integrity);
- Mất khả năng cách nhiệt (khả năng cách nhiệt được ký hiệu bằng chữ I - Insulation).”

Bảng 1. 2 Bậc chịu lửa của nhà và công trình

Bậc chịu lửa của nhà	Giới hạn chịu lửa của cấu kiện xây dựng, không nhỏ hơn						
	Bộ phận chịu lực của nhà	Tường ngoài không chịu lực	Sàn giữa các tầng (bao gồm cả sàn tầng áp mái và sàn trên tầng hầm)	Bộ phận mái không có tầng áp mái		Buồng thang bộ	
				Tấm lợp (bao gồm tấm lợp có lớp cách nhiệt)	Giàn, dầm, xà gồ	Tường buồng thang trong nhà	Bản thang và chiếu thang
I	R 150	E 30	REI 60	RE 30	R 30	REI 150	R 60
II	R 120	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 120	R 60
III	R 90	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 90	R 60
IV	R 30	E 15	REI 15	RE 15	R 15	REI 30	R 15
V	Không quy định						

QCVN 06:2010/BXD [17] - Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về an toàn cháy cho nhà và công trình

QCVN 06:2010/BXD quy định bậc chịu lửa công trình được quy định tùy thuộc vào chức năng, diện tích, chiều cao, chiều rộng và khoảng cách lối thoát nạn... của công trình ví dụ như Bảng 1.3 (Xem các phụ lục E đến H trong QCVN 06-2010).

Bảng 1. 3 Số tầng lớn nhất cho phép của một số dạng nhà và công trình công cộng độc lập

Tên công trình và quy mô	Bậc chịu lửa của nhà	Số tầng lớn nhất cho phép
(1)	(2)	(3)
1- Nhà trẻ, Mẫu giáo		
a) Đến 50 cháu	V, IV	1 tầng
b) Đến 150 cháu	III	2 tầng
c) Đến 350 cháu	II, I	2 tầng, 3 Tầng(a)
2- Bệnh viện, Nhà hộ sinh		
a) Đến 50 giường	V, IV	1 tầng
b) Trên 50 giường	III	2 tầng
c) Không phụ thuộc số giường	II, I	9 tầng(b)
3- Nhà học của trường phổ thông và nội trú		
a) Đến 270 chỗ	V	1 tầng
b) Đến 360 chỗ	IV	1 tầng
c) Đến 720 chỗ	III	2 tầng
d) Không phụ thuộc số lượng chỗ	II, I	4 tầng

Bậc chịu lửa của nhà và công trình được quy định tại điều 2.6.2 của Quy chuẩn QCVN 06:2010/BXD giống như trong QCVN 03: 2012/BXD.

Giới hạn chịu lửa danh định của một số cấu kiện kết cấu (tường, cột, dầm, sàn...) phụ thuộc vào cấu tạo kết cấu, kích thước kết cấu, kích thước lớp bảo vệ...) cho trong QCVN 06:2010/BXD ví dụ như trong Bảng 1. 4. Các bảng tra trong quy chuẩn này không có cho cấu kiện kết cấu liên hợp thép- bê tông.

Bảng 1. 4 Giới hạn chịu lửa danh định của dầm thép

TT	Kết cấu và vật liệu bọc bảo vệ	Chiều dày nhỏ nhất (mm) của lớp bảo vệ để đảm bảo giới hạn chịu lửa					
		R 240	R 180	R 120	R 90	R 60	R 30
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	Bê tông cốt liệu tự nhiên có cấp phối không ít xi măng hơn 1 : 2 : 4	75	50	25	25	25	25
	a) Bê tông không tham gia chịu lực, có cốt thép(b)	75	75	50	50	50	50
	b) Bê tông có tham gia chịu lực có cốt thép						
2	Phun bọc bằng vermiculite – ximăng với chiều dày bằng:	-	-	38	32	19	12,5
B	Lớp bảo vệ dạng rỗng(c)						
1	Lati thép						
	a) Trát ximăng – vôi với chiều dày bằng:	-	-	38	25	19	12,5
	b) Trát thạch cao với chiều dày bằng:	-	-	22	19	16	12,5
	c) Trát thạch cao – vermiculite hoặc thạch cao – perlite với chiều dày bằng:	32	-	12,5	12,5	12,5	12,5

TCVN 2622:1995 [18] - Phòng cháy, chống cháy cho nhà và công trình - Yêu cầu thiết kế

TCVN 2622 “Phòng cháy, chống cháy cho nhà và công trình -Yêu cầu thiết kế” được biên soạn từ những năm 1960, được soát xét lần 1 năm 1978 (TCVN 2622-78) và lần 2 năm 1995 (TCVN 2622:1995).

TCVN 2622:1995 quy định bậc chịu lửa của công trình phụ thuộc vào công năng, số tầng, kích thước của nhà. TCVN 2622:1995 đưa ra giới hạn chịu lửa tối thiểu đối với cấu kiện xây dựng chủ yếu ứng với bậc chịu lửa của công trình. TCVN 2622:1995 cũng đưa ra phụ lục C về giới hạn chịu lửa của cấu kiện kết cấu tương ứng với chiều dày, kích thước tối thiểu của mặt cắt kết cấu và nhóm cháy của vật

liệu. Các bảng tra trong TCVN 2622:1995 không đề cập đến kết cấu liên hợp thép-bê tông.

Nhận xét: Qua nghiên cứu các quy chuẩn, tiêu chuẩn liên quan đến thiết kế kết cấu công trình có thể thấy rằng, các công trình được thiết kế cần tuân theo các quy chuẩn và tiêu chuẩn thiết kế ở điều kiện nhiệt độ thường, đồng thời cần tuân theo yêu cầu an toàn cháy như các bước thiết kế kể dưới đây:

- Bước 1: Xác định "bậc chịu lửa yêu cầu" của công trình;
- Bước 2: Xác định "giới hạn chịu lửa yêu cầu" của các bộ phận kết cấu dựa vào bậc chịu lửa của công trình đã xác định ở Bước 1;
- Bước 3: Thiết kế kết cấu có các cấu kiện đảm bảo "giới hạn chịu lửa" không nhỏ hơn "giới hạn chịu lửa yêu cầu".

QCVN 06-2010/BXD, điều 2.3.1,1 quy định "giới hạn chịu lửa của cấu kiện xây dựng" được xác định bằng thử nghiệm chịu lửa theo tiêu chuẩn TCVN 9311-2012 hoặc các tiêu chuẩn tương đương. Giới hạn chịu lửa của cấu kiện xây dựng có thể xác định bằng tính toán theo tiêu chuẩn thiết kế chịu lửa. Tuy nhiên, Việt Nam chưa có tiêu chuẩn thiết kế kết cấu chịu lửa.

1.6.2 Một số quy chuẩn, tiêu chuẩn trên thế giới

- **Quy chuẩn quốc tế ICC. IBC 2012-** Building Code [77]: chương 6 của tiêu chuẩn này phân loại công trình theo 4 cấp, phụ thuộc vào loại công trình và tính chất cháy của loại vật liệu xây dựng công trình. Mỗi cấp công trình có quy định giới hạn chịu lửa yêu cầu (từ 1 giờ đến 3 giờ) của các cấu kiện. Chương 7 cho các bảng tra kích thước tối thiểu, chiều dày lớp vật liệu bảo vệ của các cấu kiện để đạt giới hạn chịu lửa yêu cầu. Do bảng tra hạn chế chỉ áp dụng cho một số loại vật liệu và cấu kiện kết cấu, nên tiêu chuẩn quy định có thể dùng các phương pháp khác để xác định giới hạn chịu lửa của cấu kiện xây dựng. Đó là dùng thí nghiệm theo tiêu chuẩn ASTM E119-16a hoặc dùng các cách tính toán nêu trong các tiêu chuẩn thiết kế ASCE/SEI/SFPE 29-05 hay ACI 216.1.
- **Tiêu chuẩn Hoa Kỳ ASCE/SEI/SFPE 29-05** Standard Calculation Methods for Structural Fire Protection [27]: Tiêu chuẩn này chỉ dẫn cách tính giới hạn chịu

lửa của các cấu kiện kết cấu bằng bê tông, bê tông cốt thép, thép gỗ và gạch đá khi chịu đám cháy tương đương đám cháy chuẩn ASTM E119-16a.

- **Hệ thống tiêu chuẩn châu Âu Eurocodes**

Hệ thống tiêu chuẩn châu Âu có đầy đủ gồm các tiêu chuẩn thí nghiệm và tính toán kết cấu trong điều kiện cháy

Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu công trình kết cấu bê tông cốt thép, kết cấu thép, và kết cấu liên hợp thép bê tông trong điều kiện cháy gồm:

- EN 1992-1-2 (2004) [54]: Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông - Phần thiết kế kết cấu trong điều kiện cháy;

- EN 1993-1-2 (2005) [55]: Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép - Phần thiết kế kết cấu trong điều kiện cháy;

- EN 1994-1-2 (2005) [56]: Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu liên hợp thép - bê tông. Phần thiết kế kết cấu trong điều kiện cháy.

Tiêu chuẩn châu Âu Eurocodes quy định giới hạn chịu lửa của kết cấu có thể được tính toán bằng các phương pháp sau:

- **Tính toán dựa trên các số liệu bảng tra đã lập**

Trong phương pháp này, các tính toán được thực hiện dựa trên các bảng đã được thiết kế sẵn cho từng loại cấu kiện kết cấu như sàn, cột, dầm. Tuy nhiên, việc tính toán theo phương pháp này có hạn chế chỉ sử dụng được bảng tra với một số loại tiết diện, kích thước tiết diện nhất định nên khả năng ứng dụng bị hạn chế.

- **Tính toán theo mô hình đơn giản hóa**

Đây là phương pháp tính toán đã được đơn giản hóa để thiết kế các cấu kiện riêng rẽ và dựa trên các giả thiết thiên về an toàn. Các giả thiết đơn giản hóa thường không kể đến ảnh hưởng của biến dạng nhiệt, không xét đến sự phân bố lại ứng suất biến dạng trong kết cấu trong điều kiện cháy, ứng xử của kết cấu giống như trong nhiệt độ thường chỉ có cường độ của vật liệu suy giảm. Do vậy, mô hình tính toán đơn giản thường cho kết quả về cường độ sai lệch nhiều so với kết quả thí nghiệm song thiên về an toàn. Trong thực hành thiết kế, mô hình tính toán đơn giản thường

được áp dụng vì nó không cần đến kiến thức của các chuyên gia phân tích kết cấu chịu cháy, cũng như không cần phần mềm phân tích chuyên sâu.

- Tính toán theo phương pháp tiên tiến

Các mô hình tính toán tiên tiến có thể áp dụng tính toán từng cấu kiện riêng biệt, cho từng cụm cấu kiện hoặc cho toàn bộ công trình. Các mô hình tính toán tiên tiến có thể bao gồm những mô hình tính toán riêng biệt để xác định những yếu tố khác theo hai bước tính toán như sau:

+ Bước 1: Phân tích sự phát triển và phân bố nhiệt bên trong thành phần kết cấu (mô hình ứng xử nhiệt);

+ Bước 2: Phân tích trạng thái cơ học của kết cấu hay một phần nào đó của kết cấu trong quá trình nhiệt độ trong kết cấu thay đổi (mô hình ứng xử cơ học);

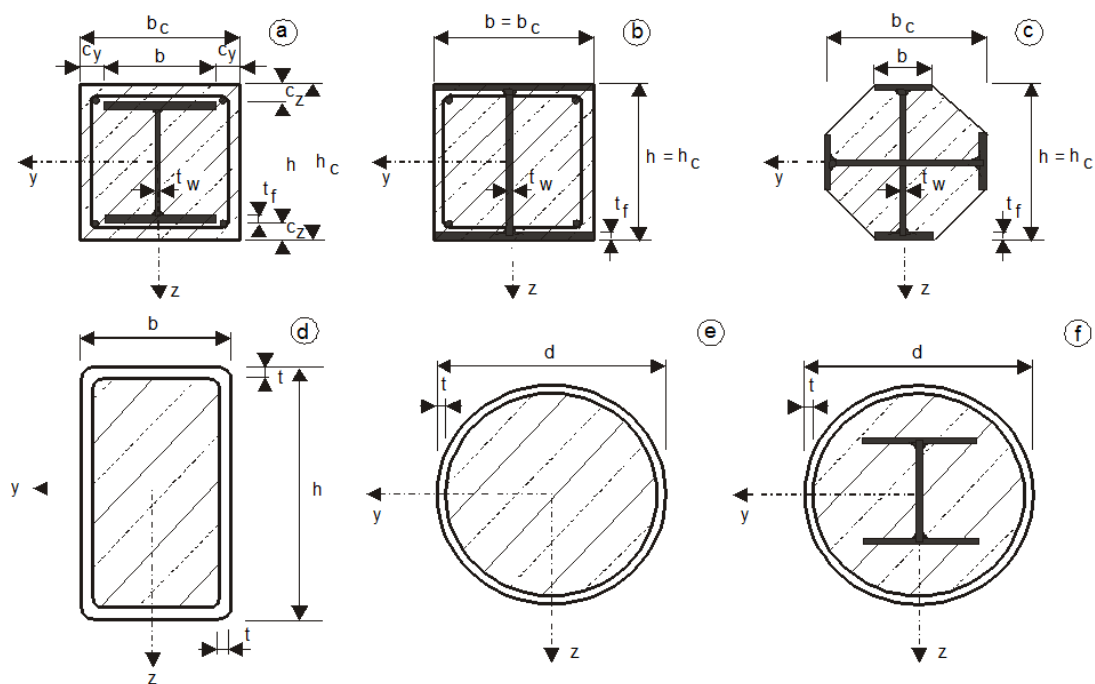
Những tác dụng của ứng suất và biến dạng do sự gia tăng nhiệt độ và chênh lệch của nhiệt độ cũng được tính đến. Độ tin cậy của mỗi mô hình tính toán tiên tiến đều được minh chứng trên cơ sở các kết quả thí nghiệm.

Một số phần mềm phân tích cơ học nói chung có thể ứng dụng để phân tích kết cấu trong điều kiện cháy như ANSYS, ABAQUS. Ngoài ra, có một số phần mềm chuyên dụng về phân tích kết cấu trong điều kiện cháy như VULCAN (UK), SISMEF (France) và SAFIR (Belgium).

1.7 Giới thiệu về kết cấu liên hợp thép - bê tông

Kết cấu liên hợp thép-bê tông là loại kết cấu sử dụng thép kết cấu kết hợp với bê tông hoặc bê tông cốt thép để chúng cùng tham gia chịu lực. Vật liệu thép có cường độ chịu kéo và nén cao nhưng khả năng chịu lửa kém và giá thành cao. Trong khi đó, vật liệu bê tông mặc dù chỉ có cường độ chịu nén tương đối nhưng lại có tính chịu lửa tốt, giá thành rẻ và được sử dụng phổ biến. Kết cấu thép không bọc chống cháy có khả năng chịu lửa rất thấp (15 phút chịu lửa) nên khi dùng kết cấu liên hợp thép -bê tông ngoài việc làm tăng khả năng chịu lực, tăng khả năng ổn định còn nâng cao tính chịu lửa của công trình. Như vậy, kết cấu liên hợp thép - bê tông có ưu điểm về mặt chịu lực so với kết cấu bê tông cốt thép và có ưu điểm về khả năng chống cháy so với kết cấu thép.

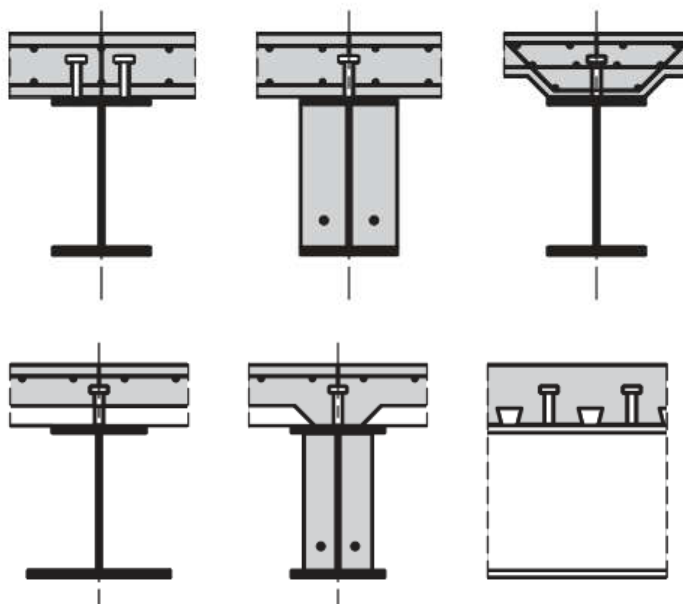
Các giải pháp cấu tạo thường được sử dụng đối với loại cấu kiện kết cấu cột liên hợp là thép định hình, thép tổ hợp hàn dạng chữ H được bọc bê tông một phần hoặc toàn bộ, hoặc thép ống được nhồi đầy bê tông hoặc bê tông cốt thép (Hình 1.19)



Hình 1.19 Tiết diện cột liên hợp thép – bê tông [14]

Kết cấu sàn liên hợp thường là bản sàn bê tông cốt thép được đặt lên trên dầm thép hình chữ I. Ngoài ra các tấm tôn thép sóng còn được đặt ở mặt dưới của bản sàn bê tông, nằm giữa bản sàn bê tông và dầm thép hình để đóng vai trò vừa là cốt thép chịu kéo trong quá trình sử dụng đồng thời là ván khuôn đỡ bê tông tươi trong quá trình thi công (Hình 1.20). Sàn thường được thiết kế chịu lực theo một phương vì tấm tôn chỉ kê lên dầm theo một phương.

Đề thép và bê tông cùng tham gia chịu lực đồng thời, các chốt neo có hình dạng hợp lý được hàn tại bề mặt thép kết cấu tiếp xúc với bê tông nhằm tăng khả năng liên kết toàn khối giữa thép hình và bê tông. Trong tính toán có liên kết chống trượt hoàn toàn hoặc không hoàn toàn.



Hình 1.20 Mặt cắt ngang dầm liên hợp thép- bê tông [14]

Tiết diện dầm liên hợp có dạng chữ T gồm tiết diện của dầm thép hình và của bản sàn bê tông cốt thép. Khi chịu tải trọng, mặt cắt ngang của dầm liên hợp không còn duy trì được phẳng, vì ứng suất nén do mômen uốn phân bố không đều theo bề rộng của phần bản sàn bê tông nên chỉ một phần bề rộng cánh (sàn bê tông cốt thép) được kể tới làm việc cùng dầm thép. Trường hợp có sử dụng tấm tôn sóng định hình (đặt vuông góc với nhịp dầm) thì chỉ kể đến phần bê tông nằm trên sườn của tấm tôn là chịu lực nén, bỏ qua tấm tôn định hình và phần bê tông nằm trong sườn [14].

Khả năng chịu lực của cột liên hợp được xác định dựa trên những giả thiết sau:

- Tương tác qua lại giữa thép kết cấu và bê tông được coi là hoàn toàn và chúng cùng làm việc như một hệ thống nhất cho đến khi cột liên hợp bị phá hoại. Có nghĩa là coi ma sát và các chi tiết chốt neo đặt tại mặt tiếp xúc giữa thép kết cấu và bê tông đủ để ngăn cản lực trượt tương đối giữa chúng;

- Mặt cắt ngang của cột liên hợp khi bị biến dạng được coi là phẳng, điều này cũng tương tự như tính toán đối với các cấu kiện thép kết cấu và bê tông cốt thép;

- Các điều kiện về ổn định cục bộ của các bản thép đối với thép kết cấu được coi là thoả mãn khi tuân thủ các yêu cầu về cấu tạo.

Nút khung liên hợp là nút liên kết giữa các cấu kiện kết cấu dầm và cột của khung liên hợp. Tùy theo giải pháp cấu tạo, nút khung liên hợp phân loại theo độ cứng có các loại nút liên kết cứng, nửa cứng hoặc khớp. Phân loại theo cường độ có các loại nút chịu toàn bộ mômen, chịu một phần mômen hoặc không chịu mômen (tương ứng với liên kết khớp). Như vậy, trong trường hợp nút liên kết cứng và chịu toàn bộ mômen thì tại đầu các cấu kiện dầm cột liên kết vào nút đều có góc xoay bằng nhau. Nút khung liên hợp thực tế làm việc khá phức tạp và ngay cả khi cấu tạo nút khung là cứng và chịu toàn bộ mômen thì đều bị biến dạng. Việc nút khung bị biến dạng sẽ ảnh hưởng đáng kể đến phân bố nội lực và biến dạng của toàn hệ kết cấu. Để đơn giản trong thực hành tính toán kết cấu, biến dạng của nút khung thường được bỏ qua. Do vậy nút khung cần được thiết kế đảm bảo yêu cầu về độ cứng, khả năng chịu lực và góc xoay cho phép (biến dạng xoay đàn hồi và dẻo cho phép). Khả năng chịu lực của nút khung thường được thiết kế lớn hơn (ít nhất khoảng 50%) khả năng chịu lực của những cấu kiện kết cấu dầm và cột được liên kết vào nút [14].

1.8 Kết luận chương 1

- Việc phân tích kết cấu trong điều kiện cháy rất phức tạp do vật liệu bê tông và cốt thép có sự giãn nở nhiệt khác nhau trong môi trường nhiệt độ cao, dẫn đến thành phần biến dạng do nhiệt rất quan trọng trong phân tích kết cấu;

- Tính chất cơ học và vật lý của vật liệu bê tông và cốt thép thay đổi theo nhiệt độ nên việc phân tích kết cấu trong điều kiện cháy phải cập nhật các chỉ tiêu cơ lý của vật liệu ở từng thời điểm cháy;

- Tại Việt Nam, nghiên cứu về kết cấu trong điều kiện cháy còn rất hạn chế;

- Trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu về kết cấu liên hợp thép bê tông trong điều kiện cháy song chủ yếu là nghiên cứu về các cấu kiện riêng rẽ và chỉ xét đến quá trình tăng nhiệt. Đã có một số luận án tiến sĩ tại Anh, Mỹ công bố kết quả nghiên cứu có mô phỏng số của cả khung liên hợp thép- bê tông song chỉ quan tâm đến quá trình tăng nhiệt. Gần đây đã có một số công bố kết quả nghiên cứu thực nghiệm khung liên hợp thép-bê tông có xét đến quá trình giảm nhiệt song ít thấy công bố về kết quả mô phỏng số;

- Các tiêu chuẩn, quy chuẩn liên quan đến thiết kế kết cấu đảm bảo điều kiện an toàn cháy đều cần phải xác định giới hạn chịu lửa của cấu kiện kết cấu. Đa số các quy chuẩn đều yêu cầu xác định giới hạn chịu lửa của cấu kiện kết cấu bằng thí nghiệm hoặc tính toán song chỉ có rất ít các tiêu chuẩn nước ngoài (như tiêu chuẩn châu Âu và tiêu chuẩn Hoa Kỳ ASCE) có chỉ dẫn tính toán, thiết kế kết cấu trong điều kiện cháy. Việt Nam chưa có tiêu chuẩn hay chỉ dẫn tính toán kết cấu trong điều kiện cháy mà chỉ có tiêu chuẩn thí nghiệm. Thậm chí, kết cấu liên hợp thép-bê tông chưa được đề cập đến trong các quy chuẩn, tiêu chuẩn liên quan đến kết cấu trong điều kiện cháy.

Với các nhận xét nêu trên, luận án đặt vấn đề nghiên cứu về phương pháp mô phỏng số kết cấu khung liên hợp thép- bê tông trong đám cháy có xét đến quá trình tăng nhiệt và giảm nhiệt. Sau đó áp dụng phương pháp mô phỏng số để tiến hành tính toán, đưa ra các quy luật ứng xử của kết cấu.

CHƯƠNG 2. PHƯƠNG PHÁP VÀ THUẬT TOÁN PHÂN TÍCH SỰ LÀM VIỆC CỦA KẾT CẤU LIÊN HỢP THÉP- BÊ TÔNG TRONG ĐIỀU KIỆN CHÁY

2.1 Phương pháp phân tích kết cấu liên hợp thép - bê tông trong điều kiện cháy, sử dụng phần mềm SAFIR

Như đã trình bày ở mục 1.1, để phân tích một kết cấu trong điều kiện cháy cần có 3 bước:

- Bước 1: Tính toán sự phát triển của nhiệt độ từ nguồn cháy đến bề mặt kết cấu;
- Bước 2: Tính toán sự truyền nhiệt từ bề mặt kết cấu đến các điểm bên trong kết cấu;
- Bước 3: Phân tích ứng xử của kết cấu trong điều kiện nhiệt độ tăng cao theo thời gian

Trong phạm vi nội dung luận án, nghiên cứu này chỉ quan tâm đến bước 2 và bước 3.

Luận án sử dụng phần mềm SAFIR để phân tích kết cấu nên mục này trình bày các nội dung của bước 2 và bước 3 nêu trên, bằng phần mềm SAFIR. Phần này cũng nêu rõ khả năng phát triển phần mềm SAFIR để có các nội dung đề cập ở phần tiếp theo.

SAFIR là phần mềm phân tích phi tuyến kết cấu trong điều kiện nhiệt độ thường và nhiệt độ tăng cao, được lập tại trường Đại học Liege- vương quốc Bỉ [61]. Phần mềm này đã được kiểm chứng bằng các so sánh kết quả tính toán với kết quả thí nghiệm hoặc kết quả tính bằng các phần mềm thông dụng khác [36], [59], [100], [112]. Hiện nay, phần mềm SAFIR đang được sử dụng tại trên 90 trường đại học, viện nghiên cứu và trên 70 công ty tư vấn xây dựng ở 43 nước. Một số nghiên cứu dùng phần mềm SAFIR đã công bố trên các tạp chí có uy tín như: [41], [67], [87], [94], [102].

2.1.1 Tính toán sự truyền nhiệt bên trong kết cấu

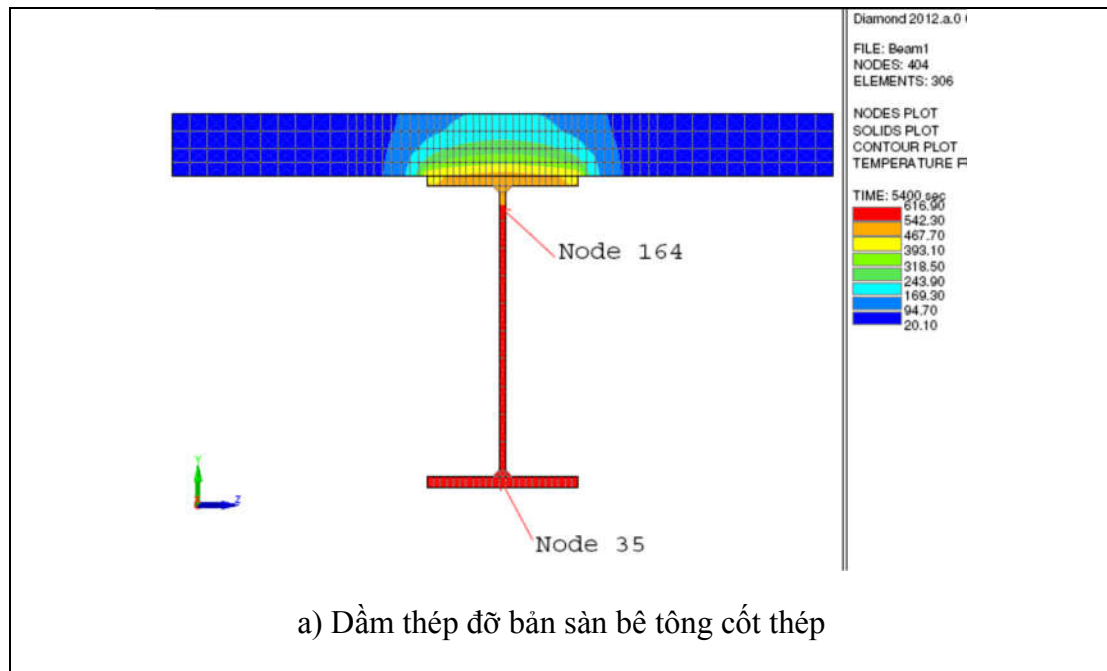
Khung liên hợp thép - bê tông được mô phỏng bằng các cấu kiện dầm và cột nối với nhau. Mỗi cấu kiện được chia thành nhiều phần tử để giả thiết nhiệt độ phân bố đều dọc theo trục của mỗi phần tử. Các đoạn dầm hay cột có điều kiện tiếp xúc với đám cháy khác nhau thì chia thành các phần tử khác nhau. Khi đó, để biết nhiệt độ trên mỗi phần tử thì cần tính nhiệt độ phân bố trên mặt cắt ngang của phần tử. Đây là bài toán truyền nhiệt hai chiều nên phương trình truyền nhiệt Fourier như sau:

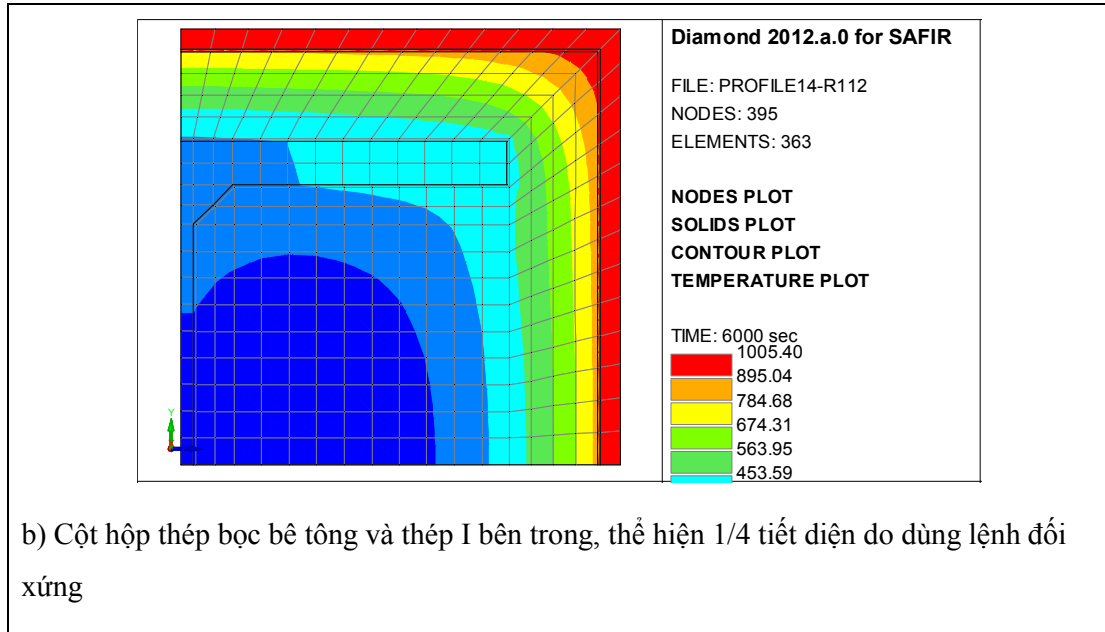
$$k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) - C\rho \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad (2.1)$$

trong đó	k	hệ số dẫn nhiệt, W/mK;
	T	nhiệt độ, K;
	x, y	các tọa độ, m ;
	C	nhiệt dung riêng của vật liệu, J/kgK;
	ρ	khối lượng riêng của vật liệu, kg/m ³ ;
	t	thời gian, s.

SAFIR giải phương trình trên bằng phương pháp phần tử hữu hạn thông dụng.

Mặt cắt ngang dầm và cột được chia như Hình 2. 1.





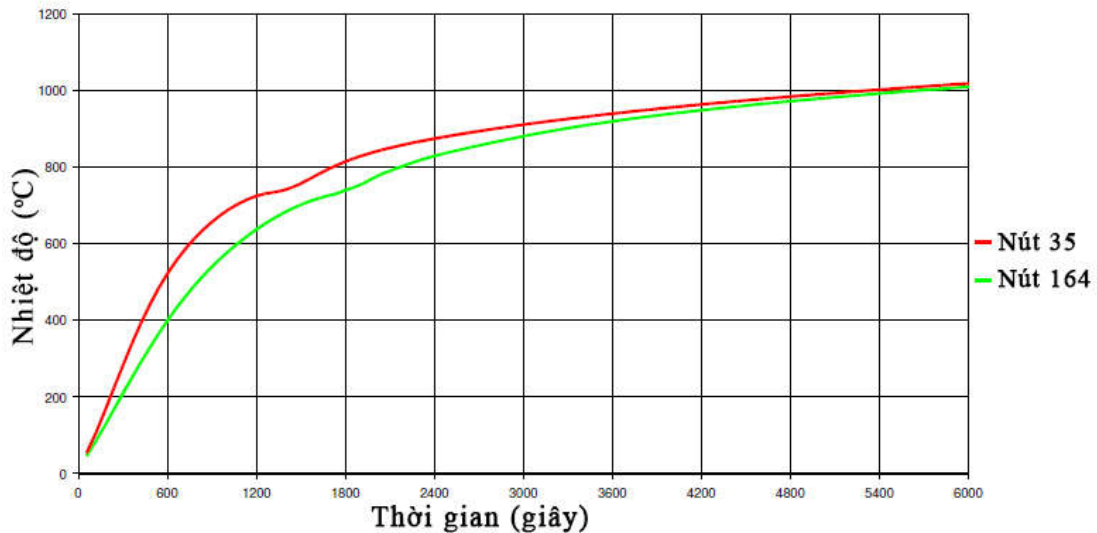
Hình 2. 1 Nhiệt độ trong tiết diện dầm, sàn và cột

Nhiệt độ tại mỗi điểm tại các bước thời gian lựa chọn đều được tính toán khi biết nhiệt độ trên bề mặt kết cấu, nhiệt dung riêng, hệ số dẫn nhiệt, trọng lượng riêng của vật liệu (xem [62]). Có thể khai báo vật liệu bất kỳ tên USERx và khai báo các thông số vật liệu đính kèm.

Trong phần mềm SAFIR đã có sẵn mô hình vật liệu thép và bê tông mà các tính chất vật liệu lấy theo quy định trong tiêu chuẩn châu Âu. Ví dụ vật liệu thép có mô hình STEELEC3, bê tông có SILCONC_EN cho bê tông cốt liệu đá silic, CALCON_EN cho bê tông cốt liệu đá canxit .

Trong luận án này, vật liệu dùng trong phân tích nhiệt độ lấy theo mô hình có sẵn trong SAFIR, lấy bê tông và thép theo tiêu chuẩn châu Âu.

Các kết quả tính nhiệt độ tại từng điểm trong kết cấu theo thời gian cháy có thể xem dưới dạng số liệu số hoặc biểu diễn dưới dạng đồ thị như Hình 2. 2



Hình 2. 2 Nhiệt độ của các điểm trong kết cấu, tính bằng phần mềm SAFIR

2.1.2 Phân tích ứng xử của kết cấu trong điều kiện nhiệt độ tăng cao

Khi phân tích kết cấu trong điều kiện cháy, sự phức tạp gặp phải là nhiệt độ của vật liệu luôn thay đổi, dẫn đến mối quan hệ ứng suất- biến dạng của vật liệu cũng luôn thay đổi. Do vậy, để phân tích kết cấu trong điều kiện cháy, cần tính toán biến dạng và ứng suất trong kết cấu tại từng thời điểm cháy tương ứng với nhiệt độ trong kết cấu đã xác định ở bước 2 như trình bày ở mục 2.1.1.

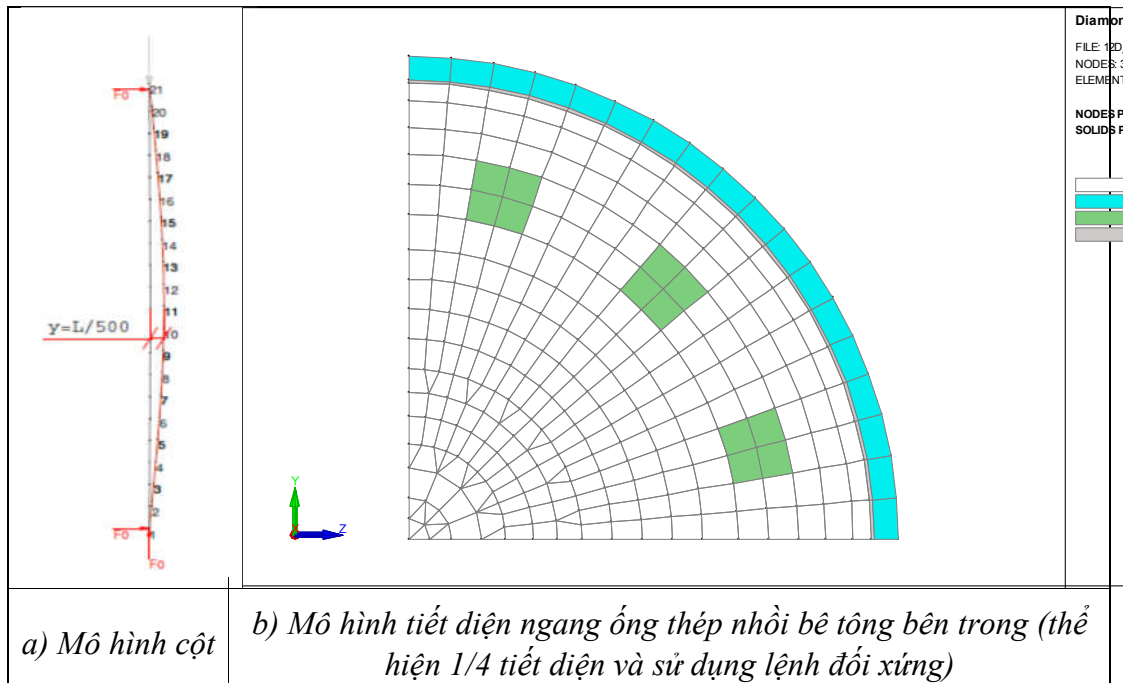
Quan hệ ứng suất- biến dạng của bê tông và cốt thép lấy theo tiêu chuẩn châu Âu (Hình 2. 7 và Hình 2.9). Chương trình SAFIR không mô phỏng được vết nứt trong bê tông nhưng tính bê tông có ứng suất bằng 0 khi ứng suất kéo vượt quá cường độ chịu kéo, khi đó ứng suất được truyền sang các thớ bên cạnh bằng cốt thép hoặc bê tông chưa nứt. Quá trình thay đổi cả nhiệt độ và biến dạng trong bê tông và thép sau mỗi bước thay đổi nhiệt độ được tính lặp như Hình 2. 4.

Để phân tích kết cấu trong cả quá trình cháy, cần tính nhiệt độ trong kết cấu tại từng bước thời gian cháy (thường chọn bước thời gian 30s hoặc 60s). Sau mỗi bước thời gian cháy, phải cập nhật nhiệt độ trong kết cấu, rồi cập nhật các chỉ tiêu cơ lý của vật liệu ứng với nhiệt độ xác định, rồi dùng các phương trình cân bằng cơ học để tính ứng suất- biến dạng.

Khung liên hợp thép - bê tông được mô phỏng bằng các phần tử loại dầm (beam) nối với nhau. Nút khung có thể được mô phỏng thành nút cứng, nửa cứng hoặc khớp. SAFIR phân tích phần tử dầm với các giả thuyết sau:

- Chuyển vị được tính trong hệ tọa độ dịch chuyển (co-rotational description);
- Mỗi phần tử gồm 3 nút: hai nút hai đầu gồm 2 chuyển vị thẳng và 1 chuyển vị xoay, nút giữa phần tử chỉ có chuyển vị dọc trục dùng để biểu diễn chuyển vị dọc trục dầm là phương trình bậc 2;
- Giả thuyết Bernoulli được sử dụng: tiết diện ngang vẫn phẳng khi chịu uốn;
- Giả thuyết Von Karman được sử dụng: biến dạng nhỏ;
- Góc xoay là nhỏ (lưu ý các phần tử được tính trong hệ tọa độ dịch chuyển);
- Dùng phương pháp Gauss' để tính tích phân dọc trục;
- Mặt cắt ngang được chia thành các phần tử nên mỗi phần tử dầm gồm các thớ song song. Mỗi thớ có thể là một loại vật liệu nên các tiết diện bê tông cốt thép hoặc liên hợp thép - bê tông có thể dễ dàng được mô phỏng.

Ở nghiên cứu này, mỗi cột hoặc dầm được chia thành nhiều phần tử (Hình 2. 3a). Mỗi phần tử là một thanh gồm các thớ song song, mỗi thớ có thể là một loại vật liệu (Hình 2. 3b). Chấp nhận giả thuyết mặt cắt phẳng Bernoulli, mỗi tiết diện được xác định vị trí bằng tọa độ trọng tâm và góc xoay của tiết diện. Dựa vào nguyên lý chập chuyển vị và các phương trình cân bằng, có thể xác định được biến dạng của từng thớ trên hai mặt cắt ngang của 2 điểm đầu một phần tử dầm.



Hình 2. 3 Mô hình tính cột bằng phần mềm SAFIR

Giả sử đã biết ứng suất, biến dạng ở mọi điểm trong kết cấu tại bước thời gian s (ứng với nhiệt độ T_s), ta sẽ tính được ứng suất biến dạng, tại bước thời gian $s+1$ (ứng với nhiệt độ T_{s+1}).

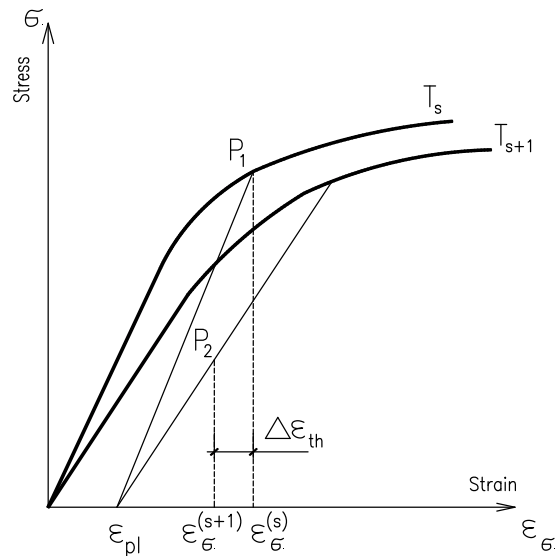
Các thông số đầu vào:

- Nhiệt độ T tại điểm tính toán;
- Biến dạng tổng tại bước lặp tính toán (thứ i) $\varepsilon_{tot}^{(i)}$;
- Biến dạng dẻo của bước thời gian trước đó $\varepsilon_{pl}^{(s)}$;
- Ứng suất đã tính ở bước thời gian trước đó $\sigma^{(s)}$.

Các thông số đầu ra:

- Biến dạng do nhiệt ở bước thời gian đang tính $\varepsilon_{th}^{(s+1)}$;
- Biến dạng dẻo của bước thời gian đang tính $\varepsilon_{pl}^{(s+1)}$;
- Ứng suất ở bước thời gian đang tính $\sigma^{(s+1)}$;
- Mô đun biến dạng của vật liệu ở bước thời gian đang tính $E_t^{(s+1)}$.

Các bước tính:



Hình 2. 4 Vòng lặp đầu tiên của quy trình tính toán tại bước thời gian $(s+1)$

1. Biến dạng do nhiệt $\Delta\varepsilon_{th}$ được tính toán dựa vào sự tăng nhiệt độ từ T_s lên T_{s+1} .
2. Các tính chất cơ lý của vật liệu (cường độ, độ cứng...) được cập nhật ứng với nhiệt độ mới. Đường quan hệ ứng suất - biến dạng cũng thay đổi khi nhiệt độ từ T_s lên T_{s+1} (xem Hình 2. 4).
3. Biến dạng dẻo ε_{pl} được giữ nguyên ở vòng tính đầu tiên của bước nhiệt độ T_{s+1} . Như vậy biến dạng tổng cũng không đổi. Tuy nhiên, vì có biến dạng do nhiệt $\Delta\varepsilon_{th}$ nên biến dạng liên quan đến ứng suất $\varepsilon_{\sigma}^{s+1}$ có thay đổi và được tính toán lại. Trong trường hợp nhiệt độ tăng thì $\Delta\varepsilon_{th}$ dương nên $\varepsilon_{\sigma}^{s+1}$ giảm so với ε_{σ}^s (xem Hình 2. 4).
4. Với giả thiết biến dạng dẻo ε_{pl} không đổi từ bước T_s sang vòng lặp đầu tiên của bước T_{s+1} nên trạng thái ứng suất biến dạng ứng với nhiệt độ T_{s+1} sẽ bắt đầu là điểm P2 trên (xem Hình 2. 4).
5. Với ứng suất mới này, nội lực nút và ngoại lực không cân bằng nữa. Sự chênh lệch này gọi là Tải trọng không cân bằng (out of balance force).
6. Tải trọng không cân bằng này gây thêm ứng suất, biến dạng cho kết cấu, làm thay đổi lực nút dẫn đến lại thay đổi giá trị tải trọng không cân bằng. Quá trình tính toán lặp lại bước 5 và 6 đến khi đạt giá trị hội tụ (cân bằng nút).
7. Giá trị biến dạng dẻo được cập nhật ứng với vòng lặp cuối cùng, khi điều kiện cân bằng nút đã đạt.

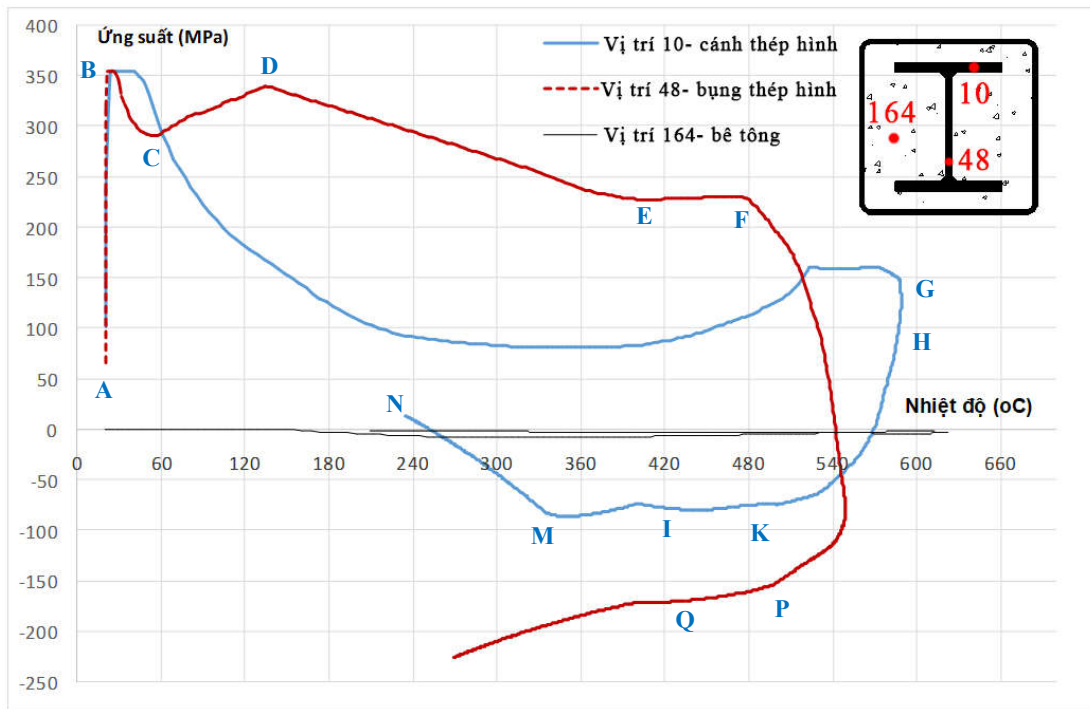
Tiêu chuẩn hội tụ được thiết lập dựa trên Energy Norm Rate (ERN). ERN được tính bằng tích số của sự gia tăng lực nút và gia tăng chuyển vị sau mỗi bước lặp. ERN của bước lặp hiện tại được so sánh với ERN của các vòng lặp trước đó. Khi tỉ số ERN của hai vòng lặp nhỏ hơn một giá trị mà người dùng đặt ra thì coi như hội tụ.

2.2 Sự thay đổi ứng suất-biến dạng của kết cấu trong điều kiện cháy

Sử dụng phần mềm SAFIR, một số cấu kiện dầm và cột liên hợp thép - bê tông đã được mô phỏng để khảo sát ứng suất – biến dạng trong quá trình chịu cháy. Các mô hình vật liệu bê tông và thép lấy theo mô hình sẵn có trong SAFIR, tuân theo tiêu chuẩn châu Âu. Kết quả khảo sát cho thấy biến dạng do nhiệt không đồng đều trong các vị trí của kết cấu làm thay đổi đáng kể biến dạng gây ứng suất trong kết cấu, làm cho các quy luật về ứng suất- biến dạng của kết cấu trong điều kiện cháy khác hẳn trong điều kiện nhiệt độ thường.

Ví dụ sau đây chỉ ra sự phức tạp của việc phân tích ứng suất- biến dạng của kết cấu liên hợp thép - bê tông trong đám cháy có kể đến giai đoạn giảm nhiệt. Phân tích cột liên hợp thép - bê tông có tiết diện như ở Hình 2. 5 và sơ đồ tính trên Hình 2. 3. Tiết diện cột gồm ống thép bao ngoài S260x6, thép hình bên trong HEB 200, bê tông nhồi giữa ống thép và thép hình bên trong. Tải trọng tác dụng lên cột không thay đổi trong suốt quá trình chịu cháy và bằng 50% tải trọng giới hạn của cột ở nhiệt độ thường. Tính ứng suất tại một số điểm trên tiết diện cột khi chịu nhiệt độ của đám cháy có giai đoạn giảm nhiệt (tăng nhiệt trong 142 phút rồi giảm), kết quả cho thấy có thể xảy ra các tình huống sau cho bất cứ một điểm nào trong tiết diện:

- Tăng ứng suất cùng với tăng nhiệt độ (đoạn CD);
- Giảm ứng suất cùng với tăng nhiệt độ (đoạn DE);
- Ứng suất gần như không đổi và tăng nhiệt độ (đoạn EF);
- Tăng ứng suất khi nhiệt độ không đổi (đoạn AB);
- Giảm ứng suất và giảm nhiệt độ (đoạn MN).
- Giảm ứng suất trong khi nhiệt độ không đổi (đoạn GH);
- Ứng suất gần như không đổi và giảm nhiệt độ (đoạn IK);
- Tăng ứng suất và giảm nhiệt độ (đoạn PQ).



Hình 2. 5 Sự thay đổi nhiệt độ, ứng suất trên các phần của cột trong quá trình chịu đám cháy tự nhiên

Với một mô hình kết cấu đơn giản (cột 2 đầu khớp, tải trọng không đổi trong suốt quá trình chịu cháy) mà ứng suất- nhiệt độ trong kết cấu còn phức tạp như vậy thì trong một mô hình kết cấu thực khi có sự thay đổi nội lực, chuyển vị, độ cứng, liên kết.vv...thì sự phức tạp còn tăng gấp bội.

Câu hỏi đặt ra là liệu mô hình vật liệu đang dùng trong phần mềm SAFIR có phù hợp để mô phỏng kết cấu trong đám cháy có cả giai đoạn tăng nhiệt và giảm nhiệt.

Mục 2.3 nêu các mô hình ứng suất- biến dạng của vật liệu trong điều kiện nhiệt độ cao đã được đề xuất từ các nghiên cứu khác và lựa chọn mô hình để đưa vào lập trình tính toán trong phần mềm phân tích kết cấu trong điều kiện cháy SAFIR khi mô phỏng kết cấu trong đám cháy.

2.3 Lựa chọn mô hình vật liệu

Về tính chất cơ học và nhiệt học của vật liệu bê tông và thép, đã có nhiều nghiên cứu trước đây công bố kết quả như [24], [25], [30], [39], [84], [110], [113].

Dựa vào các nghiên cứu đó, các mô hình ứng xử của vật liệu đã được đề xuất dưới dạng các công thức để phục vụ cho việc mô phỏng số bằng các phần mềm tiên tiến.

Các mô hình toán học cho vật liệu thép đã được nhiều nghiên cứu kiểm chứng và đồng thuận, song mô hình toán học cho vật liệu bê tông được chia làm hai dạng mà mỗi dạng cho kết quả mô phỏng khác nhau đáng kể [65].

Phần sau sẽ trình bày chi tiết các mô hình vật liệu theo tiêu chuẩn châu Âu và lựa chọn mô hình dùng cho vật liệu bê tông phù hợp với mô phỏng kết cấu trong điều kiện cháy có kể đến giai đoạn giảm nhiệt.

2.3.1 Mô hình vật liệu thép

Biến dạng của thép trong điều kiện nhiệt độ cao chịu tải trọng gồm hai thành phần

$$\varepsilon_{tot} = \varepsilon_{th} + \varepsilon_{\sigma} \quad (2.2)$$

ε_{tot} : biến dạng tổng (total);

ε_{th} : biến dạng tự do do nhiệt độ (free thermal strain);

ε_{σ} : biến dạng do lực (stress-related strain).

- *Biến dạng tự do do nhiệt độ* ε_{th} được xác định theo công thức đề xuất trong EN1994-1-2, phụ thuộc vào nhiệt độ:

Độ giãn dài tương đối $\Delta l/l$ của cấu kiện ở nhiệt độ từ $20^{\circ}C$ đến $750^{\circ}C$ là một hàm theo tham số nhiệt độ:

$$\Delta l/l = 1,2 \cdot 10^{-5} \theta_a + 0,4 \cdot 10^{-8} \theta_a^2 - 2,416 \cdot 10^{-4} \quad (2.3)$$

trong đó:

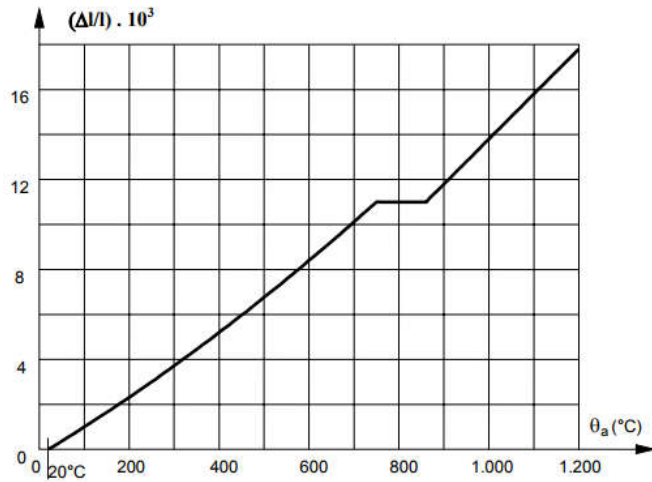
l : chiều dài ban đầu ở nhiệt độ $20^{\circ}C$ của cấu kiện khảo sát;

Δl : biến dạng tự do do nhiệt của cấu kiện;

θ_a : là nhiệt độ của thép tại thời điểm khảo sát ($^{\circ}C$).

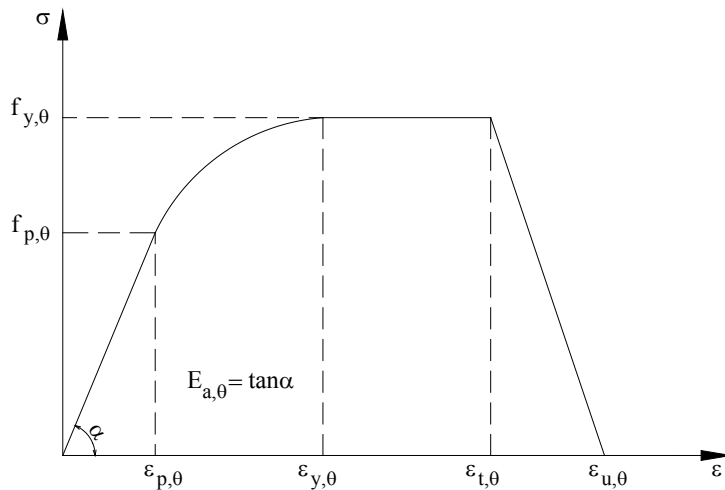
Khi $750^{\circ} \leq \theta_a \leq 860^{\circ}$ thì $\Delta l/l = 1,1 \cdot 10^{-2}$

Khi $860^{\circ} < \theta_a \leq 1200^{\circ}$ thì $\Delta l/l = 2 \cdot 10^{-5} \theta_a - 6,2 \cdot 10^{-3}$



Hình 2. 6 Sự biến thiên độ giãn dài của thép theo nhiệt độ [55]

- Biến dạng do lực ε_σ được cho bằng các công thức trong [56], như Bảng 2.1



Hình 2. 7 Các thông số đặc trưng cho trạng thái làm việc của vật liệu thép ở một nhiệt độ θ cho trước [56]

trong đó:

$f_{p,\theta}$: giới hạn tỷ lệ; $f_{y,\theta}$: giới hạn chảy;

$E_{a,\theta}$: độ dốc của đồ thị trong giai đoạn đàn hồi tuyến tính;

$\varepsilon_{p,\theta}$: biến dạng ứng với giai đoạn tỷ lệ; $\varepsilon_{y,\theta}$: biến dạng tương ứng giới hạn chảy;

$\varepsilon_{t,\theta}$: biến dạng giới hạn trong giai đoạn chảy; $\varepsilon_{u,\theta}$: biến dạng cực hạn trong vật liệu;

a, b, c: hệ số được tính toán trong Bảng 2. 1.

Bảng 2. 1 Quan hệ ứng suất- biến dạng của vật liệu thép ở điều kiện nhiệt độ cao ứng với các giai đoạn như Hình 2. 7

Các giai đoạn biến dạng	Ứng suất σ	Mô đun tiếp tuyến
I/ Đàn hồi $\varepsilon \leq \varepsilon_{p,\theta}$	$E_{\theta}\varepsilon_{\theta}$	E_{θ}
II/ Đàn hồi – Dẻo $\varepsilon_{p,\theta} \leq \varepsilon$ $\varepsilon \leq \varepsilon_{y,\theta}$	$(f_{p,\theta} - c) + \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{\theta})^2}$ <p>với</p> $a^2 = (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta})(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta} + c / E_{\theta})$ $b^2 = E_{a,\theta}(\varepsilon_{ay,\theta} - \varepsilon_{ap,\theta})c + c^2$ $c = \frac{(f_{y,\theta} - f_{p,\theta})^2}{E_{\theta}(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) - 2(f_{y,\theta} - f_{p,\theta})}$	$\frac{b(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{\theta})}{a\sqrt{a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{\theta})^2}}$
III/ Dẻo $\varepsilon_{y,\theta} \leq \varepsilon$ $\varepsilon \leq \varepsilon_{u,\theta}$	$f_{y,\theta}$	0

Bảng 2. 2 Giá trị các hệ số suy giảm mô đun đàn hồi, giới hạn chảy và giới hạn tỉ lệ của vật liệu thép ở nhiệt độ θ

Nhiệt độ θ ($^{\circ}\text{C}$)	$k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$	$k_{y,\theta} = f_{ay,\theta} / f_{ay}$ $k_{u,\theta} = f_{au,\theta} / f_{ay}$	$k_{p,\theta} = f_{ap,\theta} / f_{ap}$
20	1.0000	1.00	1.0000
100	1.0000	1.00	1.0000
200	0.9000	1.00	0.8070
300	0.8000	1.00	0.6130
400	0.7000	1.00	0.4200
500	0.6000	0.78	0.3600
600	0.3100	0.47	0.1800
700	0.1300	0.23	0.0750
800	0.0900	0.11	0.0500
900	0.0675	0.06	0.0375
1000	0.0450	0.04	0.0250
1100	0.0225	0.02	0.0125
1200	0.0000	0.00	0.0000

trong đó các giá trị ở điều kiện nhiệt độ thường là:

f_{ap} : giới hạn chảy tỉ lệ; f_{ay} : giới hạn chảy; E_a : mô đun đàn hồi của thép.

2.3.2 Mô hình vật liệu bê tông

Biến dạng của bê tông (ε_{α}) trong điều kiện nhiệt độ cao và chịu tải trọng gồm các thành phần sau [24]:

$$\varepsilon_{tot} = \varepsilon_{th} + \varepsilon_{\sigma} + \varepsilon_{tr} + \varepsilon_{cr} \quad (2.4)$$

ε_{th} : biến dạng do nhiệt độ (free thermal strain);

ε_{σ} : biến dạng do lực (stress-related strain);

ε_{tr} là biến dạng từ biến nhanh (transient creep strain);

ε_{cr} : biến dạng từ biến (creep);

- Biến dạng do nhiệt độ ε_{th} phụ thuộc rất nhiều vào loại cốt liệu làm bê tông và thay đổi theo nhiệt độ nên được viết là hàm của nhiệt độ có hệ số khác nhau cho loại bê

tông cốt liệu đá canxit và đá silic. Trong nghiên cứu này, biến dạng do nhiệt độ ε_{θ} được lấy theo công thức đề xuất trong tiêu chuẩn châu Âu [54], phụ thuộc vào nhiệt độ:

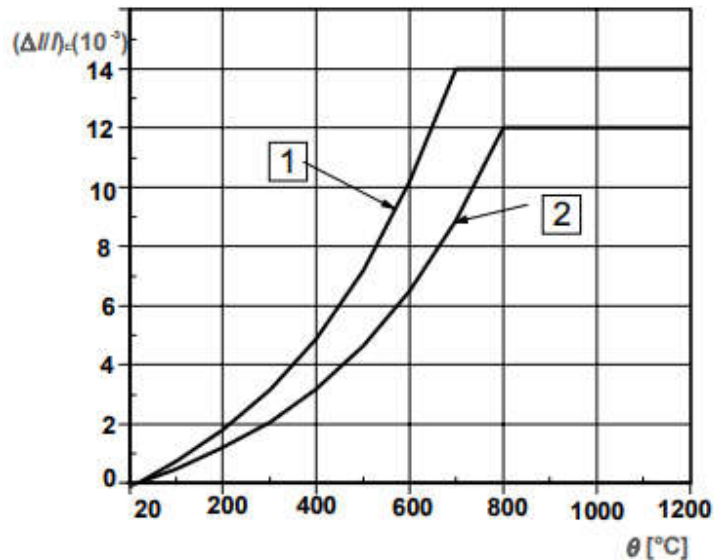
với bê tông cốt liệu đá silic:

$$\begin{aligned} \varepsilon_C(\theta) &= -1,8 \cdot 10^{-4} + 9 \cdot 10^{-6} \theta + 2,3 \cdot 10^{-11} \theta^3 \quad \text{khi } 20^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 700^{\circ}\text{C} \\ \varepsilon_C(\theta) &= 14 \cdot 10^{-3} \quad \text{khi } 700^{\circ}\text{C} < \theta \leq 1200^{\circ}\text{C} \end{aligned} \quad (2.5)$$

với bê tông cốt liệu đá canxit :

$$\begin{aligned} \varepsilon_C(\theta) &= -1,2 \cdot 10^{-4} + 6 \cdot 10^{-6} \theta + 1,4 \cdot 10^{-11} \theta^3 \quad \text{khi } 20^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 805^{\circ}\text{C} \\ \varepsilon_C(\theta) &= 12 \cdot 10^{-3} \quad \text{khi } 805^{\circ}\text{C} < \theta \leq 1200^{\circ}\text{C} \end{aligned} \quad (2.6)$$

trong đó $\theta(^{\circ}\text{C})$



Đường 1: Bê tông cốt liệu đá silic; Đường 2: Bê tông cốt liệu đá canxit ;

Hình 2. 8 Biến dạng do nhiệt độ của bê tông cốt liệu đá silic và cốt liệu đá canxit

- Biến dạng do lực ε_{σ} : biến dạng liên quan đến ứng suất thường được biểu diễn bằng các công thức toán học.

- *Biến dạng từ biến* ϵ_{α} : Biến dạng từ biến là biến dạng theo thời gian khi giữ nguyên nhiệt độ và ứng suất trong vật liệu. Trong điều kiện cháy, biến dạng từ biến rất nhỏ so với các biến dạng khác nên được bỏ qua [84].

- *Biến dạng từ biến nhanh* ϵ_{tr} hay biến dạng nhiệt tức thời (transient creep strain) của bê tông, biến dạng này xảy ra ở lần đầu tiên bê tông bị nung nóng khi đã chịu ứng suất nén. Biến dạng từ biến nhanh ở đây được định nghĩa là sự chênh lệch biến dạng của bê tông khi thí nghiệm chất tải trước rồi mới nung nóng và biến dạng khi thí nghiệm nung nóng trước rồi mới chất tải. Biến dạng này xảy ra ở lần đầu tiên vật liệu bị nung nóng và không thể phục hồi [24]. Thực chất, từ biến nhanh không phụ thuộc vào thời gian nên cách đặt tên là "từ biến nhanh" không được phù hợp lắm nhưng nó đã được đặt như vậy trong các nghiên cứu từ trước. Law 2008 [82] đã gọi biến dạng từ biến nhanh là biến dạng nhiệt gây ra bởi tải trọng (Load Induced Thermal Stress LITS). Cách gọi này sát với ý nghĩa của biến dạng hơn nhưng ít được dùng. Trong luận án này biến dạng từ biến nhanh còn được gọi là *biến dạng nhiệt tức thời*.

Các thí nghiệm đo biến dạng tổng ϵ_{α} của mẫu vật liệu bê tông ở điều kiện nhiệt độ cao được tiến hành theo một trong hai cách sau:

+ Cách 1 gọi là steady state test: nung nóng mẫu thử đến nhiệt độ yêu cầu rồi tác dụng lực để đo biến dạng;

+ Cách 2 gọi là transient state test: tác dụng lực lên mẫu thử để đạt ứng suất yêu cầu rồi nung nóng mẫu thử để đo biến dạng thay đổi theo nhiệt độ.

Hai cách thí nghiệm mẫu thử cho kết quả biến dạng khác nhau dù ứng suất và nhiệt độ như nhau. Thực tế, kết cấu thường chịu tải rồi mới bị cháy nên biến dạng đo được trong thí nghiệm transient state đúng với kết cấu hơn. Thí nghiệm steady state cho trực tiếp đường quan hệ ứng suất-biến dạng ở nhiệt độ cao, trong khi thí nghiệm transient state chỉ cho một giá trị ứng suất ứng với biến dạng thay đổi theo nhiệt độ.

Tiêu chuẩn châu Âu hiện hành EN 1992-1-2 (2004) [54] dựa vào các thí nghiệm, để xây dựng mô hình toán học liên hệ giữa ứng suất và biến dạng của vật

liệu bê tông ở nhiệt độ cao và đưa ra mô hình tích hợp biến dạng nhiệt tức thời vào biến dạng do lực (implicit model) như trình bày dưới đây.

Biến dạng của bê tông trong nhiệt độ cao được tính như sau:

$$\varepsilon_{tot} = \varepsilon_{th} + \varepsilon_m + \varepsilon_{\alpha} \quad (2.7)$$

trong đó: ε_{tot} : biến dạng tổng (total);

ε_{th} : biến dạng tự do do nhiệt độ;

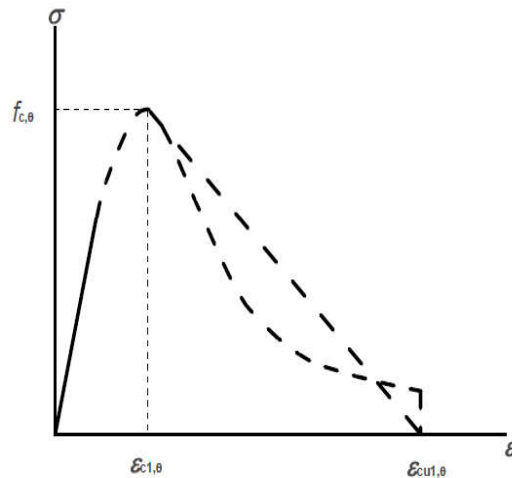
ε_m : biến dạng cơ học (mechanical);

ε_{α} : biến dạng từ biến, rất nhỏ so với các biến dạng

khác trong điều kiện nhiệt độ cao nên bỏ qua.

$\varepsilon_m = \varepsilon_{\sigma} + \varepsilon_{tr}$ trong đó ε_{σ} là biến dạng do lực và ε_{tr} là biến dạng nhiệt tức thời tức là biến dạng nhiệt tức thời đã được kê chung vào biến dạng do lực và gọi chung là biến dạng cơ học.

Tiêu chuẩn châu Âu EN 1992-1-2 (2004) [54] đưa ra công thức toán học liên hệ giữa biến dạng cơ học và ứng suất như sau:



Hình 2. 9 Mô hình toán học biểu diễn quan hệ ứng suất – biến dạng của bê tông chịu nén ở nhiệt độ cao.

Nhánh đi lên :

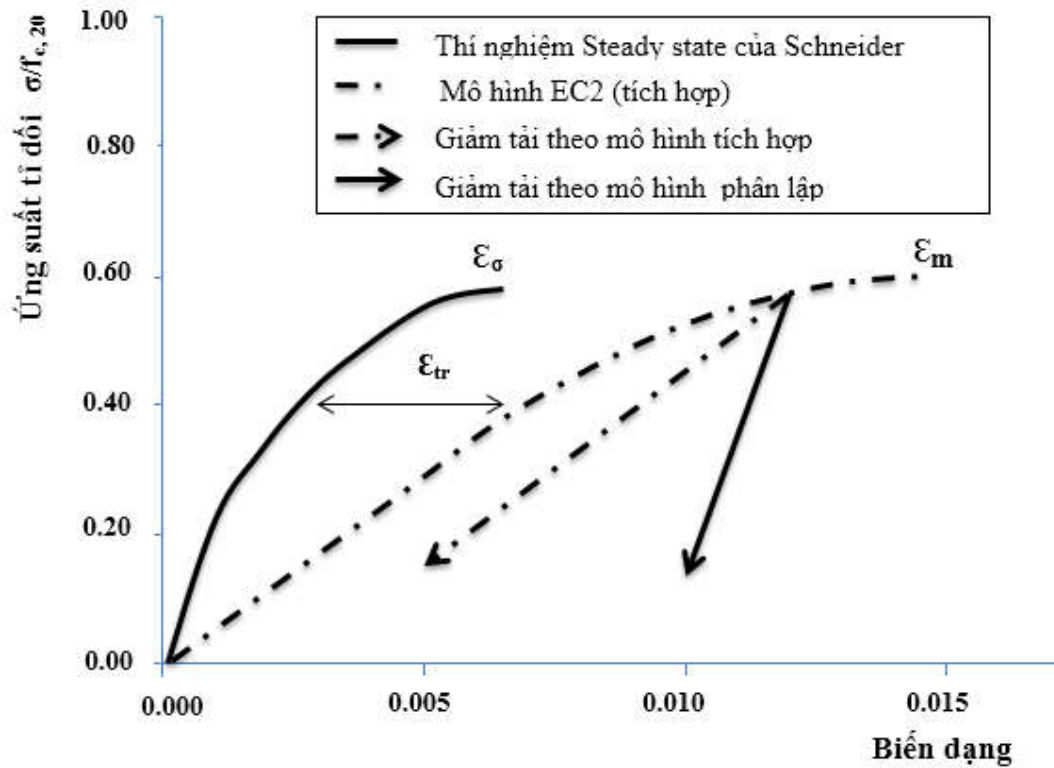
$$\sigma = \frac{3\varepsilon f_{c,\theta}}{\varepsilon_{cl,\theta} \left(2 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{cl,\theta}} \right)^3 \right)} \quad (2.8)$$

$f_{c,\theta}$, $\varepsilon_{cl,\theta}$ và $\varepsilon_{clu,\theta}$ phụ thuộc vào nhiệt độ θ được tra theo bảng trong tiêu chuẩn châu Âu [54].

Nhánh đi xuống có thể tính phi tuyến, tuyến tính hoặc bỏ qua. Trong phần mềm SAFIR, nhánh đi xuống được coi là tuyến tính.

Nghiên cứu của Law 2008 [82] và Gernay 2012 [65] chỉ ra rằng, dùng mô hình tích hợp nêu trên làm sai lệch đáng kể kết quả phân tích ứng suất - biến dạng của kết cấu khi có sự giảm ứng suất trong kết cấu (Hình 2. 10). Lý do là biến dạng nhiệt tức thời không thể phục hồi khi giảm ứng suất, còn biến dạng do lực thì có thể phục hồi một phần khi giảm ứng suất. Việc gộp biến dạng do lực ε_σ và biến dạng nhiệt tức thời ε_T thành biến dạng cơ học ε_m sẽ làm sai kết quả tính khi có giảm ứng suất trong kết cấu.

Do vậy, luận án đặt vấn đề tìm hiểu các nghiên cứu đã kể riêng biến dạng nhiệt tức thời và biến dạng do lực như viết trong mô hình phân lập (explicit model) sau đây.



Hình 2. 10 Biến dạng khi giảm ứng suất trong mô hình tích hợp (implicit model) và mô hình phân lập (explicit model) [65]

Biến dạng của bê tông được tính như công thức (2.4):

$$\varepsilon_{tot} = \varepsilon_{th} + \varepsilon_{\sigma} + \varepsilon_{tr} + \varepsilon_{cr}$$

trong đó:

ε_{tot} : biến dạng tổng (total);

ε_{th} : Biến dạng tự do do nhiệt độ (free thermal strain);

ε_{σ} : biến dạng do lực (stress-related strain);

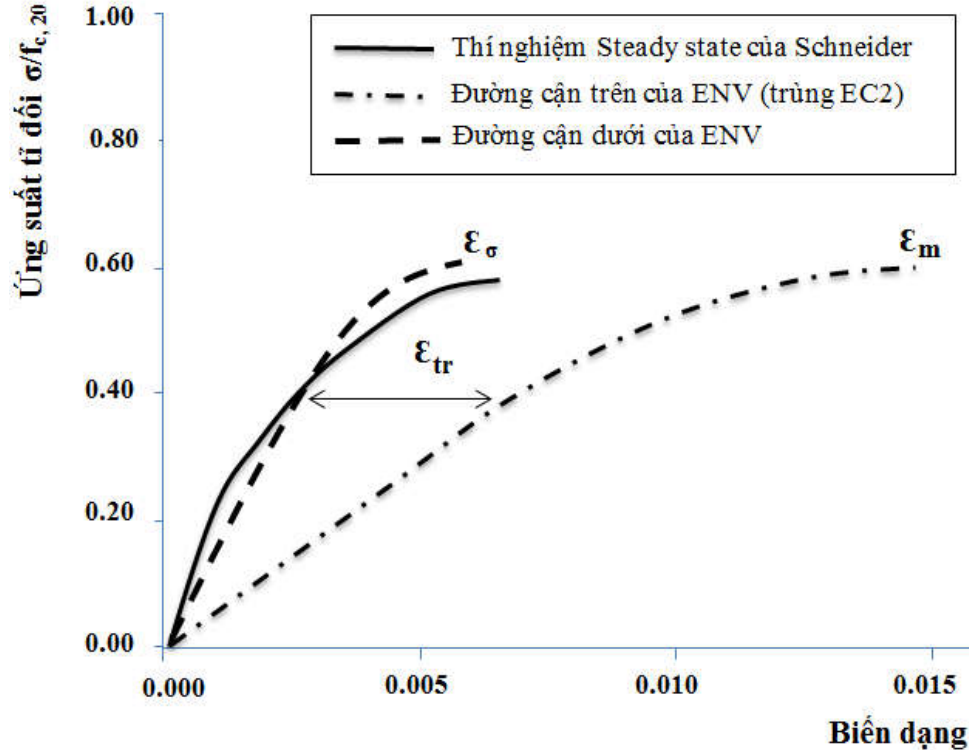
$\varepsilon_{\sigma} = \varepsilon_{el} + \varepsilon_p$ trong đó ε_{el} là biến dạng đàn hồi và ε_p là biến dạng dẻo được viết

bằng biểu thức toán học liên quan đến ứng suất;

ε_{tr} : biến dạng nhiệt tức thời (transient creep strain);

ε_{cr} : biến dạng từ biến (creep);

Mô hình phân lập kể riêng biến dạng nhiệt tức thời như một hàm của các thông số khác. Mô hình phân lập được dùng trong một số nghiên cứu như [24], [84], [109].



Hình 2.11 So sánh ứng suất- biến dạng ở 500°C của hai mô hình với kết quả thí nghiệm [65]

Trong phiên bản trước của tiêu chuẩn Eurocodes ENV 1992 [57], quan hệ ứng suất- biến dạng của bê tông ở điều kiện nhiệt độ cao được chọn trong đường cận dưới (lower limit) và đường cận trên (upper limit). Đường cận trên dùng cho trường hợp đã kể đến từ biến nhanh, tức là biến dạng do lực và biến dạng nhiệt tức thời được gộp lại thành biến dạng cơ học giống như trong tiêu chuẩn hiện hành của châu Âu (EC2). Đường cận dưới không kể đến biến dạng nhiệt tức thời. Vậy chênh lệch biến dạng tính theo hai đường cận trên và cận dưới chính là biến dạng nhiệt tức thời ϵ_{tr} . So sánh kết quả tính theo hai đường cận trên cận dưới của ENV và kết quả thí nghiệm trong nghiên cứu của Schneider cũng chỉ ra điều đó (Hình 2.11).

Có một số công thức đề xuất tính biến dạng nhiệt tức thời như sau:

- Mô hình của Anderberg và Thelandesson's (1976) [24]:

$$\varepsilon_{tr} = k_2 \frac{\sigma}{f_{c,20}} \varepsilon_{th}; \quad T \leq 500^\circ C \quad (2.9)$$

$$\varepsilon_{tr} = 0,1 \times 10^{-3} \frac{\sigma}{f_{c,20}} T; \quad 500^\circ C \leq T \leq 800^\circ C \quad (2.10)$$

k_2 là hệ số phụ thuộc vào thành phần của bê tông. Dựa trên kết quả thí nghiệm, Anderberg và Thelandesson's đưa ra k_2 thay đổi từ 1.8 đến 2.35 cho bê tông cốt liệu thạch anh (quartzite).

- Mô hình của Shneider (1988) [110], từ biến nhanh và từ biến ban đầu do co ngót và khô cứng bê tông được tính chung thành $\varepsilon_{tr,cr}$. $\varepsilon_{tr,cr}$ có quan hệ tới mô đun đàn hồi của bê tông ở điều kiện thường E20, ứng suất trong bê tông σ , nhiệt độ T:

$$\varepsilon_{tr,cr} = \frac{\Phi}{E_{20} \times f(T) \times g(\sigma, T)} \sigma \quad (2.11)$$

$f(T)$ là hàm số kể tới sự ảnh hưởng của nhiệt độ tới mô đun đàn hồi; $g(\sigma, T)$ là hàm số kể tới sự tăng biến dạng đàn hồi do có ứng suất σ trong bê tông; Φ là hệ số thực nghiệm kể tới từ biến.

- Mô hình của Nielsen et al. (2002) [95] cho rằng, biến dạng nhiệt tức thời tỉ lệ bậc nhất với nhiệt độ và không phân biệt loại cốt liệu làm bê tông:

$$\varepsilon_{tr} = \beta \frac{\sigma}{f_{c,20}} T \quad (2.12)$$

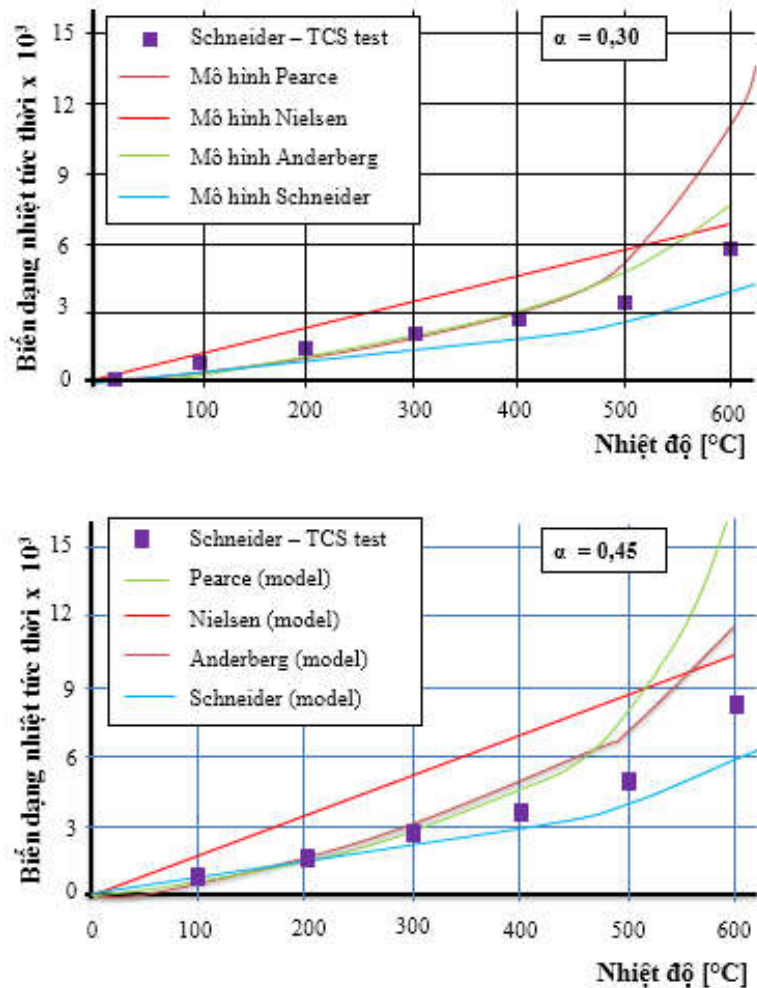
trong đó $\beta = 0.38 \times 10^{-4}$, $f_{c,20}$ là cường độ của bê tông ở nhiệt độ thường.

- Mô hình của Pearce et al. (2004) [99]. Do thực nghiệm chỉ ra quan hệ giữa từ biến nhanh và nhiệt độ không phải là bậc nhất khi nhiệt độ vượt quá $500^\circ C$ nên Pearce et al. đã cải tiến mô hình của Nielsen với thông số β không phải là hằng số mà phụ thuộc vào nhiệt độ:

$$\beta = 0,01 \times \begin{cases} 2A \times \bar{T} + B & ; 0 < \bar{T} < \bar{T}^* \\ 2C (\bar{T} - \bar{T}^* + 2A \times \bar{T} + B) & ; T \geq \bar{T}^* \end{cases} \quad (2.13)$$

trong đó $\bar{T} = (T - 20)/100$, $\bar{T}^* = 0.45$ (ứng với nhiệt độ $470^\circ C$) là giá trị chuyển tiếp giữa 2 công thức. Các hệ số A, B, C xác định từ công thức thực nghiệm nằm trong đường cận trên (A=0.04%, B=0.10%, C=0.7%) và đường cận dưới (A=0.06%, B=0.15%, C=1.00%).

Trong các mô hình kể trên, mô hình của Schneider [110] kể tới đầy đủ nhất các thông số quan trọng ảnh hưởng tới giá trị của từ biến nhanh. Tuy nhiên, mô hình đó phức tạp và nhiều thông số dựa vào kết quả thực nghiệm còn hạn chế về số lượng [65]. So sánh các mô hình kể trên với kết quả thí nghiệm trong nghiên cứu của Schneider được thể hiện ở Hình 2. 12 cho thấy, mô hình của Schneider gần với kết quả thí nghiệm hơn cả. Trong đó α là tỉ số ứng suất nén trong mẫu thử trên cường độ chịu nén của mẫu ở nhiệt độ thường.



Hình 2. 12 So sánh kết quả thí nghiệm của (Schneider1988) với kết quả tính theo một số mô hình [65]

Có thể thấy mô hình đang dùng trong tiêu chuẩn châu Âu hiện hành EC2 (mô hình tích hợp) tồn tại vấn đề: Biến dạng nhiệt tức thời được gộp vào cùng biến dạng

do lực nên khi kể tới trường hợp giảm ứng suất trong kết cấu (unloading phase) thì việc kể tới cả biến nhiệt tức thời có thể phục hồi gây ra kết quả tính sai lệch nhiều (Hình 2. 10).

Như vậy, khi phân tích kết cấu trong điều kiện cháy, đặc biệt là có kể đến giai đoạn giảm nhiệt có các giai đoạn giảm ứng suất thì mô hình tích hợp không còn phù hợp. Gernay 2013 [67] đã đề xuất một mô hình vật liệu bê tông theo mô hình phân lập (explicit model), trong đó tách riêng biến dạng nhiệt tức thời và biến dạng do lực như công thức (2.7):

$$\varepsilon_{tot} = \varepsilon_{th} + \varepsilon_{\sigma} + \varepsilon_{tr}$$

ε_{th} : biến dạng tự do do nhiệt độ lấy theo công thức trong tiêu chuẩn châu Âu [54], giống như trong mô hình tích hợp.

ε_{σ} : biến dạng do lực lấy theo công thức đã được diễn giải trong một số công bố của Gernay T. [65], [66] như sau:

$$\frac{\sigma}{f_{c,T}} = \frac{2\varepsilon_{\sigma}}{\varepsilon_{c1,ETC} \left[1 + \left(\frac{\varepsilon_{\sigma}}{\varepsilon_{c1,ETC}} \right)^2 \right]} \quad (2.14)$$

Bảng 2. 3 Các giá trị biến dạng trong bê tông theo mô hình ETC

T (°C)	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$\varepsilon_{c1,ETC}$	0.0025	0.0030	0.0038	0.0050	0.0063	0.0087	0.0127	0.0133	0.0140	0.0150
$\varepsilon_{c0,ETC}$	0.0200	0.0215	0.0233	0.0255	0.0263	0.0263	0.0227	0.0258	0.0290	0.0325

$\varepsilon_{c1,ETC}$: là biến dạng tại đỉnh của đường cong ứng suất biến dạng;

$\varepsilon_{c0,ETC}$: là biến dạng tại điểm cuối của đường cong ứng suất biến dạng.

ε_{tr} là biến dạng nhiệt tức thời:

$$\varepsilon_{tr} = \phi(T) \frac{\sigma}{f_{c,20}} \quad (2.15)$$

σ là ứng suất trong bê tông; $f_{c,20}$ là cường độ của bê tông ở nhiệt độ thường; $\phi(T)$ là hàm số phi tuyến; phụ thuộc vào nhiệt độ thông qua các giá trị biến dạng và cường độ của bê tông ở nhiệt độ T:

$$\phi(T) = \frac{2}{3} \frac{\varepsilon_{c1,EC2} - \varepsilon_{c1,min}}{f_{c,T}/f_{c,20}} \quad (2.16)$$

Biến dạng tại đỉnh của đường cong ứng suất- biến dạng viết tắt là PSS (peak stress strain) đã được cho thành bảng tra trong tiêu chuẩn châu Âu.

$\varepsilon_{c1,EC2}$ là PSS của bê tông theo tiêu chuẩn hiện hành EC2 (dùng mô hình tích hợp)

$\varepsilon_{c1,min}$ là PSS của bê tông theo tiêu chuẩn phiên bản trước ENV 1992-1-2 [57] và dùng giá trị của đường thấp nhất (đường lower bound chưa kể tới biến dạng nhiệt tức thời).

$f_{c,T}$ là cường độ của bê tông ở nhiệt độ T.

Các giá trị của $\phi(T)$ đã được tính toán dựa trên công thức của tiêu chuẩn châu Âu phiên bản trước ENV và phiên bản hiện hành EN như Bảng 2. 4. Luận án này chỉ giới hạn viết cho vật liệu bê tông cốt liệu đá canxit là loại bê tông phổ biến dùng cho công trình xây dựng ở Việt Nam.

Bảng 2. 4 Các giá trị của $\phi(T)$ theo mô hình CONC- ETC

T(°C)	$\varepsilon_{c1,min}$	$\varepsilon_{c1,EC2}$	Bê tông cốt liệu canxit	
			$f_{c,T}/f_{c,20}$	ϕ
20	0.0025	0.0025	1.00	0.0000
100	0.0025	0.0040	1.00	0.0010
200	0.0030	0.0055	0.97	0.0017
300	0.0040	0.0070	0.91	0.0022
400	0.0045	0.0100	0.85	0.0043
500	0.0055	0.0150	0.74	0.0086
600	0.0065	0.0250	0.60	0.0206
700	0.0075	0.0250	0.43	0.0271
800	0.0085	0.0250	0.27	0.0407
900	0.0100	0.0250	0.15	0.0667
1000	0.0100	0.0250	0.06	0.1667

Nghiên cứu này đưa mô hình phân lập của vật liệu bê tông vào phần mềm phân tích kết cấu SAFIR. Đó là mô hình CONC-ETC dùng cho bê tông.

2.4 Xây dựng thuật toán và lập trình

Bước phân tích nhiệt đã được tính trước dựa theo phương trình truyền nhiệt như đã trình bày ở mục 2.1. Sau đây trình bày cách tính ứng suất- biến dạng của kết cấu được cấu thành từ các phần tử loại dầm khi đã biết nhiệt độ trong kết cấu.

Các thuật toán và chương trình tính đã được viết trong phần mềm SAFIR và trình bày ở mục 2.1. Đóng góp của luận án này là thêm vào một loại vật liệu CONC-ETC.

Ở mô hình bê tông đề xuất CONC-ETC, biến dạng nhiệt tức thời được tách ra khỏi biến dạng cơ học nên không phục hồi sau các bước thời gian và không tính trong các vòng lặp. Cụ thể các công thức tính như sau:

Tính biến dạng do nhiệt trực tiếp từ công thức liên quan đến nhiệt độ T ở thời điểm $s+1$:

$$\varepsilon_{tot}^{(s+1)} = f(T^{(s+1)}) \quad (2.17)$$

Tính biến dạng nhiệt tức thời bằng công thức trong đó $\phi(T^{(s)})$ và $\phi(T^{(s+1)})$ từ Bảng 2.4:

$$\varepsilon_{tr}^{(s+1)} = \varepsilon_{tr}^s + \left[\phi(T^{(s+1)}) - \phi(T^{(s)}) \right] \frac{\sigma^{(s)}}{f_{c,20}} \quad (2.18)$$

Biến dạng do lực được tính từ công thức:

$$\varepsilon_{\sigma}^{(s+1)} = \varepsilon_{tot}^{(s+1)} - \varepsilon_{th}^{(s+1)} - \varepsilon_{tr}^{(s+1)} \quad (2.19)$$

Tuy nhiên, $\varepsilon_{tot}^{(s+1)}$ chưa tính được bằng một bước tính mà phải tính lặp: ở mỗi thời điểm $s+1$ cần tính i bước lặp: tính $\Delta\varepsilon_{tot}^{(i+1)}$ ở mỗi vòng lặp dựa vào chuyển vị nút rồi tính $\varepsilon_{tot}^{(i+1)}$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{tot}^{(i+1)} &= \varepsilon_{tot}^{(s)} + \varepsilon_{tot}^{(i+1)} \\ \varepsilon_{\sigma}^{(i+1)} &= \varepsilon_{tot}^{i+1} - \varepsilon_{th}^{(s+1)} - \varepsilon_{tr}^{(s+1)} \end{aligned} \quad (2.20)$$

Có $\varepsilon_{\sigma}^{(i+1)}$ tính $\sigma^{(i+1)}$ bằng phương trình quan hệ ứng suất- biến dạng:

$$\frac{\sigma}{f_{c,T}} = \frac{2\varepsilon_{\sigma}}{\varepsilon_{c1,ETC} \left[1 + \left(\frac{\varepsilon_{\sigma}}{\varepsilon_{c1,ETC}} \right)^2 \right]} \quad (2.21)$$

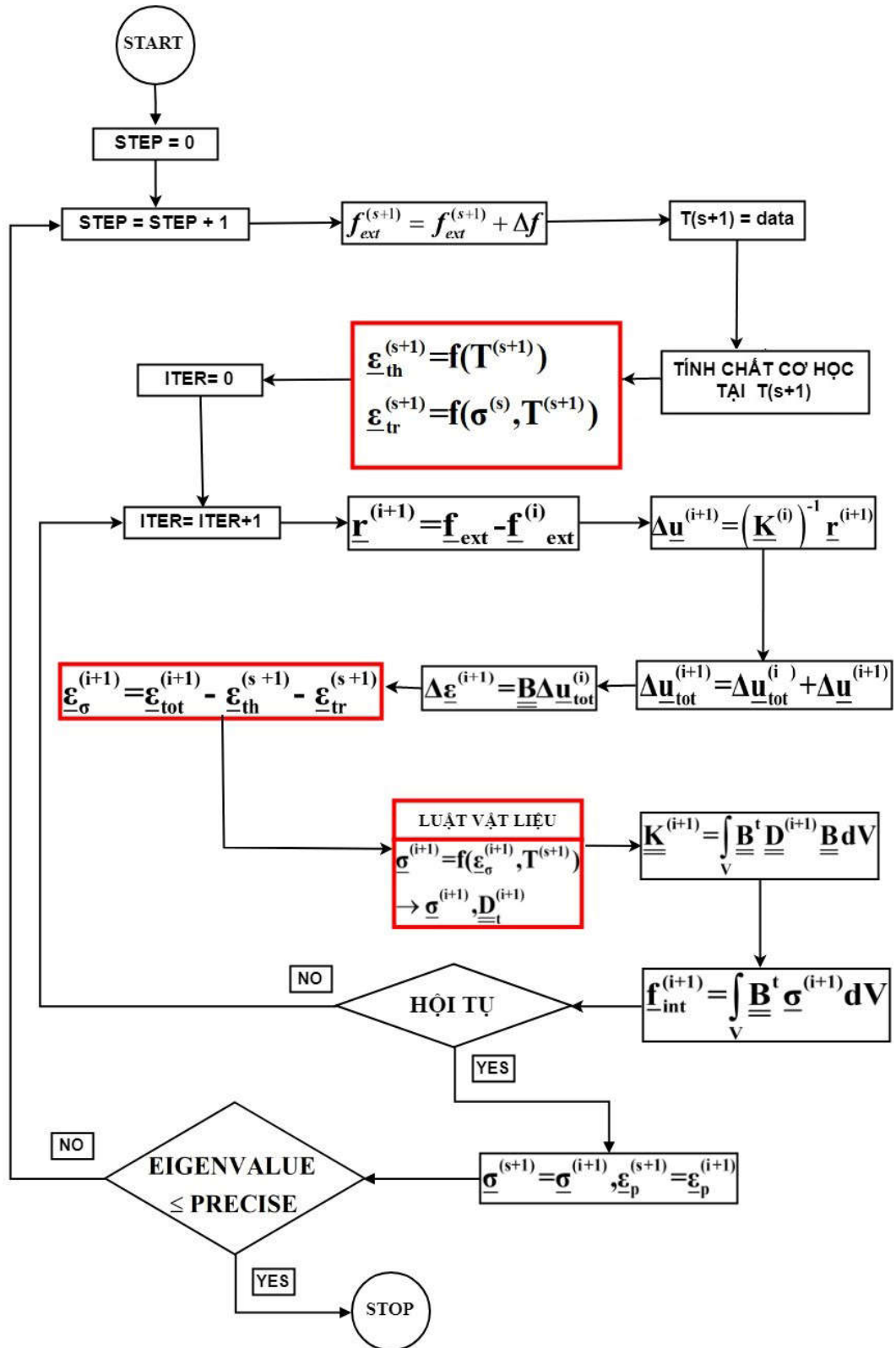
Kiểm tra điều kiện cân bằng nút, nếu đạt tiêu chuẩn hội tụ thì dừng, không thì tiếp tục tính lặp.

Sơ đồ khối của chương trình trình bày ở Hình 2. 13.

Kết cấu được tính từ thời điểm bắt đầu cháy rồi tính tại từng bước thời gian cháy xác định. Chương trình sẽ dừng khi một trong hai điều kiện sau xảy ra:

- Thời gian cháy đạt đến thời gian lớn nhất do người dùng tự đặt;
- Ma trận độ cứng có giá trị riêng tiến tới 0 (nhỏ hơn giá trị rất bé do người dùng tự đặt, thường lấy giá trị này là 10^{-3}). Lúc đó kết cấu coi như bị phá hoại.

Các chương trình tính đã được Franssen viết trong phần mềm SAFIR [61]. Đóng góp của luận án này là tính thêm ε_r và thêm các công thức toán học liên hệ giữa σ và ε_{σ} trong khối viên đồ của sơ đồ khối cho loại vật liệu CONC-ETC. Chương trình được viết bằng ngôn ngữ lập trình Fortran. Các chương trình con được sửa để thêm loại vật liệu CONC-ETC rồi xây dựng lại file chạy (file.exe) mới xem ở Phụ lục 01.



Hình 2. 13 Sơ đồ khối chương trình tính SAFIR

Các ký hiệu:

$\underline{f}_{\text{ext}}$: véc tơ tải trọng nút tại thời điểm tính toán.

$\underline{\Delta f}$: sự gia tăng tải trọng nút từ bước (s) đến bước (s+1)

T: nhiệt độ ở thời điểm (s+1)

$\underline{r}^{(i)}$ tải trọng dư sau bước lặp thứ (i)

$\underline{f}_{\text{int}}$: véc tơ nội lực

$\Delta \underline{u}$: sự gia tăng chuyển vị ứng với $\underline{\Delta f}$

$\underline{\underline{K}}^{(i)}$: ma trận độ cứng

$\underline{\underline{B}}$: ma trận mô tả mối quan hệ giữa biến dạng và chuyển vị nút

$\underline{\underline{D}}_t$: ma trận độ cứng tiếp tuyến của mô hình vật liệu phi tuyến

Trong phạm vi luận án, các chương trình con sau đã được viết thêm vào phần mềm SAFIR để tính cho loại vật liệu CONC-ETC:

- SUBROUTINE MATER1: Tính các hệ số trong các phương trình biểu diễn các tính chất cơ lý của vật liệu phụ thuộc vào nhiệt độ. Bước này được tính tại mỗi điểm trên kết cấu khi bắt đầu một bước thời gian.

- SUBROUTINE MATER2: Tính ứng suất - biến dạng tại từng điểm ứng với mỗi vòng lặp.

- SUBROUTINE MATER3: Tính biến dạng dẻo cho mọi loại vật liệu. Mục này được tính sau mỗi bước thời gian khi kết quả đã hội tụ.

- SUBROUTINE DONNEE: Thông báo trên màn hình các thông số về nhiệt và cơ học của loại vật liệu tính toán.

Một số đoạn code lập trình xem ở Phụ lục 01. Chỉ có các phần mã nguồn liên quan đến mô hình vật liệu bê tông CONC-ETC được in ra.

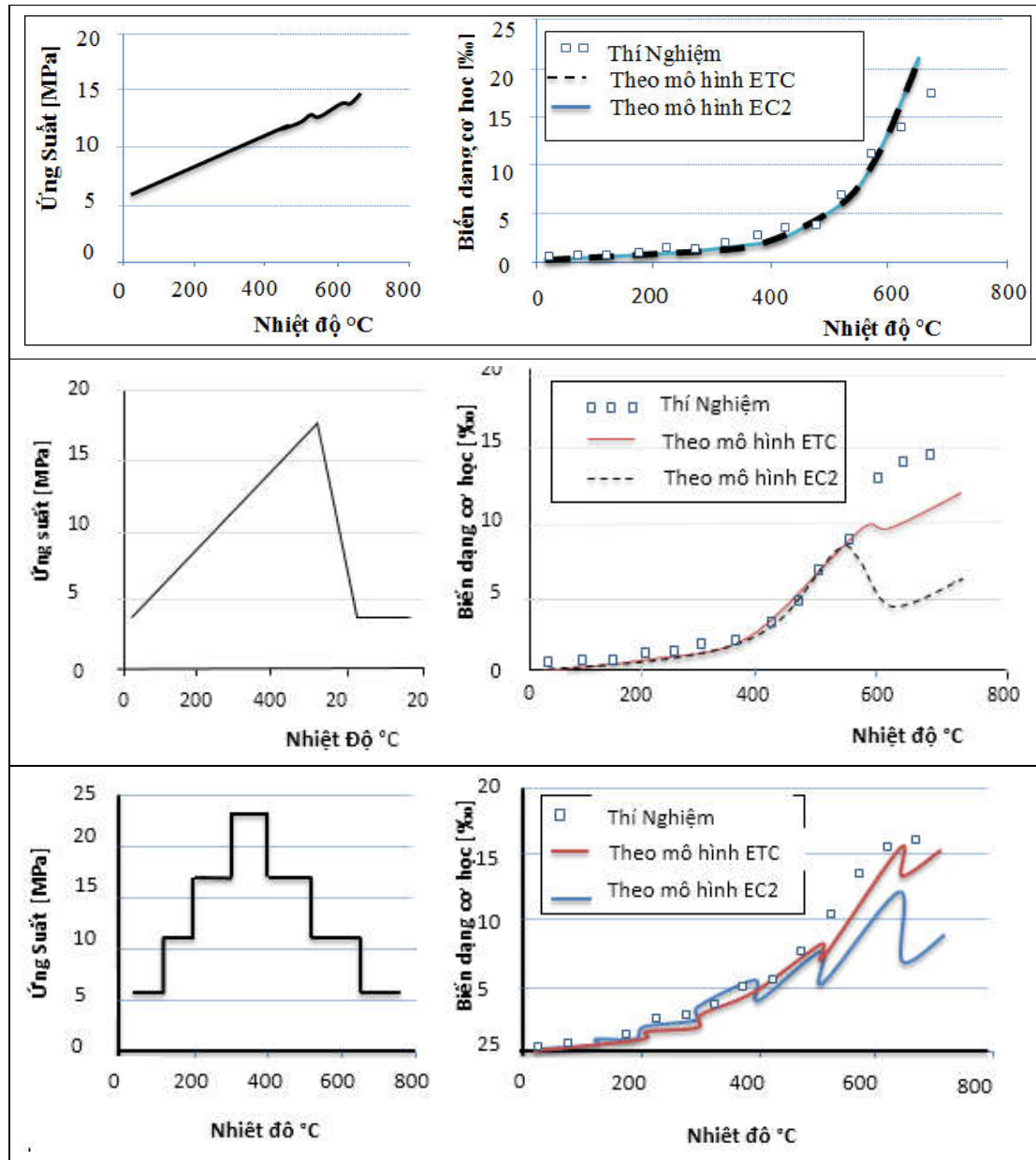
2.5 Kiểm chứng mô hình tính

Mô hình này đã được kiểm chứng bằng cách so sánh kết quả tính theo mô hình đề xuất (ETC model), mô hình đang dùng của Eurocodes (EC2 model) và kết quả thực nghiệm của các nghiên cứu khác đã công bố. Cho tới nay, có rất ít nghiên cứu thực nghiệm về kết cấu liên hợp thép - bê tông trong đám cháy tự nhiên có kể đến giai

đoạn giảm nhiệt nên phần kiểm chứng này dùng kết quả thực nghiệm của cấu kiện bê tông cốt thép. Mục 2.4.4 so sánh kết quả của thí nghiệm cột liên hợp thép - bê tông song chỉ có giai đoạn tăng nhiệt.

2.5.1. Thí nghiệm tại trường Đại học Kỹ thuật Vienne, Austria [108]

Các mẫu bê tông hình trụ tròn đường kính 80 mm cao 300 mm được đo biến dạng trong điều kiện chịu ứng suất nén và nhiệt độ thay đổi đồng thời. Cường độ của bê tông ở điều kiện nhiệt độ thường là 38 MPa.



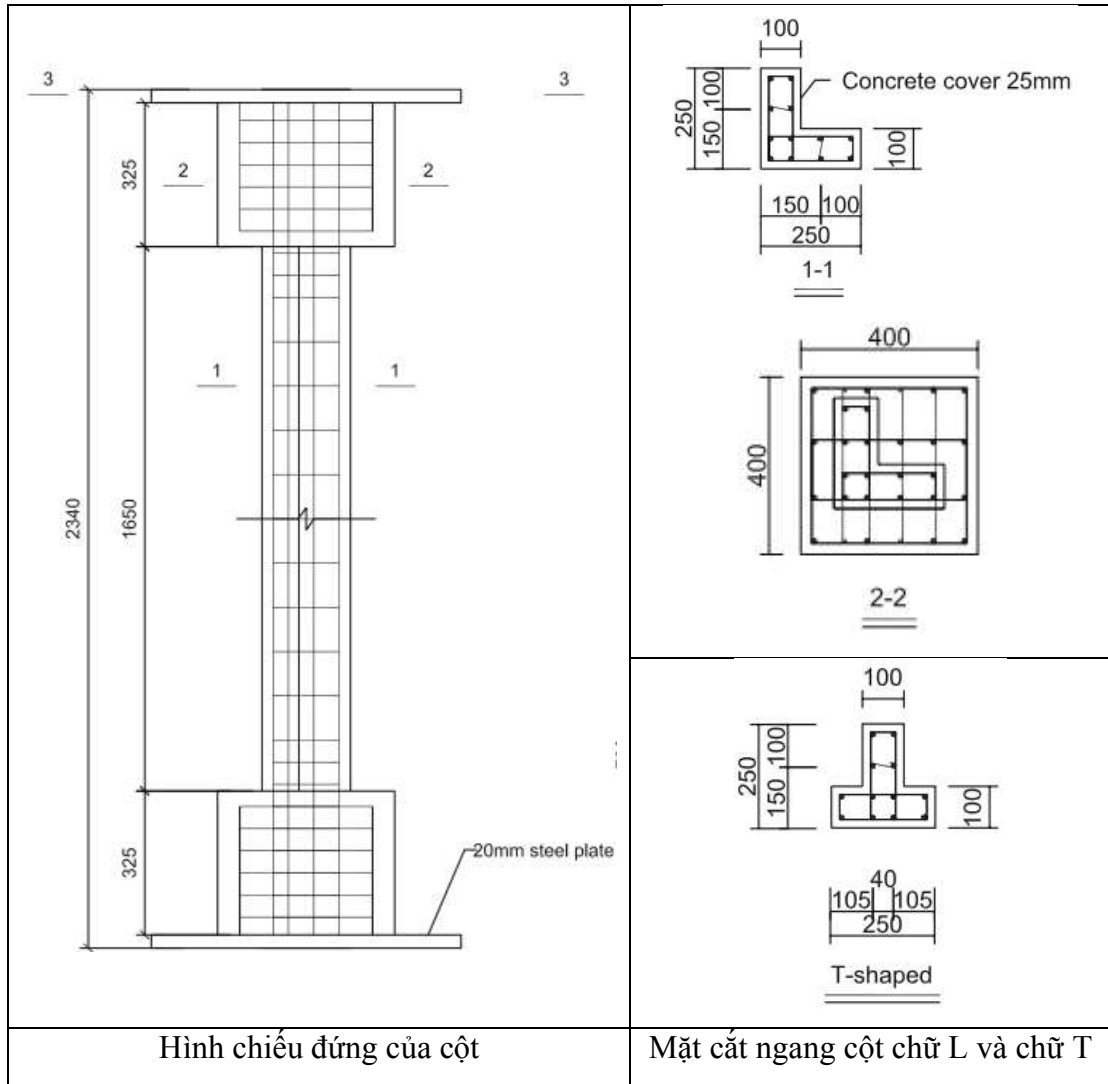
Hình 2. 14 So sánh biến dạng theo 2 mô hình và kết quả thí nghiệm

Ứng suất trong mẫu thử được liên tục tăng giảm để đo biến dạng của vật liệu trong nhiều điều kiện chịu tải như Hình 2. 14. Kết quả thí nghiệm được so với kết quả tính bằng phần mềm SAFIR khi dùng mô hình vật liệu bê tông theo Eurocodes (EC2) và mô hình đề xuất (ETC). Qua đó, cho thấy mô hình đề xuất cho kết quả tính toán gần với kết quả thí nghiệm hơn [66].

2.5.2. Thí nghiệm tại trường Đại học Kỹ thuật miền Nam, Trung Quốc [119]

Các cột bê tông cốt thép cao 2340 mm nhưng chỉ đoạn giữa cột dài 1650 mm là tiếp xúc với lửa cả 4 mặt trong lò đốt. Cột tiết diện chữ L và T có kích thước như Hình 2. 15. Cốt thép dọc trong cột gồm 12 thanh đường kính 10mm, giới hạn chảy 400 MPa. Cốt đai đường kính 6mm, giới hạn chảy 235 MPa được đặt với khoảng cách đai là 100 mm.

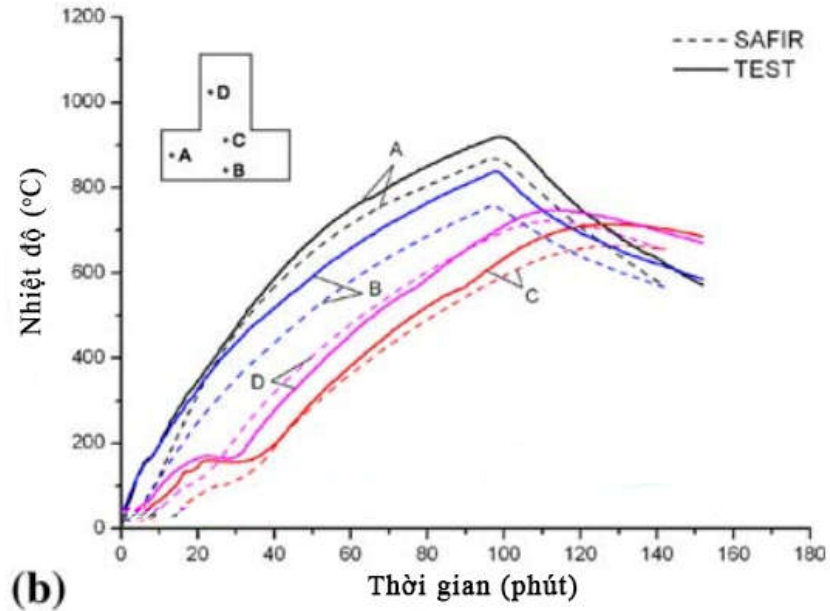
Cột được thí nghiệm với tải trọng không đổi, chịu đám cháy bao gồm giai đoạn tăng nhiệt từ 90 phút đến 105 phút (tùy từng cột thí nghiệm) theo đường chuẩn ISO 834 sau đó giảm nhiệt. So sánh nhiệt độ đo được và nhiệt độ tính bằng phần mềm SAFIR tại 4 điểm A,B,C, D trên các vị trí khác nhau của tiết diện như trên Hình 2. 16 và Hình 2. 17. Nhiệt độ tính bằng phần mềm SAFIR cho kết quả khá phù hợp với kết quả thí nghiệm.



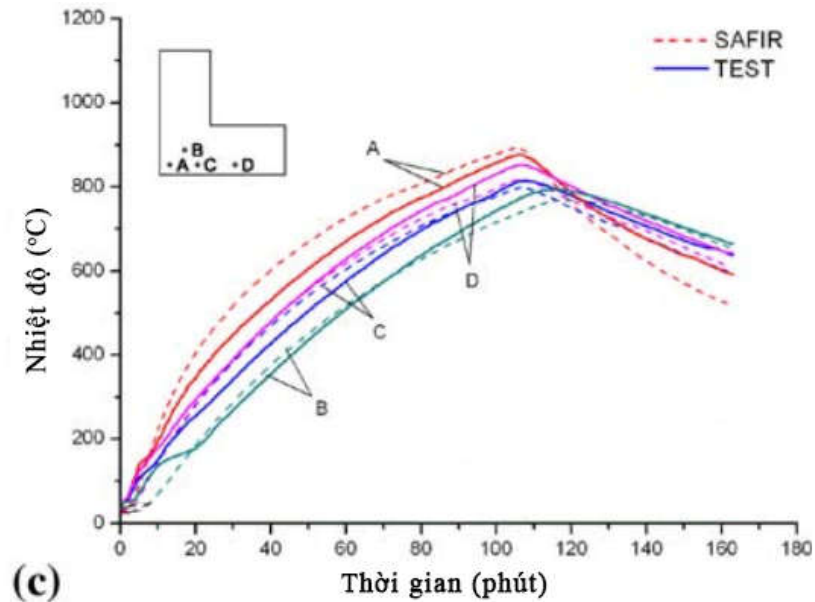
Hình chiều đứng của cột

Mặt cắt ngang cột chữ L và chữ T

Hình 2. 15 Kích thước cột thí nghiệm [65]

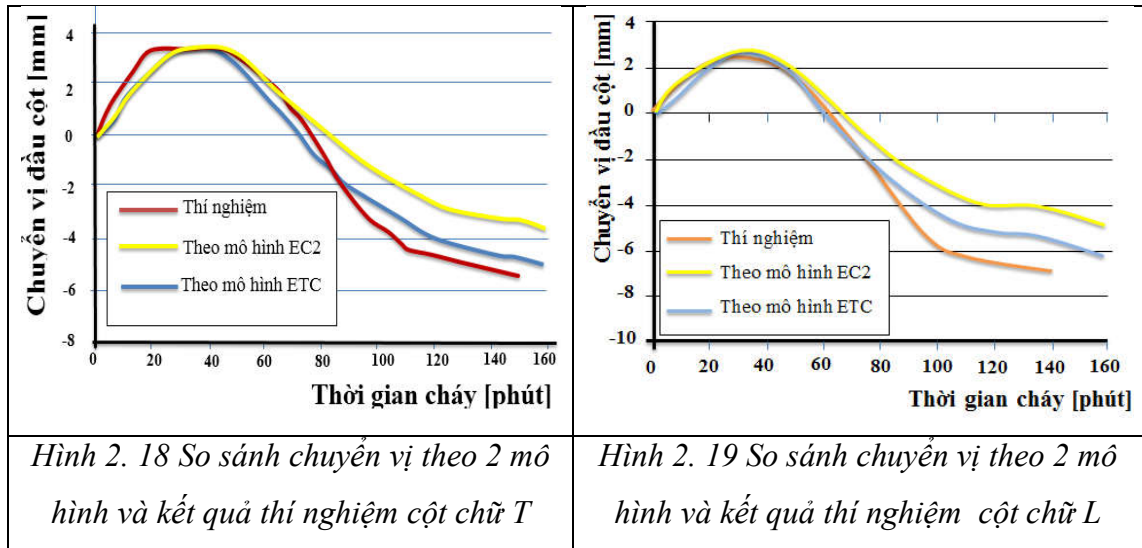


Hình 2. 16 So sánh nhiệt độ trong cột tiết diện chữ T [65]



Hình 2. 17 So sánh nhiệt độ trong cột tiết diện chữ L [65]

Kết quả chuyển vị đầu cột đo được (test) so với kết quả tính bằng phần mềm SAFIR dùng mô hình vật liệu bê tông theo Eurocodes (EC2 model) và mô hình đề xuất (ETC model) cho thấy mô hình đề xuất cho kết quả tính toán gần với kết quả thí nghiệm hơn (Hình 2. 18 và Hình 2. 19).



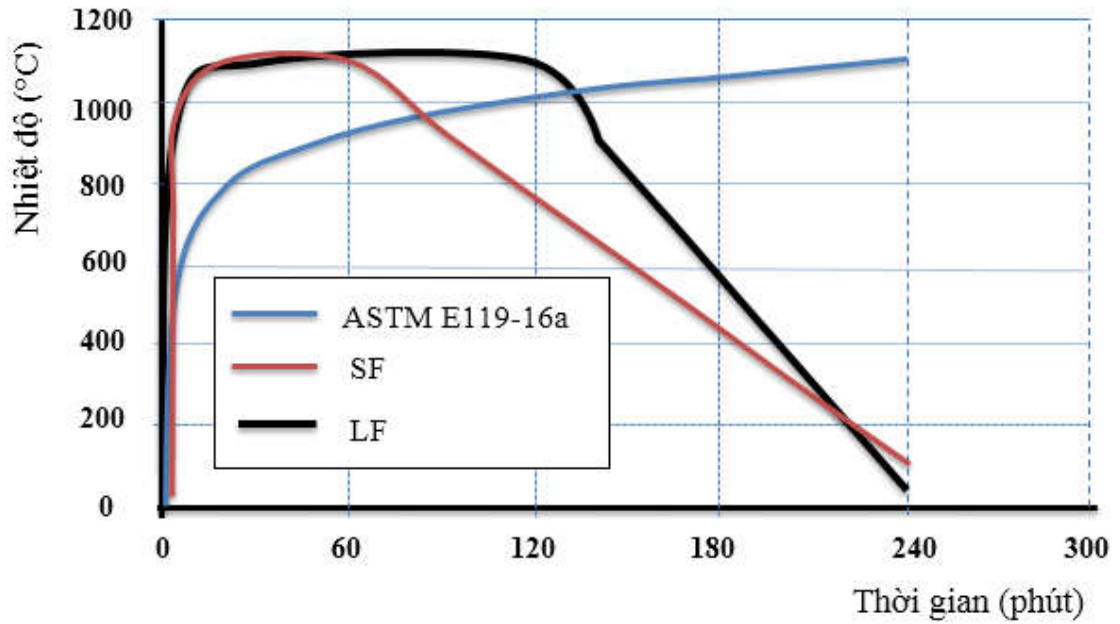
Hình 2. 18 So sánh chuyển vị theo 2 mô hình và kết quả thí nghiệm cột chữ T

Hình 2. 19 So sánh chuyển vị theo 2 mô hình và kết quả thí nghiệm cột chữ L

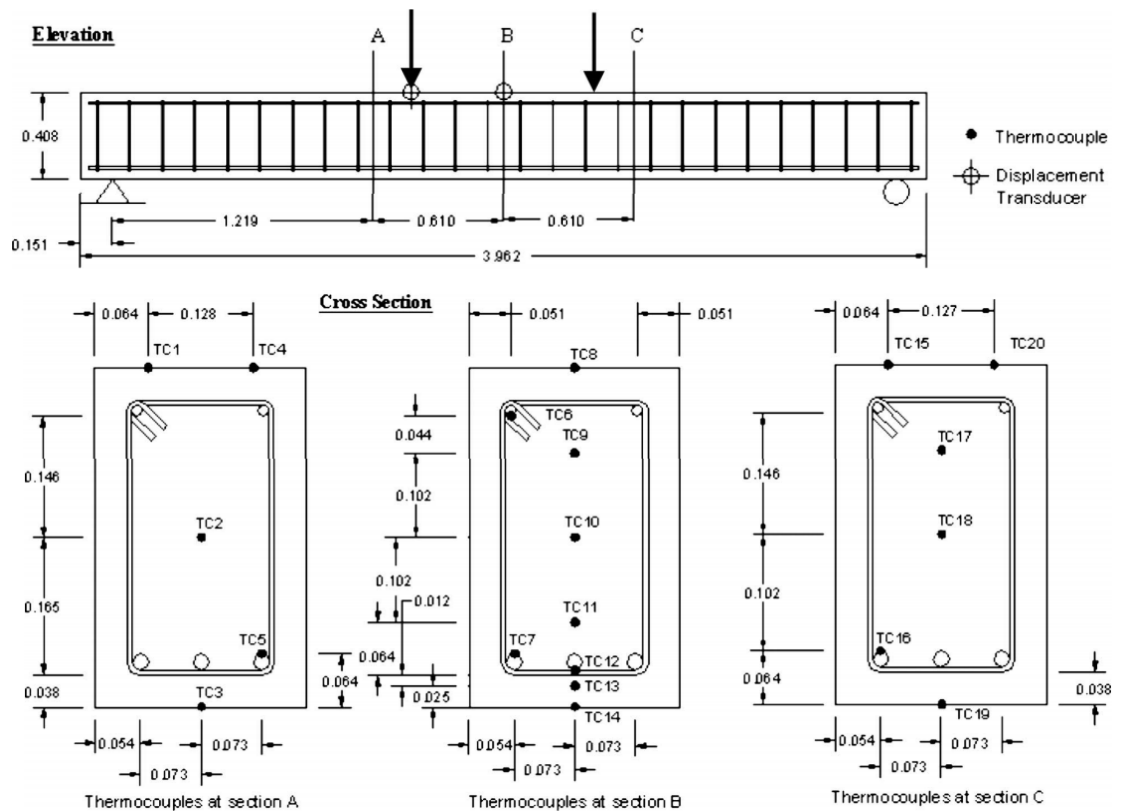
2.5.3. Thí nghiệm tại trường Đại học Michigan, Hoa Kỳ [50]

Sáu dầm bê tông cốt thép được thí nghiệm trong lò đốt tại phòng thí nghiệm. Kích thước dầm như Hình 2. 21 (đơn vị m). Dầm có kích thước tiết diện ngang 254x406 mm, thép dọc gồm 2ø13 ở trên và 3ø19 ở dưới, đai ø6. Giới hạn chảy của cốt thép dọc là 420 MPa, của cốt đai là 280 MPa. Nghiên cứu dùng các loại bê tông khác nhau (bê tông thường NC và bê tông cường độ cao HSC), tải trọng, điều kiện biên và đường tăng nhiệt độ khác nhau cho 6 dầm để nghiên cứu ảnh hưởng của cường độ bê tông, tải trọng, điều kiện biên và đường tăng nhiệt độ đến ứng xử của dầm.

Các cảm đo nhiệt được gắn tại các vị trí trên một số tiết diện dầm để đo nhiệt độ trong dầm trong quá trình chịu cháy. Chuyển vị tại giữa dầm (điểm B) và tại vị trí đặt tải (điểm A) được đo và so với kết quả mô phỏng. Đường quan hệ giữa thời gian cháy - nhiệt độ được áp dụng 3 loại: chỉ tăng theo tiêu chuẩn ASTM E119 -16a, tăng trong 60 phút rồi giảm (short design fire SF) và tăng trong 120 phút rồi giảm (long design fire LF) như Hình 2. 20. Ở đây chỉ thể hiện kết quả tính toán và thí nghiệm của dầm B2 là dầm dùng bê tông thường, chịu nhiệt độ theo đường SF. Bê tông dùng cho dầm B2 là bê tông cốt liệu canxít, cường độ mẫu thử ở thời gian 28 ngày là 52.2 MPa.

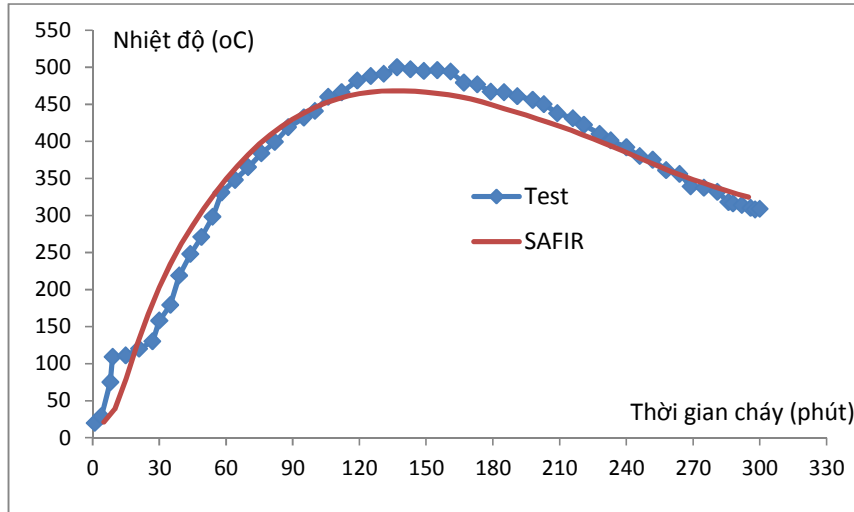


Hình 2. 20 Các đường nhiệt độ- thời gian dùng trong thí nghiệm



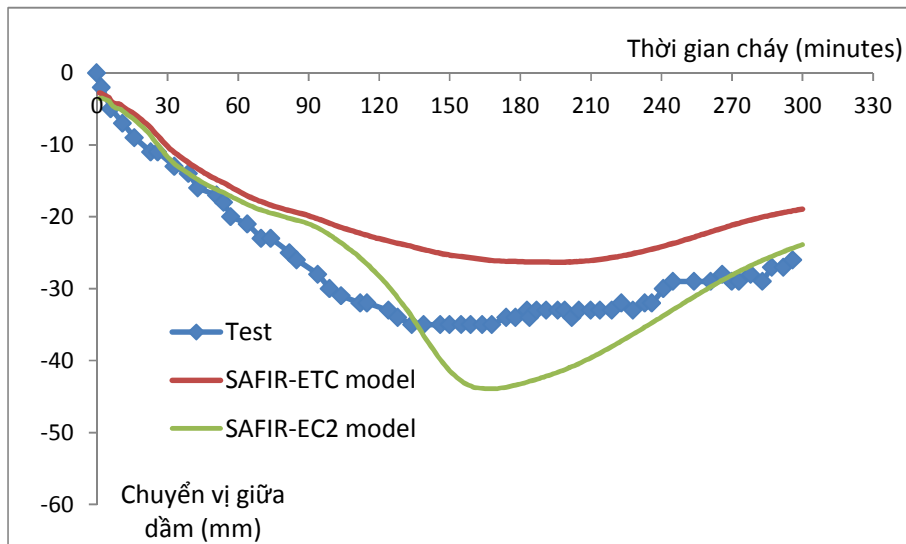
Hình 2. 21 Mặt cắt dọc và ngang dầm thí nghiệm

So sánh nhiệt độ đo được tại vị trí TC6 theo thí nghiệm (test) và nhiệt độ tính bằng phần mềm SAFIR thể hiện trên Hình 2. 22 cho thấy nhiệt độ tính bằng mô phỏng SAFIR cho kết quả khá phù hợp với kết quả thí nghiệm.



Hình 2. 22 So sánh nhiệt độ trong cốt thép (tại vị trí đặt TC6) của dầm B2

Kết quả đo chuyển vị giữa dầm (test) được so với kết quả tính bằng phần mềm SAFIR dùng mô hình vật liệu bê tông theo Eurocodes (EC2 model) và mô hình đề xuất (ETC model) cho thấy mô hình đề xuất cho kết quả tính toán gần với kết quả thí nghiệm hơn (Hình 2. 23).



Hình 2. 23 So sánh chuyển vị tại điểm giữa dầm B2 (điểm B trên Hình 2. 21)

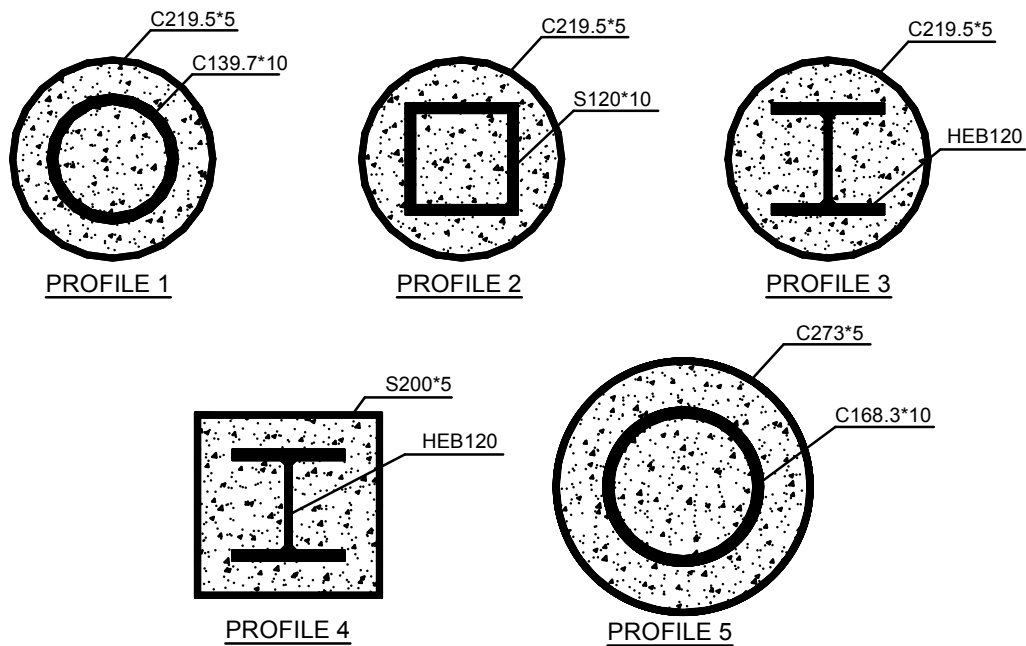
2.5.4. Thí nghiệm tại trường Đại học Liege, Vương quốc Bỉ [35]

Nghiên cứu của Chu T. B. [35] chỉ quan tâm đến cột ống thép nhồi bê tông trong đám cháy tiêu chuẩn ISO 834 chỉ có giai đoạn tăng nhiệt.

Mười cột cao 3.31 m với 5 loại tiết diện ngang vuông hoặc tròn kích thước từ 220mm đến 273mm được thí nghiệm chịu nén lệch tâm. Có 5 loại tiết diện được đặt tên từ Profile 1 đến Profile 5 (Hình 2. 24) mỗi loại tiết diện được đúc 2 cột (ký hiệu A và B) để thí nghiệm với 2 giá trị tải trọng. Các số liệu áp dụng cho mỗi thí nghiệm được ghi trong Bảng 2. 5.

Liên kết hai đầu cột là gối tựa đơn. Các cột ống thép dùng loại thép S355 theo tiêu chuẩn châu Âu (giới hạn chảy là 355 MPa). Bê tông là loại bê tông tự đầm có cường độ chịu nén là 35 MPa.

Quy trình thí nghiệm tuân theo tiêu chuẩn EN 1365-4. Cột chịu lực nén lệch tâm.

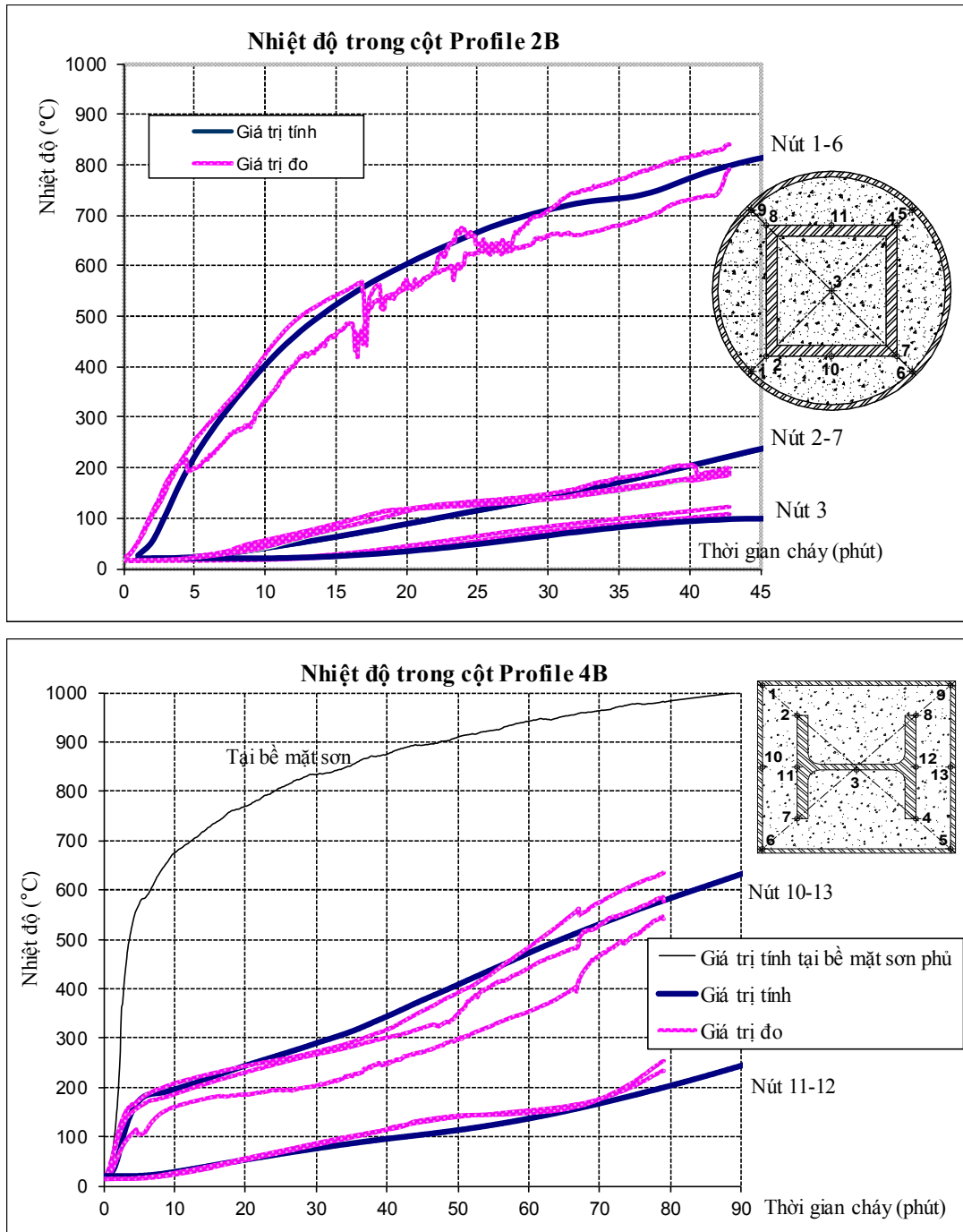


Hình 2. 24 Tiết diện cột trong thí nghiệm của nghiên cứu [35]

Bảng 2. 5 Các thông số của cột thí nghiệm

Tên mẫu thí nghiệm	Ống thép bao ngoài		Thép hình bên trong		Khả năng chịu tải ở nhiệt độ thường		Tải trọng tác dụng		Hệ số sử dụng tải Nfi/Nu
	Kích thước (mm)	Giới hạn chảy (MPa)	Kích thước (mm)	Giới hạn chảy (MPa)	Lực dọc Nu (KN)	Độ lệch tâm e (mm)	Lực dọc Nfi (KN)	Độ lệch tâm e (mm)	
1A	219.1 * 5	420	139.7 * 10	340	3000	0	733	0	0.24
1B	219.1 * 5	420	139.7 * 10	340	2253	15	1126	15	0.50
2A	219.1 * 5	420	120 * 10	349	2294	15	688	15	0.30
2B	219.1 * 5	420	120 * 10	349	2489	10	1244	10	0.50
3A	219.1 * 5	420	HEB 120	375	2365	10	946	10	0.40
3B (có sơn)	219.1 * 5	420	HEB 120	375	2241	10	896	10	0.40
4A	200 * 5	510	HEB 120	375	2943	10	1177	10	0.40
4B (có sơn)	200 * 5	510	HEB 120	375	2809	10	1124	10	0.40
5A	273 * 5	420	168.3 * 10	333	3995	10	1199	10	0.30
5B	273 * 5	420	168.3 * 10	333	3995	10	1998	10	0.50

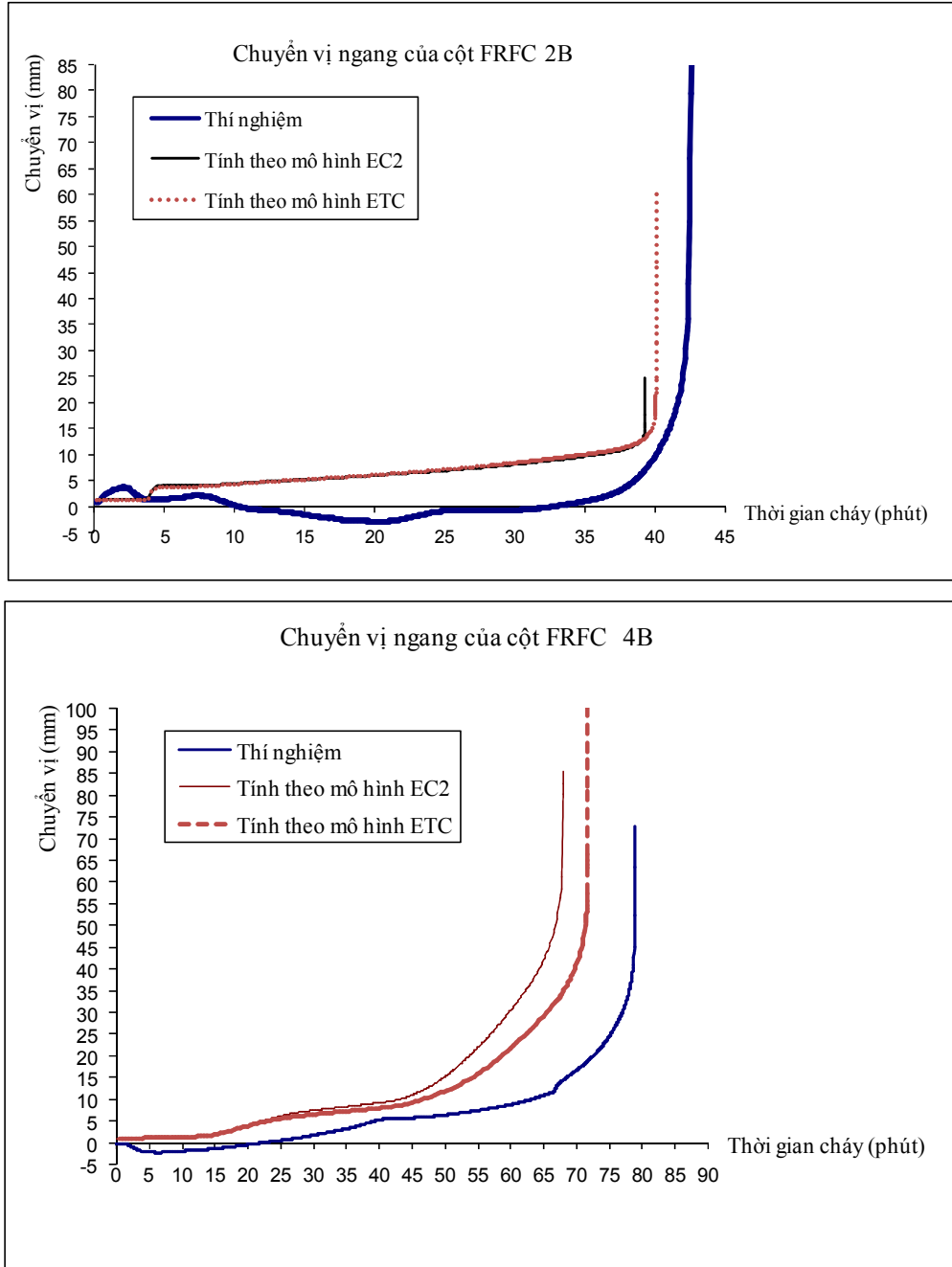
Cột được gia tải tới giá trị tải trọng đã chọn rồi giữ nguyên tải trọng, đốt lò cho nhiệt độ tăng theo đám cháy tiêu chuẩn ISO 834. Các thiết bị đo được nối với máy tính và dùng phần mềm ghi lại các số liệu trong quá trình thí nghiệm. Mỗi thí nghiệm đều thu được kết quả sau: nhiệt độ trong buồng đốt, nhiệt độ trong cột tại các điểm gắn cảm đo nhiệt, chuyển vị ngang tại tiết diện giữa cột và chuyển vị dọc trục của cột. So sánh nhiệt độ đo được và nhiệt độ tính bằng phần mềm SAFIR thể hiện trên Hình 2. 25 cho thấy tính nhiệt độ bằng mô phỏng SAFIR cho kết quả khá phù hợp với kết quả thí nghiệm.



Hình 2. 25 So sánh nhiệt độ trong cột theo mô phỏng và theo thí nghiệm của nghiên cứu [35]

Kết quả đo chuyển vị giữa cột được so với kết quả tính bằng phần mềm SAFIR dùng mô hình vật liệu bê tông theo Eurocodes (EC2) và mô hình đề xuất (ETC) cho

thấy mô hình đề xuất cho kết quả tính toán gần với kết quả thí nghiệm hơn ở giá trị chuyển vị khi cột bị phá hoại. Sự khác nhau giữa kết quả tính theo hai mô hình là không đáng kể khi chỉ có giai đoạn tăng nhiệt Hình 2. 26.



Hình 2. 26 So sánh chuyển vị ngang giữa cột theo mô phỏng và theo thí nghiệm của nghiên cứu [35]

2.6 Kết luận chương 2

- Sự thay đổi ứng suất- biến dạng của cấu kiện liên hợp thép - bê tông trong đám cháy có xét đến quá trình giảm nhiệt rất phức tạp. Rất nhiều trường hợp thay đổi nhiệt độ - ứng suất - biến dạng của kết cấu trong đám cháy khi xét đến quá trình giảm nhiệt trong khi phần lớn các nghiên cứu đã công bố chỉ quan tâm đến ứng xử kết cấu trong quá trình tăng nhiệt;
- Mô hình mô phỏng vật liệu bê tông tách riêng biến dạng nhiệt tức thời và biến dạng do lực cho kết quả tính sát với kết quả thí nghiệm hơn so với mô hình đề xuất trong tiêu chuẩn châu Âu hiện hành. Luận án đặt tên mô hình tách riêng biến dạng nhiệt tức thời và biến dạng do lực là mô hình CONC-ETC.
- Luận án đã lập trình tính toán, đưa mô hình vật liệu bê tông CONC-ETC vào phần mềm SAFIR.
- Mô hình vật liệu thêm vào CONC-ETC đã được kiểm chứng qua so sánh kết quả mô phỏng số và kết quả thí nghiệm đã được công bố ở các nghiên cứu khác.

CHƯƠNG 3 NGHIÊN CỨU SỰ LÀM VIỆC CỦA KẾT CẤU KHUNG LIÊN HỢP THÉP- BÊ TÔNG TRONG GIAI ĐOẠN TĂNG NHIỆT CỦA ĐÁM CHÁY

3.1 Đặt vấn đề

Như đã trình bày chi tiết ở chương 1, việc phân tích ứng suất - biến dạng của kết cấu trong điều kiện nhiệt độ tăng cao khác với kết cấu ở điều kiện nhiệt độ thường các điểm sau:

- Tính chất cơ lý của vật liệu liên tục thay đổi khi nhiệt độ thay đổi;
- Trong kết cấu, ngoài biến dạng từ biến và biến dạng liên quan đến ứng suất thì biến dạng do thay đổi nhiệt độ góp phần vào biến dạng chung của kết cấu;
- Các liên kết giữa các cấu kiện kết cấu có thể thay đổi do nhiệt độ cao, do vậy điều kiện biên của các cấu kiện kết cấu trong điều kiện cháy không giữ nguyên như kết cấu ở nhiệt độ thường.

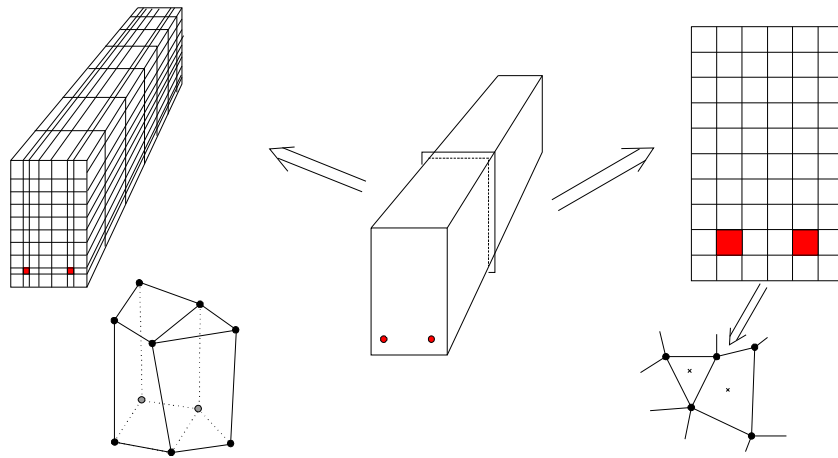
Các nghiên cứu trước đây có phân tích ứng xử của kết cấu trong điều kiện cháy song chưa phân tích rõ ảnh hưởng của biến dạng do nhiệt độ đến ứng xử chung của kết cấu, ảnh hưởng của điều kiện biên, sự thay đổi nội lực trong kết cấu trong quá trình chịu cháy.vv...

Chương này với mục tiêu làm rõ ứng xử của khung liên hợp thép - bê tông trong giai đoạn tăng nhiệt của đám cháy đã trình bày các kết quả phân tích biến dạng, chuyển vị, ứng suất, nội lực trong khung bằng cách mô phỏng số. Các nghiên cứu khảo sát tham số được tiến hành nhằm đưa ra một số quy luật về ứng xử của khung liên hợp thép - bê tông trong điều kiện cháy.

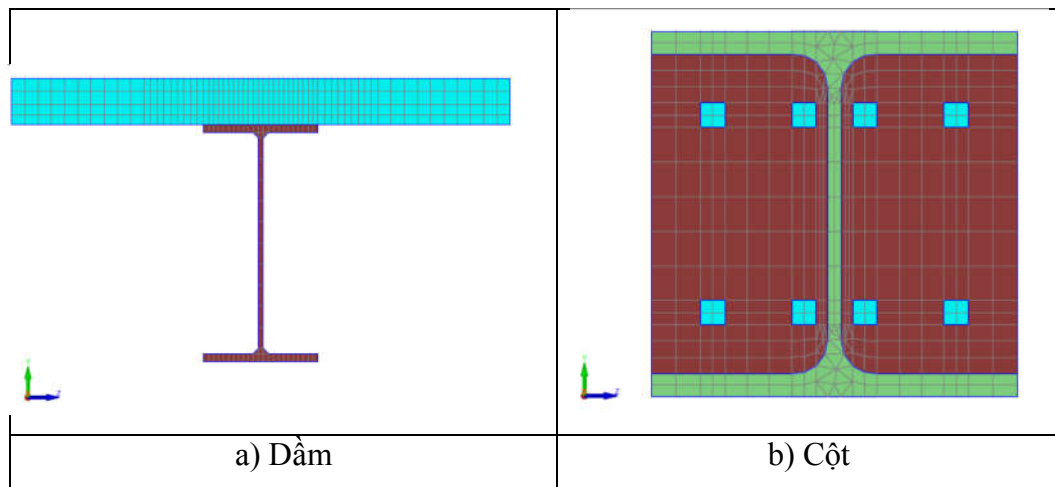
Phần mềm SAFIR với mô hình vật liệu bê tông CONC-ETC như trình bày ở chương 2 được sử dụng.

Khi đã biết nhiệt độ xung quanh kết cấu, việc phân tích kết cấu trong đám cháy được chia thành hai bước. Bước 1 gọi là phân tích nhiệt: xác định nhiệt độ trong kết cấu thay đổi theo thời gian cháy. Bước 2 gọi là bước phân tích kết cấu: tính ứng suất, biến dạng trong kết cấu tại từng bước thời gian cháy có cập nhật tính chất cơ lý của vật liệu thay đổi theo nhiệt độ.

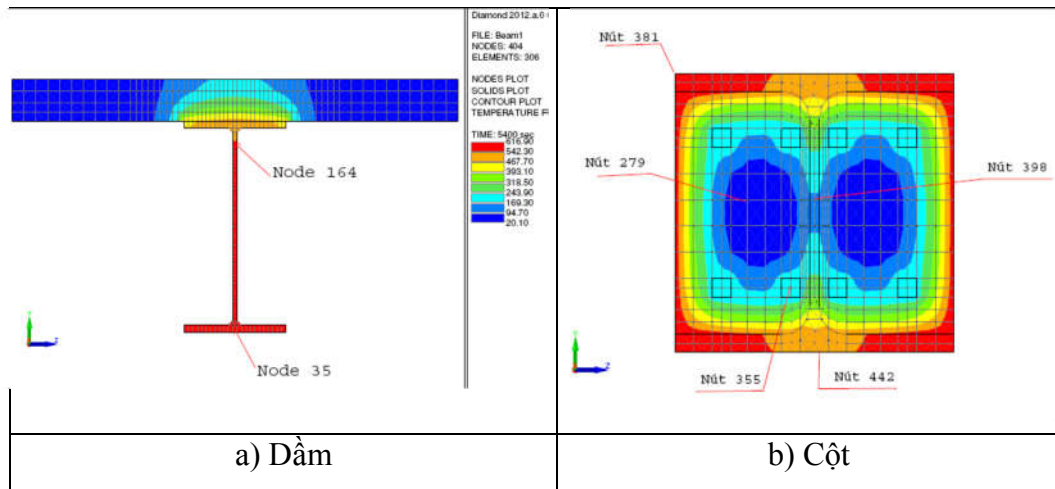
Trong bước phân tích nhiệt, kết cấu có thể được chia thành các phần tử khối hoặc phần tử phẳng như Hình 3. 1. Nghiên cứu này giả thiết nhiệt độ không thay đổi theo chiều dài dầm và cột, nên chỉ tính nhiệt độ trên tiết diện ngang của dầm và cột. Mỗi tiết diện ngang được chia thành nhiều phần tử 3 hoặc 4 nút và tính nhiệt độ tại mỗi nút (Hình 3. 2). Nhiệt độ xung quanh cấu kiện là dữ liệu đầu vào, có thể lấy theo đường bất kỳ tự chọn. Ở chương này đám cháy được mô phỏng bởi đường quan hệ thời gian cháy - nhiệt độ theo đường chuẩn ISO 834. Nhiệt độ tại từng điểm ở tiết diện được tính toán theo thời gian cháy.



Hình 3. 1 Rời rạc hóa cấu kiện thành các phần tử trong bước phân tích nhiệt



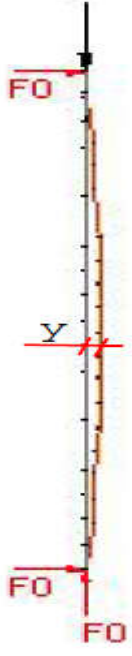
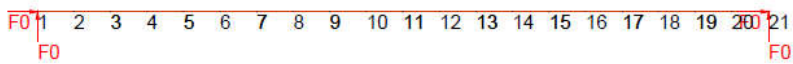
Hình 3. 2 Chia mặt cắt dầm và cột thành các phần tử trong bước phân tích nhiệt



Hình 3. 3 Nhiệt độ trong tiết diện dầm và cột

Trong bước phân tích kết cấu, cấu kiện dầm hay cột thường được chia thành nhiều phần tử loại dầm (ở đây chọn 10 phần tử như Hình 3. 4, Hình 3. 5). Cột được mô phỏng có độ cong ban đầu, dầm được mô phỏng là thẳng. Mỗi phần tử gồm một bó các thớ (fibre) đặt song song với nhau, mỗi thớ có tiết diện ngang chính là phần tử tam giác hoặc tứ giác đã chia trong mặt cắt tiết diện ở bước phân tích nhiệt. Mỗi phần tử loại dầm gồm 3 nút: 2 nút đầu có 6 bậc tự do, nút giữa có 1 bậc tự do, để viết được phương trình biến dạng dọc trục trong phần tử là hàm bậc 2. Tại một thời điểm xác định, nhiệt độ tại mỗi nút của cấu kiện đã xác định ở bước trên nên quan hệ ứng suất- biến dạng của từng thớ (fibre) cũng xác định. Chấp nhận giả thuyết mặt cắt phẳng Bernoulli, biến dạng của từng thớ trên tiết diện được xác định, suy ra ứng suất tại từng thớ trên tiết diện. Nội lực trong cấu kiện được tính toán dựa vào ứng suất các thớ trên tiết diện.

Mục kiểm chứng mô hình tính nhiệt độ bằng cách so sánh kết quả tính bằng phần mềm SAFIR với kết quả thí nghiệm đã được công bố ở một số nghiên cứu như [36], [87], [112].

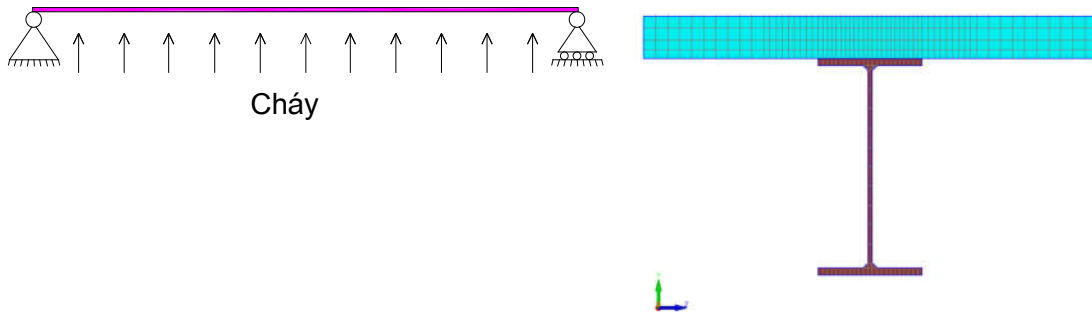
	
<p>Hình 3. 4 Mô hình cột trong SAFIR</p>	<p>Hình 3. 5 Mô hình dầm trong SAFIR</p>

Các phần sau đây trình bày kết quả phân tích cấu kiện dầm, cột và kết cấu khung phẳng trong giai đoạn tăng nhiệt của đám cháy. Các nghiên cứu ảnh hưởng của tham số cũng được trình bày và một số kết luận được đưa ra ở chương này.

3.2 Sự làm việc của dầm liên hợp thép - bê tông trong điều kiện cháy

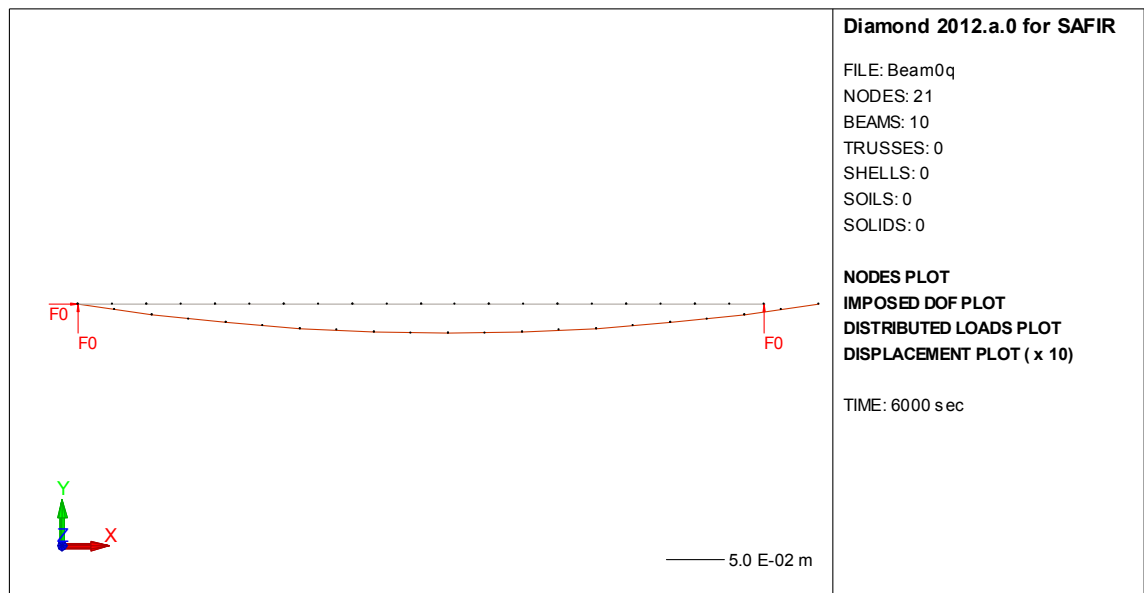
3.2.1 Ảnh hưởng của biến dạng do nhiệt

Như đã phân tích ở chương 2, biến dạng do nhiệt độ đóng góp đáng kể vào biến dạng tổng của cấu kiện. Khảo sát dầm thép tiết diện I330 đỡ bản sàn bê tông dày 100m, được tính ứng suất - biến dạng khi không có tải trọng mà chỉ chịu cháy như ở Hình 3. 6. Tại thời điểm 6000 giây chuyển vị của dầm như ở Hình 3. 7.

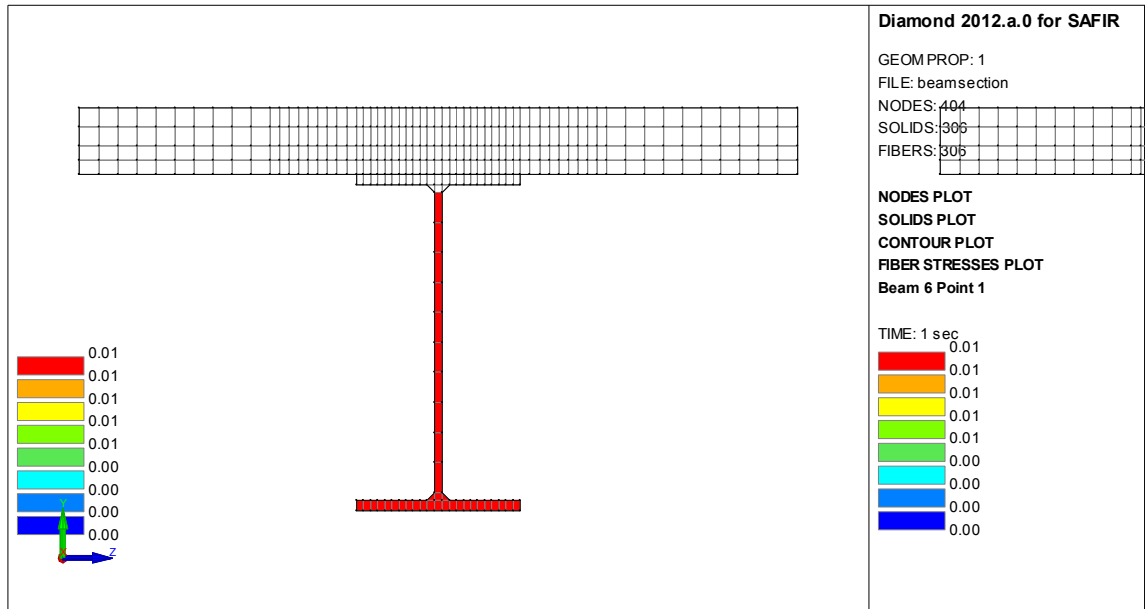


Hình 3. 6. Mô hình dầm đơn giản tiết diện thép I330 đỡ bản sàn bê tông dày 100mm

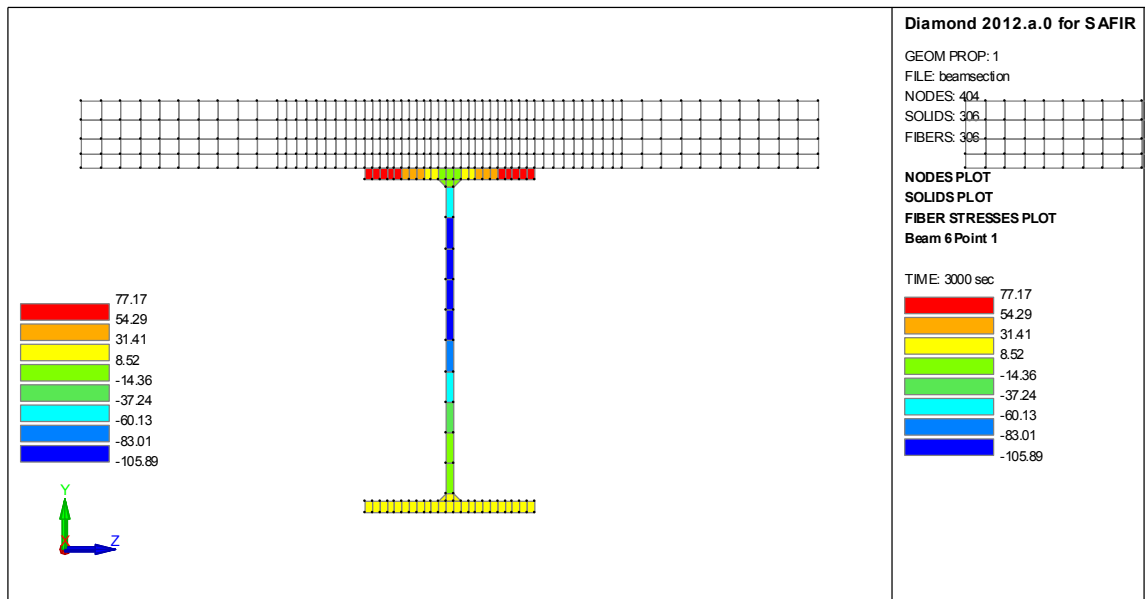
Dầm đơn giản nhịp 6m tiết diện liên hợp như Hình 3. 6 không chịu tải trọng, không có hạn chế chuyển vị dọc trục nên nội lực trong dầm bằng 0, nhưng có ứng suất trong dầm do có biến dạng nhiệt không đều nhau trên toàn tiết diện (Hình 3. 8 và Hình 3. 9).



Hình 3. 7 Chuyển vị của dầm đơn giản không tải trọng ở thời điểm 6000s (100 phút)



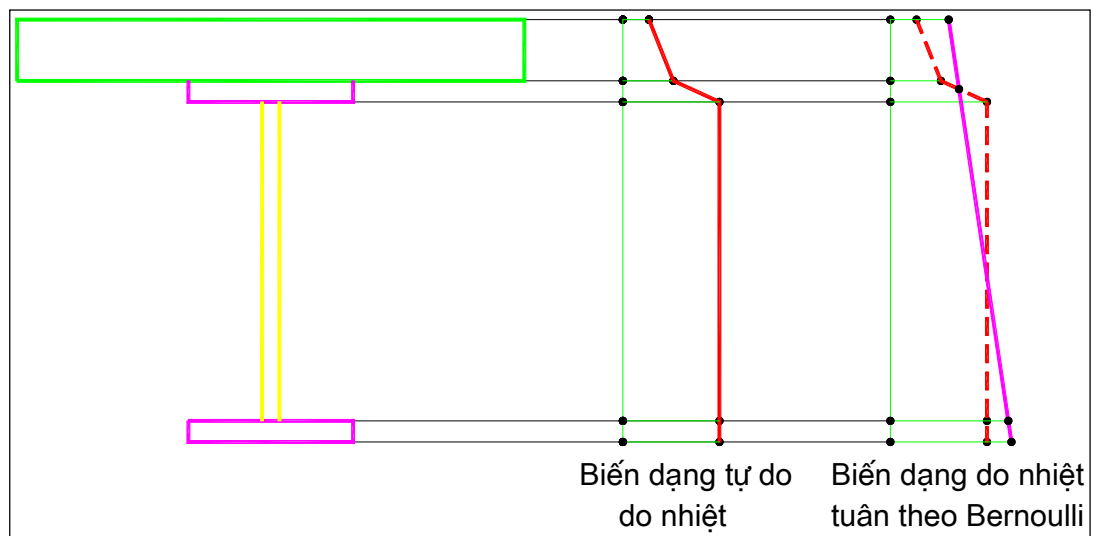
Hình 3. 8 Ứng suất trong dầm ở thời điểm 1 giây (ngay khi bắt đầu chịu cháy)
(Ứng suất trong tiết diện gần như bằng 0)



Hình 3. 9 Ứng suất trong dầm ở thời điểm 3000 giây (50 phút)

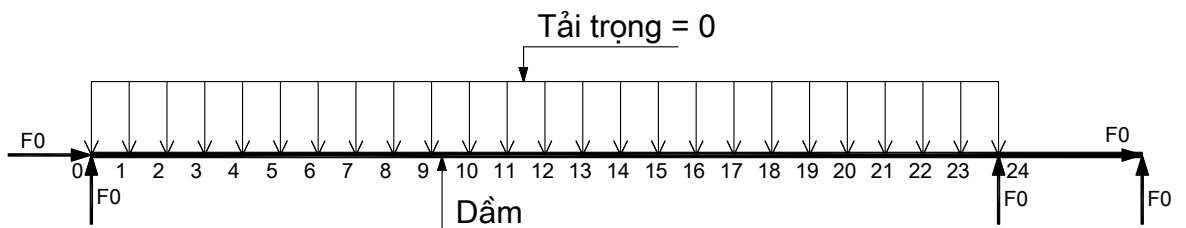
(Bản sàn bê tông không có ứng suất, cánh trên dầm thép có ứng suất kéo, bụng dầm có ứng suất nén, cánh dưới dầm có ứng suất kéo)

Ứng suất trong dầm ở giai đoạn tăng nhiệt như sau: bê tông phía trên chịu kéo và sau một khoảng thời gian rất ngắn thì bị nứt nên ứng suất bằng không. Bụng dầm và cánh dưới có nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ tại cánh trên nên giãn nở nhiều hơn và gây ứng suất kéo ở cánh trên, tiết diện bụng dầm sát cánh trên bị hạn chế giãn nở do cùng biến dạng với cánh trên nên chịu ứng suất nén lớn nhất, các tiết diện cánh dưới có ứng suất nén ít hơn do ít bị hạn chế giãn nở, thậm chí trở thành vùng bị kéo để thỏa mãn giả thuyết mặt cắt phẳng Bernoulli (Hình 3. 10).

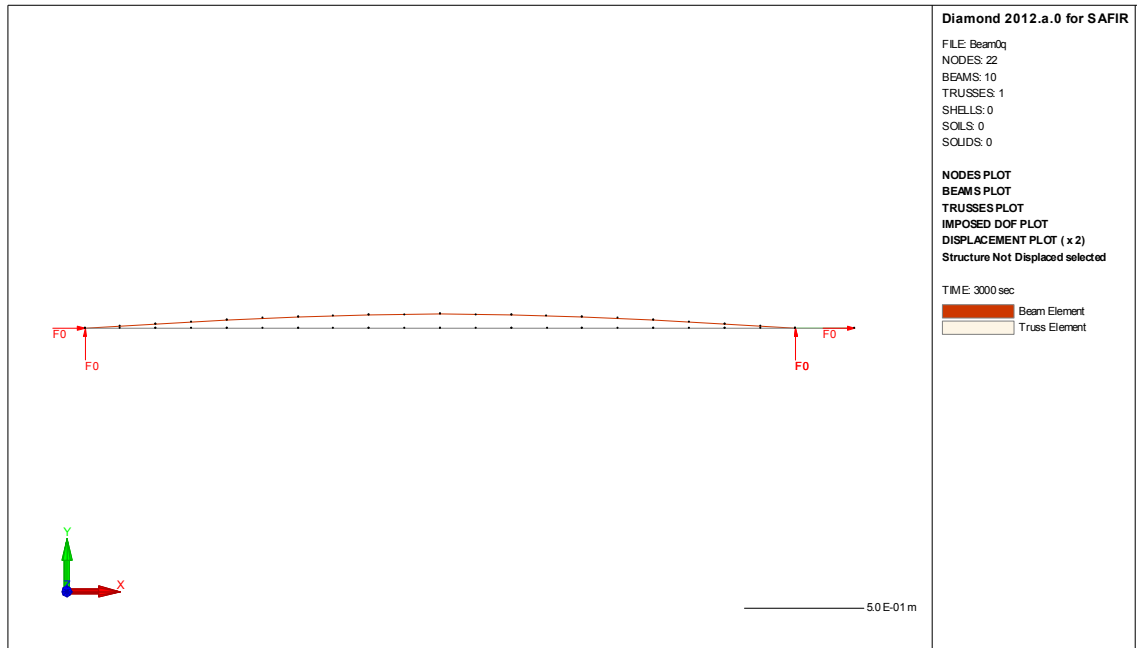


Hình 3. 10 Biến dạng tại mặt cắt dầm khi có biến dạng do nhiệt

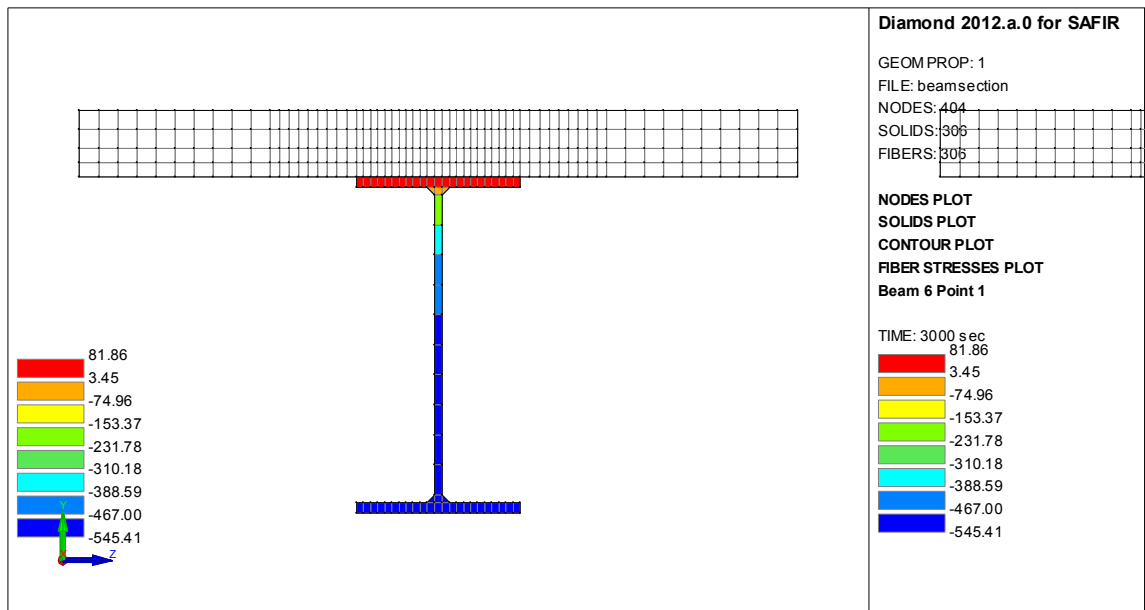
Với mô hình dầm xét ở trên, nhưng thay gối khớp di động bằng một gối đàn hồi hạn chế chuyển vị dọc trục như Hình 3. 11, ứng suất- biến dạng của dầm được tính toán khi không có tải trọng ngoài mà chỉ chịu cháy.



Hình 3. 11 Mô hình dầm có gối đàn hồi

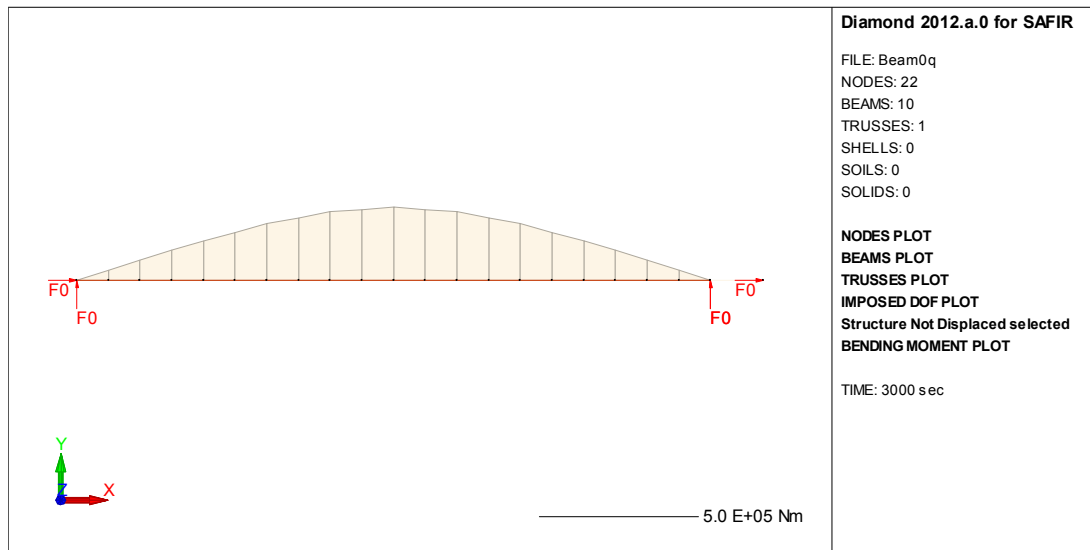


Hình 3. 12 Chuyển vị trong dầm ở thời điểm 3000 giây (50 phút)

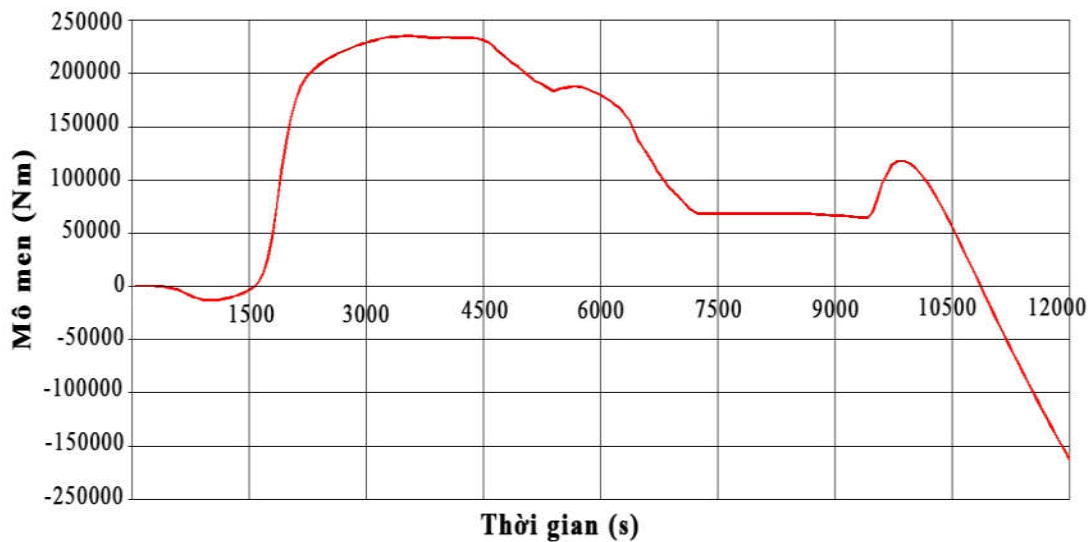


Hình 3. 13 Ứng suất trong dầm ở thời điểm 3000 giây (50 phút)

(Bản sàn bê tông không có ứng suất, cánh trên dầm thép có ứng suất kéo, cánh dưới dầm có ứng suất nén)



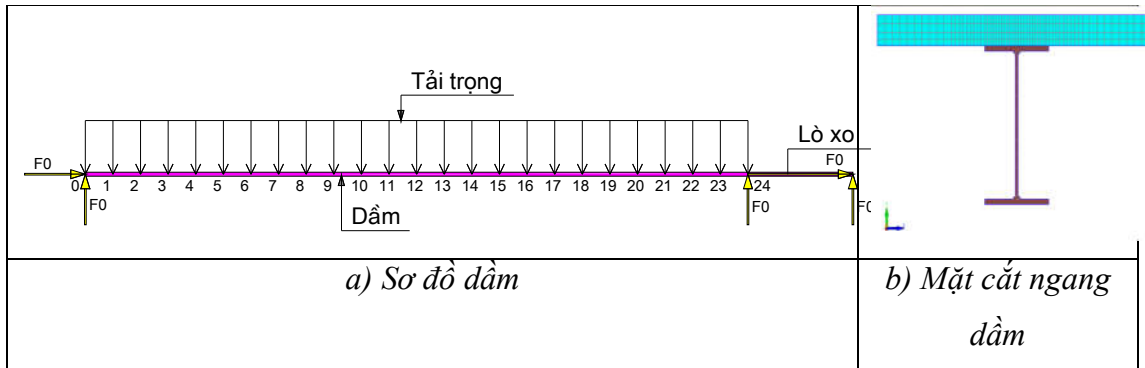
Hình 3. 14 Mô men trong dầm ở thời điểm 3000 giây (50 phút)



Hình 3. 15 Biến thiên của mô men tại giữa dầm trong quá trình chịu cháy

Nhận xét: Với dầm có hạn chế chuyển vị dọc trục, biến dạng nhiệt gây ra nội lực trong dầm mặc dù không có tải trọng. Nội lực trong dầm luôn thay đổi và có thể đổi dấu trong quá trình chịu cháy. Điều này dẫn đến ứng xử của các dầm cùng tiết diện tính toán và cùng mô men tác dụng nhưng điều kiện biên khác nhau thì rất khác nhau.

3.2.2 Ảnh hưởng của điều kiện biên



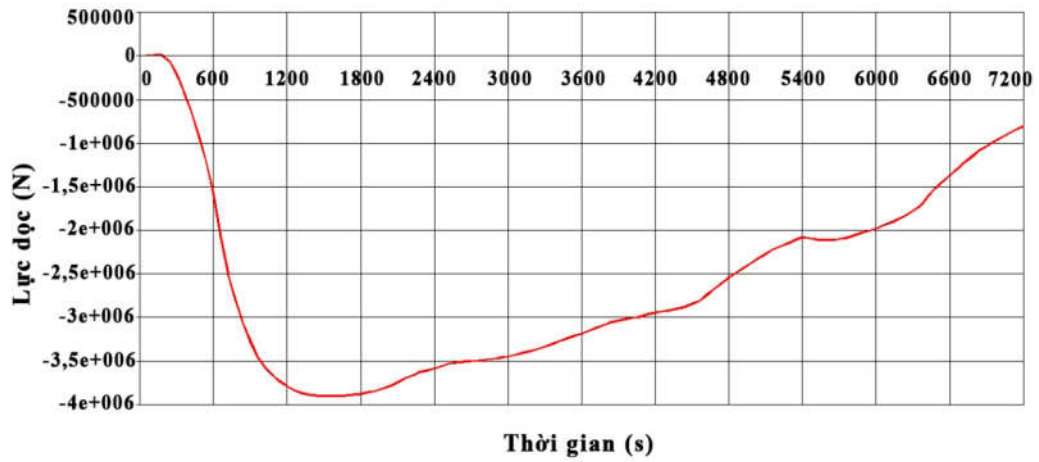
Hình 3. 16 Mô hình dầm

Thay đổi điều kiện biên của dầm: ngàm - ngàm (fix-fix), ngàm - ngàm trượt (fix-slide), khớp cố định - khớp di động (pin-roller), ngàm - khớp di động (fix-roller)... song cũng thay đổi tải trọng sao cho tải trọng tác dụng trong điều kiện cháy bằng $0.5q_{\max}$ (q_{\max} là tải trọng giới hạn ở điều kiện thường). Một trường hợp một đầu khớp cố định, một đầu khớp đàn hồi cũng được khảo sát với giá trị hệ số đàn hồi theo phương dọc trục $k=50\text{kN/mm}$ nằm trung gian trong giá trị gối cố định ($k=\infty$) và gối di động ($k=0$). Giới hạn chịu lửa của dầm tính bằng phần mềm SAFIR thể hiện ở Bảng 3. 1.

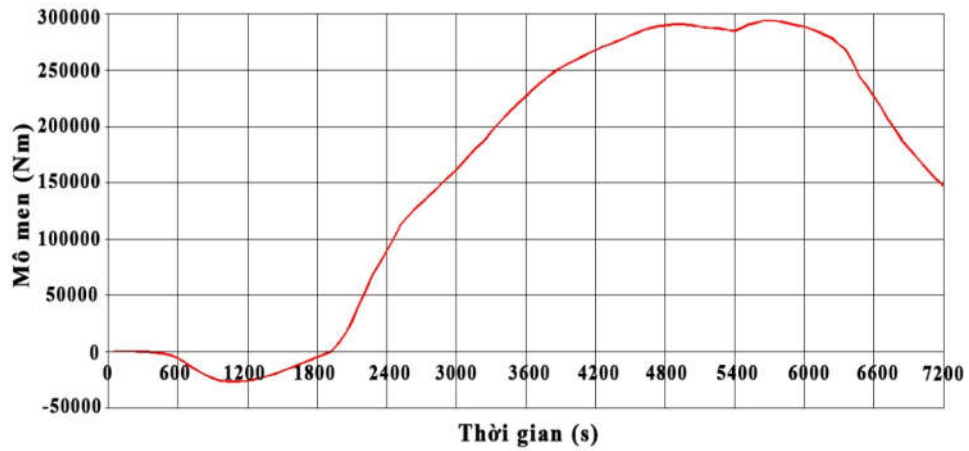
Bảng 3. 1 Giới hạn chịu lửa của dầm một nhịp với các điều kiện biên khác nhau

Điều kiện biên	pin-roller	pin-pin	fix-fix	fix-slide	fix-roller	pin-spring
Khả năng chịu cháy (phút)	127	75	96	127	127	114

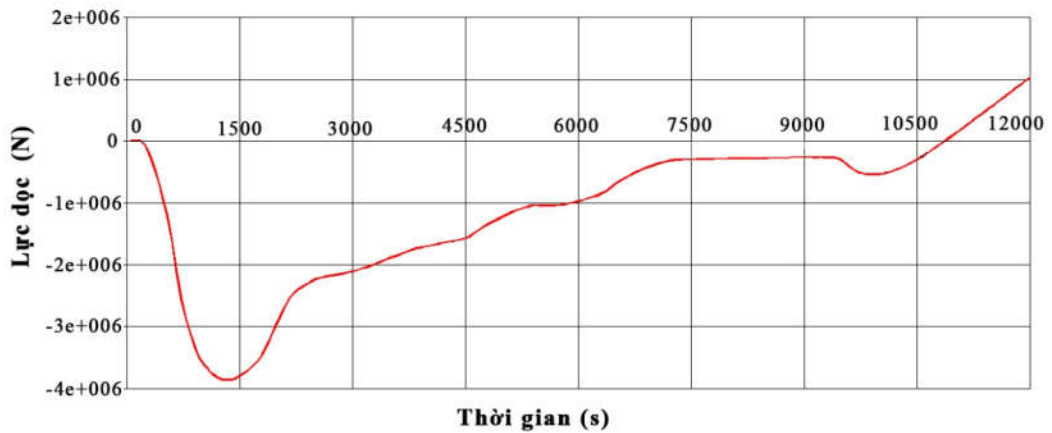
Như vậy, với các dầm không bị hạn chế chuyển vị ngang (các trường hợp pin-roller, fix-slide, fix-roller) thì giới hạn chịu lửa như nhau. Với các dầm có hạn chế chuyển vị ngang thì điều kiện liên kết ảnh hưởng đáng kể tới giá trị giới hạn chịu lửa của dầm. Điều này có thể giải thích là với các dầm có hạn chế chuyển vị ngang, lực dọc trong dầm rất lớn và thay đổi trong quá trình chịu cháy (vì có biến dạng do nhiệt) nên ứng suất và biến dạng trong dầm phụ thuộc nhiều vào cả thành phần lực dọc. Từ Hình 3. 17 đến Hình 3. 19 chỉ ra sự thay đổi lực dọc, mô men trong dầm trong quá trình chịu cháy mặc dù tải trọng không đổi.



Hình 3. 17 Sự thay đổi lực dọc giữa dầm của dầm 2 gối khớp cố định (pin-pin)



Hình 3. 18 Sự thay đổi mô men giữa dầm của dầm 2 gối khớp cố định (pin-pin)

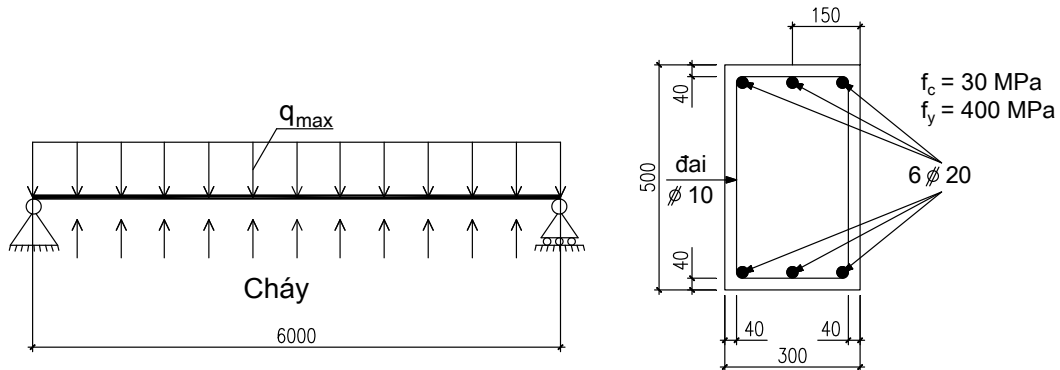


Hình 3. 19 Sự thay đổi lực dọc theo thời gian cháy của dầm một gối khớp cố định một đầu gối đàn hồi (pin-spring)

3.2.3 Ảnh hưởng của tỉ số tải trọng sử dụng

Khái niệm "tỉ số tải trọng sử dụng" là tỉ số giữa tải trọng tác dụng lên cấu kiện trong điều kiện cháy và tải trọng giới hạn cấu kiện chịu được ở điều kiện nhiệt độ thường, gọi là "load ratio" = N_{fi} / N_{max} trong đó N_{fi} là tải trọng tác dụng lên cấu kiện trong điều kiện cháy, N_{max} là tải trọng giới hạn kết cấu chịu được ở điều kiện nhiệt độ thường.

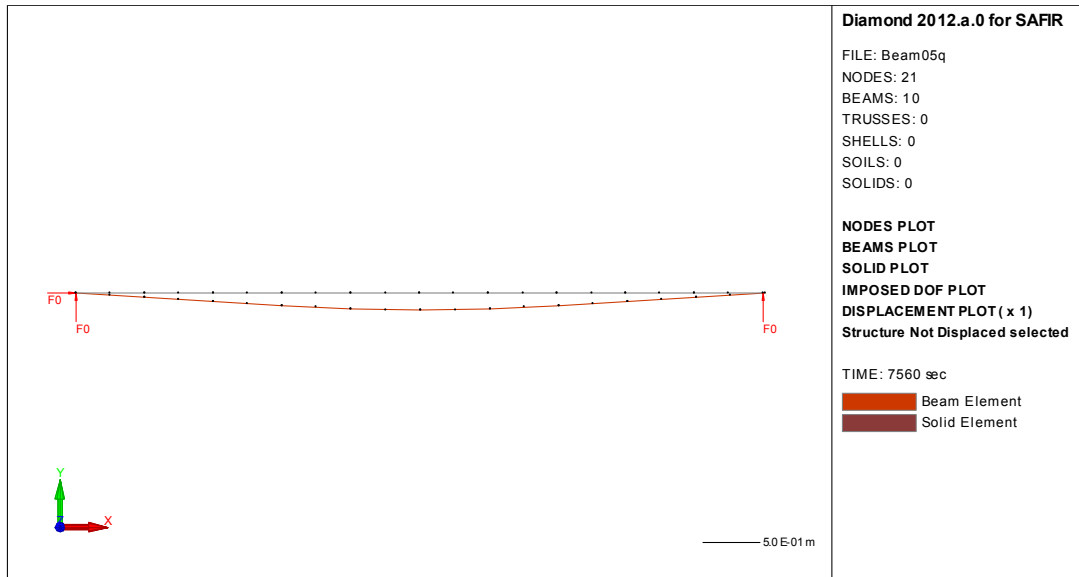
Cho một dầm đơn nhịp 6m, tiết diện như Hình 3. 20 tiếp xúc lửa ở 3 cạnh. Mô hình này lấy giống mô hình trong nghiên cứu [50] để có số liệu so sánh. Cốt thép trong dầm là 6 $\phi 20$ có giới hạn chảy $f_y = 400$ MPa, bê tông có cường độ chịu nén $f_c = 30$ MPa. Khả năng chịu lực của dầm khi chịu tải trọng phân bố đều là $q_{max} = 33700$ N/m. Trong điều kiện cháy dầm chịu tải trọng nhỏ hơn ở điều kiện thường nên bài toán này khảo sát dầm chịu một tải trọng từ $0.2 q_{max}$ đến $0.7 q_{max}$.



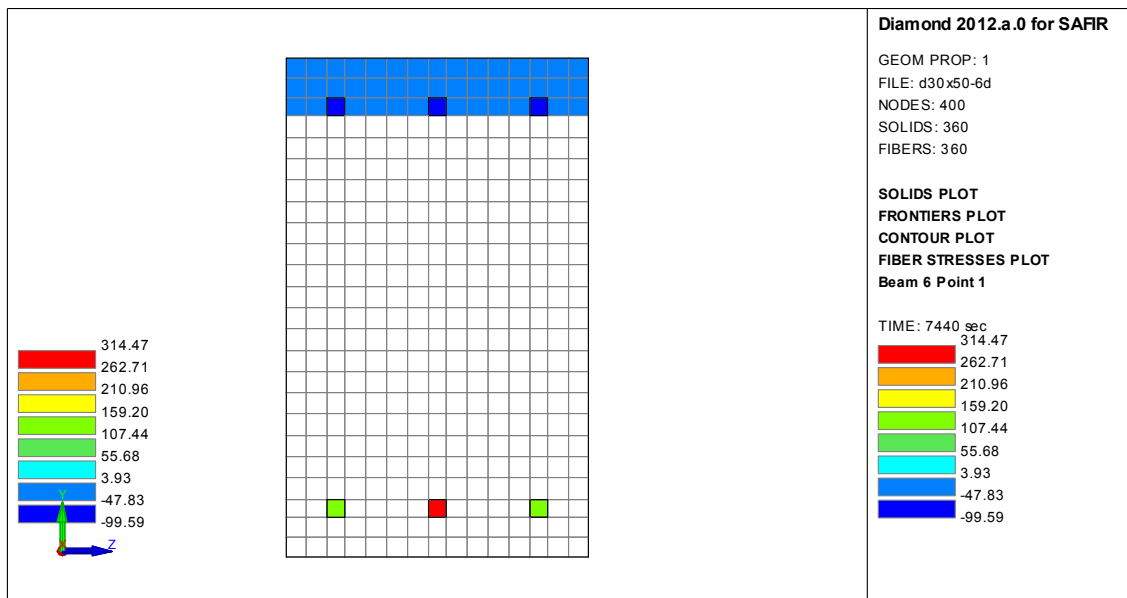
Hình 3. 20 Mô hình dầm đơn giản

Dùng phần mềm SAFIR để phân tích ứng suất, biến dạng của dầm và tính giới hạn chịu lửa của dầm. Các kết quả thể hiện ở Hình 3. 21 và Hình 3. 22. Tại trạng thái giới hạn, vùng bê tông chịu nén (phía trên) bị thu hẹp lại, ứng suất trong 3 thanh thép ở vùng nén khác nhau nhiều (thanh giữa ứng suất -38.58MPa trong khi 2 thanh bên ứng suất -21.92 MPa). Tương tự, đối với 3 thanh thép vùng kéo, thanh giữa nhiệt độ nhỏ hơn nên cường độ cao hơn và đạt ứng suất 311.74MPa ở TTGH, trong khi 2 thanh bên nhiệt độ cao hơn nên cường độ nhỏ hơn và đạt ứng suất 124.72 MPa. Như vậy, sự phân bố ứng suất biến dạng trong dầm rất phức tạp, có thể không theo logic của kết cấu ở nhiệt độ thường vì ảnh hưởng của biến dạng do

nhật. Khi nhiệt độ cao sẽ làm giảm cường độ và mô đun biến dạng của vật liệu. Kết quả tính giới hạn chịu lửa của cầu kiện khi thay đổi tỉ số tải trọng sử dụng cho trong Bảng 3. 2. Kết quả cho thấy, tỉ số tải trọng cao thì giới hạn chịu lửa giảm rõ rệt.



Hình 3. 21 Biến dạng của dầm chịu tải $0.5q_{max}$ ở trạng thái giới hạn (TTGH)



Hình 3. 22 Ứng suất (N/mm^2) tại mặt cắt ngang giữa dầm chịu tải $0.5q_{max}$ tại TTGH

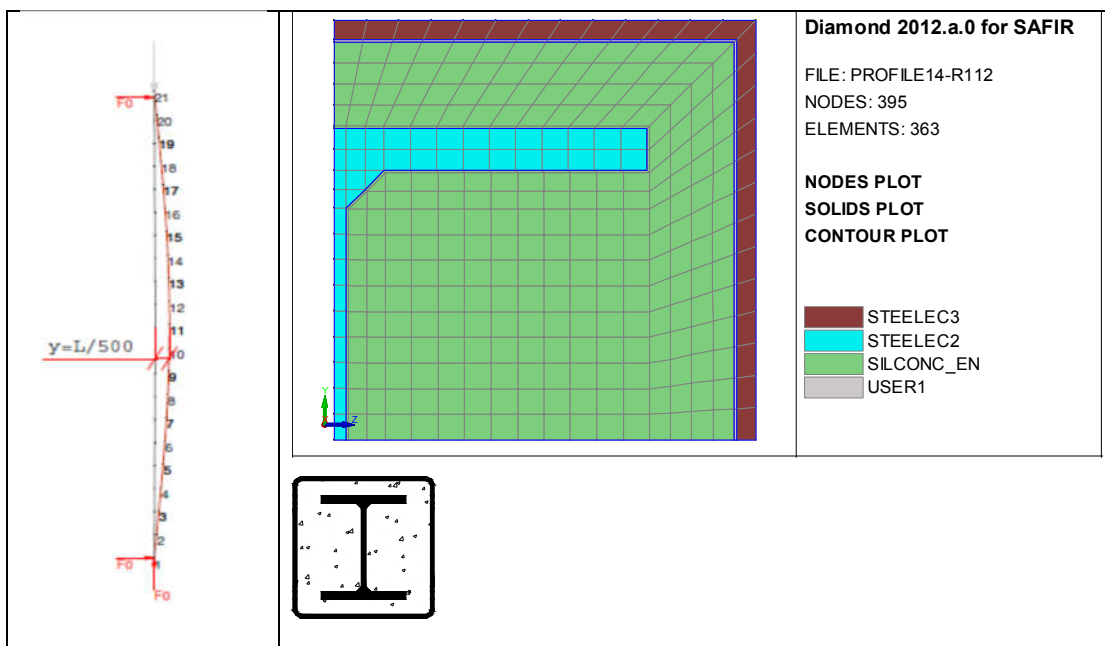
Bảng 3. 2. Giới hạn chịu lửa của dầm đơn giản với các tải trọng khác nhau

Tải trọng	$0.2q_{\max}$	$0.3q_{\max}$	$0.4q_{\max}$	$0.5q_{\max}$	$0.6q_{\max}$	$0.7q_{\max}$
Giới hạn chịu lửa (phút)	211	159	142	127	114	101

3.3 Sự làm việc của cột liên hợp thép - bê tông trong điều kiện cháy

Cấu kiện cột được mô phỏng bằng các phần tử loại dầm như mô phỏng dầm, song nội lực trong cột chủ yếu là lực dọc và mô men uốn. Trong dầm mô men là chủ yếu, nên ứng xử của dầm và cột khác nhau.

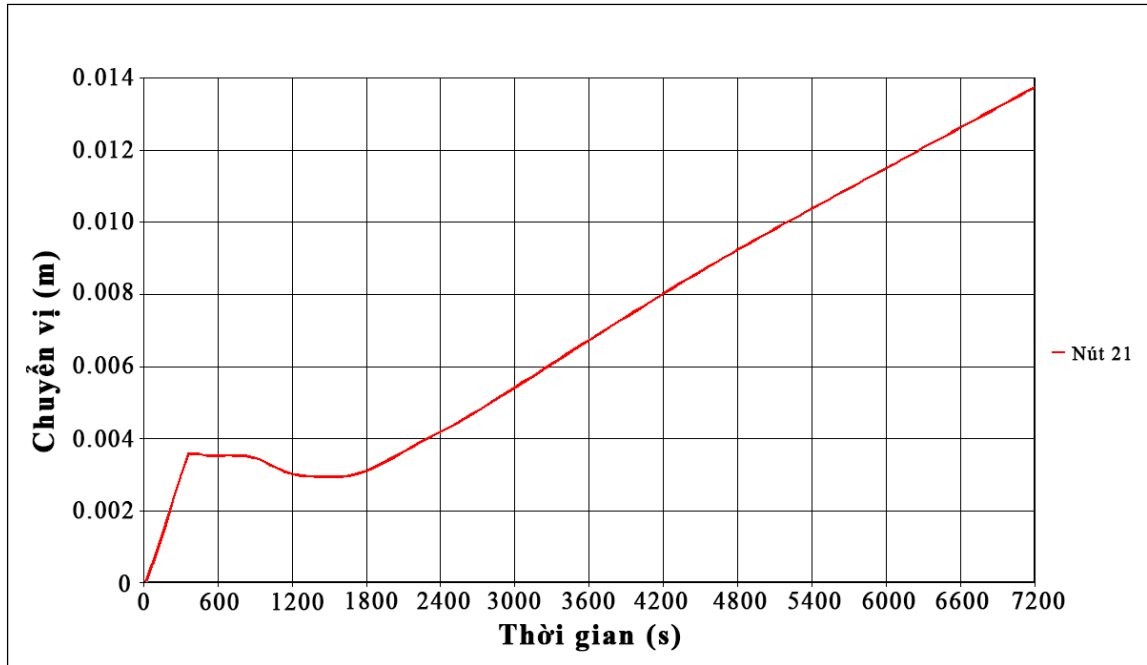
Các mục 3.3.1 đến 3.3.3 trình bày kết quả phân tích cột liên hợp thép - bê tông có tiết diện như Hình 3. 23. Cột gồm hộp thép vuông S350x8 bọc bê tông và thép hình HEB260. Vật liệu thép và bê tông lấy theo tiêu chuẩn châu Âu: thép có giới hạn chảy $f_{sy} = 355$ MPa, bê tông có cường độ chịu nén $f_c=30$ MPa. Cột cao 3m, liên kết là một đầu khớp cố định, một đầu khớp di động. Cột được chia làm nhiều phần tử để phân tích có kể đến sơ đồ biến dạng hình học (hiệu ứng bậc 2). Cột được mô phỏng có độ cong ban đầu để kể đến hệ số uốn dọc. Ở Hình 3. 23, tiết diện cột là hộp thép vuông, thép I bên trong và nhồi bê tông. Hình vẽ chỉ hiện 1/4 tiết diện cột do dùng lệnh đối xứng. Việc phân tích kết cấu được thực hiện cho toàn tiết diện cột.



Hình 3. 23 Mô phỏng cột

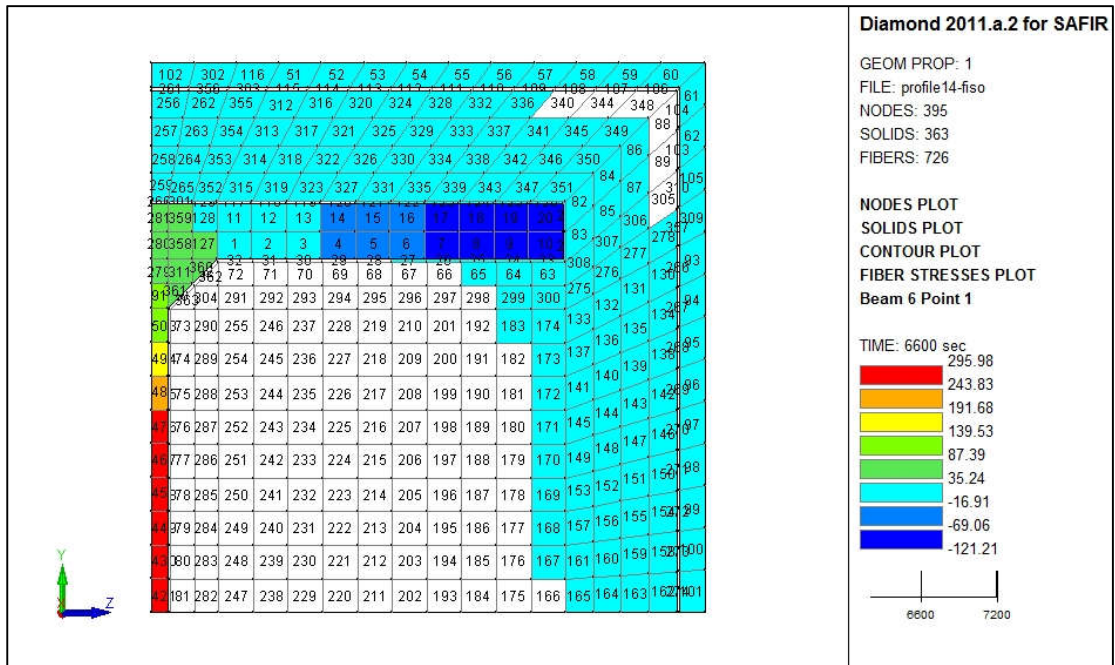
3.3.1 Ứng suất - biến dạng của cột khi không chịu tải trọng

Khảo sát một cột có cấu tạo như Hình 3. 23 có 4 mặt tiếp xúc lửa. Cột có giãn nở do nhiệt và có chuyển vị đứng ở đầu cột (nút 21) như ở Hình 3. 24.



Hình 3. 24 Chuyển vị đầu cột không chịu tải khi nhiệt độ tăng cao

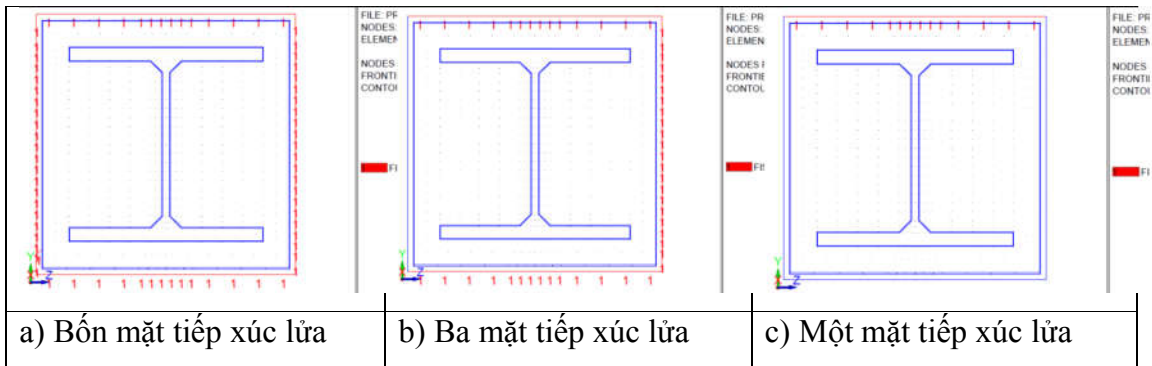
Mặc dù trong cột không có nội lực nhưng do sự giãn nở về nhiệt khác nhau nên trong các vị trí của tiết diện vẫn có ứng suất lớn trong cột (Hình 3. 25). Phần hộp thép bên ngoài tiếp xúc với lửa nên nhiệt độ cao nhất, dẫn đến giãn nở vì nhiệt lớn nhất, song sự biến dạng này bị hạn chế bởi bê tông bên trong nên phần hộp thép ngoài có ứng suất nén. Phần thép hình bên trong thì ngược lại, chịu ứng suất kéo vì nhiệt độ thấp không có giãn nở về nhiệt nhưng bị kéo lên do biến dạng giãn dài của ống thép bên ngoài. Phần bê tông bên trong chịu kéo nên đã nứt, có ứng suất bằng 0. Phần bê tông gần bên ngoài thì có điểm chịu nén, điểm chịu kéo tùy thuộc vào độ giãn tự do bởi nhiệt lớn hơn hay nhỏ hơn độ giãn của các phần tử bên cạnh. Như vậy, dù chưa chịu tải trọng thì ứng suất trong cấu kiện liên hợp thép - bê tông khi chịu nhiệt độ tăng cao cũng rất phức tạp, phụ thuộc vào vị trí, diện tích phần thép và diện tích phần bê tông, rất khó dự đoán.



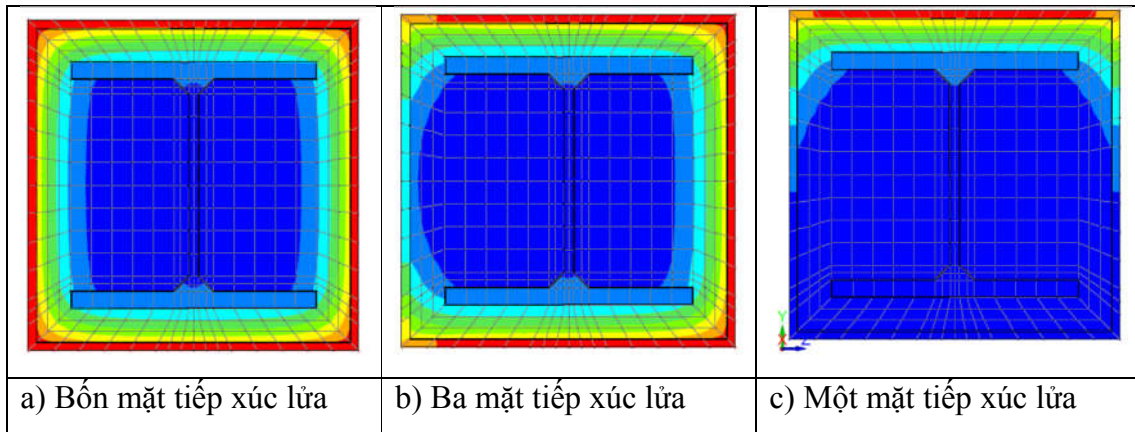
Hình 3. 25 Ứng suất (N/mm^2) trong tiết diện cột ở thời điểm 6600s khi chịu cháy

3.3.2 Khảo sát ảnh hưởng của số bề mặt tiếp xúc lửa

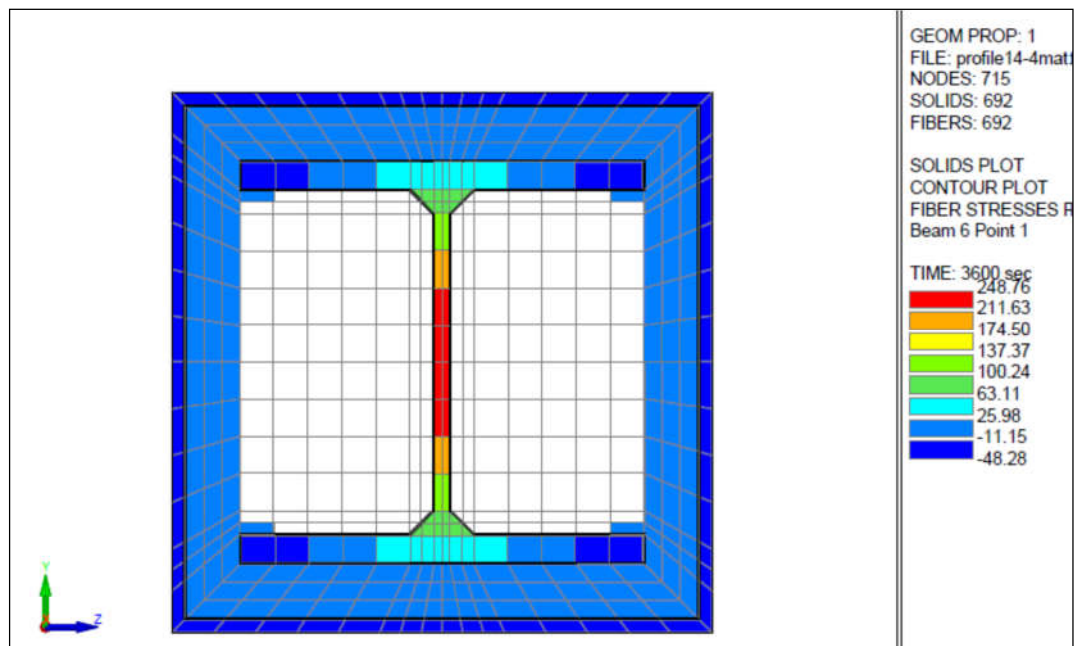
Cột được khảo sát nội lực khi không chịu tải trọng nhưng chịu cháy với các trường hợp: cả 4 mặt tiếp xúc lửa, 3 mặt tiếp xúc lửa và 1 mặt tiếp xúc lửa như Hình 3. 26



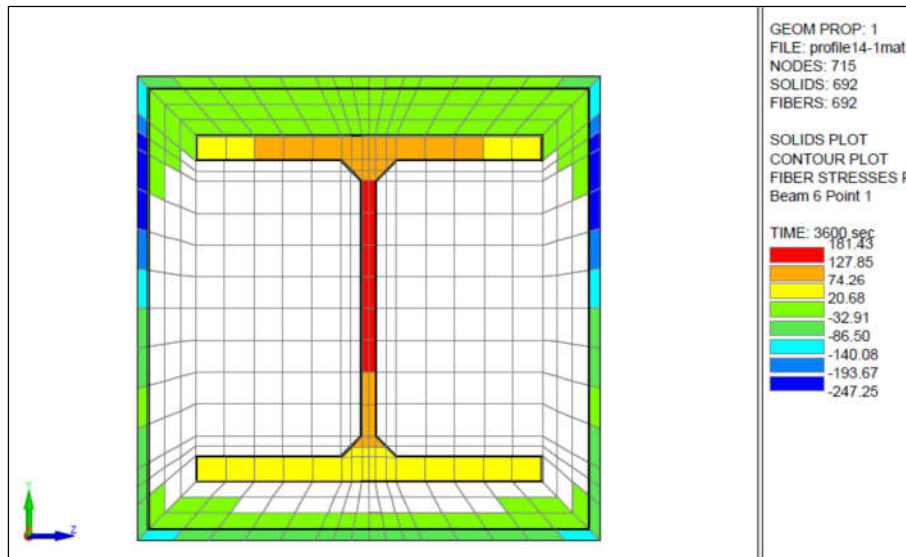
Hình 3. 26 Tiết diện cột với các trường hợp bề mặt tiếp xúc lửa



Hình 3. 27 Nhiệt độ trong tiết diện cột với các trường hợp bề mặt tiếp xúc lửa tại một thời điểm cháy (3600s)



Hình 3. 28 Ứng suất trong tiết diện cột bốn mặt tiếp xúc lửa tại thời điểm 3600 s (phần gần chu vi bao ngoài chịu nén, phần giữa tiết diện cột chịu kéo, bê tông bên trong đã nứt do kéo nên ứng suất bằng 0)

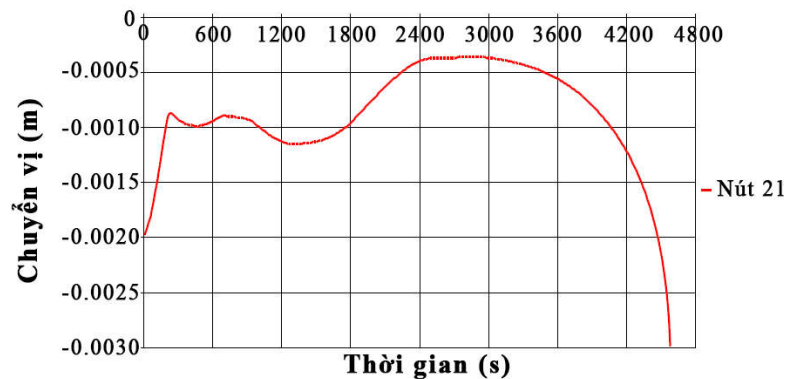


Hình 3. 29 Ứng suất trong tiết diện cột một mặt tiếp xúc lửa thời điểm 3600s (cột không chịu tải trọng nhưng có ứng suất không đối xứng do có 1 mặt tiếp xúc lửa có biến dạng do nhiệt nhiều hơn các mặt khác)

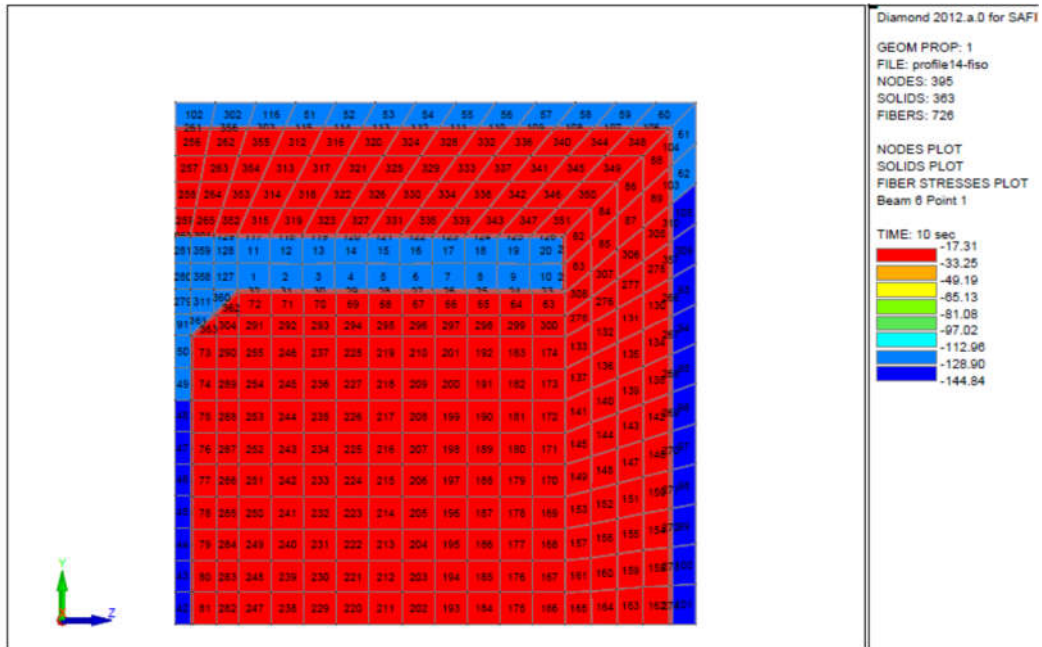
Như vậy, biến dạng do nhiệt gây ứng suất lớn trong tiết diện nên cách thức bề mặt cột tiếp xúc với đám cháy ảnh hưởng đáng kể đến ứng xử của cột.

3.3.3 Khảo sát ảnh hưởng của tỉ số tải trọng sử dụng

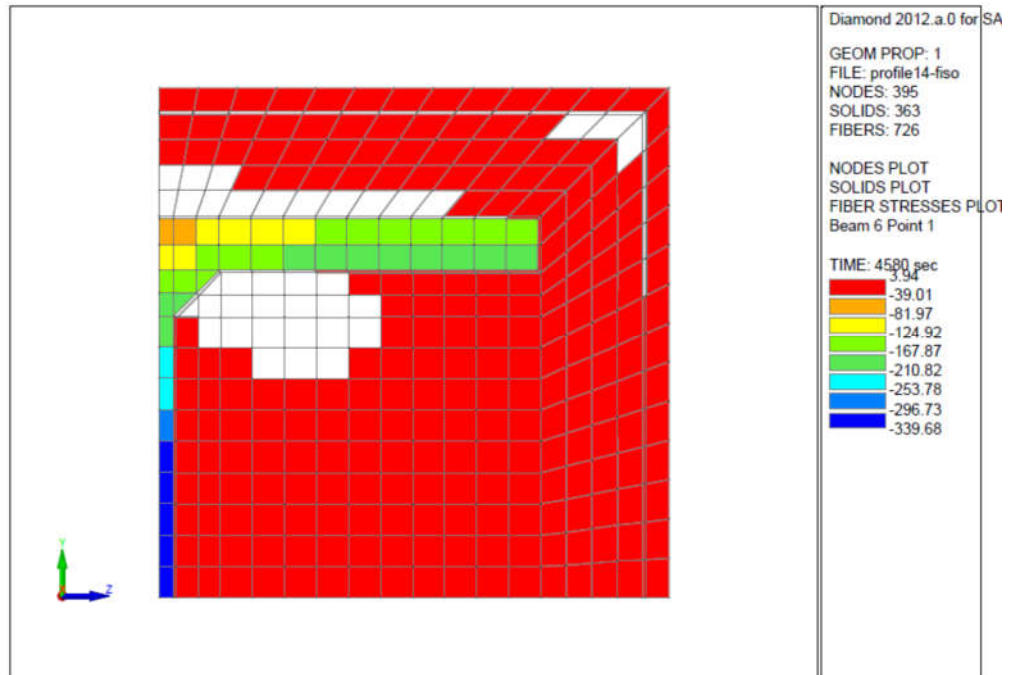
Cột được tính toán với nhiều giá trị tải trọng từ $0.3N_{max}$ đến $0.7N_{max}$ (tức là tỉ số tải trọng sử dụng từ 0.3 đến 0.7). Ứng suất, biến dạng, chuyển vị đỉnh cột phụ thuộc vào tải trọng tác dụng. Các hình vẽ dưới là ví dụ tính toán cột với giá trị $N=0.5N_{max}$.



Hình 3. 30 Chuyển vị đỉnh cột khi chịu tải $N=0.5N_{max}$ trong suốt quá trình chịu cháy: lúc giãn nở rồi bị co ngắn

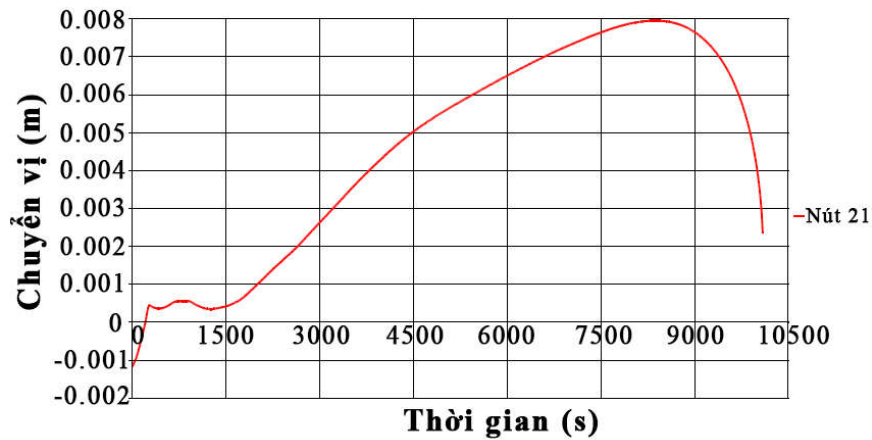


Hình 3. 31 Ứng suất (N/mm^2) trong cột ở thời điểm bắt đầu chịu cháy, toàn bộ tiết diện chịu nén ($N=0.5N_{max}$)

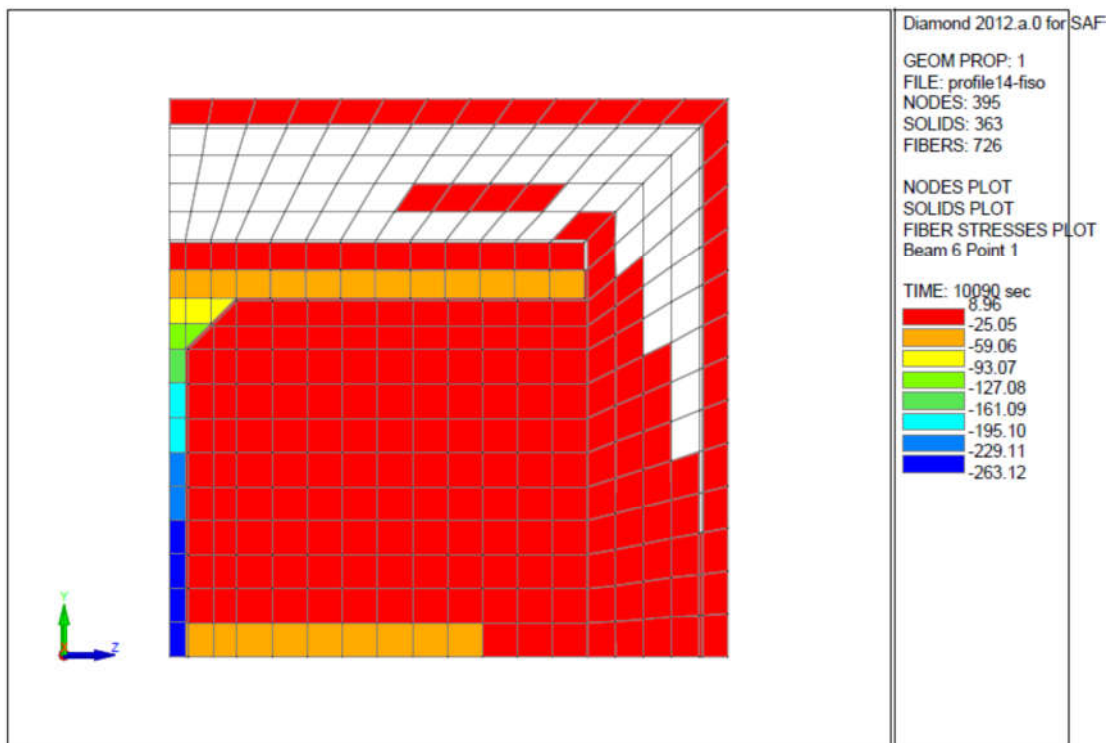


Hình 3. 32. Ứng suất trong cột ở thời điểm trước khi bị phá hoại, ứng suất phân bố phức tạp do có biến dạng nhiệt khác nhau ở từng điểm trên tiết diện ($N=0.5N_{max}$)

Khi tải trọng thay đổi, sự giãn nở hay co ngắn cột cũng như ứng suất trong cột có sự thay đổi đáng kể. Các hình dưới đây là kết quả tính của trường hợp cột chịu tải nhỏ hơn ví dụ trước ($N = 0.3N_{max}$). So sánh với các hình bên trên để nhận thấy sự thay đổi phức tạp, khó phỏng đoán của cột.



Hình 3. 33 Chuyển vị đỉnh cột chịu tải $N=0.3N_{max}$






Hình 3. 34 Ứng suất trong cột ở thời điểm trước khi bị phá hoại, cột chịu tải $N=0.3N_{max}$

3.3.4 Khảo sát ảnh hưởng của độ mảnh cột

Để khảo sát ảnh hưởng của độ mảnh cột đến giới hạn chịu lửa R, các cột có tiết diện khác nhau, chiều cao khác nhau, cùng tỉ số tải trọng tác dụng ($N=0.3 N_{max}$) được tính toán.

Vật liệu và sơ đồ tính giống như trình bày ở các mục 3.3.1 đến 3.3.3. Độ mảnh cột tính bằng chiều dài tính toán chia bán kính quán tính của tiết diện. Kết quả ở Bảng 3.3 cho thấy, giới hạn chịu lửa của cột phụ thuộc vào giá trị độ mảnh. Hơn nữa, với các tiết diện cột khác nhau cùng giá trị độ mảnh và cùng tỉ số tải trọng tác dụng thì giới hạn chịu lửa của cột cũng khác nhau đáng kể.

Bảng 3.3. Giới hạn chịu lửa của cột liên hợp với các giá trị độ mảnh khác nhau

Cột	Tiết diện ngang	Độ mảnh	R (phút)
Profile 3	 C 219.1 x 5 HEB 120	34.7	76
		52.1	56
		69.4	46
		86.8	39
		121.5	32
Profile 14	 S 350 x 8 HE 260B	19.8	82
		29.8	61
		39.7	50
		49.6	43
		69.4	35
Profile 15	 C 355.5 x 6 C 273 x 12	22.5	179
		33.7	163
		44.9	145
		56.2	125
		78.7	92

3.4 Sự làm việc của khung phẳng liên hợp thép - bê tông trong điều kiện cháy

3.4.1 Sự làm việc của liên kết dầm-cột

Trong kết cấu khung, ngoài cấu kiện cột và dầm thì liên kết dầm - cột cũng rất quan trọng bởi ảnh hưởng đến ứng xử của kết cấu. Trên thế giới đã có những nghiên cứu thực nghiệm về liên kết của kết cấu thép trong điều kiện cháy.

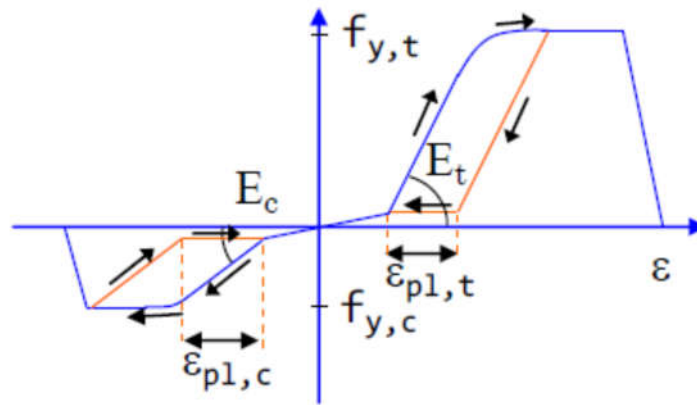
Nhận thức được tầm quan trọng của liên kết dầm - cột tới ứng xử của kết cấu, đã có những nghiên cứu thực nghiệm về liên kết của kết cấu thép trong điều kiện cháy. Có thể kể tới ở đây những nghiên cứu sau [43], [97], [98], [101], [103],

[111], [121]. Tài liệu [111] công bố kết quả thực nghiệm 3 mối nối dầm thép hình chữ I và cột ống thép nhồi bê tông có xét đến quá trình giảm nhiệt.

Ở một nghiên cứu khác, Francoise Hanus 2010 [73] đã dùng phương pháp phần tử hữu hạn để mô phỏng liên kết dầm – cột thép bằng cách chia liên kết thành các thành phần (component method), mỗi thành phần là một phần tử có quan hệ ứng suất- biến dạng- nhiệt độ- độ giãn dài khác nhau. Liên kết được phân tích ở từng bước thời gian cháy, cập nhật nhiệt độ và các tính chất cơ lý của vật liệu thay đổi theo nhiệt độ bằng phần mềm SAFIR. Phương pháp này đã kể đến khá chính xác độ mềm của liên kết và được kiểm chứng bằng thực nghiệm.



Hình 3. 35 Mô phỏng liên kết trong nghiên cứu của Hanus F. [73]

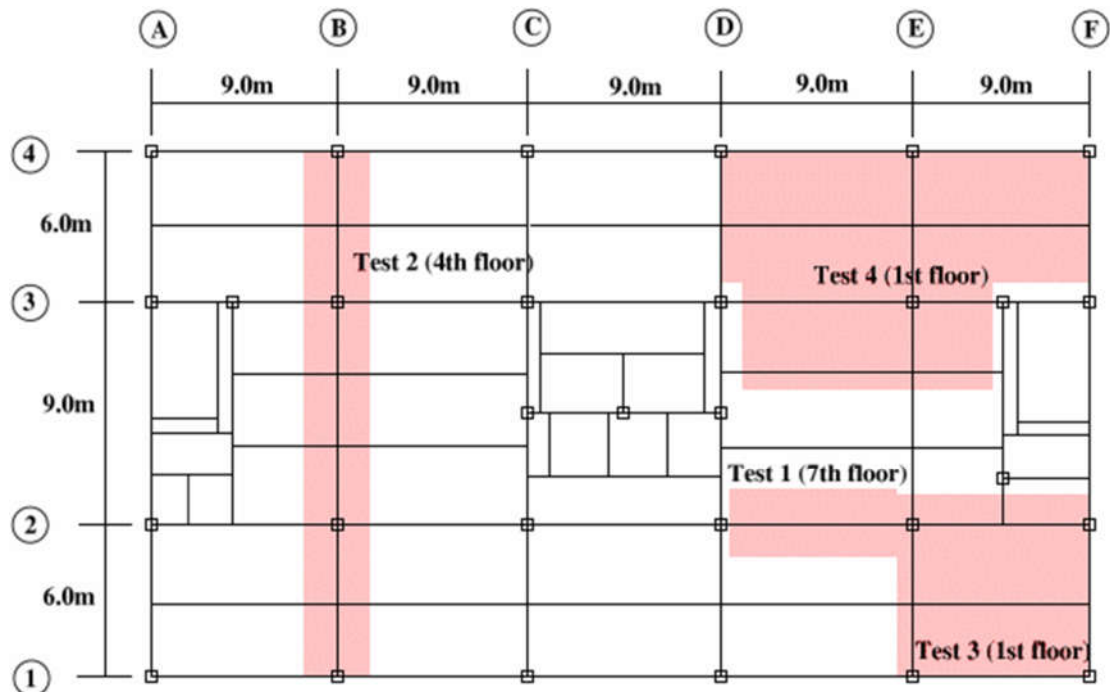


Hình 3. 36 Mô hình ứng suất- biến dạng của các thành phần (component) trong liên kết (Hanus F. [73])

L luận án này không mô phỏng liên kết mà lấy kết quả tính khi mô phỏng loại liên kết của các nghiên cứu khác để áp dụng cho khung. Đây chỉ là một khung ví dụ để chỉ ra ứng xử của khung. Khung được mô phỏng với các loại liên kết: liên kết

cứng, liên kết khớp và liên kết nửa cứng trong nghiên cứu [73]. Qua so sánh với kết quả thực nghiệm thấy rằng, liên kết dầm - cột khung khi chịu cháy ứng xử gần với liên kết khớp. Do vậy các phân sau giả thiết liên kết dầm- cột khung là khớp trong quá trình chịu cháy.

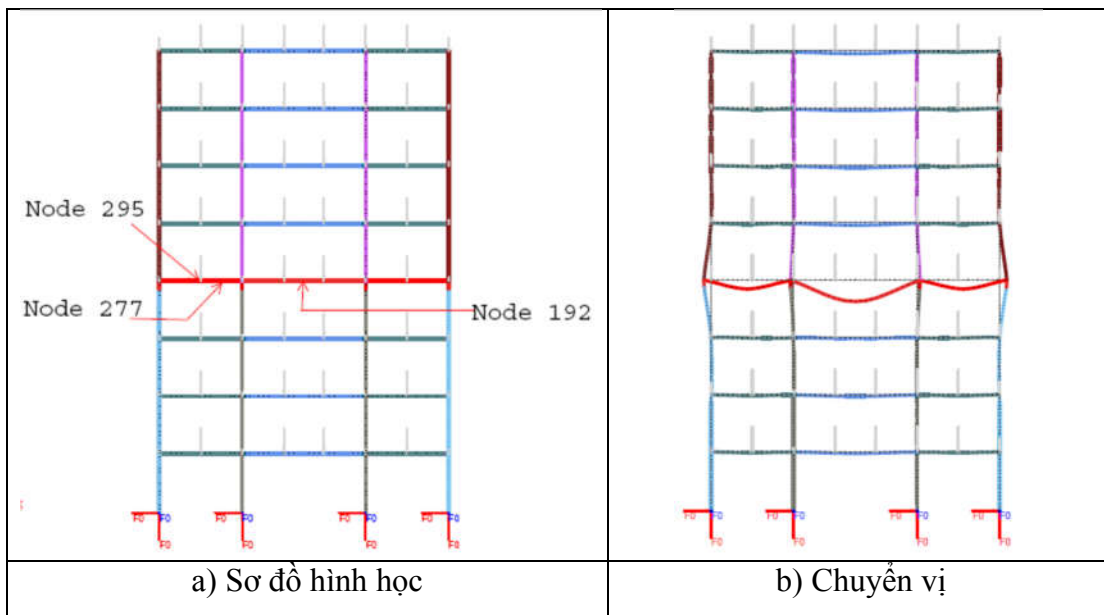
Trong phần này, luận án trình bày kết quả mô phỏng khung phẳng dầm-cột thép và sàn liên hợp trong thí nghiệm số 2 Cardington. Đây là một trong số 6 thí nghiệm nguyên mẫu trên mô hình khung liên hợp 8 tầng tại Cardington do Hội xây dựng công trình (BRE) chủ trì [31]. Mô hình số 2 được thiết kế để nghiên cứu ứng xử của khung phẳng 8 tầng 3 nhịp khi bị đốt cháy ở tầng thứ 4 (Hình 3. 37). Dầm thép chữ I đỡ sàn liên hợp có các nhịp 6m, 9m và 6m. Cột thép tiết diện chữ I, tiết diện 305x305 mm. Chiều cao tầng 1 là 4.305m, các tầng còn lại có chiều cao 4.185m. Để tiến hành thí nghiệm số 2, một lò đốt dài 21m, rộng 3 m, cao 4m được xây dựng bao quanh tầng 4 của khung trục B. Nhiệt độ cao nhất trong lò đốt là 780°C. Cột thép được sơn chống cháy từ chân cột đến đoạn cách đáy dầm 200mm. Dầm thép, sàn và nút khung không được bọc chống cháy.



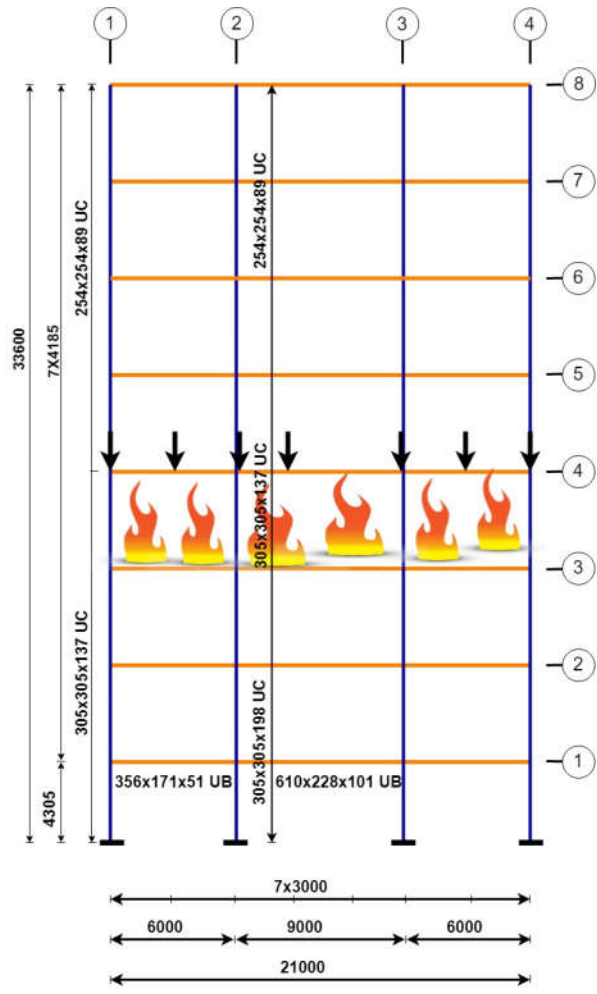
Hình 3. 37 Mặt bằng vị trí các thí nghiệm của chuỗi thí nghiệm Cardington [31]

Đầu tiên, dựa vào các số liệu trong báo cáo thí nghiệm Cardington, nghiên cứu này mô phỏng đúng thí nghiệm số 2 Cardington. Kết quả tính toán được so với kết quả thí nghiệm để kiểm chứng mô hình. Sau đó, dùng mô hình đã được kiểm chứng, kết quả tính toán chuyển vị, ứng suất, biến dạng trong khung được khảo sát với 3 vị trí đám cháy khác nhau, cường độ đám cháy khác nhau và độ cứng liên kết dầm cột khác nhau.

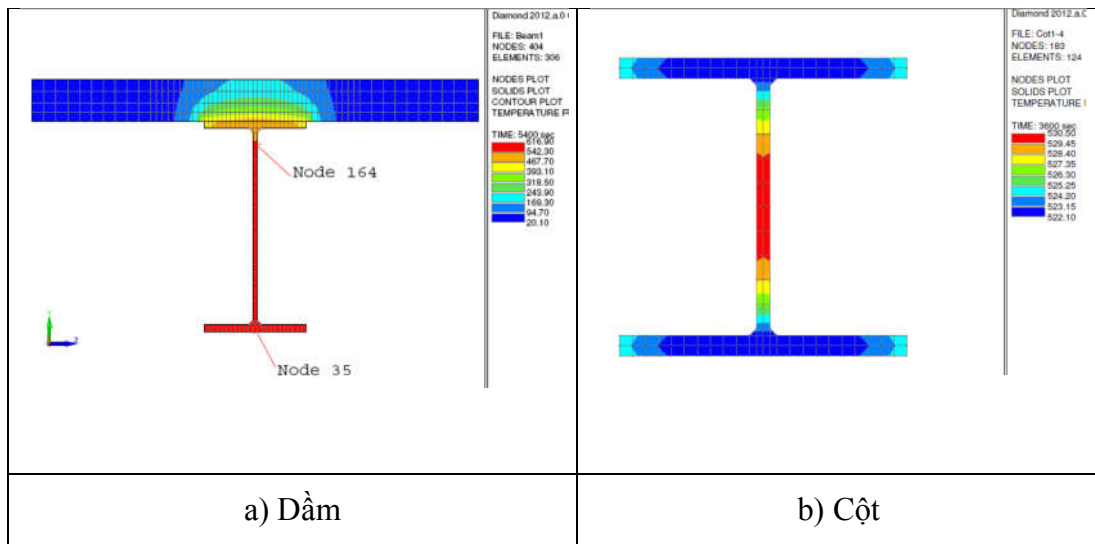
Hình 3. 38 mô phỏng sơ đồ khung và chuyển vị khung sau một khoảng thời gian cháy xác định của thí nghiệm số 2 Cardington. Kích thước và tiết diện khung như ở Hình 3. 39. Dầm thép đỡ bản sàn liên hợp thép- bê tông và cột thép hình được mô phỏng như ở Hình 3. 40. Phần tấm tôn đỡ bản sàn bê tông không được mô phỏng để đơn giản hóa. Hơn nữa, các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu trong điều kiện cháy đều cho phép bỏ qua sự làm việc của tấm tôn trong thiết kế dầm liên hợp thép- bê tông, sự đơn giản hóa này là chấp nhận được. Chỉ có dầm tầng 5 và đầu cột sắt tầng 5 (màu đỏ trên Hình 3. 38a) được tiếp xúc với lửa, toàn bộ các cấu kiện còn lại được bọc chống cháy nên mô phỏng biên là điều kiện nhiệt độ thường. Tầng 4 được đốt cháy trong 150 phút, sau đó giảm nhiệt. Nhiệt độ cao nhất trong lò đốt là 780°C. Mô hình tính nhiệt độ được kiểm chứng bằng cách so kết quả tính và kết quả thí nghiệm.



Hình 3. 38 Sơ đồ khung



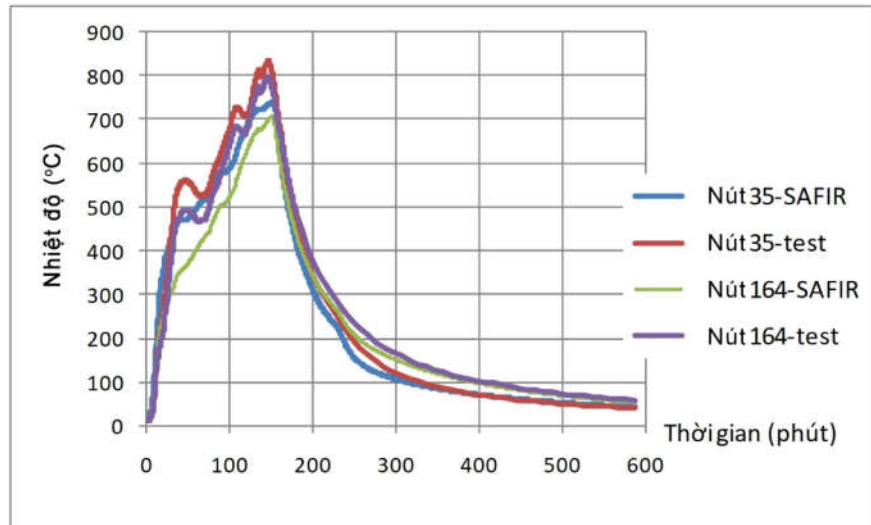
Hình 3. 39 Kích thước và tiết diện khung [31]



a) Dầm

b) Cột

Hình 3. 40 Mô phỏng tiết diện dầm, cột



Hình 3. 41 Nhiệt độ trong dầm tính theo SAFIR và kết quả thí nghiệm (test)

Nhiệt độ tính theo phần mềm SAFIR tương đối phù hợp với kết quả thí nghiệm (Hình 3. 41).

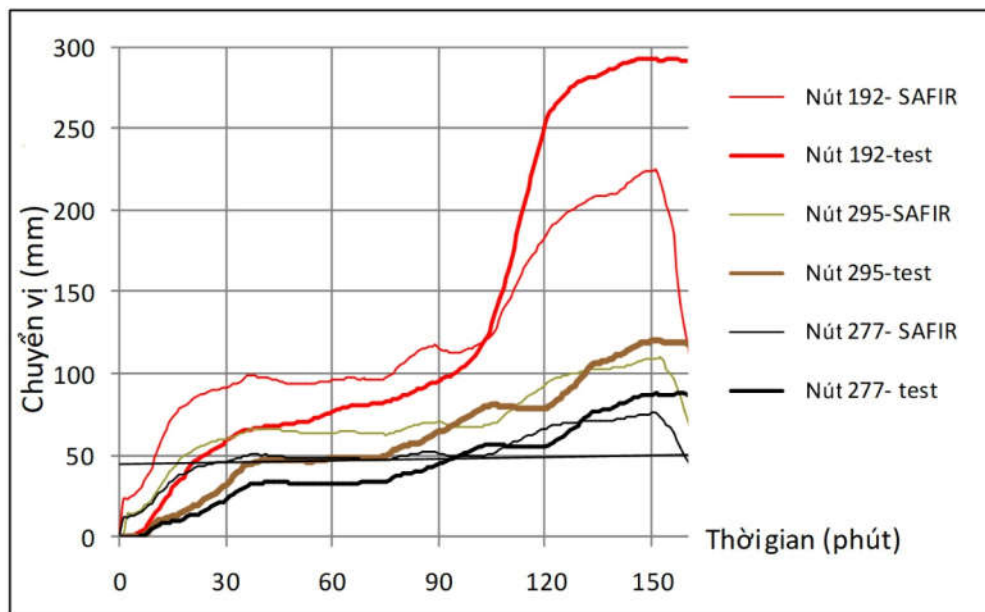
3.4.2 Ảnh hưởng của độ cứng liên kết

Như trình bày ở trên, khung được tính với 3 trường hợp liên kết dầm- cột khung: liên kết cứng, liên kết khớp và liên kết nửa cứng. Ở điều kiện nhiệt độ thường, nút khung được thiết kế là nút cứng như ở Hình 3. 42.

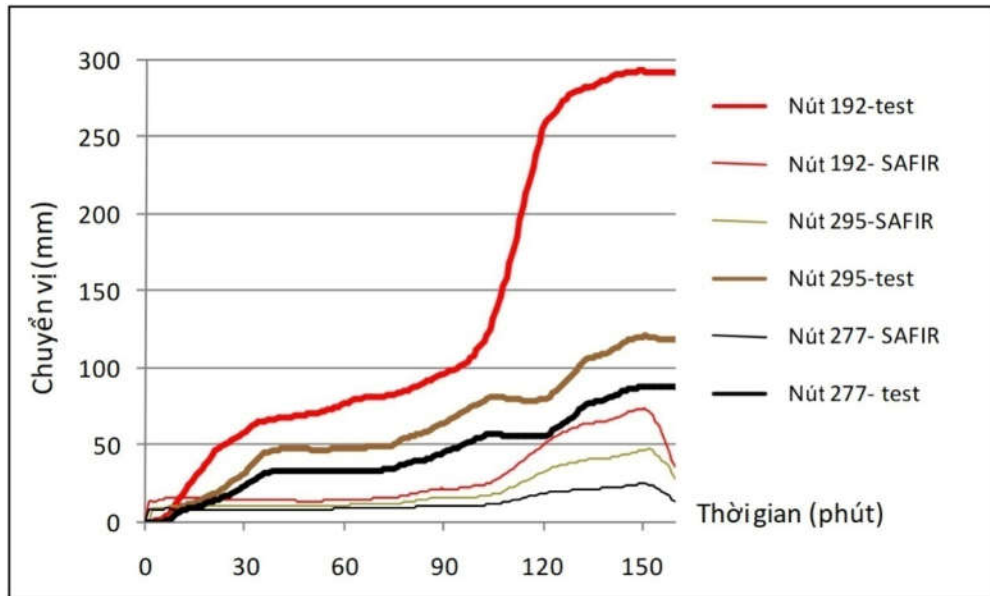


Hình 3. 42 Biến dạng trong khung sau thí nghiệm đốt cháy [31]

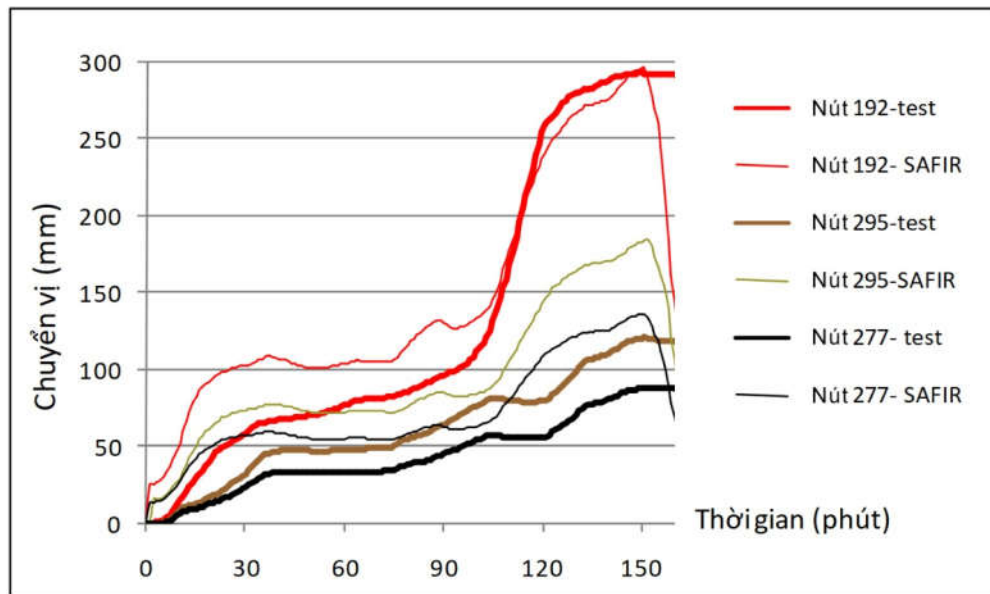
Kết quả mô phỏng cho thấy, chuyển vị trong dầm phụ thuộc vào liên kết dầm cột (Hình 3. 43 đến Hình 3. 45). Hình dạng của biểu đồ chuyển vị - thời gian cháy theo tính toán và theo thí nghiệm là đồng dạng. Liên kết cứng cho kết quả tính chuyển vị nhỏ hơn đáng kể so với kết quả thí nghiệm, liên kết khớp tính ra chuyển vị lớn hơn so với kết quả thí nghiệm. Để tính đúng, cần nghiên cứu ứng xử của liên kết để có thông số tính liên kết nửa cứng. Hình 3. 43 so sánh kết quả đo chuyển vị đứng của dầm khung tại các điểm 295, điểm 192 và điểm 277 (vị trí xem Hình 3. 38) tính với liên kết dầm cột nửa cứng lấy theo tài liệu của [73]. Kết quả tính chuyển vị chưa phù hợp lắm với kết quả thí nghiệm, có thể là do liên kết dầm - cột chưa được mô phỏng đúng. Tuy nhiên, với hình dạng biểu đồ tương tự kết quả thí nghiệm, chấp nhận mô hình tính của SAFIR. Nếu điều chỉnh độ cứng liên kết, có thể tìm được mô hình tính có giá trị chuyển vị gần với kết quả thí nghiệm hơn. Cần có những nghiên cứu tiếp tục về độ cứng của liên kết dầm - cột để hoàn chỉnh hơn sơ đồ tính.



Hình 3. 43 Chuyển vị đứng ở điểm giữa dầm - liên kết nửa cứng: So sánh kết quả tính (SAFIR) và kết quả thí nghiệm (test)

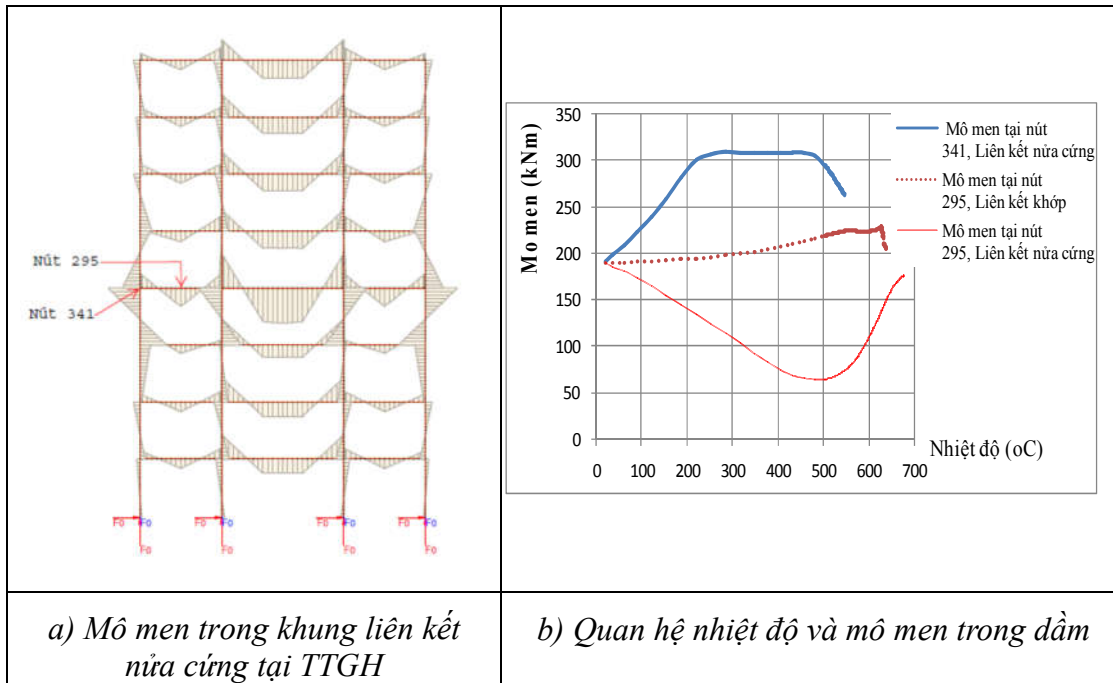


Hình 3. 44 Chuyển vị đứng ở điểm giữa dầm - liên kết cứng: So sánh kết quả tính (SAFIR) và kết quả thí nghiệm (test)



Hình 3. 45 Chuyển vị đứng ở điểm giữa dầm - liên kết khớp: So sánh kết quả tính (SAFIR) và kết quả thí nghiệm (test)

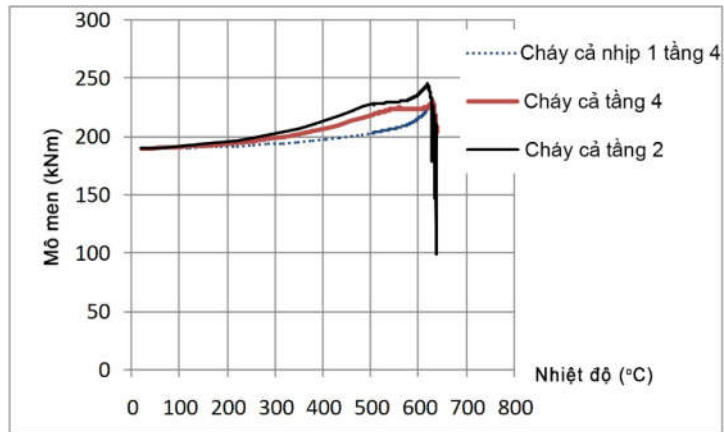
Để xác định nhiệt độ tới hạn trong dầm (nhiệt độ ứng với thời điểm dầm bị phá hoại) khung được tính với nhiệt độ thay đổi theo đường chuẩn ISO 834 (không có đoạn giảm nhiệt). Nếu để cột không bọc lớp vật liệu chống cháy tiếp xúc với lửa thì cột bị phá hoại trước. Thí nghiệm Cardington cũng cho thấy cột bị mất ổn định cục bộ dù đường nhiệt độ dưới 800°C chưa đủ để phá hoại cột. Phần mềm SAFIR chưa cho phép mô phỏng kể đến mất ổn định cục bộ nên nghiên cứu này chỉ tập trung vào dầm trong khung. Để tránh cột phá hoại trước dầm, toàn bộ cột được tính toán với trường hợp có sơn cách nhiệt. Dầm khung tiếp xúc trực tiếp với lửa theo đường chuẩn ISO 834 đến khi dầm bị phá hoại, không tính đoạn giảm nhiệt. Hình 3. 46b chỉ ra quan hệ giữa nhiệt độ trong dầm và mô men trong dầm khi thay đổi điều kiện liên kết dầm - cột. Giá trị tải trọng được điều chỉnh với các trường hợp liên kết để mô men uốn lớn nhất trong dầm ở nhiệt độ thường bằng nhau. Sàn bê tông không được đưa vào tính toán để dầm chịu được giá trị mô men giới hạn dương và âm là như nhau. Trường hợp liên kết cứng, lấy mô men uốn lớn nhất ở giá trị đầu dầm (nút 341 Hình 3. 46a) và thể hiện giá trị tuyệt đối (không xét dấu), hai trường hợp còn lại mô men lớn nhất ở giữa dầm (nút 295 Hình 3. 46a). Kết quả tính toán cho thấy mô men trong dầm thay đổi trong quá trình chịu lửa và khác hẳn mô men ở nhiệt độ thường. Tuy nhiên, ở trạng thái giới hạn về cường độ (điểm cuối của các đường trong Hình 3. 46b), các giá trị mô men uốn trong dầm và nhiệt độ (còn gọi là nhiệt độ tới hạn) không chênh lệch nhiều. Theo phương pháp tính toán đơn giản hóa trong tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1-2 [55], dầm có cùng tiết diện và cùng nhiệt độ sẽ có cùng mô men giới hạn. Như vậy phương pháp tính toán đơn giản hóa chưa kể được ảnh hưởng của điều kiện biên tới trạng thái giới hạn của dầm trong điều kiện cháy.



Hình 3. 46 Mô men, nhiệt độ trong khung khi thay đổi độ cứng liên kết

3.4.3 Ảnh hưởng của vị trí đám cháy

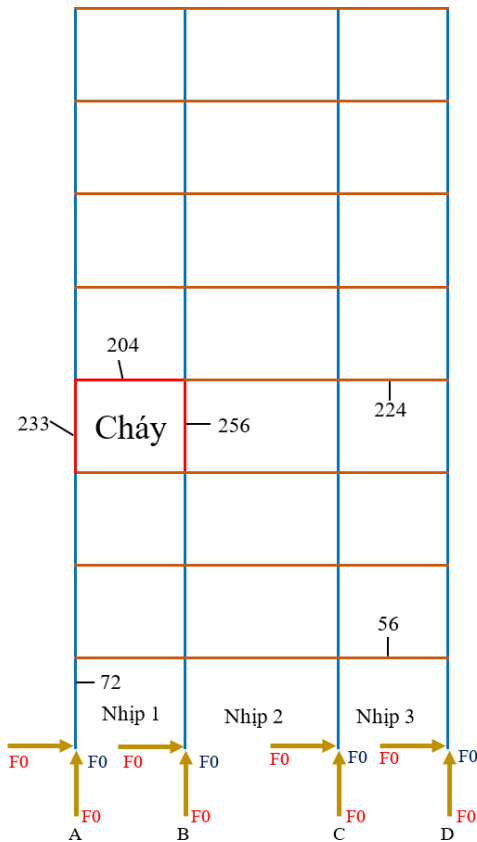
Do dầm các tầng đều chịu tải trọng giống nhau, nên ta khảo sát quan hệ nhiệt độ - mô men dầm tại tầng có cháy khi thay đổi vị trí đám cháy. Có 3 trường hợp được tính đến: đám cháy tại tầng 4 ở cả 3 nhịp, đám cháy tại tầng 4 chỉ ở nhịp 1 và đám cháy tại tầng 2 ở cả 3 nhịp. Dầm được tính toán ở tầng có cháy. Kết quả tính toán cho thấy, sự thay đổi giá trị mô men trong dầm theo nhiệt độ có khác nhau khi vị trí đám cháy khác nhau, song chênh lệch không nhiều. Có thể giải thích giá trị mô men khác nhau vì khả năng chống lại giãn nở do nhiệt ở các đầu dầm là khác nhau. Và có một nhận xét quan trọng là nhiệt độ tới hạn của dầm (nhiệt độ tại điểm cuối của các đường cong mô men - nhiệt độ) gần như bằng nhau cho cả 3 trường hợp vị trí đám cháy khác nhau. Điều này có thể giải thích, trong dầm thép nhiệt độ trên toàn tiết diện tương đối đều nhau, nên dầm bị phá hoại chủ yếu do nhiệt độ cao, làm cường độ và độ cứng của dầm bị suy giảm, nội lực phát sinh do biến dạng nhiệt không đều có thể bỏ qua. Trong tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép EC3, cũng cho phép thiết kế kết cấu thép trong điều kiện cháy theo nhiệt độ tới hạn, trong khi tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông EC2 và liên hợp thép - bê tông EC4 đều yêu cầu tính nhiệt độ trong mặt cắt tiết diện chia làm nhiều vùng nhiệt độ.



Hình 3.47 Quan hệ nhiệt độ và mô men trong dầm khi thay đổi vị trí đám cháy

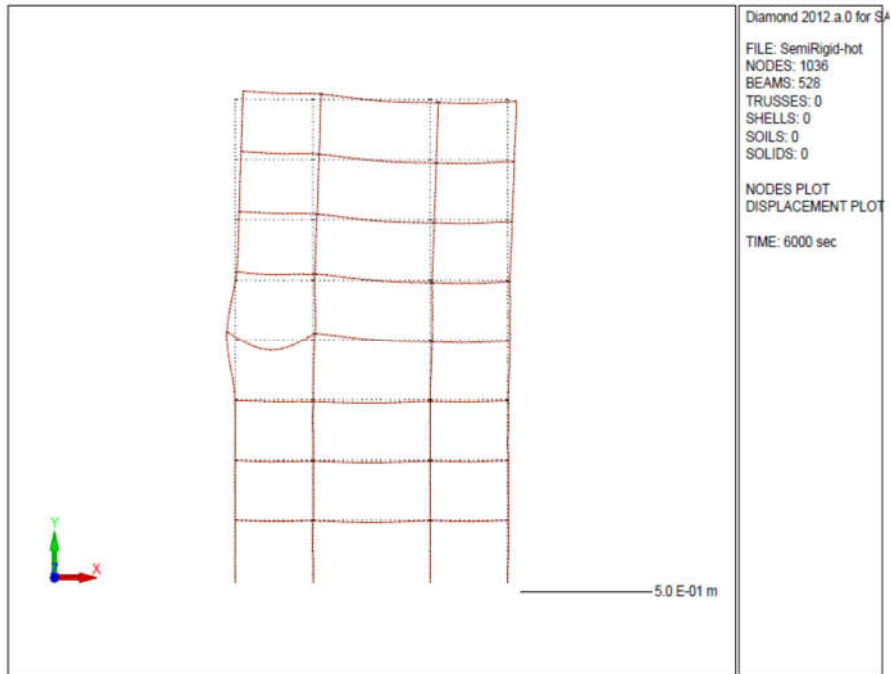
3.4.4 Khảo sát sự thay đổi nội lực trong dầm và cột khung trong giai đoạn tăng nhiệt của đám cháy

Phần này trình bày kết quả khảo sát sự thay đổi nội lực trong dầm và cột khung trong quá trình tăng nhiệt của đám cháy dù tải trọng không thay đổi.

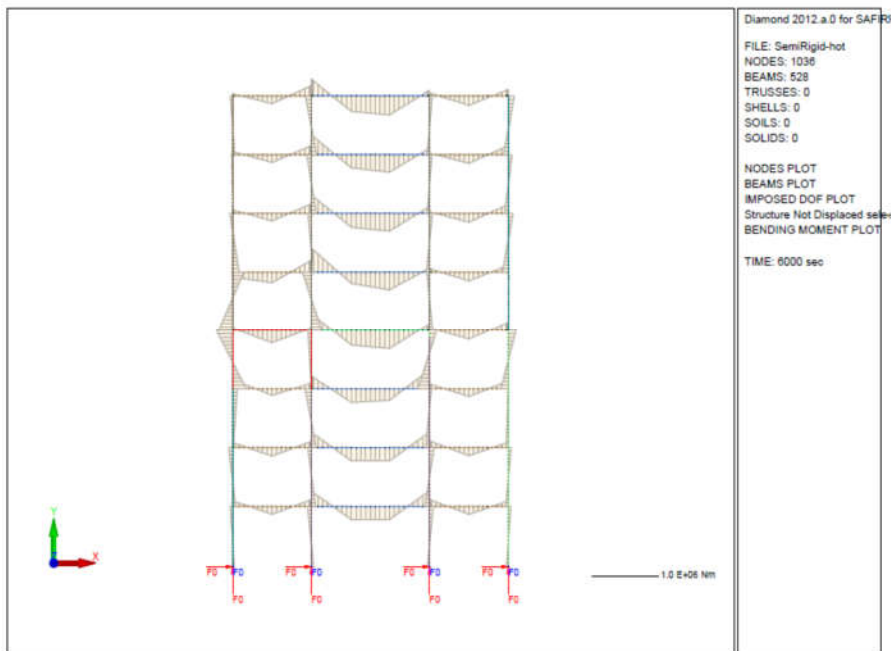


Hình 3. 48 Sơ đồ khung và vị trí các phân tử khảo sát

Đám cháy xảy ra ở tầng 4 nhịp 1. Các dầm và cột tiếp xúc với lửa có màu đỏ như ở Hình 3. 48. Tải trọng tác dụng lên khung là các tải trọng tập trung (Hình 3. 38) và tiết diện dầm, cột được mô phỏng như ở Hình 3. 40.



Hình 3. 49 Sơ đồ biến dạng khung ở thời điểm sau 6000 s chịu cháy

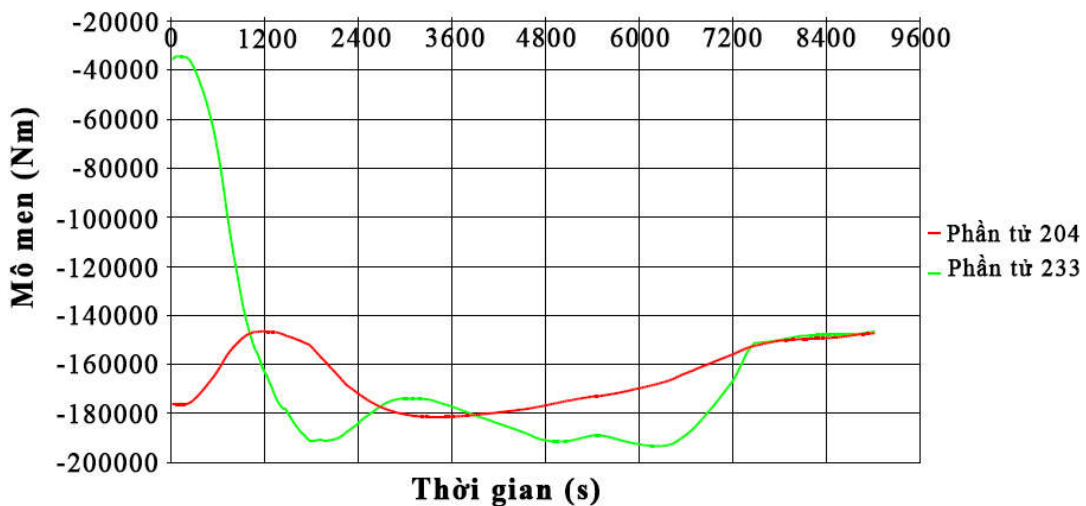


Hình 3. 50 Biểu đồ mô men trong khung ở thời điểm sau 6000 s chịu cháy

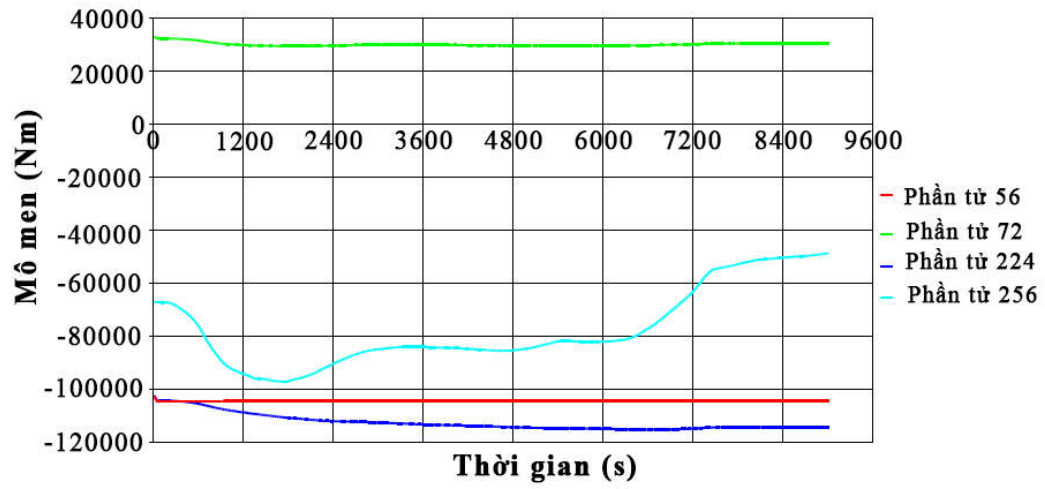
Từ Hình 3. 51 đến Hình 3. 54 biểu diễn sự thay đổi mô men và lực dọc trong dầm tầng 4 nhịp 1 (phần tử 204 tiếp xúc với đám cháy), cột tầng 4 trục A (phần tử 233 có tiếp xúc đám cháy), cột tầng 4 trục C (phần tử 256 ở tầng xảy ra cháy nhưng không tiếp xúc đám cháy) dầm tầng 4 nhịp 3 (phần tử 224 ở tầng xảy ra cháy không tiếp xúc đám cháy), dầm tầng 2 nhịp 3 (phần tử 56 ở xa đám cháy) và cột tầng 1 trục biên (phần tử 72 ở xa đám cháy). Vị trí các phần tử xem ở Hình 3. 48.

Kết quả thấy rõ các cấu kiện chịu cháy trực tiếp có sự thay đổi lớn về nội lực và biến dạng trong quá trình cháy, các cấu kiện càng xa đám cháy thì càng ảnh hưởng ít. Trong cột có sự thay đổi mô men lớn do dầm bị giãn nở nhiệt làm đầu cột có chuyển vị ngang. Lực dọc trong cột cũng có sự thay đổi trong quá trình cháy nhưng không đáng kể. Trong dầm xuất hiện lực nén lớn do giãn nở nhiệt bị cản trở. Mô men trong dầm thay đổi không đáng kể.

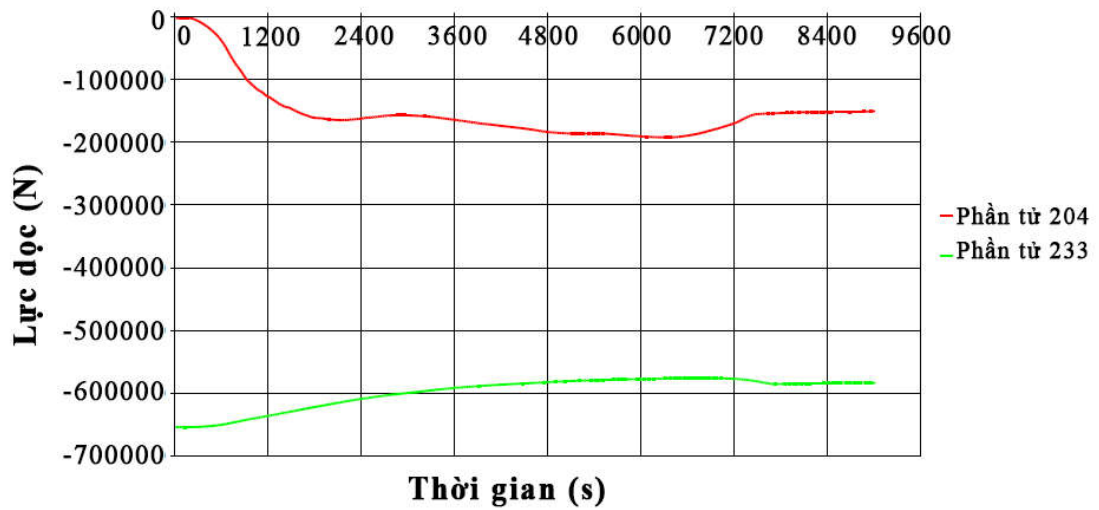
Như vậy, khi kết cấu chịu cháy, mô men trong cột và lực dọc trong dầm tại các vị trí tiếp xúc với đám cháy tăng đáng kể so với nội lực ở điều kiện nhiệt độ thường. Việc lấy giá trị nội lực ở đám cháy không thay đổi trong quá trình cháy là chưa hợp lý.



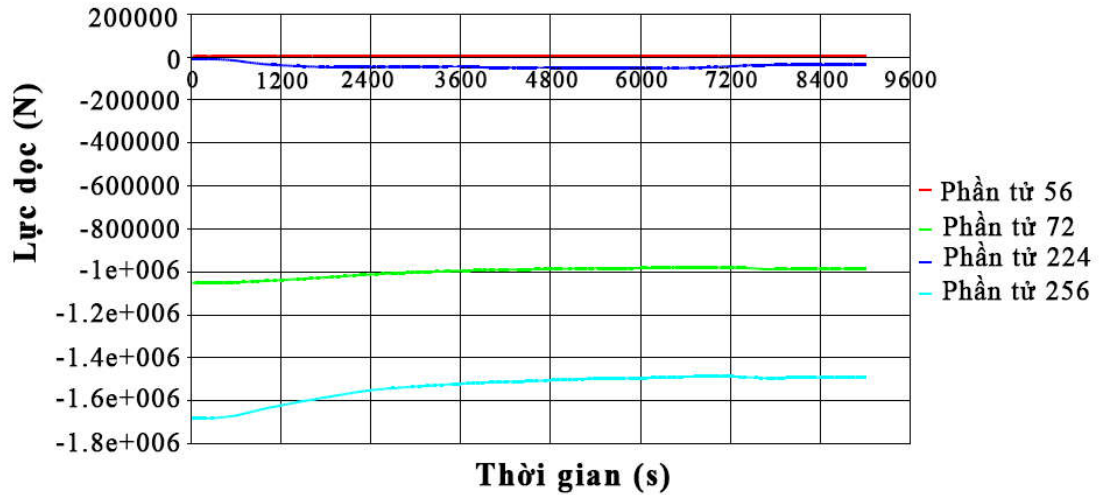
Hình 3. 51 Sự thay đổi mô men dầm và cột tầng 4 nhịp 1 có tiếp xúc đám cháy



Hình 3. 52 Sự thay đổi mô men dầm và cột tầng 4 nhịp 3 và tầng 1 nhịp 1 không tiếp xúc đám cháy



Hình 3. 53 Sự thay đổi lực dọc dầm và cột tầng 4 nhịp 1 có tiếp xúc đám cháy



Hình 3. 54 Sự thay đổi lực dọc dầm và cột tầng 4 nhịp 3 và tầng 1 nhịp 1 không tiếp xúc đám cháy

3.5 Kết luận chương 3

- Kết cấu trong điều kiện cháy có ứng xử rất phức tạp bởi biến dạng do nhiệt độ, chúng góp phần đáng kể vào biến dạng chung của kết cấu;
- Giới hạn chịu lửa của kết cấu phụ thuộc đáng kể vào tỉ số tải trọng tác dụng ở điều kiện cháy. Khi tăng tải trọng thì giới hạn chịu lửa giảm rõ rệt;
- Với một dầm có tỉ số tải trọng như nhau, giới hạn chịu lửa của chúng còn ảnh hưởng bởi điều kiện liên kết. Lực dọc trong dầm thay đổi trong quá trình chịu cháy làm thay đổi cả mô men trong dầm. Điều này chưa được kể đến trong phương pháp tính toán đơn giản đề cập ở tiêu chuẩn châu Âu;
- Khi kết cấu chịu cháy, mô men trong cột và lực dọc trong dầm tại các vị trí tiếp xúc với đám cháy tăng đáng kể so với nội lực ở điều kiện nhiệt độ thường. Việc lấy giá trị nội lực ở điều kiện cháy không thay đổi trong quá trình cháy là chưa hợp lý;
- Nội lực trong kết cấu khung phẳng khi chịu cháy ảnh hưởng lớn bởi nhiệt độ và độ cứng liên kết. Trong môi trường nhiệt độ cao, các liên kết dầm cột trong khung thay đổi độ cứng so với thiết kế ở nhiệt độ thường, cần có nghiên cứu thêm về ứng xử của nút khung để rõ ứng xử của khung.

KẾT LUẬN

Từ kết quả nghiên cứu, đối chiếu với mục tiêu nghiên cứu đã đề ra, luận án rút ra các kết luận chính sau:

- Mô hình vật liệu bê tông CONC-ETC có tách riêng biến dạng từ biến nhanh và biến dạng do lực có khả năng khảo sát cả quá trình tăng và giảm ứng suất của kết cấu trong điều kiện cháy. Kết quả tính bằng phần mềm SAFIR dùng loại vật liệu CONC-ETC do luận án lập trình thêm cho kết quả mô phỏng gần hơn kết quả thí nghiệm so với kết quả tính dùng mô hình đang có sẵn trong tiêu chuẩn EC2;

- Nghiên cứu tham số ảnh hưởng đến sự làm việc của cấu kiện và kết cấu khung liên hợp thép-bê tông trong điều kiện cháy cho thấy: biến dạng do nhiệt làm thay đổi đáng kể ứng suất biến dạng của kết cấu so với chúng ở điều kiện nhiệt độ thường, làm nội lực trong kết cấu luôn thay đổi trong điều kiện cháy; điều kiện liên kết và tỉ số tải trọng sử dụng ảnh hưởng đáng kể đến sự làm việc của kết cấu trong điều kiện cháy;

- Phá hoại trễ của kết cấu trong giai đoạn giảm nhiệt của đám cháy tự nhiên là có thể xảy ra. Hiện tượng phá hoại trễ là do nhiệt độ bên trong kết cấu tiếp tục tăng khi nhiệt độ bên ngoài đã giảm làm cho nội lực trong kết cấu có thể tăng và khả năng chịu lực của kết cấu tiếp tục giảm trong giai đoạn giảm nhiệt. Các kết quả khảo sát ảnh hưởng của các tham số tới giá trị DHP (DHP là khoảng thời gian nhỏ nhất kết cấu chịu giai đoạn tăng nhiệt mà sau đó kết cấu sẽ bị phá hoại ở giai đoạn giảm nhiệt) cho thấy: giá trị tỉ số tải trọng sử dụng và độ mảnh của cột ảnh hưởng chính đến giá trị của DHP; cường độ vật liệu và độ lệch tâm của lực dọc ảnh hưởng không đáng kể đến DHP nếu giữ nguyên tỉ số tải trọng sử dụng;

- Trong thiết kế kết cấu đảm bảo điều kiện an toàn cháy, cần quan tâm thêm chỉ số DelayT (là khoảng thời gian kể từ khi đám cháy bắt đầu giảm nhiệt đến khi kết cấu bị phá hoại). Các kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của các tham số tới giá trị DelayT cho thấy: thời gian tăng nhiệt của đám cháy và tỉ số tải trọng sử dụng ảnh hưởng đáng kể đến DelayT, cường độ vật liệu và độ lệch tâm của lực dọc ảnh hưởng không đáng kể đến DelayT nếu giữ nguyên tỉ số tải trọng sử dụng; thời gian

phá hoại trễ của kết cấu có thể rất lớn, cần quan tâm để có phương án cứu nạn và cứu hộ an toàn (trong các cấu kiện đã tính toán, thời gian phá hoại trễ lên tới trên 250 phút).

Hướng phát triển của luận án

- Mở rộng phạm vi nghiên cứu: ứng xử của nút khung, kết cấu không gian...;
- Tiếp tục nghiên cứu các tham số ảnh hưởng đến các chỉ số đánh giá kết cấu liên hợp thép bê tông trong điều kiện cháy có kể đến giai đoạn giảm nhiệt (DHP, DelayT). Xây dựng các công thức thực hành để tính toán 2 chỉ số này;
- Nghiên cứu ứng xử của kết cấu liên hợp thép bê tông sau cháy (khi nhiệt độ đã giảm về nhiệt độ thường).

**DANH MỤC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN
LUẬN ÁN**

1. Trương Quang Vinh (2010), **Nghiên cứu phương pháp tính toán về khả năng chịu lực của kết cấu thép - kết cấu bê tông cốt thép trong điều kiện cháy theo tiêu chuẩn Châu Âu và Canada**, *Đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở, Trường Đại học Phòng cháy chữa cháy.*
2. Chu Thị Bình, Trương Quang Vinh (2013), **Tính toán khả năng chịu lực của kết cấu bê tông cốt thép trong điều kiện chịu lửa**, *Báo cáo Hội nghị khoa học kỷ niệm 50 năm thành lập Viện KHCN Xây dựng, trang 93 -102.*
3. Chu Thị Bình, Trương Quang Vinh, Nguyễn Tiến Chương (2014), **Ảnh hưởng của điều kiện biên đến ứng xử của dầm bê tông cốt thép trong điều kiện cháy**, *Báo cáo Hội nghị khoa học quốc gia, Hội nghị khoa học thường niên, Trường Đại học Thủy Lợi, trang 133 -135.*
4. Trương Quang Vinh, Chu Thị Bình (2015), **Nghiên cứu ứng xử của khung liên hợp thép - bê tông trong điều kiện cháy**, *Tuyển tập công trình Hội nghị Khoa học toàn quốc Cơ học Vật rắn biến dạng lần thứ XII, trang 1653 - 1660, Tập 2.*
5. Trương Quang Vinh, Nguyễn Tiến Chương, Chu Thị Bình (2017), **Phân tích sự phá hoại của cột ống thép nhồi bê tông trong giai đoạn giảm nhiệt của đám cháy**, *Tạp chí Xây dựng Việt Nam, trang 64-69.*
6. Chu T.B., Trương Q.V. (2018) **Numerical Studies of Composite Steel-Concrete Columns Under Fire Conditions Including Cooling Phase**. In: Tran-Nguyen HH., Wong H., Ragueneau F., Ha-Minh C. (eds) Proceedings of the 4th Congrès International de Géotechnique - Ouvrages -Structures. CIGOS 2017. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 8. Springer, Singapore.
7. Trương Q.V., Phạm T.H., Chu T.B. (2018) **Failure of Building Structural Members During the Cooling Phase of a Fire**. In: Nguyen-Xuan H., Phung-Van P., Rabczuk T. (eds) Proceedings of the International Conference on Advances in Computational Mechanics 2017. ACOME 2017. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore

DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt:

- [1] Chu Thị Bình (2016), **Thiết kế kết cấu công trình theo điều kiện an toàn cháy**, *Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Trường, Trường Đại học Kiến Trúc Hà Nội*
- [2] Chu Thị Bình, Ngô Xuân Tùng (2015), **Hệ số uốn dọc của cột thép trong điều kiện cháy**, *Kỷ yếu Hội nghị Khoa học toàn quốc Cơ học Vật rắn biến dạng lần thứ XII, trang 130 - 137, tập 1*
- [3] Hoàng Anh Giang (2000), **Xác định giới hạn khả năng chịu lửa của cấu kiện chịu lực cơ bản bằng bê tông cốt thép**, *Tạp chí Khoa học Công nghệ xây dựng số năm thứ 28, số 1/2000, Nhà xuất bản Xây dựng*
- [4] Hoàng Anh Giang, Nguyễn Việt Sơn, Cao Đình Hải, Hà Văn Hạnh (2013), **Về vấn đề khảo sát – Đánh giá hư hỏng và thiết kế sửa chữa gia cường kết cấu bê tông cốt thép chịu tác động của lửa**, *Tuyển tập báo cáo hội nghị khoa học kỷ niệm 50 năm ngày thành lập Viện Khoa học Công nghệ xây dựng*
- [5] Ngô Xuân Tùng (2015), **Thiết kế kết cấu công trình theo điều kiện an toàn cháy**, *Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Trường Đại học Kiến Trúc Hà Nội*
- [6] Nguyễn Đức Việt (2011), **Nghiên cứu sự làm việc của kết cấu sàn liên hợp chịu tác động của nhiệt độ cao do cháy**, *Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Trường Đại học Kiến Trúc Hà Nội*
- [7] Nguyễn Đức Việt (2017), **Nghiên cứu thực nghiệm sự làm việc của cột thép chịu nén đúng tâm được bảo vệ bằng tấm thạch cao chống cháy bọc dạng hộp chịu tác động của lửa**, *Luận án tiến sỹ kỹ thuật, Viện khoa học công nghệ Xây dựng*
- [8] Nguyễn Thế Dương (2015), **Mô hình kỹ thuật tính toán độ bền lửa của tường gạch rỗng xây mạch vữa mỏng được phủ bởi lớp bảo vệ thạch cao - len đá**, *Kỷ yếu Hội nghị Khoa học toàn quốc Cơ học Vật rắn biến dạng lần thứ XII, trang 413 - 428, tập 1*
- [9] Nguyễn Thị Nhịp (2013), **Xác định khả năng chịu lực của kết cấu liên hợp thép – bê tông trong điều kiện cháy**, *Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Trường Đại học Kiến Trúc Hà Nội*
- [10] Nguyễn Văn Hạnh (2017), **Xây dựng quy trình kiểm định kết cấu nhà bằng bê tông cốt thép thường sau cháy**, *Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Trường Đại học Kiến Trúc Hà Nội*
- [11] Nguyễn Việt Hưng (2009), **Nghiên cứu sự làm việc của kết cấu liên hợp theo trạng thái giới hạn thứ hai trong điều kiện chịu cháy**, *Luận văn thạc sỹ, Trường Đại học xây dựng*
- [12] Nguyễn Võ Thông, Nguyễn Đức Việt, Trần Hùng (2015), **Mô phỏng ảnh hưởng của tham số đến khả năng thuyên nhiệt của kết cấu cột thép được bảo vệ bằng tấm**

thạch cao bọc dạng hộp trong điều kiện cháy, *Kỷ yếu Hội nghị Khoa học toàn quốc Cơ học Vật rắn biến dạng lần thứ XII, trang 1372 - 1379, tập 2*

[13] Phạm Thị Ngọc Thu (2006), **Nghiên cứu trạng thái làm việc của kết cấu liên hợp trong điều kiện chịu nhiệt độ cao**, *Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Trường đại học Xây Dựng Hà Nội*

[14] Phạm Văn Hội (2006), **Kết cấu liên hợp thép - bê tông**, *Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, Hà Nội*

[15] Phạm Văn Hội (2007), **Nghiên cứu trạng thái làm việc của khung nhà thép trong điều kiện nhiệt độ cao khi cháy và các biện pháp cấu tạo kết cấu để nâng cao khả năng chịu lửa của chúng**, *Đề tài NCKH cấp Bộ Xây dựng*

[16] QCVN 03:2012/BXD, **Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về nguyên tắc phân loại, phân cấp công trình dân dụng, công nghiệp và hạ tầng kỹ thuật đô thị**

[17] QCVN 06:2010/BXD, **Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về an toàn cháy cho nhà và công trình**

[18] TCVN 2622:1995, **Phòng cháy, chống cháy cho nhà và công trình – Yêu cầu thiết kế**

[19] TCVN 3391:1985, **Tiêu chuẩn phòng cháy trong thiết kế xây dựng**

[20] TCVN 6160:1996, **Phòng cháy chữa cháy nhà cao tầng – Yêu cầu thiết kế**

[21] Trương Quang Vinh (2009), **Nghiên cứu phương pháp tính toán về khả năng chịu lực của kết cấu thép - kết cấu bê tông cốt thép trong điều kiện cháy theo tiêu chuẩn châu Âu và Canada**, *Đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở, Trường Đại học Phòng cháy chữa cháy*

Tiếng Anh:

[22] Alderighi E., Salvatore W (2009), **Structural fire performance of earthquake resistant composite steel–concrete frames**, *Engineering Structures*,

Volume 31, Issue 4, Pages 894-909

[23] Al-Jabri K.S. (1999), **The behaviour of steel and composite beam- to column connections in fire**, *Department of Civil and Structural Engineering, University of Sheffield, PhD Thesis*

[24] Anderberg Y., Thelandersson S. (1976), **Stress and deformation characteristics of concrete at high temperatures: 2 experimental investigation and material behaviour model**, *Bulletin 54, Lund Institute of Technology, Sweden*

[25] Anderberg Y. (1983), **Properties of materials at high temperatures steel**, *RILEM Report, University of Lund, Sweden*

[26] AS 1530.4 (2005), **Methods for fire tests on building materials, components and structures Fire-resistance test of elements of construction**, *Standards Australia*

- [27] ASCE/SEI/SFPE 29-05 (2005), **Standard Calculation Methods for Structural Fire Protection**
- [28] ASTM E119-16a (2016), **Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials**, *ASTM International, West Conshohocken, PA*
- [29] Bailey, C. G., Lennon, T., and Moore, D. B. (1999), **The behaviour of fullscale steel-framed buildings subjected to compartment fires**, *Struct. Eng.*, 77(8), 15–21
- [30] Bažant Z.P. (1983), **Mathematical model for creep and thermal shrinkage of concrete at high temperature**, *Nuclear Engineering and Design, Volume 76, Issue 2, Pages 183-191*
- [31] British Steel (2008), **The Behaviour of a multi-storey steel framed building subjected to fire attack- Experimental data**, *British Steel PLC (nay là CORUS)*
- [32] Buchanan A.H (2001), **Structural design for fire safety**, *John Wiley & Sons, West Sussex*
- [33] CAN/ULC-S101-14 (2014), **Standard methods of fire endurance tests of building construction and materials**, *Standards Council of Canada*
- [34] Chlouba J., Wald F.(2012), **Temperature of a partially embedded connection subjected to fire**, *Fire Safety Journal, Volume 54, Pages 121-129*
- [35] Chu Thi Binh (2009), **Hollow steel section columns filled with self-compacting concrete under ordinary and fire conditions**, *PhD thesis, University of Liege, Belgium.*
- [36] Chu Thi Binh, J.C Dotreppe, J.M. Franssen (2010), **Numerical modeling of building structures in fire conditions**, *Proceeding of Conference on Construction under Exceptional Condition, Hanoi, Vietnam.*
- [37] Chung K., Park S., Choi S. (2008), **Material effect for predicting the fire resistance of concrete-filled square steel tube column under constant axial load**, *Journal of Constructional Steel Research, Volume 64, Issue 12, Pages 1505-1515*
- [38] Chung, H.-Y., Lee, C.-H., Su, W.-J., Lin, R.-S. (2010), **Application of fire-resistant steel to beam-to-column moment connections at elevated temperatures**, *Journal of Constructional Steel Research, Volume 66, Issue 2, Pages 289-303*
- [39] Cooke G. M. E. (1988), **An introduction to the mechanical properties of structural steel at elevated temperatures**, *Fire Safety Journal, Volume 13, Issue 1, Pages 45-54*
- [40] Correia Rodrigues, J. P., Cabrita Neves, I., and Valente, J. C. (2000), **Experimental research on the critical temperature of compressed steel elements with restrained thermal elongation**, *Fire Saf. J.*, 35, 77–98

- [41] Couto C., Vila Real P., Lopes N., Rodrigues J.P.C., (2013), **Buckling analysis of braced and unbraced steel frames exposed to fire**, *Engineering Structures*, Volume 49, Pages 541-559
- [42] Dimia, M. S., Guenfoud, M., Gernay, T., & Franssen, J.-M. (2011), **Collapse of Concrete Columns During and After the Cooling Phase of a Fire**, *Journal of Fire Protection Engineering*, 245-263
- [43] Ding J., Wang Y.C. (2007), **Experimental study of structural fire behaviour of steel beam to concrete filled tubular column assemblies with different types of joints**, *Engineering Structures* 29, 3485–3502
- [44] Dong Y. L., and Prasad K. (2007), **An experimental study on the behavior of full-scale composite steel frames under furnace loading**, *NISTIR 7394, National Institute of Standards and Technology of America, Washington, DC*
- [45] Dong Y. L., and Prasad K. (2009a), **Behavior of full-scale frames with slim floor slab construction under exposure in a fire resistance furnace**, *J. Fire Prot. Eng.*, 19(3), 197–220
- [46] Dong Y. L., and Prasad K. (2009b), **Experimental study on the behavior of full-scale composite steel frames under furnace loading**, *J. Struct. Eng.*, 10.1061/(ASCE)0733-9445(2009)135:10(1278), 1278–1289
- [47] Dong Y. L., Zhu E. C., and Prasad K. (2009), **Thermal and structural response of two-storey two-bay composite steel frames under furnace loading**, *Fire Saf. J.*, 44(4), 439–450. *ISO. (2007). "Fire-resistance tests—Element"*
- [48] Dong Y.L., Peng X.Q., Fang Y.Y. and D.Z. (2016), **Behavior of Sway Two-Bay, Two-Story Composite Steel Frames in Fire**, *Journal of Structural Engineering*, Volume 142, Issue 2
- [49] Dotreppe J.C., Franssen J.M. and Vanderzeypen Y. (1999), **Calculation Method for Design of Reinforced Concrete Columns under Fire Conditions**, *ACI Struct. Journal*, Vol. 96, No. 1, 9-18
- [50] Dwaikat M.B., Kodur V.K.R. (2009), **Response of restrained concrete beams under design fire exposure**, *Journal of structural engineering* 135 (11), Page 1408-1417
- [51] Elisabetta Alderighi, Walter Salvatore (2009), **Structural fire performance of earthquake-resistant composite steel–concrete frames**, *Engineering Structures*, Volume 31, Issue 4, Pages 894-909
- [52] Elsayaf S., Wang Y.C. (2012), **Methods of improving the survival temperature in fire of steel beam connected to CFT column using reverse channel connection**, *Original Research Article Engineering Structures*, Volume 34, Pages 132-146

- [53] Elsayaf S., Wang Y.C. (2013), **Behaviour of restrained structural subassemblies of steel beam to CFT column in fire during cooling stage**, *Engineering Structures, Volume 46, Pages 471–492*
- [54] EN 1992-1-2 (2004): **Eurocode 2- Design of concrete structures - Part 1.2: General rules- Structural fire design**, *European committee for Standardization*
- [55] EN 1993-1-2 (2005): **Eurocode 2- Design of steel structures - Part 1.2: General rules- Structural fire design**, *European committee for Standardization*
- [56] 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*
- [57] ENV 1992-1-2 (1995): **Eurocode 2- Design of concrete structures - Part 1.2: General rules- Structural fire design**, *Pre Standard European committee for Standardization*
- [58] Franssen J. M., Cooke C.M.E. & Latham D.J. (1995), **Numerical simulation of a full scale fire test on a loaded steel framework**, *J. Constructional Steel Research., Vol. 35 377-407*
- [59] Franssen J. M., Schleich J. B., Cajot L. G., Talamona D., Zhao B., Twilt L. and Both K. (1994), **A comparison between five structural fire codes applied to steel elements**, *Fourth International Symposium on Fire Safety Science, Ottawa, 1125-1136*
- [60] Franssen J. M., Talamona D., Kruppa J., and Cajot L. G. (1998) “**Stability of Steel columns in case of fire: Experimental evaluation.**” *J.Struct. Eng., 124-2, 58–163.*
- [61] Franssen J.M. (2005), **SAFIR. A Thermal/Structural Program Modelling Structures under Fire**, *Engineering Journal, A.I.S.C., Vol 42. (3)*
- [62] Franssen J.M, Gernay T. (2012), **User Manual of SAFIR**, *University of Liege, Belgium*
- [63] Gernay T (2015), **Sensitivity of structures to fire decay phases**, *Proc. of the Int. Conf. Applications of Structural Fire Engineering, Dubrovnik, Croatia.*
- [64] Gernay T, Franssen JM, (2015), **A performance indicator for structures under natural fire**, *Engineering Structures 100, 94-103*
- [65] Gernay T. (2012), **Effect of Transient Creep Strain Model on the Behavior of Concrete Columns Subjected to Heating and Cooling**, *Fire Technology, Volume 48, Number 2, 313-329*
- [66] Gernay T. (2012), **A multiaxial constitutive model for concrete in the fire situation including transient creep and cooling down phases**, *PhD thesis, University of Liege, Belgium*

- [67] Gernay T, Salah Dimia M (2013), **Structural behaviour of concrete columns under natural fires**, *Engineering Computations*, Vol. 30 Issue: 6, pp.854-872
- [68] Gernay T., Franssen J.M., (2015), **A plastic-damage model for concrete in fire: Applications in structural fire engineering**, *Fire Safety Journal*, Vol. 71, 268–278
- [69] Graeme F. (2005), *Fire Induced Collapse of Tall Buildings*, PhD thesis, University of Edinburgh
- [70] Han L. -H. (2001a), **Fire performance of concrete filled steel tubular beam-columns**, *J.Construc.Steel. Res* 57(6)
- [71] Han L. -H., Wei-Hua Wang .W. -H, Yu H. -X. (2010), **Experimental behaviour of reinforced concrete (RC) beam to concrete-filled steel tubular (CFST) column frames subjected to ISO-834 standard fire**, *Engineering Structures*, Volume 32, Issue 10, Pages 3130–3144
- [72] Han L. -H., Tan Q.-H., Song T.-Y. (2013), **Fire performance of Steel Reinforced Concrete (SRC) Structures**, *Procedia Engineering*, Volume 62, Pages 46-55
- [73] Hanus F. (2010), **Analysis of simple connections in steel structures subjected to natural fires**, PhD these, University of Liege, Belgium
- [74] Hosam, M. A., Senseny, P. E., and Alpert, R. L. (2004), **Lateral displacement and collapse of single-story steel frames in uncontrolled fires**, *Eng. Struct.*, 26, 593–607
- [75] Hozjan T., Saje H., Srpčič S., Planinc H. (2011), **Fire analysis of steel–concrete composite beam with interlayer slip**, *Computers & Structures*, Volume 89, Issues 1–2, Pages 189-200
- [76] Huang Z. F., Tan K. H. (2006), **Fire resistance of compartments within a high-rise steel frame: New sub-frame and isolated member models**, *Journal of Constructional Steel Research*, Volume 62, Issue 10, Pages 974-986
- [77] ICC.IBC (2012): **International Building Code**, International Code Council, INC.
- [78] ISO 834 (1999), **Fire-resistance tests – Elements of building construction Part 1: general requirements**
- [79] Kodur V.K.R , Nwosu D.I., Sultan A. and Franssen J.M., (1999), **Application of the SAFIR Computer Program for Evaluating Fire Resistance**, *Proc. Third Int. Conf. on Fire Research and Engineering, SFPE-NIST-IAFSS, Chicago*, 287-295
- [80] Lamont S. (2001), **The Behaviour of Multi-storey Composite Steel Framed Structures in Response to Compartment Fires**, PhD thesis, University of Edinburgh
- [81] Lamont S., Usmani A.S., Gillie M. (2004), **Behaviour of a small composite steel frame structure in a “long-cool” and a “short-hot” fire**, *Fire Safety Journal*, Volume 39, Issue 5, Pages 327-357

- [82] Law A, Gillie M (2008), **Load induced thermal strain: implications for structural behaviour**, *Proceedings of the Fifth International Conference on Structures in Fire, Singapore*, pp. 448-496
- [83] Li B., Dong Y.L., Zhang D.S. (2015), **Fire behaviour of continuous reinforced concrete slabs in a full-scale multi-storey steel-framed building**, *Fire Safety Journal, Volume 71, Pages 226-237*
- [84] Li L. and Purkiss J. (2005), **Stress-strain constitutive equations of concrete material at elevated temperatures**, *Fire Saf. J., Vol. 40, pp. 669-686*.
- [85] Lie T.T and Chabot M. (1993c), **Evaluation of the fire resistance of compression members using mathematical models**, *Fire Safety Journal 20, pp135-149*
- [86] Liew, J. Y., Tang, L. K., Holmaas, T., and Choo, Y. S. (1998), **Advanced analysis for the assessment of steel frames in fire**, *J. Constr. Steel Res.*, 47, 19–45
- [87] Lim L., Buchanan A., Moss P., Franssen J. M., (2004), **Numerical modelling of two-way reinforced concrete slabs in fire**, *Engineering Structures, Volume 26, Issue 8, Pages 1081-1091*
- [88] Linus L., Buchanan A., Moss P., Franssen J.M. (2004), **Numerical modelling of two-way reinforced concrete slabs in fire**, *Engineering Structures, Volume 26, Issue 8, Pages 1081-1091*
- [89] Liu J.Q., Han L.H., Zhao X.L. (2017), **Performance of concrete-filled steel tubular column-wall structure subjected to ISO-834 standard fire: Experimental study and FEA modelling**, *Thin-Walled Structures Volume 120, Pages 479-494*
- [90] Liu T.C.H. (1998), **Three-dimensional modelling of steel/concrete composite connection behaviour in fire**, *Journal of Constructional Steel Research, Volume 46, Issues 1–3, Pages 319-320*
- [91] Liu, T. C. H. (2002), **Experimental investigation of behavior of axially restrained steel beams in fire**, *J. Constr. Steel Res.*, 58, 1211–1230
- [92] Mao X.-Y, Kodur V.K.R. (2011), **Fire resistance of concrete encased steel columns under 3- and 4-side standard heating**, *Journal of Constructional Steel Research, Volume 67, Issue 3, Pages 270-280*
- [93] Newman, G. M., Robinson, J. T., and Bailey, C. G. (2000), **Fire safe design: A new approach to multi-storey steel-framed buildings**, *SCI Publication, 288*
- [94] Ni S., Birely A.C., (2018), **Simulation procedure for the post-fire seismic analysis of reinforced concrete structural walls**, *Fire Safety Journal, Volume 95, Pages 101-112*
- [95] Nielsen C.V., Pearace C.J. and Bicanic N., (2002), **Theoretical model of high temperature effects on uniaxial concrete member under elastic restraint**, *Magazine of Concrete Research, Volume 54 Issue 4, pp. 239-249*

- [96] NZS 3101-1 (2006): **Concrete structures standard – The design of concrete structures**, *Authority of Development Sponsored By the Earthquake Commission (EQC) and Department of Building and Housing (BHD)*
- [97] Pakala P., Kodur V., Dwaikat M. (2012), **Critical factors influencing the fire performance of bolted double angle connections**, *Engineering Structures, Volume 42, Pages 106-114*
- [98] Pakala P., Kodur V., Selamat S., Garlock M. (2012), **Fire behavior of shear angle connections in a restrained steel frame**, *Journal of Constructional Steel Research, Volume 77, Pages 119-130*
- [99] Pearce, C.J., Nielsen, C.V. and Bićanić, N., (2004), **Gradient enhanced thermo - mechanical damage model for concrete at high temperatures including transient thermal creep**. *Int J Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 28(7-8), pp. 715-735
- [100] Pintea D. & Franssen J.-M. (1997), **Evaluation of the thermal part of the code SAFIR by comparison with the code TASEF**, *Proc. 8th Int. Conf. on Steel Structures, Vol. 2, M. Ivan ed., MIRTON, Timisoara, 636-643*
- [101] Pucinotti R., Bursi O.S., Demonceau J.F. (2011), **Post-earthquake fire and seismic performance of welded steel–concrete composite beam-to-column joints**, *Journal of Constructional Steel Research, Volume 67, Issue 9, Pages 1358-1375*
- [102] Pyl L., Schueremans L., Dierckx W., Georgieva I., (2012), **Fire safety analysis of a 3D frame structure based on a full-scale fire test**, *Thin-Walled Structures, Volume 61, Pages 204-212*
- [103] Qiang X., Bijlaard F.S.K., Kolstein H., Jiang X. (2014), **Behaviour of beam-to-column high strength steel endplate connections under fire conditions – Part 1: Experimental study** *Engineering Structures, Volume 64, Pages 23-38*
- [104] Rackauskaite E., Kotsovinos P., Jeffers A., Rein G. (2017), **Structural analysis of multi-storey steel frames exposed to travelling fires and traditional design fires**, *Engineering Structures, Volume 150, Pages 271-287*
- [105] Renaud C., Aribert J.M. and Zhao B. (2003b), **Advanced numerical model for the fire behaviour of composite columns with hollow steel section**, *Steel and Composite structures, Vol. 3(2)*
- [106] S. Lamont, A.S. Usmani, M. Gillie (2004), **Behaviour of a small composite steel frame structure in a “long-cool” and a “short-hot” fire**, *Fire Safety Journal, Volume 39, Issue 5, Pages 327-357*
- [107] Schaumann P., Kodur V., Bahr O. (2009), **Fire behaviour of hollow structural section steel columns filled with high strength concrete**, *Journal of Constructional Steel Research, Volume 65, Issues 8–9, Pages 1794-1802*

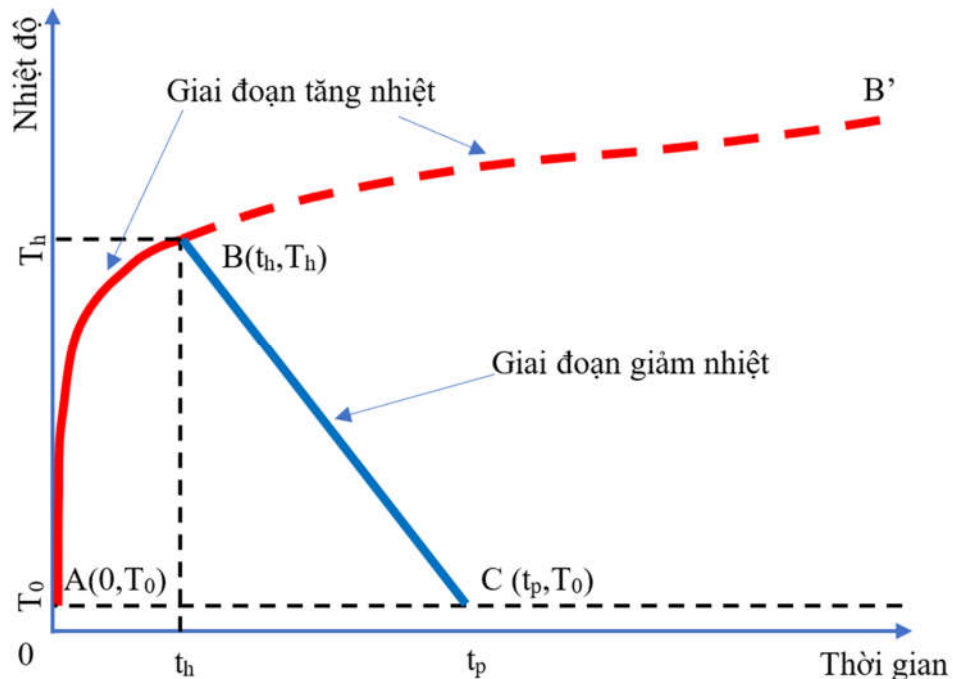
- [108] Schneider, U., Schneider, M. and Franssen, J.-M., (2008), **Consideration of nonlinear creep strain of siliceous concrete on calculation of mechanical strain under transient temperatures as a function of load history**. In: Tan, K.H., Kodur, V., Tan, T.H. *Proc. of the Fifth International Conference Structures in Fire SIF 2008*. Nanyang Techn. University, Singapore. pp. 463-476.
- [109] Schneider U. (1985), **Properties of materials at high temperatures, concrete**, *RILEM TECHNICAL COMMITTEE*
- [110] Schneider U. (1988), **Concrete at high temperatures - A general review**, *Fire Safety Journal, Volume 13, Issue 1, 7 April 1988, Pages 55-68*
- [111] Song T. -Y., Han L. -H., & Uy B. (2010), **Performance of CFST column to steel beam joints subjected to simulated fire including the cooling phase**, *Journal of Constructional Steel Research, Volume 66, Issue 4, Pages 591-604*
- [112] Talamona D., and Franssen J.M (2005), **A Quadrangular Shell Finite Element for Concrete and Steel Structures Subjected to Fire**, *Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 15, No. 4, 237-264*
- [113] Twilt L. (1988), **Strength and deformation properties of steel at elevated temperatures: Some practical implications**, *Fire Safety Journal, Volume 13, Issue 1, Pages 9-15*
- [114] Ukanwa Kingsley U., Clifton G. Charles, Lim James B.P., Sharma Umesh, Abu Anthony, (2018), **Simple design procedure for concrete filled steel tubular columns in fire**, *Engineering Structures, Volume 155, Pages 144-156*
- [115] Wald, F., et al. (2006), **Experimental behavior of a steel structure under natural fire**, *Fire Saf. J., 41, 509–522*
- [116] Wang Y., Dong Y.L, Li B., Zhou G.C. (2013), **A fire test on continuous reinforced concrete slabs in a full-scale multi-story steel-framed building**, *Fire Safety Journal, Volume 61, Pages 232-242*
- [117] Wang Y.C. (2002), **Steel and composite structures behaviour and design for fire safety**, *Spon press*
- [118] Wastney, C. (2002), **Performance of unprotected steel and composite steel frames exposed to fire**, *Project Rep. Prepared for Dept. of Civil Engineering, Univ. of Canterbury, New Zealand*
- [119] Wu, B., Li, Y.H. and Chen, S.L., (2010), **Effect of heating and cooling on Axially restrained RC columns with special-shaped cross section**, *Fire Technology, 46, pp. 231-249*
- [120] Yang H., Han L. -H., Wang YC (2008), **Effects of heating and loading histories on post-fire cooling behaviour of concrete-filled steel tubular columns**, *Journal of Constructional Steel Research, Volume 64, Issue 5, Pages 556-570*

- [121] Yang K.-C., Chen S.-J., Ho M.-C. (2009), **Behavior of beam-to-column moment connections under fire load**, *Journal of Constructional Steel Research*, Volume 65, Issue 7, Pages 1520-1527
- [122] Yang K.-C., Lee, H. H., and Chan, O. (2006), **Experimental study of fire-resistant steel H-columns at elevated temperature**, *J. Constr. Steel Res.*, 62, 544–553
- [123] Yang Z.N., Dong Y.L., Xu W.J. (2013), **Fire tests on two-way concrete slabs in a full-scale multi-storey steel-framed building**, *Fire Safety Journal*, Volume 58, Pages 38-48
- [124] Zaharia R., Vulcu C., Vassart O., Gernay T., Franssen J. M. (2013), **Numerical analysis of partially fire protected composite slabs**, *Steel and Composite Structures*, Vol. 14, 21-39
- [125] Zhao J.C., and Shen Z.Y. (1999), **Experimental studies of the behavior of unprotected steel frames in fire**, *J. Const. Steel Res.*, 50, 137–150

CHƯƠNG 4. NGHIÊN CỨU SỰ LÀM VIỆC CỦA KẾT CẤU KHUNG LIÊN HỢP THÉP-BÊ TÔNG TRONG GIAI ĐOẠN GIẢM NHIỆT CỦA ĐÁM CHÁY

4.1 Sự làm việc của khung phẳng liên hợp thép- bê tông trong giai đoạn giảm nhiệt của đám cháy

Ứng xử của kết cấu trong đám cháy ngày càng được nghiên cứu nhiều. Mặc dù đã có một số tiêu chuẩn nước ngoài hướng dẫn thiết kế kết cấu trong điều kiện cháy như tiêu chuẩn châu Âu EN 1994-1-2 [56], tiêu chuẩn Hoa Kỳ ASCE 29-05 [27], tiêu chuẩn New Zealand NZS 3101-1 [96].vv...song chúng đều có hạn chế là chỉ tính kết cấu trong giai đoạn tăng nhiệt. Chỉ vài năm gần đây, ứng xử của kết cấu ở giai đoạn giảm nhiệt và sau cháy (after fire) mới được quan tâm [53], [111].

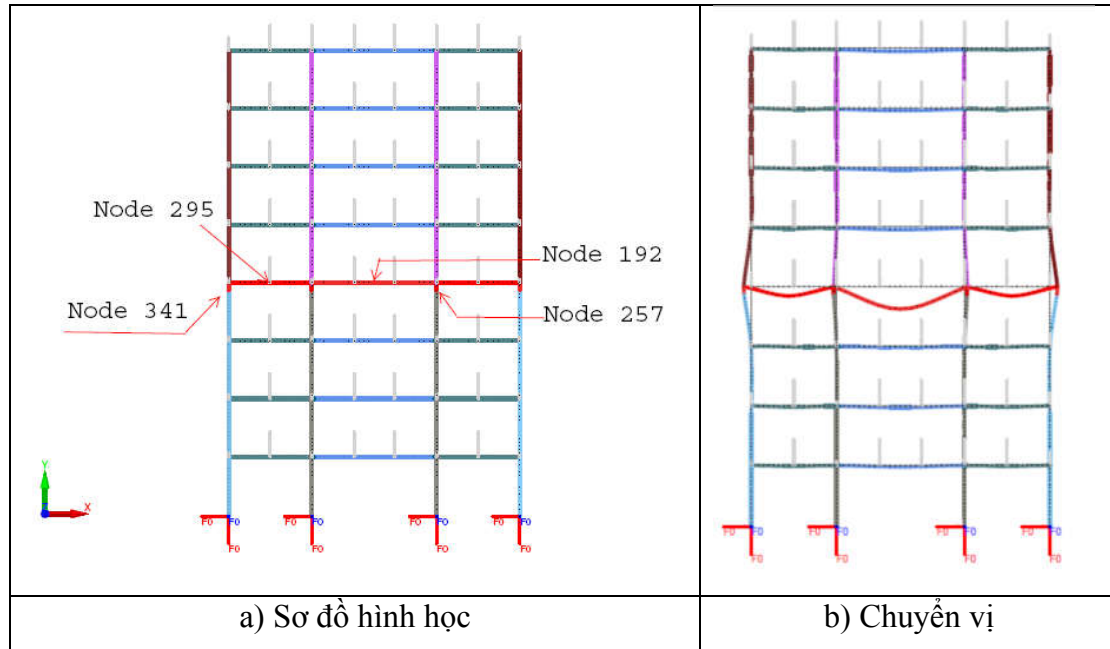


Hình 4. 1 Mô hình thời gian cháy- nhiệt độ có kể đến giai đoạn giảm nhiệt [111]

Mỗi một đám cháy tự nhiên có bốn giai đoạn phát triển của đám cháy bao gồm cả giai đoạn giảm nhiệt, song trong phân tích kết cấu hoặc tiến hành thí nghiệm, quan hệ thời gian cháy - nhiệt độ thường được quy về đường chuẩn ISO 834 hoặc ASTM E119 -16a chỉ gồm giai đoạn tăng nhiệt (Hình 4. 1).

Thực tế và thí nghiệm chỉ ra rằng, có nhiều cấu kiện kết cấu bị phá hoại ở giai đoạn giảm nhiệt chứ không bị phá hoại ở giai đoạn nhiệt độ tăng cao [42], [63]. Các sự kiện công trình sập cướp đi sinh mạng của các lính cứu hỏa khi đám cháy đang được giảm nhiệt đã đặt vấn đề cấp thiết phải tính toán kết cấu của công trình ở cả giai đoạn giảm nhiệt của đám cháy.

Để hiểu rõ hơn về nội lực- chuyển vị trong kết cấu trong giai đoạn giảm nhiệt của đám cháy, phần này trình bày kết quả mô phỏng khung phẳng gồm dầm-cột thép và sàn liên hợp trong thí nghiệm số 2 Cardington (đã trình bày ở mục 3.4), song được khảo sát với nhiều trường hợp nhiệt độ bề mặt kết cấu và có kể đến giai đoạn giảm nhiệt. Khung gồm cột thép và dầm thép đỡ sàn bê tông cốt thép. Cột thép được sơn chống cháy. Dầm thép, sàn và nút khung không được bọc chống cháy. Ở điều kiện nhiệt độ cao, mô phỏng nút khung là khớp như đã trình bày ở mục 3.4.1.



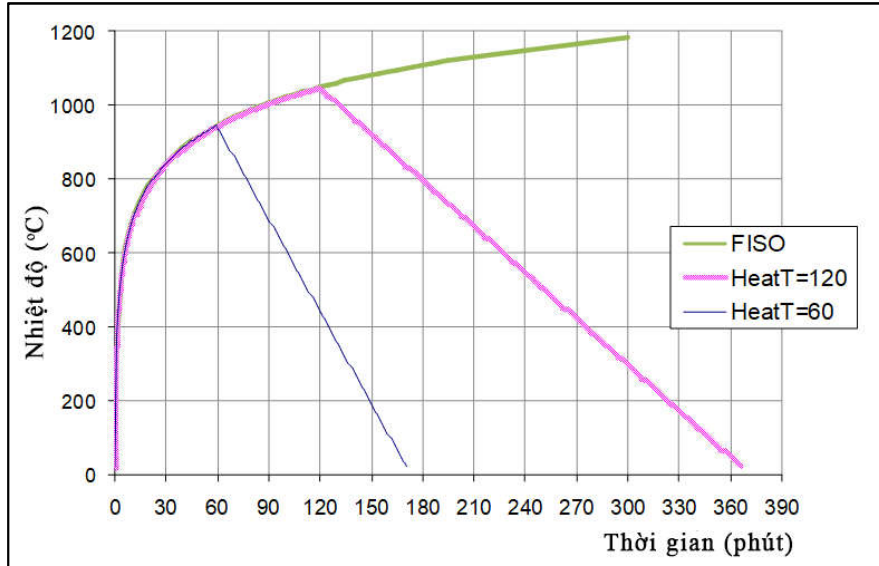
Hình 4. 2 Sơ đồ hình học và sơ đồ chuyển vị của khung

Khung được tính với 3 trường hợp nhiệt độ đám cháy (Hình 4. 3):

- Nhiệt độ bề mặt kết cấu tuân theo đám cháy chuẩn quy định trong tiêu chuẩn ISO 834 (ký hiệu là FISO) chỉ có giai đoạn tăng nhiệt;
- Nhiệt độ bề mặt kết cấu tăng theo đám cháy chuẩn ISO 834 đến 60 phút sau đó giảm nhiệt (có thời gian tăng nhiệt HeatT = 60 phút);

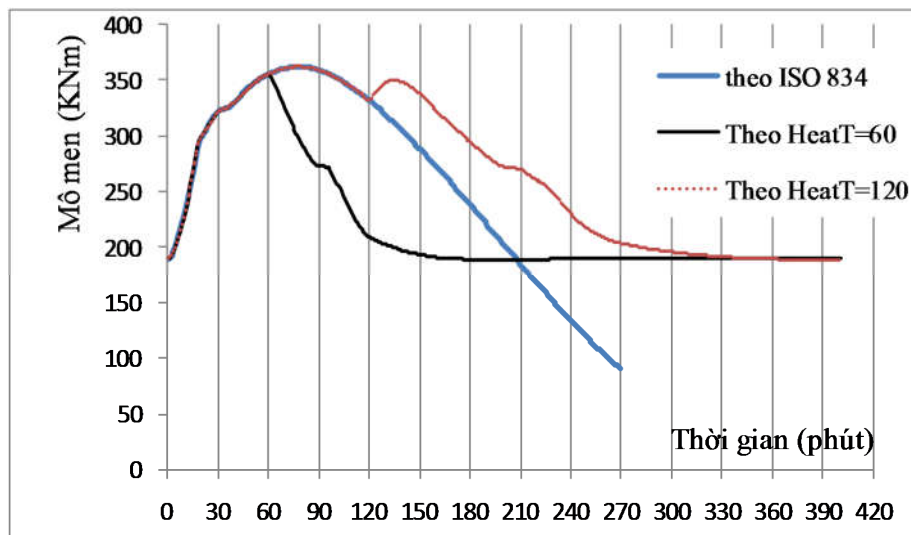
- Nhiệt độ bề mặt kết cấu tăng theo đám cháy chuẩn ISO 834 đến 120 phút sau đó giảm nhiệt (có thời gian tăng nhiệt HeatT = 120 phút).

Quan hệ giữa thời gian cháy và nhiệt độ lấy theo đường chuẩn ISO 834 ở giai đoạn tăng nhiệt và theo đường có tham số cho trong tiêu chuẩn châu Âu (parametric curve) ở giai đoạn giảm nhiệt.



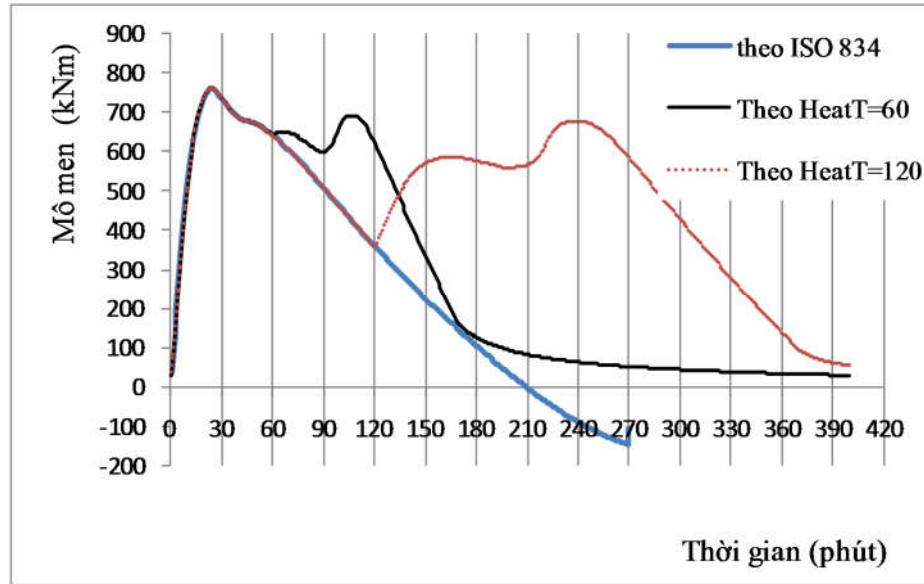
Hình 4. 3 Các đường quan hệ thời gian cháy - nhiệt độ bề mặt dùng để tính khung

Kết quả tính bằng phần mềm SAFIR cho thấy khung khi nhiệt độ tăng theo đường chuẩn ISO 834, khung bị phá hoại ở thời điểm 270 phút sau cháy.

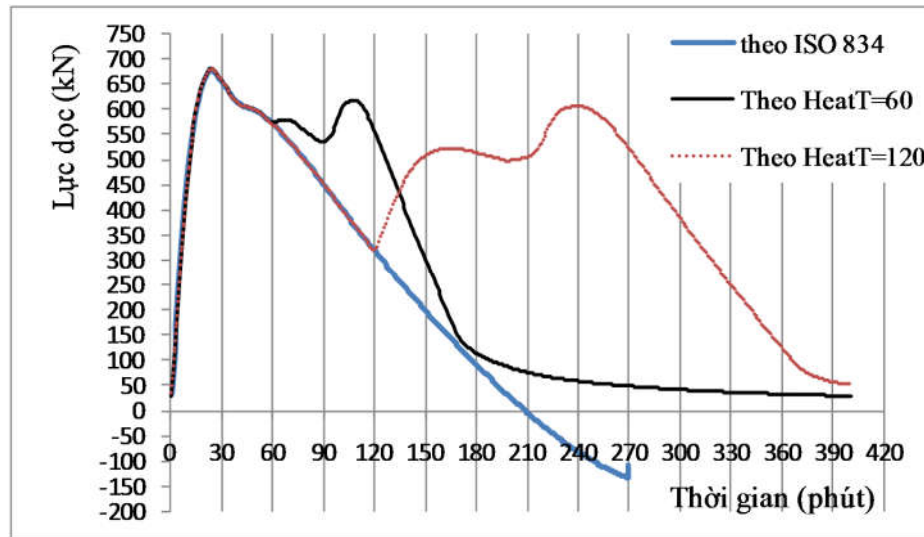


Hình 4. 4 Biểu đồ biến thiên mô men uốn tại mặt cắt ở giữa dầm (nút 295)

Nội lực tại các mặt cắt giữa dầm (nút 295 và nút 192 trên Hình 4. 2) và đầu cột (nút 257 và nút 341) được thể hiện ở Hình 4. 4, Hình 4. 5 và Hình 4. 6 với 3 trường hợp nhiệt độ đám cháy.



Hình 4. 5 Biểu đồ biến thiên mô men uốn tại mặt cắt ở đầu cột (nút 341)



Hình 4. 6 Biểu đồ biến thiên lực dọc ở trong dầm (nút 341)

Kết quả tính toán cho thấy nội lực trong dầm và cột ở giai đoạn giảm nhiệt của đám cháy có thể lớn hơn nội lực ở thời điểm cuối giai đoạn tăng nhiệt. Như vậy, rất có thể kết cấu chưa bị phá hoại trong giai đoạn tăng nhiệt nhưng bị phá hoại trong

giai đoạn giảm nhiệt. Ngoài khả năng tăng nội lực trong kết cấu ở giai đoạn giảm nhiệt, kết cấu còn có thể tiếp tục giảm giới hạn chịu lực khi nhiệt độ bên ngoài đã giảm [64].

Luận án này tiếp tục phân tích, đánh giá kết cấu ở giai đoạn giảm nhiệt. Các phân dưới đây chỉ rõ khả năng kết cấu bị phá hoại ở giai đoạn giảm nhiệt của đám cháy trong trường hợp nội lực không đổi trong quá trình cháy.

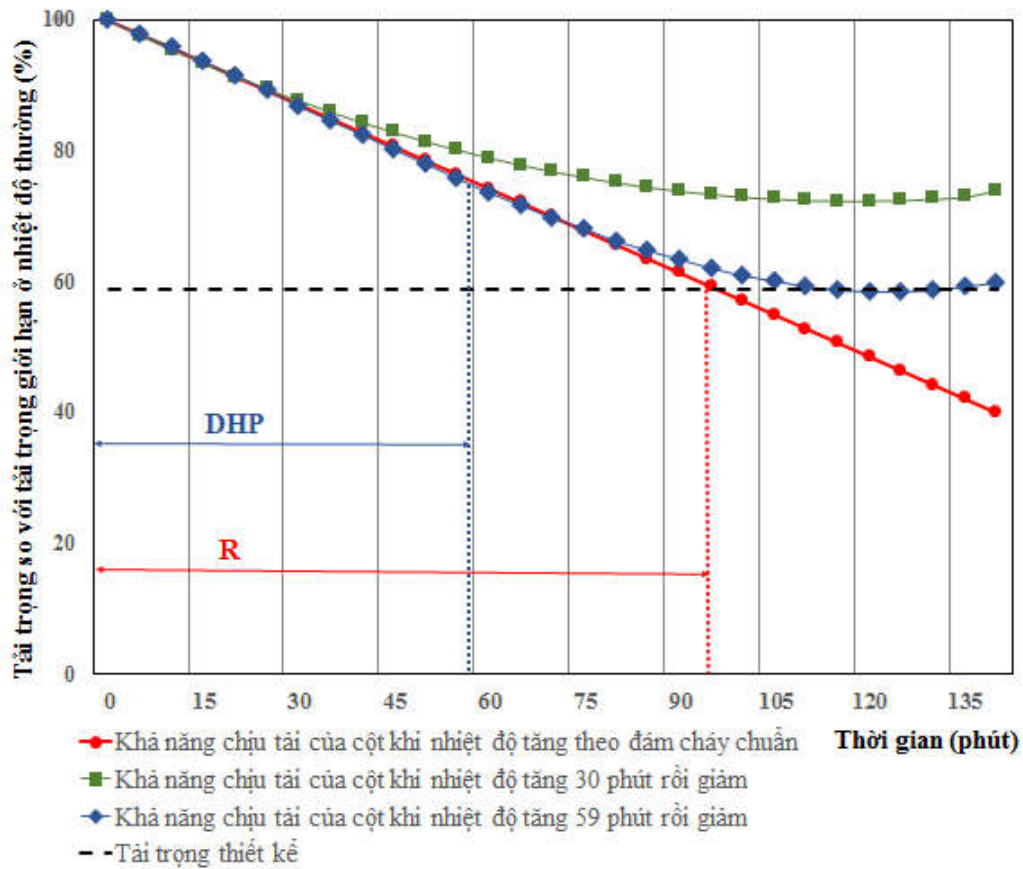
4.2 Khái niệm chỉ số đánh giá giới hạn chịu giai đoạn tăng nhiệt (DHP) của kết cấu

Khái niệm giới hạn chịu giai đoạn tăng nhiệt DHP (Duration of Heating Phase) được Gernay T. và Franssen J.M. giới thiệu năm 2015 [64].

DHP được định nghĩa là khoảng thời gian nhỏ nhất để kết cấu chịu được nhiệt độ tăng trong đám cháy tự nhiên mà sau đó kết cấu sẽ bị phá hoại ở giai đoạn giảm nhiệt. Có thể dùng ký hiệu CDHP (Critical Duration of Heating phase) thay cho DHP để rõ hơn ý nghĩa của chỉ số giới hạn chịu giai đoạn tăng nhiệt. Tuy nhiên, nghiên cứu này kế thừa sự giải thích về chỉ số giới hạn chịu giai đoạn tăng nhiệt của tài liệu [64] nên vẫn sử dụng ký hiệu DHP.

Giới hạn chịu lửa của cấu kiện R (Fire Resistance rating) đã được sử dụng rộng rãi như một chỉ số đánh giá kết cấu trong điều kiện cháy. R được định nghĩa là thời gian mà kết cấu vẫn giữ được các yêu cầu đặt ra cho nó về khả năng chịu lực khi chịu nhiệt độ tăng cao trong đám cháy tiêu chuẩn. Chỉ số R đã được dùng từ vài thập kỷ nay và vẫn là một chỉ số để đánh giá khả năng chịu lửa của kết cấu trong một số quy chuẩn và tiêu chuẩn.

DHP luôn nhỏ hơn R. So sánh về DHP và R thể hiện cụ thể ở một ví dụ trên Hình 4. 7. Khả năng chịu tải của cột ở nhiệt độ thường là 100%. Khả năng chịu tải của cột giảm dần khi nhiệt độ tăng. Đường màu đỏ nét liền trong Hình 4. 7 thể hiện khả năng chịu tải của cột khi nhiệt độ tăng theo đám cháy chuẩn. Đường màu xanh lá cây thể hiện khả năng chịu tải của cột khi nhiệt độ tăng ở khoảng thời gian 30 phút rồi giảm. Đường màu xanh nước biển thể hiện khả năng chịu tải của cột khi nhiệt độ tăng trong khoảng thời gian 59 phút rồi giảm.

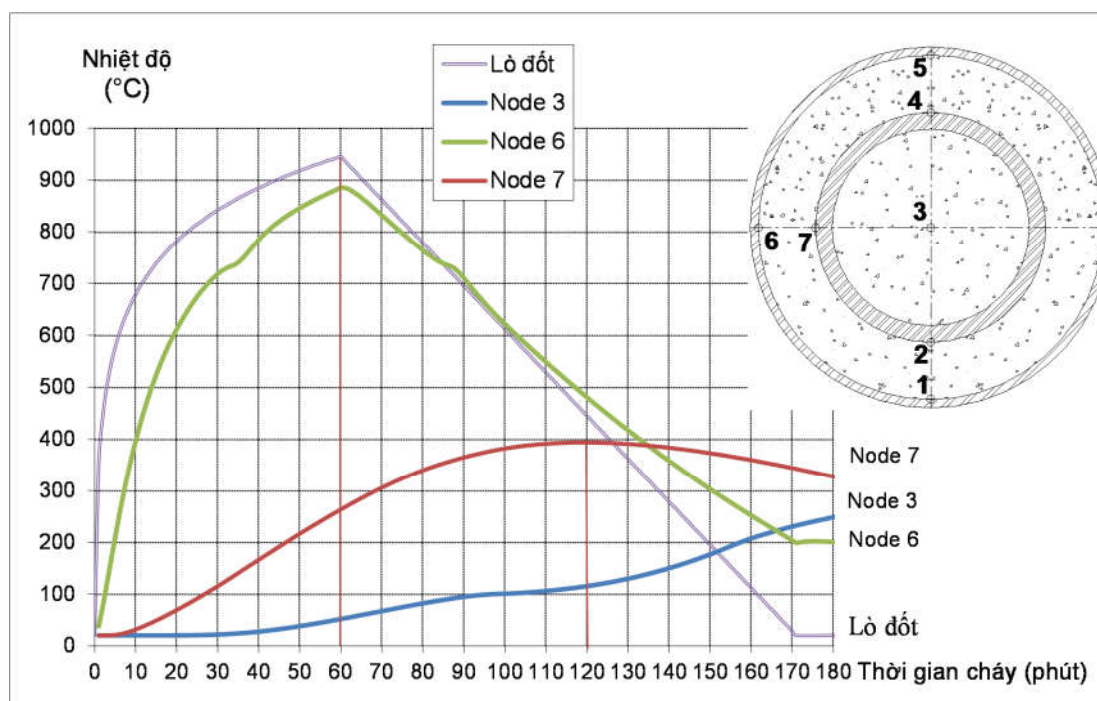


Hình 4. 7 Quan hệ giữa khả năng chịu tải của cấu kiện và thời gian cháy

Giả sử cột chịu một tải trọng thiết kế bằng 60% tải trọng giới hạn của nó ở nhiệt độ thường. Nếu nhiệt độ tăng theo đám cháy chuẩn thì sau 93 phút khả năng chịu tải của cột giảm còn 60% so với ban đầu và như vậy giới hạn chịu lửa của cột $R=93$ phút. Nếu đám cháy chỉ tăng nhiệt trong 30 phút sau đó giảm nhiệt thì khả năng chịu tải của cột giảm nhưng vẫn lớn hơn tải trọng thiết kế, nên cột không bị phá hoại. Tương tự, tính toán với các đám cháy tự nhiên có thời gian tăng nhiệt lần lượt là 30 phút, 40 phút, 50 phút... rồi giảm nhiệt, cho thấy khả năng chịu tải của cột vẫn lớn hơn tải trọng thiết kế (60% tải trọng giới hạn của cột ở nhiệt độ thường) nên cột vẫn không bị phá hoại. Tiếp tục tăng thời gian của giai đoạn tăng nhiệt, đến giá trị 59 phút rồi giảm thì thấy cột bị phá hoại ở phút thứ 113, đang trong giai đoạn giảm nhiệt. Giá trị nhỏ nhất của thời gian tăng nhiệt mà kết cấu chịu sau đó bị phá hoại ở giai đoạn giảm nhiệt là 59 phút. Ta nói $DHP = 59$ phút.

Như vậy kết cấu có thể bị phá hoại ở giai đoạn tăng nhiệt (có chỉ số R) hoặc bị phá hoại khi nhiệt độ bên ngoài đã giảm (sự phá hoại trễ với chỉ số DHP).

Giải thích nguyên nhân gây phá hoại trễ trong trường hợp nội lực không tăng có thể dùng ví dụ như ở Hình 4. 8: nhiệt độ trong lò đốt tăng theo đường chuẩn ISO 834 đến 60 phút sau đó giảm. Ở thời điểm 60 phút, nhiệt độ trong lò đốt khoảng 940°C nhưng nhiệt độ của ống thép bên trong khoảng 270°C. Như vậy, khi nhiệt trong lò đốt đang giảm (từ phút 60 trở đi) thì nhiệt độ trong ống thép bên trong vẫn tiếp tục tăng vì nhiệt độ thép vẫn thấp hơn nhiệt độ xung quanh. Vậy khả năng chịu tải của kết cấu vẫn giảm trong giai đoạn nhiệt độ buồng cháy đang giảm và kết cấu có thể bị sụp đổ.



Hình 4. 8 Sự thay đổi nhiệt độ trong tiết diện cột chịu đám cháy có thời gian tăng nhiệt 60 phút.

Quan sát trên cho thấy một kết cấu đã được thiết kế đảm bảo không bị sụp đổ trong thời gian chịu nhiệt độ tăng trong R phút cũng không thể đảm bảo kết cấu sẽ không bị sụp đổ ở giai đoạn giảm nhiệt. Như vậy nếu chỉ số R được quy định trong tiêu chuẩn để đảm bảo kết cấu không bị phá hoại trong giai đoạn tăng nhiệt để đủ thời gian cứu nạn cứu hộ thì chỉ số DHP cần được quy định để đảm bảo kết cấu không bị

phá hoại sau khi đám cháy đã được khống chế giảm nhiệt. DHP luôn nhỏ hơn R. Vì vậy, việc tính toán giới hạn chịu giai đoạn tăng nhiệt DHP có ý nghĩa thực tế. Khi kết cấu chịu cháy trong khoảng thời gian tăng nhiệt không lớn hơn DHP thì đảm bảo kết cấu không bị phá hoại ở giai đoạn giảm nhiệt. Chỉ số DHP nên cần được thêm vào trong các tiêu chuẩn và quy chuẩn.

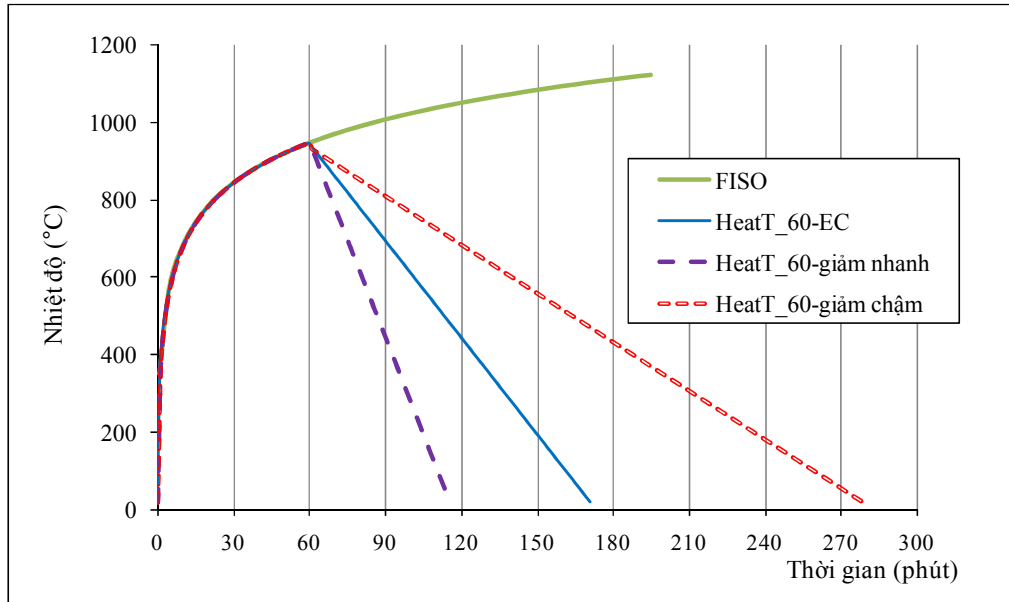
Luận án đặt vấn đề tính toán DHP cho cấu kiện cột liên hợp thép – bê tông. Dùng phần mềm SAFIR khảo sát các tham số ảnh hưởng đến DHP của cột liên hợp thép – bê tông.

Cấu kiện dầm, liên kết hay kết cấu sàn, khung...không được đề cập ở đây vì khối lượng công việc cần khảo sát cho một loại cấu kiện cột đã rất nhiều. Việc khảo sát DHP cho dầm, sàn hay cả khung được đặt trong hướng phát triển của luận án.

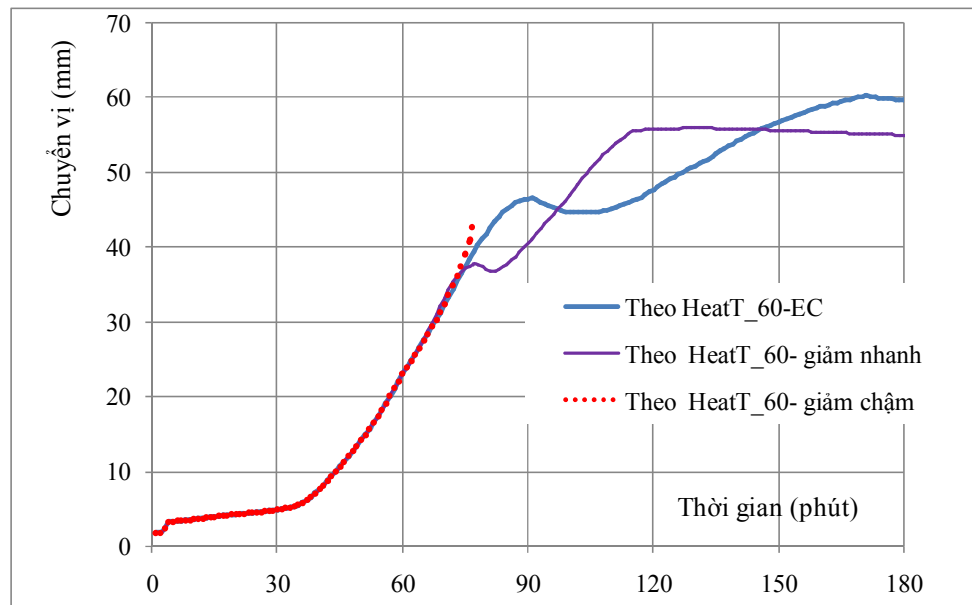
4.3 Khảo sát ảnh hưởng của tốc độ giảm nhiệt đến ứng xử của cấu kiện

Ở các mục 4.1 và 4.2, quan hệ giữa thời gian - nhiệt độ buồng cháy được lấy theo hướng dẫn trong tiêu chuẩn châu Âu EC1-1-2. Thực tế, đám cháy có sự thay đổi nhiệt độ không giống như đường đã tính, đặc biệt ở giai đoạn giảm nhiệt khi có sự can thiệp của các biện pháp chữa cháy. Câu hỏi đặt ra: “tốc độ giảm nhiệt có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng chịu lực của kết cấu trong điều kiện cháy”. Phần này khảo sát cột liên hợp thép bê tông với số liệu giống mục 4.2 nhưng tính toán với 3 đường giảm nhiệt khác nhau: đường giảm nhiệt theo tiêu chuẩn châu Âu (HeatT_60-EC); đường giảm nhiệt nhanh (HeatT_60-giảm nhanh) và đường giảm nhiệt chậm (HeatT_60-giảm chậm). Kết quả tính toán cho thấy với đường HeatT_60-EC cột không bị phá hoại, với đường HeatT_60-giảm nhanh cột không bị phá hoại, với đường HeatT_60-giảm chậm cột bị phá hoại ở phút thứ 77. Biểu đồ chuyển vị giữa cột theo thời gian cháy được thể hiện trên Hình 4. 10. Đường chuyển vị ứng với HeatT_60-EC và HeatT_60-giảm nhanh là kéo dài đến hết thời gian đám cháy tính toán (20 giờ) vì cột không bị phá hoại. Như vậy, tốc độ giảm nhiệt ảnh hưởng đáng kể đến ứng xử của kết cấu. Cùng một đám cháy có thời gian và tốc độ tăng nhiệt như nhau nhưng tốc độ giảm nhiệt có thể gây ra phá hoại hoặc không phá hoại kết cấu.

Từ các mục sau, luận án giới hạn phân tích kết cấu với đường tăng và giảm nhiệt độ theo tiêu chuẩn châu Âu.



Hình 4. 9 Ba đường nhiệt độ buồng cháy tính toán



Hình 4. 10 Chuyển vị ngang giữa cột khi tính theo ba đường nhiệt độ buồng cháy

4.4 Xây dựng thuật toán tính DHP cho cấu kiện cột liên hợp thép- bê tông

Để giải thích các kết quả tính ở phần sau, thống nhất một số khái niệm dùng trong phân tích như sau:

- Tỉ số tải trọng sử dụng: là tỉ số giữa tải trọng tác dụng lên cấu kiện trong điều kiện cháy và tải trọng giới hạn cấu kiện chịu được ở điều kiện nhiệt độ thường, gọi là "load ratio" = N_{fi} / N_{cold} trong đó N_{fi} là tải trọng tác dụng lên cấu kiện trong điều kiện cháy, N_{cold} là tải trọng giới hạn kết cấu chịu được ở điều kiện nhiệt độ thường. Trong điều kiện cháy, các tải trọng được tính với hệ số vượt tải và hệ số tổ hợp nhỏ hơn ở điều kiện thường nên tiêu chuẩn châu Âu EN1991-1-2 đã hướng dẫn lấy tỉ số tải trọng sử dụng không lớn hơn 0.65. Trong luận án tiến sĩ của Chu Thi Binh (2009) [35], các tính toán về tỉ số tải trọng cũng cho thấy giá trị này không lớn hơn 0.6.
- Giới hạn chịu lửa (Fire resistance rating - R): là thời gian lớn nhất (tính bằng phút) cấu kiện kết cấu chịu đám cháy tiêu chuẩn ISO 834 mà vẫn đảm bảo khả năng chịu lực.
- Thời gian tăng nhiệt (Heating time - HeatT): Khoảng thời gian (tính bằng phút) giai đoạn tăng nhiệt của đám cháy.
- Giới hạn của thời gian tăng nhiệt (Critical Duration of Heating phase - DHP): Khoảng thời gian nhỏ nhất của HeatT mà cấu kiện sẽ bị phá hoại trong giai đoạn giảm nhiệt.
- Thời gian phá hoại kết cấu (Time of failure - Tfail): Khoảng thời gian (tính bằng phút) kết cấu chịu được đám cháy cho đến khi bị phá hoại.

4.4.1 Giới thiệu chung về ngôn ngữ lập trình AutoIT

Nghiên cứu này sử dụng ngôn ngữ AutoIt để lập chương trình chạy tự động tìm DHP cho kết cấu với các bước phân tích nhiệt độ và phân tích kết cấu đã được giải bằng phần mềm SAFIR. AutoIt là một ngôn ngữ lập trình được thiết kế và xây dựng tương tự như ngôn ngữ BASIC với khả năng tự động hóa các giao diện người dùng (GUI) cũng như các thao tác tạo mã thường dùng. Công cụ này kết hợp nhiều chức năng của

việc giả lập phím, thao tác chuột hoặc điều khiển các đối tượng để đơn giản hóa các công việc lập trình. AutoIT cung cấp các thư viện lập trình để thao tác các tệp tin (file), gọi và trích xuất dữ liệu từ các chương trình chạy trên giao diện cmd (hay còn gọi là giao diện console, giống MS-DOS) của hệ điều hành Windows. Đây là một tính năng quan trọng để tác giả quyết định sử dụng AutoIT cho việc tự động gọi và chạy SAFIR.

Trong nghiên cứu này, quan hệ giữa thời gian cháy - nhiệt độ trong đám cháy có xét đến giai đoạn giảm nhiệt dựa trên đường parametric của tiêu chuẩn châu Âu (EN 1991-1-2). Mô phỏng nhiệt độ - vật liệu - ứng xử cơ học của kết cấu dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn dùng phần mềm SAFIR.

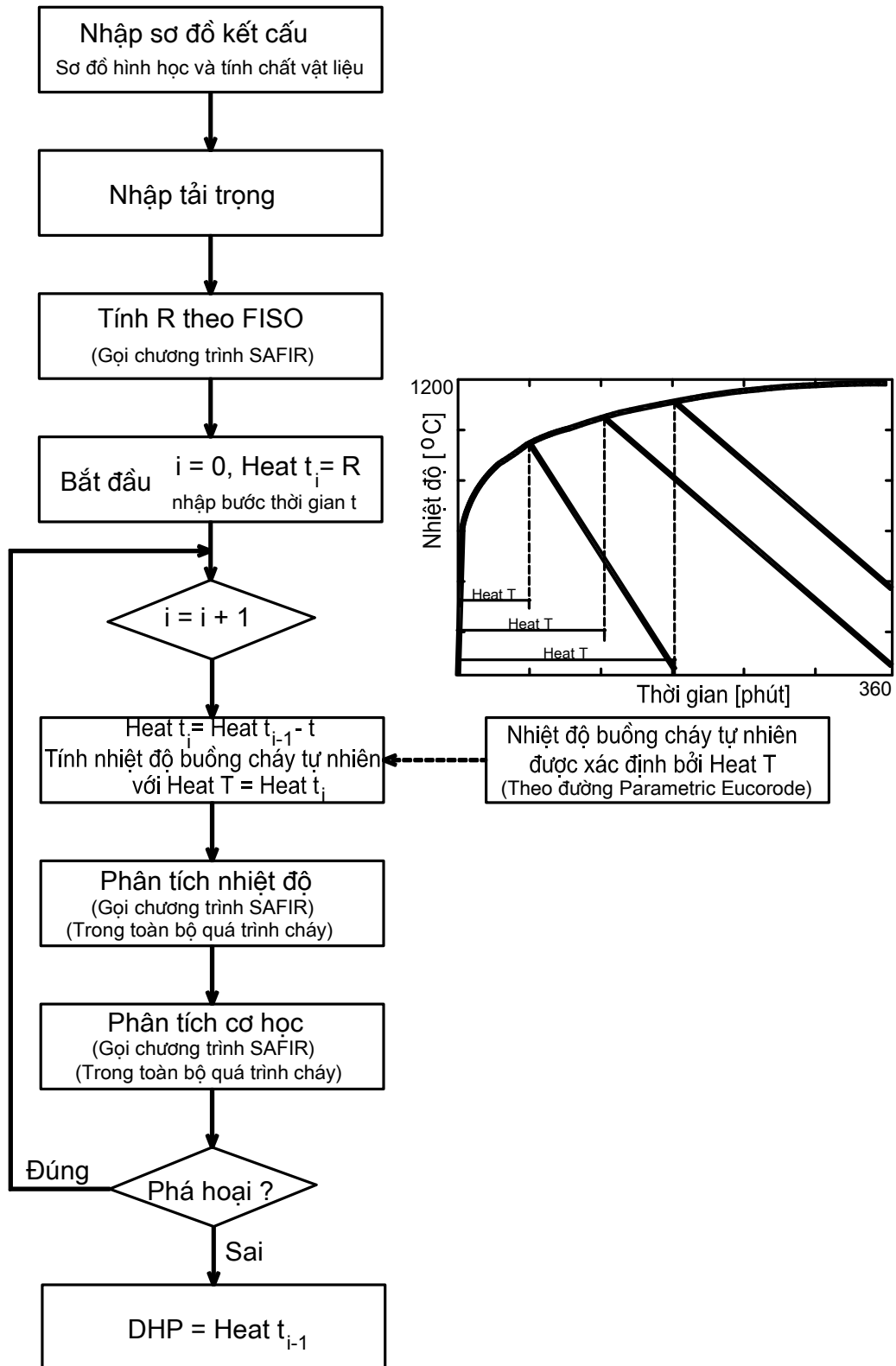
4.4.2 Ứng dụng AutoIT để lập trình phần mềm tự động tính DHP của cấu kiện kết cấu trên nền tảng SAFIR

Do mục tiêu là tìm giới hạn chịu giai đoạn tăng nhiệt DHP (luôn nhỏ hơn R) và tính theo phương pháp thử dần nên chương trình tự động tính DHP tiến hành các bước sau:

- Bước 1: Người dùng chọn thư mục để chạy chương trình. Trong thư mục này có file chạy SAFIR.exe và các tệp tin đầu vào để phân tích nhiệt độ và phân tích kết cấu. Các tệp tin đầu vào đã được lập trước đó, sử dụng các chương trình hỗ trợ SAFIR như phần mềm chia lưới GID hoặc Wizard. Khi đó chương trình tìm DHP sẽ tự động đọc file đầu vào trên và gọi chương trình SAFIR để tính giới hạn chịu lửa của cấu kiện (tính R);
- Bước 2: Tự động tạo file nhiệt độ buồng cháy có kể đến giai đoạn giảm nhiệt (tính toán bằng Excel). Đường nhiệt độ này có thời gian tăng nhiệt $HeatT = R - i \times t$ trong đó t là bước thời gian tự chọn (mặc định để 1 phút), i là số vòng lặp bước 2, ban đầu lấy $i = 0$;
- Bước 3: Gọi SAFIR để tính nhiệt độ trong kết cấu ứng với file nhiệt độ buồng cháy đã tính ở Bước 2;
- Bước 4: Gọi SAFIR để phân tích ứng suất - biến dạng của kết cấu ứng với kết quả phân tích nhiệt độ ở Bước 3;

- Bước 5: Kiểm tra điều kiện kết cấu bị phá hoại. Nếu kết cấu bị phá hoại thì tìm tiếp giá trị HeatT nhỏ hơn mà kết cấu vẫn bị phá hoại bằng cách quay lại Bước 2 với số vòng lặp i tăng lên. Nếu kết cấu không bị phá hoại thì giá trị DHP chính bằng HeatT của lần tính trước đó.

Mã nguồn chi tiết của chương trình có trong phần Phụ lục 02. Sơ đồ khối của chương trình tự động tính DHP xem Hình 4. 11.



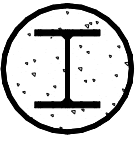


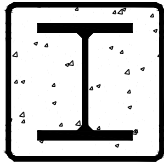
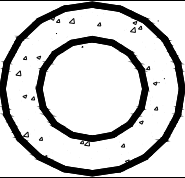
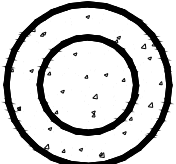
Hình 4. 11 Sơ đồ khối chương trình tự động tính DHP

4.5 Khảo sát các tham số ảnh hưởng tới DHP của cấu kiện cột liên hợp thép- bê tông

Do bê tông trong quá trình chịu cháy có hiện tượng bong vỡ (spalling) mà việc mô phỏng số dùng phần mềm SAFIR chưa kể tới được hiện tượng này, nên chương 4 giới hạn khảo sát cột liên hợp thép - bê tông có ống thép bao ngoài.

Có tất cả 17 tiết diện cột được tính toán. Hình 4. 12 thể hiện 6 nhóm tiết diện cột. 11 tiết diện khác có hình dạng giống 6 loại đó nhưng khác kích thước tiết diện. Các tham số ảnh hưởng đến các chỉ số R, DHP và T_{fail} được khảo sát là: tỉ số tải trọng sử dụng, cường độ bê tông, chiều cao cột, độ lệch tâm của lực dọc và đường cong giảm nhiệt.

Như vậy hơn 10000 bài toán tính DHP đã được tiến hành (17 loại tiết diện cột, 6 giá trị chiều cao cột, 4 giá trị tỉ số tải trọng sử dụng, 6 giá trị cường độ bê tông và 5 giá trị độ lệch tâm của tải trọng). Kết quả được xem xét với tất cả các bài toán đã được tính, song các phần sau chỉ chọn các số liệu điển hình để trình bày và nhận xét.

a) Profile 3	b) Profile 4	c) Profile 9	d) Profile 14	e) Profile 13	f) Profile 15
					
C 219.1 x 5 HEB 120	S 200 x 5 HEB 120	S 300 x 6.3 HEB 220	S 350 x 8 HEB 260	C 406.4 x 6 C 273x12	C 355.5 x 6 C 273x12

Hình 4. 12 Tiết diện ngang của cột nghiên cứu

4.5.1 Ảnh hưởng của tỉ số tải trọng sử dụng

Tỉ số tải trọng sử dụng có ý nghĩa hơn giá trị tải trọng vì nó phản ánh mức độ ứng suất so với cường độ trong cột. Do vậy, tỉ số tải trọng sử dụng ảnh hưởng trực tiếp đến ứng xử của cấu kiện trong điều kiện cháy. Ký hiệu tỉ số tải trọng sử dụng là Load ratio = N_{fi} / N_{max} trong đó N_{fi} là tải trọng tác dụng lên cột trong điều kiện cháy, N_{max} là tải trọng giới hạn kết cấu chịu được ở điều kiện nhiệt độ thường.

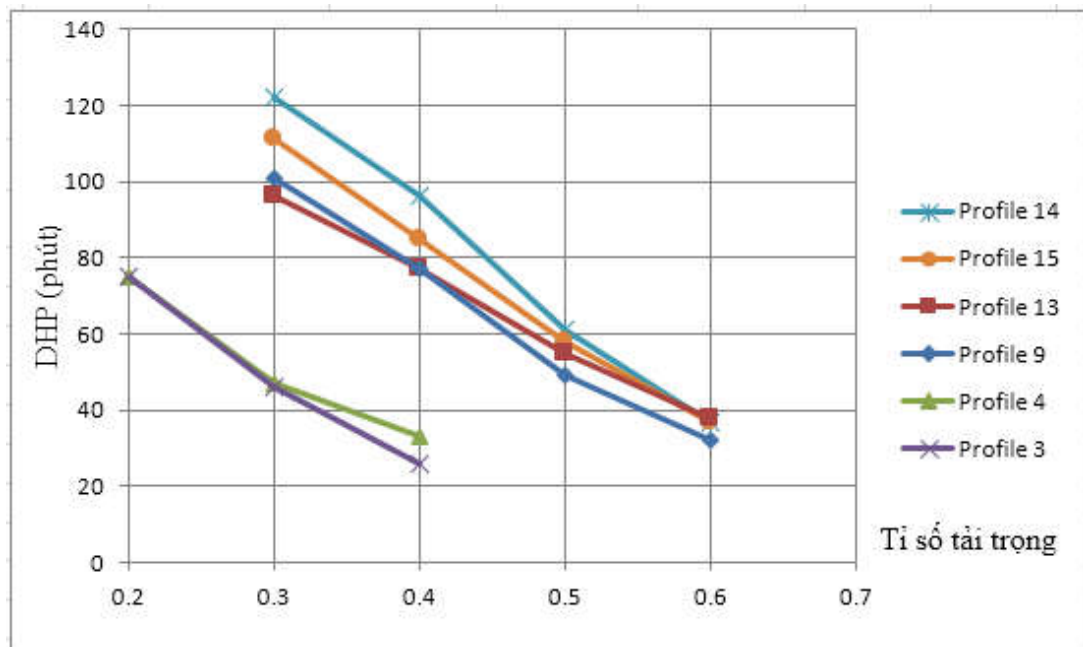
Các cấu kiện kết cấu được tính toán với các tỉ số tải trọng sử dụng từ 0.3 đến 0.6. Các kết quả cho R nhỏ hơn 30 phút được loại bỏ vì nó không có ý nghĩa thực hành.

Bảng 4. 1 trình bày kết quả tính của một số cột có liên kết khớp 2 đầu. Cột tính với chiều cao 3m, lệch tâm ban đầu 1cm theo phương mô men kháng uốn lớn, bê tông cấp C30 theo tiêu chuẩn châu Âu. Kết quả trong

Bảng 4. 1 cho thấy tỉ số tải trọng sử dụng ảnh hưởng đáng kể đến R, DHP và Tfail. Tải trọng tác dụng càng lớn thì R và DHP càng nhỏ.

Bảng 4. 1 Kết quả tính cột với các giá trị tỉ số tải trọng sử dụng

Cột	Tỉ số tải trọng	R (phút)	DHP (phút)
Profile 9	0.3	131	101
Profile 9	0.4	94	77
Profile 9	0.5	56	49
Profile 9	0.6	37	32
Profile 13	0.3	127	96
Profile 13	0.4	94	77
Profile 13	0.5	65	55
Profile 13	0.6	45	38
Profile 14	0.3	163	122
Profile 14	0.4	118	96
Profile 14	0.5	67	61
Profile 14	0.6	41	37



Hình 4. 13 Quan hệ giữa DHP và tỉ số tải trọng sử dụng cho cột

4.5.2 Ảnh hưởng của cường độ ống thép bao ngoài

Giữ nguyên tải trọng, thay đổi cường độ của ống thép bao ngoài ($f_y = f_{sy} = 235, 275, 355, 420$ và 460 MPa) thấy R và DHP không thay đổi nhiều. R và DHP tăng không đáng kể khi f_y tăng. Có thể giải thích rằng nhiệt độ ống thép bao ngoài tăng rất nhanh nên ống thép bị giảm cường độ và không đóng góp đáng kể vào vai trò chịu tải trong quá trình chịu cháy. Từ đây trở đi, tải trọng tác dụng được so với tải trọng do lõi bên trong (N_{core}) vì bỏ qua vai trò chịu tải của ống thép bao ngoài.

$N_{core} = A_c \cdot f_{ck} + A_s \cdot f_{sy}$ (A_c, A_s) là diện tích tiết diện phần bê tông và phần thép hình bên trong là cường độ chịu nén danh nghĩa của bê tông và thép hình bên trong. Trong nghiên cứu này, cường độ ống thép bao ngoài $f_y = 355$ MPa được đưa vào tính toán vì đó là loại thép được dùng chủ yếu ở châu Âu. Khi dùng các loại thép khác thì có thể lấy kết quả cũng không khác đi đáng kể.

Bảng 4. 2 Kết quả tính toán với nhiều giá trị cường độ ống thép bao ngoài

Cột	Cường độ thép (MPa)	N_{fi}/N_{core}	R (phút)	DHP (phút)	T _{fail} (phút)
Profile 14	235	0.4	159	119	162
Profile 14	275	0.4	160	119	195
Profile 14	355	0.4	161	122	203
Profile 14	420	0.4	161	126	186
Profile 14	460	0.4	162	127	189
Profile 14	235	0.6	81	70	99
Profile 14	275	0.6	82	72	103
Profile 14	355	0.6	84	76	96
Profile 14	420	0.6	86	79	97
Profile 14	460	0.6	86	80	101
Profile 15	235	0.4	118	94	137
Profile 15	275	0.4	125	101	136
Profile 15	355	0.4	125	101	152
Profile 15	420	0.4	126	102	145
Profile 15	460	0.4	126	103	143
Profile 15	235	0.5	93	74	108
Profile 15	275	0.5	94	75	110
Profile 15	355	0.5	95	77	113
Profile 15	420	0.5	96	79	113
Profile 15	460	0.5	96	80	114

4.5.3 Ảnh hưởng của cường độ thép hình bên trong

Cột được tính toán với các giá trị cường độ thép hình bên trong là $f_{sy} = 235, 275, 355, 420$ và 460 MPa. Thay đổi tải trọng sao cho N_{fi} / N_{core} không thay đổi, thì thấy DHP thay đổi không nhiều khi f_{sy} thay đổi. Để tìm ảnh hưởng của tỉ số tải trọng so với khả năng chịu lực của phần bê tông và phần thép hình bên trong, các tỉ số N_{fi} / N_c và N_{fi} / N_s được tính toán, trong đó $N_c = A_c \cdot f_{ck}$ là khả năng chịu nén của phần bê tông trong tiết diện, $N_s = A_s \cdot f_{sy}$ là khả năng chịu nén của phần thép hình bên trong tiết diện. Kết quả tính với nhiều loại tiết diện, nhiều giá trị tải trọng cho thấy khi N_{fi} / N_c tăng (giảm phần bê tông, tăng phần cốt thép) mà giữ nguyên giá trị tỉ số tải trọng N_{fi} / N_{core} thì DHP tăng không đáng kể.

Bảng 4. 3 Kết quả tính toán với nhiều giá trị cường độ thép hình bên trong

Cột	Cường độ thép (MPa)	N_{fi}/N_{core}	N_{fi}/N_c	N_{fi}/N_s	R (phút)	DHP (phút)	Tfail (phút)
Profile 14	235	0.5	0.97	1.04	120	100	139
Profile 14	275	0.5	1.04	0.96	123	101	151
Profile 14	355	0.5	1.20	0.86	127	102	158
Profile 14	420	0.5	1.33	0.80	130	103	157
Profile 14	460	0.5	1.41	0.77	132	103	160
Profile 14	235	0.6	1.16	1.24	78	72	89
Profile 14	275	0.6	1.25	1.15	80	73	93
Profile 14	355	0.6	1.44	1.03	84	76	96
Profile 14	420	0.6	1.60	0.96	87	78	98
Profile 14	460	0.6	1.69	0.93	88	78	114
Profile 15	235	0.4	0.77	0.83	121	99	149
Profile 15	275	0.4	0.84	0.77	123	100	143
Profile 15	355	0.4	0.96	0.68	125	100	152
Profile 15	420	0.4	1.07	0.64	127	100	152
Profile 15	460	0.4	1.13	0.62	128	100	153
Profile 15	235	0.6	1.16	1.24	57	52	67
Profile 15	275	0.6	1.25	1.15	58	52	70
Profile 15	355	0.6	1.44	1.03	59	52	72
Profile 15	420	0.6	1.60	0.96	60	52	73
Profile 15	460	0.6	1.69	0.93	60	52	73

4.5.4 Ảnh hưởng của cường độ bê tông

Cột được tính toán với các giá trị cường độ bê tông là $f_{ck}=20, 30, 35, 40, 50$ và 60 MPa. Thay đổi tải trọng sao cho N_{fi} / N_{core} không thay đổi thì thấy R và DHP giảm không đáng kể khi f_{ck} tăng (tương ứng với N_{fi} / N_c giảm). Quy luật này giống với kết quả khảo sát ảnh hưởng của cường độ thép hình bên trong.

Bảng 4. 4 Kết quả tính toán với nhiều giá trị cường độ bê tông

Cột	Cường độ bê tông (MPa)	N_{fi}/N_{core}	N_{fi} (N)	N_{fi}/N_s	N_{fi}/N_c	R (phút)	DHP (phút)	Tfail (phút)
Profile 15	20	0.4	2056546	0.59	1.24	140	112	162
Profile 15	30	0.4	2387386	0.68	0.96	137	108	170
Profile 15	35	0.4	2552806	0.73	0.88	135	107	162
Profile 15	40	0.4	2718226	0.78	0.82	134	106	159
Profile 15	50	0.4	3049066	0.87	0.74	132	104	160
Profile 15	60	0.4	3379906	0.97	0.68	120	96	143
Profile 15	20	0.7	3598956	1.03	2.18	55	49	69
Profile 15	30	0.7	4177926	1.20	1.68	53	46	63
Profile 15	35	0.7	4467411	1.28	1.54	52	45	62
Profile 15	40	0.7	4756896	1.36	1.44	51	44	61
Profile 15	50	0.7	5335866	1.53	1.29	50	43	59
Profile 15	60	0.7	5914836	1.70	1.19	49	42	58
Profile 14	20	0.5	3099765	0.74	1.55	151	118	180
Profile 14	30	0.5	3598315	0.86	1.20	145	113	179
Profile 14	35	0.5	3847590	0.91	1.10	142	111	175
Profile 14	40	0.5	4096865	0.97	1.03	139	109	173
Profile 14	50	0.5	4595415	1.09	0.92	135	106	166
Profile 14	60	0.5	5093965	1.21	0.85	132	103	163
Profile 14	20	0.7	4339671	1.03	2.18	77	71	90
Profile 14	30	0.7	5037641	1.20	1.68	71	65	80
Profile 14	35	0.7	5386626	1.28	1.54	68	63	77
Profile 14	40	0.7	5735611	1.36	1.44	67	61	76
Profile 14	50	0.7	6433581	1.53	1.29	64	58	77
Profile 14	60	0.7	7131551	1.70	1.19	62	56	75

4.5.5 Ảnh hưởng của độ lệch tâm của tải trọng

Cột được tính toán với nhiều giá trị độ lệch tâm của lực dọc từ $0.125b$ đến $1.5b$ (b là kích thước tiết diện). Khi giữ nguyên tỉ số tải trọng sử dụng "load ratio" kết quả cho R và DHP không thay đổi đáng kể khi thay đổi độ lệch tâm của lực dọc. Vậy trong tính toán đơn giản hóa có thể lấy DHP của cột chịu nén lệch tâm bằng DHP của cột chịu nén đúng tâm có cùng tỉ số tải trọng sử dụng.

Bảng 4. 5 Kết quả tính toán với nhiều giá trị độ lệch tâm của tải trọng

Cột	e	Tỉ số tải trọng	R (phút)	DHP (phút)	Tfail (phút)
Profile 9	0.125b	0.3	134	104	162
Profile 9	0.5b	0.3	137	107	164
Profile 9	0.75b	0.3	137	108	153
Profile 9	b	0.3	137	108	171
Profile 9	1.5b	0.3	140	111	156
Profile 14	0.125b	0.3	163	125	199
Profile 14	0.5b	0.3	164	128	187
Profile 14	0.75b	0.3	163	128	186
Profile 14	b	0.3	163	128	186
Profile 14	1.5b	0.3	166	130	192
Profile 9	0.125b	0.5	53	49	60
Profile 9	0.5b	0.5	56	51	64
Profile 9	0.75b	0.5	52	49	56
Profile 9	b	0.5	47	45	49
Profile 9	1.5b	0.5	47	46	48
Profile 14	0.125b	0.5	61	57	67
Profile 14	0.5b	0.5	62	58	69
Profile 14	0.75b	0.5	53	51	56
Profile 14	b	0.5	48	47	49
Profile 14	1.5b	0.5	47	46	48

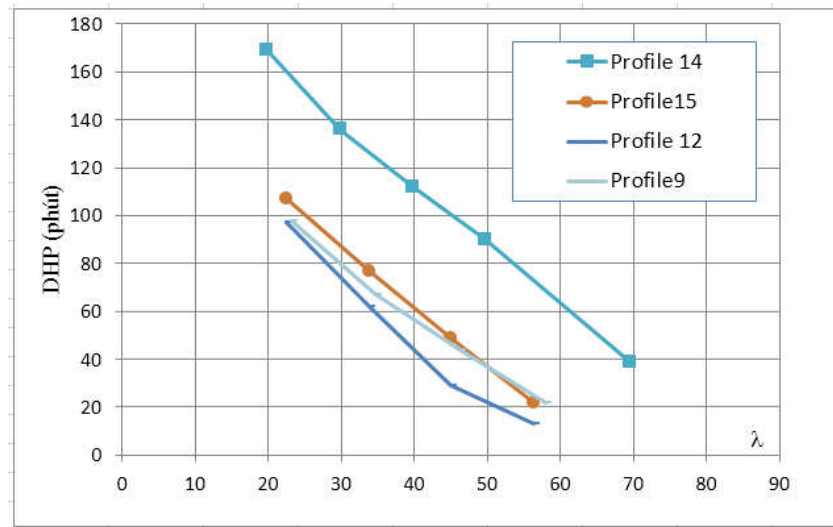
4.5.6 Ảnh hưởng của độ mảnh của cột

Cột được tính toán với nhiều giá trị chiều cao cột từ 2m đến 7m. Độ mảnh cột λ là tỉ số chiều dài tính toán cột trên bán kính quán tính của tiết diện.

Bảng 4. 6 trình bày kết quả tính cột Profile 15 với một số giá trị chiều cao cột, tải trọng không đổi. Hình 4. 14 biểu diễn mối quan hệ giữa DHP và độ mảnh của một số cột đã tính toán. Kết quả cho thấy DHP ảnh hưởng đáng kể bởi độ mảnh cột.

Bảng 4. 6 Kết quả tính cột Profile 15 với nhiều giá trị chiều cao cột

Cột	Chiều cao (m)	λ	N/N _{core}	R (phút)	DHP (phút)
Profile 15	2	22.5	0.4	133	107
Profile 15	3	33.8	0.4	93	77
Profile 15	4	45.0	0.4	59	49
Profile 15	5	56.3	0.4	44	22
Profile 15	7	78.8	0.4	23	19



Hình 4. 14 Quan hệ giữa DHP và độ mảnh cột (λ)

4.5.7 Khái niệm Thời gian phá hoại trễ (DelayT) của kết cấu

Để giải thích các kết quả tính ở phần sau, cần đưa thêm một số khái niệm dùng trong phân tích như sau:

- Thời gian tăng nhiệt (Heating time HeatT): Khoảng thời gian (tính bằng phút) giai đoạn tăng nhiệt của đám cháy.
- Thời gian phá hoại kết cấu (Time of failure Tfail): Khoảng thời gian (tính bằng phút) kết cấu chịu được đám cháy cho đến khi bị phá hoại.
- Thời gian phá hoại trễ (Delayed failure time DelayT): Khoảng thời gian (tính bằng phút) kể từ khi đám cháy giảm nhiệt đến khi kết cấu bị phá hoại: $\text{DelayT} = \text{Tfail} - \text{HeatT}$

Lấy ví dụ tính toán cột ở Hình 4. 8 để minh họa. Cột chịu đám cháy có thời gian tăng nhiệt là $\text{HeatT} = 60$ phút. Theo tính toán, cột bị phá hoại ở thời điểm 120 phút ($\text{Tfail} = 120$ phút). Như vậy thời gian phá hoại trễ của cột là $\text{DelayT} = \text{Tfail} - \text{HeatT} = 60$ phút. Số liệu DelayT của kết cấu công trình có ý nghĩa rất quan trọng cho các tính toán phương án chữa cháy và cứu nạn. Trên thực tế, một số vụ cháy mà công trình sụp đổ khi đám cháy đã được dập tắt đã làm thiệt mạng một số lính cứu hỏa. Ví dụ đó càng nêu rõ tầm quan trọng của việc nghiên cứu tính toán thời gian phá hoại trễ cho kết cấu công trình. Mục 4.5 trình bày kết quả tính toán DelayT cho một số cột

ống thép nhồi bê tông và phân tích các yếu tố chính ảnh hưởng đến kết quả tính DelayT.

4.6 Khảo sát các tham số ảnh hưởng tới thời gian phá hoại trễ DelayT của cấu kiện cột liên hợp thép - bê tông

4.6.1 Ảnh hưởng của thời gian tăng nhiệt

Tfail và DelayT được tính với các đường nhiệt độ đám cháy khác nhau (các HeatT khác nhau). Bảng 4. 7 trình bày kết quả tính của cột có tiết diện Profile 14 chịu tải trọng bằng 30% tải trọng giới hạn của cột ở nhiệt độ thường (load ratio = 0.3). Khi đám cháy chỉ có giai đoạn tăng nhiệt, cột chịu được thời gian là 164 phút thì bị phá hoại, tức là chịu đám cháy có HeatT = 164 thì Tfail = 164. Vẫn cột đó, nếu chỉ chịu đám cháy có HeatT = 126 thì cột bị phá hoại ở Tfail = 208 phút. Như vậy, thời gian phá hoại trễ của cột là DelayT = Tfail - HeatT = 82 phút. Tức là, cột bị phá hoại sau 82 phút sau khi đám cháy đã được khống chế giảm nhiệt độ. Nếu cột chịu đám cháy có HeatT nhỏ hơn một giá trị xác định thì cột không bị phá hoại (ở đây HeatT nhỏ hơn 125 phút thì cột không bị phá hoại). Giá trị R - HeatT chỉ ra khoảng thời gian đám cháy được giảm nhiệt trước khi đạt giới hạn chịu lửa R mà kết cấu vẫn bị phá hoại trễ. Như ở Bảng 4. 7, cột có giới hạn chịu lửa là R = 164 phút nhưng khi cột chỉ chịu cháy trong khoảng tăng nhiệt độ là 126 phút (ít hơn 38 phút so với giới hạn chịu lửa của cột) thì cột cũng vẫn bị phá hoại nhưng là phá hoại trễ ở phút thứ 208. Như vậy, cần thêm khái niệm giới hạn chịu giai đoạn tăng nhiệt của cấu kiện thay vì chỉ dùng khái niệm giới hạn chịu lửa của cấu kiện.

Kết quả tính cho thấy với cùng một cấu kiện, đám cháy có HeatT nhỏ nếu vẫn gây phá hoại kết cấu thì thời gian phá hoại trễ DelayT sẽ lớn.

Bảng 4. 7 Kết quả tính cột có tiết diện Profile 14

Cột	R (phút)	HeatT (phút)	Tfail (phút)	DelayT (phút)	R-HeatT (phút)
Profile 14	164	164	164	0	0
		159	164	5	5
		154	165	11	10
		144	169	25	20
		139	172	33	25
		129	186	57	35
		126	208	82	38
		125	NO		39

4.6.2 Ảnh hưởng của tỉ số tải trọng sử dụng

Các cấu kiện kết cấu được tính toán với các tỉ số tải trọng sử dụng từ 0.3 đến 0.6. Các kết quả cho R nhỏ hơn 30 phút được loại bỏ vì nó không có ý nghĩa thực hành. Bảng 2 trình bày kết quả tính của một số cột có liên kết khớp 2 đầu. Cột tính với chiều cao 3m, lệch tâm ban đầu 1cm, bê tông cấp C50 theo tiêu chuẩn châu Âu. Với mỗi giá trị tỉ số tải trọng sử dụng, nhiều đường nhiệt độ với các HeatT khác nhau được đưa vào tính toán song bảng 2 chỉ trình bày kết quả tính với HeatT nhỏ nhất mà vẫn gây phá hoại cấu kiện. Với mỗi cấu kiện xác định chịu các đường nhiệt độ khác nhau, giá trị HeatT nhỏ nhất cho kết quả DelayT lớn nhất (xem Bảng 4. 7).

Kết quả trong Bảng 4. 8 cho thấy tỉ số tải trọng sử dụng ảnh hưởng đáng kể đến Tfail và DelayT. Trong đa số các trường hợp, Tfail và DelayT giảm khi tăng tỉ số tải trọng sử dụng (cột Profile 15 trong Bảng 4. 8). Nhưng trong một số trường hợp Tfail và DelayT không tuân theo quy luật như vậy (cột Profile 11). Điều này có thể giải thích rằng với cột ống thép nhồi bê tông có bọc thép hình khác bên trong, khi nhiệt độ xung quanh giảm, nhiệt độ ống thép bao ngoài cũng giảm nhưng nhiệt độ của thép hình bên trong vẫn tăng. Như vậy trong quá trình chịu đám cháy giảm nhiệt cường độ của ống thép bên ngoài tăng lên trong khi cường độ của thép hình bên trong giảm làm cột có thể giảm khả năng chịu tải rồi lại tăng rồi lại giảm. Trong trường hợp này, có thể Tfail rất lớn không theo quy luật (Cột profile 11 với tỉ số tải trọng 0.5 trong Bảng 4. 8).

Bảng 4. 8 Kết quả tính các cấu kiện với các giá trị tỉ số tải trọng sử dụng

Cột	Tỉ số tải trọng	R (phút)	HeatT (phút)	Tfail (phút)	DelayT (phút)
Profile 11	0.3	97	77	114	37
	0.4	69	56	80	24
	0.5	51	34	118	84
	0.6	37	27	83.5	57
Profile 15	0.3	140	111	167	56
	0.4	104	85	126	41
	0.5	64	57	76	19
	0.6	41	36	47	11

4.6.3 Ảnh hưởng của cường độ bê tông

Bảng 4. 9 Kết quả tính các cấu kiện với các giá trị cường độ bê tông


Cột	Cường độ bê tông (MPa)	Tỉ số tải trọng	R (phút)	HeatT (phút)	Tfail (phút)	DelayT (phút)
Profile 14	20	0.3	160	123	191	68
	30	0.3	161	122	203	81
	35	0.3	161	122	201	79
	40	0.3	162	122	200	78
	50	0.3	162	121	204	83
	60	0.3	162	121	202	81
Profile 15	20	0.5	61	55	70	15
	30	0.5	64	56	78	22
	35	0.5	65	57	76	19
	40	0.5	66	57	80	23
	50	0.5	68	58	82	24
	60	0.5	69	59	82	23

Các cột cao 3m được tính toán với các giá trị cường độ chịu nén của bê tông từ 20MPa đến 60 MPa. Kết quả cho thấy cường độ bê tông không ảnh hưởng đáng kể đến các kết quả R, HeatT và Tfail nếu giữ nguyên giá trị tỉ số tải trọng sử dụng.

4.6.4 Giá trị lớn nhất của DelayT trong các cột đã tính toán

Giá trị thời gian phá hoại trễ DelayT có ý nghĩa quan trọng trong công tác chữa cháy và cứu nạn. Lực lượng chữa cháy cần phải biết công trình có thể bị sụp đổ sau thời gian bao lâu kể từ khi đám cháy đã được khống chế giảm nhiệt độ. Do vậy, nghiên cứu này tìm giá trị lớn nhất của DelayT trong các cột đã được tính toán. Với các phân tích tham số ảnh hưởng đến DelayT, thấy rằng DelayT có xu hướng tăng với các cấu kiện có giới hạn chịu cháy lớn, đám cháy có giai đoạn tăng nhiệt nhỏ và cột chịu tải trọng nhỏ. Cột tiết diện Profile 17 cho kết quả DelayT lên tới 252 phút (Bảng 4. 10). Profile 17 có hình dạng như Profile 15 (Hình 4. 12) nhưng kích thước tiết diện ống thép ngoài là C406.4x6.

Bảng 4. 10 Kết quả tính DelayT cho cột profile 17

Cột	Chiều cao (m)	Tỉ số tải trọng	R (phút)	HeatT (phút)	Tfail (phút)	DelayT (phút)
 C 406.4x6 C273x12	7	0.3	266	178	284	106
	7	0.4	209	123	375	252
	7	0.5	158	73	222	149
	7	0.6	123	45	183	138

4.7 Kết luận chương 4

- Phá hoại trễ của kết cấu trong giai đoạn giảm nhiệt của đám cháy tự nhiên là có thể xảy ra. Hiện tượng phá hoại trễ là do nhiệt độ bên trong kết cấu tiếp tục tăng khi nhiệt độ bên ngoài đã giảm. Hiện tượng phá hoại trễ của kết cấu trong đám cháy cần được nghiên cứu thêm góp phần tăng an toàn cho công tác chữa cháy và cứu nạn;

- DHP được định nghĩa là khoảng thời gian nhỏ nhất kết cấu chịu giai đoạn tăng nhiệt mà sau đó kết cấu sẽ bị phá hoại ở giai đoạn giảm nhiệt. R là khoảng thời gian giới hạn kết cấu chịu được trong giai đoạn tăng nhiệt. Trong các tiêu chuẩn thiết kế mới quan tâm đến R mà chưa đề cập đến DHP. Một kết cấu đã được thiết kế đã đảm bảo giới hạn chịu lửa yêu cầu R chưa chắc đã đảm bảo không bị phá hoại sau khi chịu cháy với khoảng thời gian tăng nhiệt nhỏ hơn R. Như vậy nếu chỉ số R được quy định trong tiêu chuẩn để đảm bảo kết cấu không bị phá hoại trong giai đoạn tăng nhiệt để đủ thời gian cứu nạn cứu hộ thì chỉ số DHP cần được quy định để đảm bảo kết cấu không bị phá hoại sau khi đám cháy đã được khống chế giảm nhiệt. DHP luôn nhỏ hơn giới hạn chịu lửa R;

- Các nghiên cứu trong luận án về ảnh hưởng của các tham số tới giá trị DHP cho thấy:

+ Giá trị tỉ số tải trọng sử dụng và độ mảnh của cột ảnh hưởng chính đến giá trị của DHP;

+ Cường độ vật liệu và độ lệch tâm của lực dọc ảnh hưởng không đáng kể đến DHP nếu giữ nguyên tỉ số tải trọng sử dụng. Như vậy, để tính DHP của cột chịu

nén lệch tâm và cường độ vật liệu bất kỳ có thể quy về tính DHP của cột chịu nén đúng tâm với cùng tỉ số tải trọng sử dụng;

- Trong thiết kế kết cấu đảm bảo điều kiện an toàn cháy, cần quan tâm cả giá trị "Thời gian phá hoại trễ" (DelayT) của kết cấu. DelayT là khoảng thời gian kể từ khi đám cháy bắt đầu giảm nhiệt đến khi kết cấu bị phá hoại. Giá trị DelayT của kết cấu công trình có ý nghĩa thực tế trong tính toán phương án chữa cháy và cứu nạn;

- Các nghiên cứu trong luận án về ảnh hưởng của các tham số tới giá trị DelayT cho thấy:

+ Thời gian tăng nhiệt của đám cháy và tỉ số tải trọng sử dụng ảnh hưởng đáng kể đến DelayT;

+ Cường độ vật liệu và độ lệch tâm của lực dọc ảnh hưởng không đáng kể đến DelayT nếu giữ nguyên tỉ số tải trọng sử dụng;

+ Trong các cấu kiện đã tính toán, thời gian phá hoại trễ lên tới trên 250 phút. Nghĩa là công trình có thể vẫn sập sau 250 phút kể từ khi nhiệt độ đám cháy được khống chế giảm nhiệt.

PHỤ LỤC 01

Phần lập trình viết thêm của vật liệu CONC_ETC

```

SUBROUTINE MATER1(cmat,t,tmax,paracold,parahot1,parahot2,nm,ntot,
.          lpremierpassage,Nuser_steel,user_steel_prop,
.          npttot1,npttot2)

c   Tinh cac he so trong cac phuong trinh bieu dien cac tinh chat co ly
c   cua vat lieu phu thuoc vao nhiet do
C   Buoc nay duoc tinh tai moi diem tren ket cau khi bat dau mot buoc
c   thoi gian
c       This routine is run
c           one time at the beginning of each time step,
c           for every point of integration of the structure.

C   The integration point  NTOT
C       is characterized by the temperatures  T  and  TMAX.
C       ( NTOT can be either NTOT1 or NTOT2, global number for the whole str
ucture),
C   At this point is the material  NM  described by  CMAT.
C       The material  NM  has the characteristics  PARACOLD  at 20øC.
C   We are going to calculate the characteristics  PARAHOT  at elevated
c       temperature for the point  NTOT.

c   Ntot is equal to ntot1 or ntot2 according to the finite element type

include 'declare.inc'
include 'mycom.inc'

real*8 c

dimension paracold(idimpara,nmat)
dimension parahot1(idimpara1,npttot1),parahot2(idimpara2,npttot2)
dimension sigm3v(3),h33(3,3),deps3v(3),epshell(3),sigmashell(3)
dimension user_steel_prop(idim timestep,i5)

c   epsy = 0.02d0
DATA epsy/0.02D0/

C++
c   write(2,*)' MATER1, cmat =',cmat
c   write(2,*)' t      =',t
c   write(2,*)' tmax =',tmax

lsteel1D = .false.
if (cmat.eq.'STEELEC3') lsteel1D = .true.
if (cmat.eq.'STEELEC3DC') lsteel1D = .true.
if (cmat.eq.'STEELEC2') lsteel1D = .true.
if (cmat.eq.'PSTEELA16') lsteel1D = .true.
if (cmat.eq.'USER_STEEL') lsteel1D = .true.

if (cmat.eq.'INSULATION') then
c       =====

```

```

else if ( (cloc.eq.'USER1').or.(cloc.eq.'USER2')
*       .or.(cloc.eq.'USER3').or.(cloc.eq.'USER4')
*       .or.(cloc.eq.'USER5')) then
c
=====

else if ((cmat.eq.'X_GYPSUM').or.(cmat.eq.'C_GYPSUM')) then
c
=====

else if (cmat.eq.'ELASTIC') then
c
=====
parahot1(i1,ntot) = paracold(i1,nm)
parahot1(i2,ntot) = paracold(i2,nm)
parahot1(idimparal,ntot) = r0

else if (cmat.eq.'SILCON_ETC') then
C
=====

c      Compression strength
parahot1(i1,ntot) = rkfc_silconc_ETC(t,tmax) * paracold(i3,nm)

c      Tension strength
if (paracold(i4,nm).eq.r0) then
parahot1(i2,ntot) = r0
else
parahot1(i2,ntot) = rkft_conc_ETC(t,tmax) * paracold(i4,nm)
endif

c      Strain to peak stress
parahot1(i3,ntot) = EPSc1_conc_ETC(tmax)

c      Strain to 0 stress
parahot1(i4,ntot) = EPScu_concETC(tmax)

c      Modulus at the origin
parahot1(i5,ntot) = 1.5d0*parahot1(i1,ntot)/parahot1(i3,ntot)

C      thermal elongation
parahot1(idimparal,ntot) = epsth_silconcETC(t,tmax)

c      Modulus used in tension
if (lpremierpassage) parahot1(i7,ntot) = parahot1(i5,ntot)

else if (cmat.eq.'CALCON_ETC') then
C
=====

c      Compression strength
parahot1(i1,ntot) = rkfc_calconc_ETC(t,tmax) * paracold(i3,nm)

c      Tension strength

```

```

if (paracold(i4,nm).eq.r0) then
  parahot1(i2,nm) = r0
else
  parahot1(i2,ntot) = rkft_conc_ETC(t,tmax) * paracold(i4,nm)
endif

c   Strain to peak stress
parahot1(i3,ntot) = EPSc1_conc_ETC(tmax)

c   Strain to 0 stress
parahot1(i4,ntot) = EPScu_concETC(tmax)

c   Modulus at the origin
parahot1(i5,ntot) = 1.5d0*parahot1(i1,ntot)/parahot1(i3,ntot)

C   thermal elongation
parahot1(idimpara1,ntot) = epsth_calconcETC(t,tmax)

c   Modulus used in tension
if (lpremierpassage) parahot1(i7,ntot) = parahot1(i5,ntot)

else if (cmat.eq.'ELPLANESTR') then
c   =====

Eo = r1

parahot2(i1,ntot) = Eo * paracold(i1,nm)
parahot2(i2,ntot) = paracold(i2,nm)

c   Thermal expansion
parahot2(idimpara2,ntot) = paracold(i3,nm)*(t-20.d0)

```

```

=====
FUNCTION rkft_conc_ETC(t,tmax)

c   Reduction of tension strength in siliceous concrete
c   according to 3.2.2.2 (3) of prEN1992-1-2

include 'declare.inc'
include 'mycom.inc'

if (tmax.le.100.d0) then
  ft = r1
else if (tmax.le.600.d0) then
  ft = 1.00d0-(tmax-100.d0)/500.d0
else
  ft = r0
endif

c   Attention to the cases where T<20 C et Tmax=20 C
if ( (t.lt.tmax) .and. (dabs(tmax-20).ge.precision) ) then
c   Cooling down
c   calculate ft(20øc) = rmul * ft(tmax)
  if (tmax.lt.300.) then
    rmul = r1-0.1*(t-20.)/280.
  else
    rmul = 0.9
  endif
  ft20 = rmul*ft
c   calculate fc(t) = interpolation between fc(20) and fc(tmax)
  ft = ft20+(ft-ft20)*(t-20.)/(tmax-20)
endif

rkft_conc_etc = ft

return
end

=====

```

```
FUNCTION rKfc_conc_ETC(t,tmax)
```

```
c      Reduction of compression strength in calcereous concrete  
c      according to Table 3.1 of prEN1992-1-2
```

```
include 'declare.inc'  
include 'mycom.inc'
```

```
if (tmax.le.100.d0) then  
  fc = r1  
else if (tmax.le.200.d0) then  
  fc = 1.00d0-.0005d0*(tmax-100.d0)  
else if (tmax.le.300.d0) then  
  fc = 0.95d0-.0010d0*(tmax-200.d0)  
else if (tmax.le.400.d0) then  
  fc = 0.85d0-.0010d0*(tmax-300.d0)  
else if (tmax.le.500.d0) then  
  fc = 0.75d0-.0015d0*(tmax-400.d0)  
else if (tmax.le.600.d0) then  
  fc = 0.60d0-.0015d0*(tmax-500.d0)  
else if (tmax.le.700.d0) then  
  fc = 0.45d0-.0015d0*(tmax-600.d0)  
else if (tmax.le.800.d0) then  
  fc = 0.30d0-.0015d0*(tmax-700.d0)  
else if (tmax.le.900.d0) then  
  fc = 0.15d0-.0007d0*(tmax-800.d0)  
else if (tmax.le.1000.d0) then  
  fc = 0.08d0-.0004d0*(tmax-900.d0)  
else if (tmax.le.1100.d0) then  
  fc = 0.04d0-.0003d0*(tmax-1000.d0)  
else  
  fc = max(0.01d0-.0001d0*(tmax-1100.d0),0.0001)  
endif
```



```
FUNCTION EPScu_concETC(tmax)
```

```
c Strain to 0 stress in concrete
```

```
include 'declare.inc'  
include 'mycom.inc'
```

```
if (tmax.le.20.d0) then  
  epsu = 0.0025.d0  
else if (tmax.le.100.d0) then  
  epsu = 0.0025d0+.0005d0*(tmax-20.d0)/80.d0  
else if (tmax.le.200.d0) then  
  epsu = 0.003d0+.00008d0*(tmax-100.d0)  
else if (tmax.le.300.d0) then  
  epsu = 0.0038d0+.00012d0*(tmax-200.d0)  
else if (tmax.le.400.d0) then  
  epsu = 0.005d0+.00013d0*(tmax-300.d0)  
else if (tmax.le.500.d0) then  
  epsu = 0.0063d0+.00024d0*(tmax-400.d0)  
else if (tmax.le.600.d0) then  
  epsu = 0.0087d0+.0004d0*(tmax-500.d0)  
else if (tmax.le.700.d0) then  
  epsu = 0.0127d0+.00006d0*(tmax-600.d0)  
else if (tmax.le.800.d0) then  
  epsu = 0.0133d0+.0007d0*(tmax-700.d0)  
else if (tmax.le.900.d0) then  
  epsu = 0.014d0+.0001d0*(tmax-800.d0)  
else  
  epsu = .015d0+.0001d0*(tmax-900.d0)  
endif
```

```
EPScu_concETC = epsu
```

```
return  
end
```

```
FUNCTION EPSc0_concETC(tmax)
```

```
c Strain to 0 stress in concrete
```

```
include 'declare.inc'  
include 'mycom.inc'
```

```
if (tmax.le.20.d0) then  
  eps0 = 0.02.d0  
else if (tmax.le.100.d0) then  
  eps0 = 0.02d0+.00015d0*(tmax-20.d0)/80.d0  
else if (tmax.le.200.d0) then  
  eps0 = 0.0215d0+.00018d0*(tmax-100.d0)  
else if (tmax.le.300.d0) then  
  eps0 = 0.0233d0+.00022d0*(tmax-200.d0)  
else if (tmax.le.400.d0) then  
  eps0 = 0.0255d0+.00013d0*(tmax-300.d0)  
else if (tmax.le.500.d0) then  
  eps0 = 0.0263d0  
else if (tmax.le.600.d0) then  
  eps0 = 0.0263d0+.00009d0*(tmax-500.d0)  
else if (tmax.le.700.d0) then  
  eps0 = 0.0272d0+.00013d0*(tmax-600.d0)
```

```
else if (tmax.le.800.d0) then
  eps0 = 0.0285d0+.0005d0*(tmax-700.d0)
else if (tmax.le.900.d0) then
  eps0 = 0.029d0+.00035d0*(tmax-800.d0)
else
  eps0 = .0325d0+.00035d0*(tmax-900.d0)
endif
```

```
EPSc0_concETC = eps0
```

```
return
end
```

```

SUBROUTINE mater2 (cmat, parahot1, parahot2, npttot1, npttot2, ntot, Et,
.
*          epsr, sigm3v, H33, deps3v, ljmax, ldescending_branch,
          ndimlaw)

c=====
==

c input
c   CMAT      : name of the material
c   NTOT      : # of the integration point ( global # for the entire stru
cture )
c               can be NTOT1 or NTOT2
c   EPSR      : residual strain ( 1D )
c   NDIMLAW   : gives the dimension of the material law: 1 = uniaxial, 2
= biaxial

c output
c   Et        : tangent modulus for 1D materials,
c   H33       : tangent stiffness matrix for 2D materials,

c input and output
c   PARAHOT   : the first columns contain the material properties at elev
ated temperature,
c               the last columns contain strains, stresses, ....
c   SIGM3V    : stress vector for 2D materials ( Sx ; Sy ; Sxy )
c   DEPS3V    : Incremental strain vector for 2D materials,

c=====

c   Tinh ung suat- bien dang tai tung diem voi tung vong lap
c   This routine is run for every iteration,
c               for every point of integration.
c
c   At the integration point  NTOT  is the material described by CMAT.
c   This material has, at the point NTOT, the characteristics PARAHOT
c               at elevated temperature.

c   In uniaxial situation,
c   We are going to calculate  SIGMA  and  Et  as a function of  EPSMEC

c   In multiaxial situation
c   We are going to calculate the stress vector sigm3v and the stiffne
ss
c   matrix H33 as a function of the strain incr. vector deps3v,
c   calculated from the strain vector at the beginning of the time ste
p.

c i o
c   a          : df/dsigma
c               df/dsigmax, df/dsigmay, df/dtauxy, df/dsigmaz
c   * Ai       : Hardening parameter

include 'declare.inc'
include 'mycom.inc'

dimension a(4)
dimension dsigmai(3)
dimension parahot1(idimpara1, npttot1), parahot2(idimpara2, npttot2)
dimension Deltasigmae(3)
dimension dsigmae(3)
dimension sigm3v(i3), H33(i3, i3), H33pl(3, 3), deps3v(i3)

```

```
dimension sigmai(3)
dimension trav3(3)
```

```
DATA epsy/0.02D0/
```

```
ldescending_branch = .false.
```

```
c++
c   if (ntot.eq.i1) then
c   write(2,*)'in MATER2, cmat =',cmat
c   write(2,*)'in MATER2,  ntot =',ntot
c   write(2,*)'=====
c   write(2,*)'  parahot2(idimpara2,ntot)    =',parahot2(idimpara2,ntot
)
c   write(2,*)'  epsr                        =',epsr
c   write(2,*)'  idimpara2                    =',idimpara2
c   do 35 iloc=i1,idimpara2
c     write(2,*)'  iloc:',iloc,'  parahot2:',parahot2(iloc,ntot)
c 35 continue
c   endif

c---
c   write(2,*)' FIN62B => MATER2'
c   write(2,*)'  Dans MATER2, deps3v(1) = ',deps3v(1)
c   write(2,*)'  Dans MATER2, deps3v(2) = ',deps3v(2)
c   write(2,*)'  Dans MATER2, deps3v(3) = ',deps3v(3)

  if (ndimlaw.eq.i1) epsmec =
*     parahot1(idimpara1-i3,ntot)-parahot1(idimpara1,ntot)-epsr
c   At this point, epsmec = epstot - epsth - residual strain
c++
c   write(2,*)'  ==>> epsmec =',epsmec

lconcec2 = .false.
if (cmat.eq.'LWCONCEC2') lconcec2 = .true.
if (cmat.eq.'SILCONCEC2') lconcec2 = .true.
if (cmat.eq.'CALCONCEC2') lconcec2 = .true.
if (cmat.eq.'SILCONC_EN') lconcec2 = .true.
if (cmat.eq.'CALCONC_EN') lconcec2 = .true.

lsteel1D = .false.
if (cmat.eq.'STEELEC3')    lsteel1D = .true.
if (cmat.eq.'STEELEC3DC') lsteel1D = .true.
if (cmat.eq.'STEELEC2')    lsteel1D = .true.
if (cmat.eq.'PSTEELA16')   lsteel1D = .true.
if (cmat.eq.'USER_STEEL')  lsteel1D = .true.

  if (cmat.eq.'INSULATION') then
c   =====
      Et = r0
      sigma = r0
      parahot1(idimpara1-i4,ntot) = Et
      parahot1(idimpara1-i2,ntot) = sigma

  else if ( (cmat.eq.'USER1').or.(cmat.eq.'USER2')
*         .or.(cmat.eq.'USER3').or.(cmat.eq.'USER4')
```

```

else if (cmat.eq.'CONC_ETC') then

c          =====

Rc      = parahot1(i1,ntot)
Rt      = parahot1(i2,ntot)
epsu    = parahot1(i3,ntot)
eps0    = parahot1(i4,ntot)
Eo      = parahot1(i5,ntot)
rcrack_opening = parahot1(i6,ntot)
etra    = parahot1(i7,ntot)
epspl   = parahot1(idimparal-1,ntot)

c++
c      if (ntot.eq.i1) then
c          write(2,*)' IN MATER2'
c          write(2,*)' Rc = ',Rc
c          write(2,*)' Rt = ',Rt
c          write(2,*)' epsu = ',epsu
c          write(2,*)' eps0 ',eps0
c          write(2,*)' Eo = ',Eo
c          write(2,*)' etra = ',etra
c          write(2,*)' epspl = ',epspl
c          write(2,*)' epsmec = ',epsmec
c      endif

Et = r0
sigma = r0

c      if (concrete completed crushed)
c          if (etra.lt.-r1) go to 1

c      Slope used in the descending branches
edschb = r2*Rc/(eps0-epsu)

c      Reset the origin of the stress strain diagram at the plastic strain, epspl
epsel = epsmec-epspl

c      strain domain which marks the transition from tension to compression.
c      !!! eps_contact must be the same here and in mater3
c      FRS
eps_contact = dmin1(100.d-6,rcrack_opening)

if (epsel.le.-eps_contact) then

C          CONCRETE IN COMPRESSION

r = -epsmec/epsu

if (r.gt.r1) then

C          POINT EN BRANCHE DESCENDANTE DU BETON

teps = epsmec+epsu+Rc/edschb
edsteps = edschb*teps
if ((teps.le.r0).and.(teps.gt.-Rc/edschb)) then
    sigcharge =-Rc/r2-edsteps*(r1+edsteps/(r2*Rc))
    Echarge = -edschb*(r1+edsteps/Rc)
endif
if (teps.gt.r0) then
    sigcharge =-Rc/r2-edsteps*(r1-edsteps/(r2*Rc))
    Echarge = -edschb*(r1-edsteps/Rc)
endif

```

```

endif
if (teps.le.-Rc/edscb) then
  go to 1
endif

else

C      POINT EN BRANCHE MONTANTE DU BETON

      RR2 = r*r
      dpr3 = r1+RR2
      sigcharge = -Rc*r*r2/dpr3
      Echarge = r2*Rc*(r1-RR2)/(epsu*dpr3*dpr3)

endif

      sigdech = Eo*epsel
      Edech = Eo

      if (sigcharge.lt.sigdech) then
        Et = Edech
        sigma = sigdech
      else
        Et = Echarge
        sigma = sigcharge
      endif

else if (epsel.ge.eps_contact) then

C      CONCRETE IN TENSION-----

      if ((etra.ne.r0).and.(Rt.ne.r0)) then

        epsut = r2*Rt/Eo

        if (epsel.le.epsut) then

C          Branche montante

          sigel = Eo*epsel
          sigcharge = sigel*(r1-sigel/(Rt*r4))
          Echarge = Eo*(r1-sigel/(Rt*r2))

        else

c          Branche descendante

          teps = epsel-epsut-Rt/edscb
          edsteps = edscb*teps
          if (teps.le.r0) then
C            concavite vers le bas
            sigcharge = -edsteps*(edsteps/(r2*Rt)+r1)+Rt/r2
            Echarge = -edscb*(edsteps/Rt+r1)
          else if (teps.le.(Rt/edscb)) then
C            concavite vers le haut
            sigcharge = edsteps*(edsteps/(r2*Rt)-r1)+Rt/r2
            Echarge = edscb*(edsteps/Rt-r1)
          else
c            beton fissure
            go to 1
          endif
        endif
      endif

```

```

endif

sigdech = epsel*etra
Edech = etra

if (sigdech.lt.sigcharge) then
  sigma = sigdech
  Et = Edech
else
  sigma = sigcharge
  Et = Echarge
endif

endif

else

c          CONCRETE IN THE TRANSITION ZONE BETWEEN COMPRESSION AND TENSION
C
c          We want a continuous and smooth transition from the tension to t
he compression curve
c          (this represents the continuous closing of a crack).
c          The transition curve will reach the compression curve at point P
0,
c          for a strain x0 = -epsu/20
c          for a stress y0 = -3fc(1/20)/(2+(1/20)_3)
c                          = -3fc(400/16001)
c          The transition curve will leave the unloading tension curve at p
oint P2,
c          for a strain x2 = -x0
c          for a stress y2 = ETRA*x2
c          In order to have a transition curve which is tangent to the tens
ion
c          as well as (almost) to the compression curve, we build a secon
d ordre Bezier curve
c          on p0, p1, p2, with p1 = ( x1 ; y1 ) = ( 0 ; 0 )
C
C          A 2nd order Bezier curve has the following expression
c          B2(0,2,t) = t B1(1,2,t) + (1-t) B1(0,1,t)
c          (eq.1)
c          with B1(0,1,t) = p0 + t (p1-p0)
c          and B1(1,2,t) = p1 + t (p2-p1)
c          in which t is a parameter, from 0 to 1.
c          if we know the value of x (the strain), we can calculate from eq
. 1 that
c          x = t{x1+t(x2-x1)} + (1-t){x0+t(x1-x0)}
c          or (x2+x0-2x1)tt+2(x1-x0)t+x0-x
c          or Att+Bt+C = 0
c          (eq.2)
c          with A = x2+x0-2x1
c          B = 2(x1-x0)
c          C = x0-x
c          Solving eq. 2 yields the value of t
c          Eq. 1 yields
c          y = t{y1+t(y2-y1)} + (1-t){y0+t(y1-y0)} , this is the stress
c          We need also dy/dx = dy/dt dt/dx
c          with dy/dt = y1+2t(y2-y1)+(1-2t)(y1-y0)-y0
c          and dt/dx = 1 / SQRT(BB-4AC), see eq. 2
C
c          In this particular case, we have x1 = y1 = 0
c          and x2 = -x0
c          Thus, A = 0

```

```

c          B = -2x0
c          C = x0-x
c      and eq. 2 shrinks to a linear equation, directly solved.
c      t = -C/B = (x0-x)/(2x0)
c      y = t*t*y2+(1-t)*(1-t)y0
c      dy/dx = -(ty2-(1-t)y0)/x0

x0 = - eps_contact
rloc = x0/epsu
y0 = r3*Rc*rloc / ( r2+rloc*rloc*rloc)
x2 = -x0
y2 = etra*x2
x = epsel
t = (x0-x) / (r2*x0)
rloc = r1-t
sigdech = t*t*y2 + rloc*rloc*y0
Edech = (rloc*y0-t*y2) / x0

if (epsel.ge.r0) then

    epsut = r2*Rt/Eo

    if (rt.eq.r0) then
        sigcharge = r0
        Echarge = r0
    else

        if (epsel.le.epsut) then

C            Branche montante

                sigel = Eo*epsel
                sigcharge = sigel*(r1-sigel/(Rt*r4))
                Echarge = Eo*(r1-sigel/(Rt*r2))

        else

c            Branche descendante

                teps = epsel-epsut-Rt/edscb
                edsteps = edscb*teps
                if (teps.le.r0) then
C                    concavite vers le bas
                        sigcharge = -edsteps*(edsteps/(r2*Rt)+r1)+Rt/r2
                        Echarge = -edscb*(edsteps/Rt+r1)
C                    else if (teps.le.(Rt/edscb)) then
                        concavite vers le haut
                        sigcharge = edsteps*(edsteps/(r2*Rt)-r1)+Rt/r2
                        Echarge = edscb*(edsteps/Rt-r1)
                else
c                    beton fissure
                        go to 1
                endif

        endif

    endif

endif

if (sigdech.lt.sigcharge) then
    sigma = sigdech
    Et = Edech
else
    sigma = sigcharge

```



```

        Et = Echarge
    endif
else
    sigma = sigdech
    Et = Edech
endif

endif

1 continue

c++
c     write(2,*)' END OF MATER2, sigma = ',sigma
c     write(2,*)' epsmec      =',epsmec
c     write(2,*)' epspl      =',epspl
c     write(2,*)' epsel      =',epsel
c     write(2,*)' Etra       =',Etra
c     write(2,*)' sigma      =',sigma
c     write(2,*)' Et         =',Et

parahot1(idimparal-i4,ntot) = Et
parahot1(idimparal-i2,ntot) = sigma

```

```

SUBROUTINE DONNEE
.   (trav,rcoordg,eltruss,rottruss,geotruss,rcoordyzinbeam,
.   fibersection,epsrbeam,epsrsolid,oblique,
.   warping,gjyczc,elbeam,timebeam,timesolid,timetruss,
.   vforce,paracold,timestep,uptime,rotbeam,rgeovoid,
.   itrav,NODESOFRUSS,igeotruss,imattruss,iordre,ioblique,
.   nodesofbeam,itpebeam,nfiberbeam,matbeam,iddlofnodes,
.   nodesofsolid,matsolid,inodessym,ifrontiersolid,nddl,
.   cfrontiersolid,cddlofnodes,cforce,cmat,nbl,
.   nuactifs,timeprint,uptimeprint,idimtimeprint,lprintsigmaet,
*   lprintsigmashell,
.   lplacer,lprintvel_acc,itpeshell,nodesofshell,timeshell,
.   tempshell,propshell,temp-solid,
.   ipropshell,numberofposition,nstsky,mssky,ilengthsky,
.   igeovoid,nfrontiervoid,viewvoid,ismvoid,inbsyvoid,
*   cfluxsolid,ifluxsolid,cStrategyForShell,
*   chydrost,rMhydrost,lhydrost,dfor,
*   nodesofsoil,propsoil,rotsoil,rmass,timestepmax,SectionWidth,
*   Nuser_steel,user_steel_prop,lhasemibeam)

```

```

include 'declare.inc'
character*20 cfilerenum,ctrav
include 'mycom.inc'

```

```

dimension cfluxsolid(idimtimestep)
dimension cfrontiersolid(idimtimestep)
dimension cStrategyForShell(ngeoshell)
dimension epsrsolid(nsolid)
dimension geotruss(i2,ngeotruss)
dimension ifluxsolid(numberoffrontier,n-solid)
dimension ifrontiersolid(numberoffrontier,n-solid)
dimension igeovoid(i4,nfrontiervoidmax,nvoid)
dimension inbsyvoid(nvoid)
dimension isymvoid (i3,i4,nvoid)
dimension ioblique(ndim,noblique)
dimension ipropshell(ngeoshell,*)
dimension itypebeam(nbeam)
dimension itpeshell(nshell)
dimension lplacer(nodemax,ndofmaxinSAFIR,ntypeelem)
dimension lprintsigmaet(i2,nbeam,ngaussbeam)
dimension lprintsigmashell(nshell)
dimension matsolid(nsolid)
dimension mssky(nutot)
dimension nddl(nnode)
dimension nfrontiervoid(nvoid)
dimension nodesofshell(numberofnodesinshell,nshell)
dimension numberofposition(ngeoshell)
dimension nstsky(nutot)
dimension oblique(ndim,noblique)
dimension tempshell(numbermaxofposition,i5,ngeoshell)
dimension propshell(ngeoshell,*)
dimension rcoordg(ndim,nnode)
dimension rgeovoid(nfrontiervoidmax,nvoid)
dimension tempsolid(nnode,i4)
dimension timebeam(i2,ngeobeam)
dimension timeshell(i2,ngeoshell)
dimension timesolid(i2)
dimension timetruss(i2,ngeotruss)
dimension vforce(nload,nutot)
dimension viewvoid(nfrontiervoidmax,nfrontiervoidmax,i2,nvoid)
dimension nodesoftruss(2,ntruss),eltruss(2,ntruss)
dimension rottruss(ndim,ntruss)

```

```

dimension rotbeam(ndim,ndim,nbeam)
dimension nfiberbeam(ngeobeam)
dimension gjyczc(i6,ngeobeam)
dimension igeotruss(ntruss), imattruss(ngeotruss)
dimension matbeam(nfiberbeammax,ngeobeam),
.      fibersection(nfiberbeammax,ngeobeam),
.      epsrbeam(nfiberbeammax,ngeobeam)
dimension warping(i3,nfiberbeammax,ngeobeam)
dimension rcoordyzinbeam(2,nfiberbeammax,ngeobeam)
dimension nodesofbeam(numberofnodesinbeam,nbeam)
dimension elbeam(2,nbeam)
dimension iddlofnodes(nddlmax,nnode)
dimension cddlofnodes(nutot)
dimension cforce(nload)
dimension cmat(nmat)
dimension paracold(idimpara,nmat)
dimension timestep(idim timestep), uptime(idim timestep)
dimension inodessym(i2,idim timestep)
dimension nodesofsolid(numberofnodesinsolid,nsolid)

dimension rMass(nutot)
dimension timeprint(idim timeprint), uptimeprint(idim timeprint)
dimension chydrost(nhydrost), rMhydrost(nhydrost),
*      lhydrost(nbeam,nhydrost)
dimension dfor(nutot)
dimension user_steel_prop(idim timestep,i5)

```

C VECTEURS DE TRAVAIL

```

dimension trav(idimtrav)
dimension itrav(idimitrav)

```

```

data imillion /1000000/

```

```

Write(*,*) ' SAFIR is in subroutine DONNEE'

```

C COORDONNEES DES NOEUDS ET DU CENTRE DE TORSION.

C -----

```

iunit = i1

```

```

call readnode(iunit,trav,rcoordg,gjyczc)

```

C **** *****

C D.D.L. IMPOSES.

C -----

```

call fixation(iunit,iddlofnodes,cddlofnodes,rcoordg,nuactifs,nbl,

```

C **** *****

```

.      itrav,nddl)

```

```

if (nbl.gt.ilargeur12) then

```

```

write(i2,112) nbl,ilargeur12

```

```

write(*,112) nbl,ilargeur12

```

```
112 format(' ERROR from subr. DONNEE. '/

```

```

.      '      # of fixed D.o.F. =',i5,' > ILARGEUR12 =',i5/

```

```

.      '      Change ILARGEUR12 in filename.IN.')

```

```

stop

```

```

endif

```

Phan viet them 2017

case ('CONC_ETC')

```
=====  
C++      write(2,*)' In DONNEE, cloc = CALCONCEC2'  
c        lprint = .false.  
        if (ltemperature) then  
          read(i1,*) paracold(i3,nm),  
*          (paracold(npara,nm),npara=i5,i8),paracold(i4,nm)  
          write(2,1029) nm,cloc,paracold(i3,nm),  
*          (paracold(iloc,nm),iloc=i5,i8),paracold(i4,nm)  
1029     format(/3X,I2,1x,A10/  
        . '      This material is CONCRETE, from EN1992-1-2.'/  
*        . '      SPECIFIC MASS           :',F10.3,' kg/m3'/  
        . '      WATER CONTENT           :',F10.3,' kg/m3'/  
  
        . '      CONVECTION COEFF. ON HOT SURF. :',F10.3,' W/m2K'/  
        . '      CONVECTION COEFF. ON COLD SURF. :',F10.3,' W/m2K'/  
        . '      RELATIVE EMISSIVITY           :',F10.3/  
*        . '      PARAMETER FOR THERM. CONDUCTIVITY:',F10.3/  
*        . '      Note: 0.0 = lower bound, 1.0 = upper bound')  
        else  
          epsu = 2.5d-3  
          read(i1,*) (paracold(npara,nm),npara=i2,i4)  
          E = 1.5d0*paracold(i3,nm)/epsu  
          paracold(i1,nm) = E  
          write(2,1027) nm,cloc,(paracold(iloc,nm),iloc=i1,i4)  
1027     format(/3X,I2,1x,A10/  
        . '      This material is CONCRETE, from EN1992-1-2.'/  
        . '      YOUNG'S MODULUS           :',E12.5/  
        . '      POISON'S RATIO           :',E12.5/  
        . '      COMPRESSIVE STRENGTH       :',E12.5/  
        . '      TENSION STRENGTH          :',E12.5)  
        endif
```

PHỤ LỤC 02

Phân lập trình chương trình tự động tính DHP

```

1 ;TTKNCL-Pro.au3
2 ;TTKNCL.au3
3 #include <StaticConstants.au3>
4 #include <GUIConstantsEx.au3>
5 #include <GuiListBox.au3>
6 #include <WindowsConstants.au3>
7 #Include <GuiButton.au3>
8 #include <EditConstants.au3>
9 #include <ListBoxConstants.au3>
10 #include <WinAPIFiles.au3>
11 #include <Date.au3>
12 #include <Array.au3>
13 #include <File.au3>
14 #include "Forms\GUI.isf"
15 #include <GuiRichEdit.au3>
16
17 Opt("GUIOnEventMode", 1) ; Change to OnEvent mode
18 Global $guisf = GUICreate("Nhật ký chạy Safir",300,400,-1,-1,-1,-1)
19 Global $richsf = _GUICtrlRichEdit_Create($guisf, "Nhật ký chạy Safir.", 1, 1, 290,
20 390,BitOR($ES_MULTILINE, $WS_VSCROLL, $ES_AUTOVSCROLL))
21 GUISetState(@SW_SHOW,$guisf)
22 Global $Tinh_Toan_Kha_Nang_Chieu_Lua_Ver2 = GUICreate("Tinh Toan Kha Nang Chieu Lua
23 Ver2",580,328,-1,-1,-1,-1)
24 GUICtrlCreateLabel("Chon thu muc lam viec chua Profile, Nu, Safir",20,20,231,15,-1,-1)
25 GUICtrlSetBkColor(-1,"-2")
26 ;GUICtrlSetOnEvent(-1,"exit")
27 Global $show = @SW_SHOW;
28 ;Global $btncShow = GUICtrlCreateButton("Log",250,10,55,30,-1,-1)
29 ;GUICtrlSetOnEvent(-1,"showLog")
30 Global $txtRootdir = GUICtrlCreateInput("",20,40,321,20,-1,$WS_EX_CLIENTEDGE)
31 GUICtrlSetState(-1,BitOr($GUI_SHOW,$GUI_DISABLE))
32 Global $btnChonThuMuc = GUICtrlCreateButton("Chon thu muc",346,35,99,32,-1,-1)
33 GUICtrlSetOnEvent(-1,"evtChonThuMuc")
34 GUICtrlSetFont(-1,10,400,0,"Times New Roman")
35 GUICtrlSetBkColor(-1,"-2")
36 Global $listLog= GUICtrlCreatelist("",10,80,490,227,-1,$WS_EX_CLIENTEDGE)
37 Global $btncChay = GUICtrlCreateButton("Chay",450,35,55,32,-1,-1)
38 GUICtrlSetOnEvent(-1,"evtChay")
39 GUICtrlSetState(-1,BitOr($GUI_SHOW,$GUI_DISABLE))
40 GUICtrlSetBkColor(-1,"-2")
41
42 ;GUICtrlSetImage(-1,"C:\Users\ductu\Documents\ISN AutoIt
43 Studio\Projects\TnhToanKhaNangChieuLua\Images\play.ico")
44 GUISetState(@SW_SHOW,$Tinh_Toan_Kha_Nang_Chieu_Lua_Ver2)
45
46 Local $aPos = WinGetPos($Tinh_Toan_Kha_Nang_Chieu_Lua_Ver2)
47 WinMove($guisf, "", $aPos[0]+$aPos[2], $aPos[1])
48
49 While 1
50     Sleep(100);
51 WEnd
52
53 Func evtChonThuMuc()
54     Global $nameProfileFISO =Null;
55     $nNu = 0;
56     Global $nameNuFISO[$nNu];
57     Global $urlFileFIOS=FileSelectFolder ("Chon thu muc lam viec",
58     0,@WindowsDir,0,$Tinh_Toan_Kha_Nang_Chieu_Lua_Ver2 )
59     If $urlFileFIOS =="" Then
60         MsgBox($MB_SYSTEMMODAL, "", "Chua chon thu muc lam viec")
61         Return
62     EndIf
63     Local $aFileList = _FileListToArrayRec($urlFileFIOS,"*.in;*.exe", $FLTAR_FILES,
64     $FLTAR_NORECUR, $FLTAR_NOSORT, $FLTAR_NOPATH)
65     If @error = 1 Then
66         MsgBox($MB_SYSTEMMODAL, "", "Đường dẫn thu mục làm việc không đúng")
67         Return
68     EndIf
69     If @error = 4 Then
70         MsgBox($MB_SYSTEMMODAL, "", "Không có file trong thu mục làm việc")
71         Return
72     EndIf

```

```

69     If @error = 2 Then
70         MsgBox($MB_SYSTEMMODAL, "", "Không có file ")
71         Return
72     EndIf
73     ;_ArrayDisplay($aFileList, "$aFileList")
74     ghiLog("-----");
75     ghiLog("Chọn thư mục làm việc");
76     FileDelete($urlFileFIOS&"\"&"KetQua.txt")
77     if $aFileList[0]>=3 Then
78         For $i=1 to UBound($aFileList)-1
79
80             If StringInStr($aFileList[$i],"PROFILE") >0 and
                StringInStr($aFileList[$i],"FISO") >0 and
                StringInStr($aFileList[$i],".IN") >0 Then
81                 $nameProfileFISO = $aFileList[$i];
82
83             ElseIf StringInStr($aFileList[$i],"Nu") >0 and
                StringInStr($aFileList[$i],"FISO") >0 and
                StringInStr($aFileList[$i],".IN") >0 Then
84                 $Bound = UBound($nameNuFISO)
85                 ReDim $nameNuFISO[$Bound+1]
86                 $nameNuFISO[$Bound] = $aFileList[$i]
87
88             ;     $nameNuFISO[$nNu] = $aFileList[$i];
89
90             EndIf
91         Next
92     if $nameProfileFISO==null or UBound($nameNuFISO) == 0 Then
93         MsgBox($MB_SYSTEMMODAL, "", "Không có file ")
94     Else
95         ghiLog("Tìm thấy file tiết diện: "&$nameProfileFISO);
96         Global $maxTime = getMaxTimeinProfile($urlFileFIOS&"\"&$nameProfileFISO,2)
97         ghiLog("Thời gian chạy tối đa tìm thấy trong file "&$nameProfileFISO&":
                "&$maxTime);
98         ghiLog("Tim thay "&UBound($nameNuFISO)&" file chịu tải, bao gồm:");
99         For $i = 0 to UBound($nameNuFISO) -1
100             $maxTimeNu = getMaxTimeinProfile($urlFileFIOS&"\"&$nameNuFISO[$i],1)
101             ghiLog($nameNuFISO[$i]);
102             if $maxTimeNu<> $maxTime Then
103                 ghiLog("Cảnh báo: Thời gian chạy tối đa không đồng nhất với file
                tiết diện: "&$nameNuFISO[$i]&": "&$maxTimeNu);
104             EndIf
105         Next
106         GUICtrlSetState($btncChay,$GUI_ENABLE)
107         GUICtrlSetData($txtRootdir,$urlFileFIOS);
108
109         ghiLog("*****
                *****")
110     EndIf
111     ;ConsoleWrite($nameProfileFISO&@CR)
112     ;_ArrayDisplay($nameNuFISO, "$aFileList")
113 Else
114     MsgBox($MB_SYSTEMMODAL, "", "Không có đủ file trong thư mục làm việc")
115 EndIf
116 EndFunc
117 Func evtChay()
118     GUICtrlSetState($btncChay,$GUI_DISABLE)
119     Global $dirRun = $urlFileFIOS&"\";
120     FileDelete ($dirRun&"NhatKyChaySafir.txt")
121     $hFileOpen = FileOpen($dirRun&$nameProfileFISO, $FO_READ)
122     Global $contenFISO = FileRead($hFileOpen)
123     FileClose($hFileOpen)
124     Global $nameProfileFISOCODE = StringSplit($nameProfileFISO, ".") [1];
125     ghiLog("Bắt đầu chạy file tiết diện :"&$nameProfileFISOCODE);
126     ;WinSetOnTop($Tinh_Toan_Kha_Nang_Chieu_Lua_Ver2, "", $WINDOWS_NOONTOP)
127     callSafir($dirRun,$nameProfileFISOCODE);
128     ghiLog("Hoàn thành chạy file tiết diện :"&$nameProfileFISOCODE);
129     ;Return;
130     For $i = 0 to UBound($nameNuFISO) -1
131         Global $nameNuFISOCODE = StringSplit($nameNuFISO[$i], ".") [1];
132         Global $dirRun2 = $dirRun&$nameNuFISOCODE&"\";
133         DirRemove ($dirRun2, $DIR_REMOVE)

```

```

134 ghiLog2 ("#####", $dirRun2);
135 ghiLog2 ("Bắt đầu tính thời gian phá hủy cho file : "&$nameNuFISOCODE, $dirRun2);
136
FileCopy($dirRun&$nameProfileFISOCODE&".OUT", $dirRun2&$nameProfileFISOCODE&".O
UT", $FC_OVERWRITE + $FC_CREATEPATH);
137
FileCopy($dirRun&$nameProfileFISOCODE&".TEM", $dirRun2&$nameProfileFISOCODE&".T
EM", $FC_OVERWRITE + $FC_CREATEPATH);
138
FileCopy($dirRun&$nameProfileFISOCODE&".IN", $dirRun2&$nameProfileFISOCODE&".IN
", $FC_OVERWRITE + $FC_CREATEPATH);
139
FileCopy($dirRun&$nameNuFISOCODE&".IN", $dirRun2&$nameNuFISOCODE&".IN", $FC_OVER
WRITE + $FC_CREATEPATH);
140
FileCopy($dirRun&"SAFIR2011demo.exe", $dirRun2&"SAFIR2011demo.exe", $FC_OVERWRIT
E + $FC_CREATEPATH);
141
142 $hFileOpen = FileOpen($dirRun&$nameNuFISOCODE&".IN", $FO_READ)
143 Global $contenNU = FileRead($hFileOpen)
144 FileClose($hFileOpen)
145 ;~ WinSetOnTop($Tinh_Toan_Kha_Nang_Chieu_Lua_Ver2, "", $WINDOWS_NOONTOP)
146 ;~ Run($dirRun2&"SAFIR2011demo.exe", $dirRun2);
147 ;~ WinWaitActive($dirRun2&"SAFIR2011demo.exe")
148 ;~ WinSetState ($dirRun2&"SAFIR2011demo.exe", "", @SW_MINIMIZE )
149 ;~ ControlSend($dirRun2&"SAFIR2011demo.exe", ' ', ' ', $nameNuFISOCODE&"{ENTER}")
150 ;~ Send($nameNuFISOCODE&"{ENTER}")
151 ;~ WinSetOnTop($Tinh_Toan_Kha_Nang_Chieu_Lua_Ver2, "", $WINDOWS_ONTOP)
152 ;~ WinWaitClose($dirRun2&"SAFIR2011demo.exe")
153 callSafir($dirRun2, $nameNuFISOCODE)
154 ghiLog2 ("Hoàn thành tính thời gian phá hủy cho
file:"&$nameNuFISOCODE, $dirRun2);
155
156 $logIso = FileOpen($dirRun2&$nameNuFISOCODE&".LOG", $FO_READ)
157 $contenLogIso = FileReadLine ($logIso, -1)
158 FileClose($logIso)
159 If $contenLogIso== -1 or StringLen($contenLogIso)<1 Then
160 ghiLog2 ("Không đọc được file log: "&$nameNuFISOCODE&".LOG - Có thể do
file "&$nameNuFISOCODE&".IN không đúng", $dirRun2);
161 MsgBox(0, "Loi file Chiu tai", "Khong doc duoc file log:
"&$nameNuFISOCODE&".LOG - Co the do file "&$nameNuFISOCODE&".IN khong
dung", 20, $Tinh_Toan_Kha_Nang_Chieu_Lua_Ver2);
162 Else
163 Global $timeIsoS = StringSplit($contenLogIso, ";") [2]
164 if (Mod($timeIsoS, 60) > 30) Then
165 Global $timeIsoM = Int($timeIsoS/60)+1
166 Else
167 Global $timeIsoM = Int($timeIsoS/60)
168 EndIf
169 ghiLog2 ("- Thời gian chịu lửa tối đa "&$nameNuFISOCODE& " là
"&$timeIsoM, $dirRun2)
170 ghiLog2 ("**** Bắt đầu tìm thời gian phá hủy thật sự của
"&$nameNuFISOCODE, $dirRun2)
171
172 chayRnu(5)
173 EndIf
174
175 Next
176 GUICtrlSetState($btncChay, $GUI_ENABLE)
177 EndFunc
178 Func Log10($fNb)
179 Return Log($fNb) / Log(10) ; 10 is the base
180 EndFunc ;==>Log10
181 Func ghiLog($log)
182 _GUICtrlListBox_BeginUpdate($listLog)
183 _GUICtrlListBox_InsertString($listLog, $log, 0)
184 _GUICtrlListBox_UpdateHScroll($listLog)
185 _GUICtrlListBox_EndUpdate($listLog)
186 _GUICtrlListBox_SetSel($listLog, 0)
187 $fileLog= FileOpen($urlFileFIOS&"\"&"KetQua.txt", $FO_APPEND )
188 FileWriteLine($fileLog, $log)
189 FileClose($fileLog)
190 EndFunc

```



```

191 Func ghiLog2($log,$dir)
192     _GUICtrlListBox_BeginUpdate($listLog)
193     _GUICtrlListBox_InsertString($listLog, $log,0)
194     _GUICtrlListBox_UpdateHScroll($listLog)
195     _GUICtrlListBox_EndUpdate($listLog)
196     _GUICtrlListBox_SetSel($listLog, 0)
197     $fileLog= FileOpen($dir&"\"&"KetQua.txt", $FO_APPEND )
198     FileWriteLine($fileLog, $log)
199     FileClose($fileLog)
200 EndFunc
201 Func getMaxTimeinProfile($file,$step)
202     Local $hFileOpen = FileOpen($file, $FO_READ)
203     If $hFileOpen = -1 Then
204         Return -1
205     EndIf
206     $n = 1
207     While 1
208         Local $line = FileReadLine($hFileOpen, $n)
209         If @error==1 or @error==-1 Then
210             ExitLoop
211         EndIf
212         If StringInStr($line,"TIME")>0 Then
213             $line = FileReadLine($hFileOpen, $n+$step)
214             local $arrayline = StringSplit($line, " ");
215             ConsoleWrite($line&@CR)
216             ConsoleWrite(Int($arrayline[UBound($arrayline)-1]))
217             Return Int($arrayline[UBound($arrayline)-1]);
218             ExitLoop
219         EndIf
220         $n=$n+1;
221     Wend
222
223 EndFunc
224
225 Func taoFCT($timeR)
226     $fileFCT= FileOpen($dirRun&"\"&"R"&$timeR&".FCT", $FO_OVERWRITE )
227     $time = 0;
228     $tempmax = 345 * Log10(8*$timeR + 1) + 20;
229     $temp = 0;
230
231     While 1 ; Lap thoi gian de tao noi dung FCT
232         If $time <= $timeR Then
233             $temp = 345 * Log10(8*$time + 1) + 20;
234             ;ConsoleWrite("log: "&$time&" = "&Log(8*$time))
235             ElseIf $timeR <= 30 Then
236                 $temp = $tempmax -10.417*($time-$timeR)
237                 ElseIf $timeR <=120 Then
238                     $temp = $tempmax -4.167*(3-$timeR/60)*($time-$timeR);
239                 Else
240                     $temp = $tempmax -4.167*($time-$timeR)
241                 EndIf
242                 $temp = Int($temp)
243                 if $temp < 20 Then
244                     ExitLoop
245                 EndIf
246                 FileWriteLine($fileFCT, ($time*60)&" "&$temp);
247                 $time = $time+1
248             Wend
249             FileWriteLine($fileFCT,$maxTime&" 20");
250             FileClose($fileFCT)
251 EndFunc
252
253
254 Func chayRNU($step)
255     While 1
256         $timeIsoM = $timeIsoM -$step;
257         $nameRnum = StringReplace($nameProfileFISO,"FISO","R"&$timeIsoM)
258         $nameRnumCode = StringSplit($nameRnum,".")[1];
259         $nameNuRNUM = StringReplace($nameNuFISOCODE,"FISO","R"&$timeIsoM);
260         ghiLog2("++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++", $dirRun2);
261         Local $iFileExists = FileExists($dirRun&$nameRnumCode&".TEM")
262         If $iFileExists == 0 Then ;chua co file thi tao
263             ghiLog("- - Tao file tiet dien voi R"&$timeIsoM);

```

```

264 Global $newString = "R"&$timeIsoM&".FCT"
265 Global $sString = StringReplace($contenFISO, "FISO",$newString)
266 ;$fileRIN = StringReplace($nameProfileFISO,"FISO","R"&$timeIsoM)
267 ;tao file .IN
268 $fileR = FileOpen($dirRun&$nameRnum, $FO_OVERWRITE )
269 FileWrite($fileR, $sString)
270 FileClose($fileR)
271 taoFCT($timeIsoM);
272 ghiLog("--Chạy nhiệt độ cho tiết diện R"&$timeIsoM);
273
274 ;~ WinSetOnTop($Tinh_Toan_Kha_Nang_Chieu_Lua_Ver2, "", $WINDOWS_NOONTOP)
275 ;~ Run($dirRun&"SAFIR2011demo.exe",$dirRun);
276 ;~ WinWaitActive($dirRun&"SAFIR2011demo.exe")
277 ;~ WinSetState ( $dirRun&"SAFIR2011demo.exe", "", @SW_MINIMIZE )
278 ;~ ControlSend($dirRun2&"SAFIR2011demo.exe",'','',$nameRnumCode&"{ENTER}")
279 ;~ ;Send($nameRnumCode&"{ENTER}")
280 ;~ WinSetOnTop($Tinh_Toan_Kha_Nang_Chieu_Lua_Ver2, "", $WINDOWS_ONTOP)
281 ;~ WinWaitClose($dirRun&"SAFIR2011demo.exe")
282 callSafir($dirRun,$nameRnumCode)
283 ghiLog("--Hoàn thành chạy nhiệt độ cho tiết diện R"&$timeIsoM);
284
285 EndIf
286
FileCopy($dirRun&$nameRnumCode&".TEM",$dirRun2&$nameRnumCode&".TEM",$FC_OVERWR
ITE + $FC_CREATEPATH);

287
288 Global $sString = StringReplace($contenNU, "FISO","R"&$timeIsoM)
289
290 $fileR = FileOpen($dirRun2&$nameNuRNum&".IN", $FO_OVERWRITE )
291 FileWrite($fileR, $sString)
292 FileClose($fileR)
293 ghiLog2("--Chạy thời gian phá hủy cho "&$nameNuRNum,$dirRun2);
294 ;~ WinSetOnTop($Tinh_Toan_Kha_Nang_Chieu_Lua_Ver2, "", $WINDOWS_NOONTOP)
295 ;~ Run($dirRun2&"SAFIR2011demo.exe",$dirRun2);
296 ;~ WinWaitActive($dirRun2&"SAFIR2011demo.exe")
297 ;~ WinSetState ( $dirRun2&"SAFIR2011demo.exe", "", @SW_MINIMIZE )
298 ;~ ControlSend($dirRun2&"SAFIR2011demo.exe",'','',$nameNuRNum&"{ENTER}")
299 ;~ ;Send($nameNuRNum&"{ENTER}")
300 ;~ WinSetOnTop($Tinh_Toan_Kha_Nang_Chieu_Lua_Ver2, "", $WINDOWS_ONTOP)
301 ;~ WinWaitClose($dirRun2&"SAFIR2011demo.exe")
302 callSafir($dirRun2,$nameNuRNum)
303 ghiLog2("--Hoàn thành tính thời gian phá hủy cho file:"&$nameNuRNum,$dirRun2);
304 $logR = FileOpen($dirRun2&$nameNuRNum&".LOG", $FO_READ)
305 $contenLogR = FileReadLine ($logR, -1)
306 ConsoleWrite(@CR&$contenLogR)
307 If $logR==-1 or StringLen($contenLogR)<1 Then
308 ghiLog2("Không đọc được file log: "&$nameNuRNum&".LOG - Có thể do file
"&$nameNuRNum&".IN không đúng",$dirRun2);
309 MsgBox(0,"Loi file Chiu tai","Khong doc duoc file log:
"&$nameNuRNum&".LOG - Co the do file "&$nameNuRNum&".IN khong
dung",20,$Tinh_Toan_Kha_Nang_Chieu_Lua_Ver2);
310 ExitLoop
311 Else
312 $timeRS = Int(StringSplit($contenLogR,";")[2])
313 If $timeRS<$maxTime Then
314 ghiLog2("--Thời gian chịu lửa của "&$nameNuRNum&" là
"&$timeRS&"s",$dirRun2)
315 Else
316 ghiLog2("--"&$nameNuRNum&" không bị phá hủy. Time = "&$timeRS
&"s",$dirRun2)
317 EndIf
318 ;$timeRM = Int($timeIsoS/60)
319 If $timeIsoM <= 1 or $timeRS >= $maxTime Then
320 if $step> 1 Then
321 ghiLog2("+ + Tìm ra khoảng phá hủy từ: "&$timeIsoM+$step&" ->
"&$timeIsoM,$dirRun2)
322 $timeIsoM = $timeIsoM+5
323 chayRnu(1)
324 Else
325 ghiLog2("**** Tìm ra thời gian bị phá hủy của"& $nameNuFISOCCode&
" tại T = "&$timeIsoM+$step&" phút",$dirRun2)
326 EndIf
327 ExitLoop;

```

```

328         EndIf
329     EndIf
330 Wend
331 EndFunc
332
333
334 Func callSafir($dir,$cmd)
335     $fileLog= FileOpen($dir&"NhatKyChaySafir.txt",    $FO_APPEND )
336     FileWriteLine($fileLog,
337         "-----")
338     FileWriteLine($fileLog,_NowCalc()&" - Chạy: "&$dir&"SAFIR2011demo.exe: Lệnh:
339         "&$cmd);
340
341     _GUICtrlRichEdit_AppendText($richsf,"-----")
342     _GUICtrlRichEdit_AppendText($richsf,_NowCalc()&" - Chạy:
343     "&$dir&"SAFIR2011demo.exe: Lệnh: "&$cmd)
344     FileClose($fileLog)
345     $iPID = Run($dir&"SAFIR2011demo.exe",$dir, @SW_HIDE,
346     $STDIN_CHILD+$STDOUT_CHILD);
347     StdinWrite($iPID,$cmd&@CRLF);$cmd
348     ;StdinWrite($iPID,$nameProfileFISOCODE&@CRLF)
349
350     StdinWrite($iPID)
351     Local $sOutput = "" ;
352     While 1
353         Local $sOutput = StdoutRead($iPID) ; Read the Stdout stream of the PID
354         returned by Run.
355         If @error Then ; Exit the loop if the process closes or StdoutRead returns
356         an error.
357             ExitLoop
358         EndIf
359         If $sOutput <> Null And StringLen($sOutput)>0 Then
360             $sOutput&=$sOutput
361             ;~ _GUICtrlListBox_BeginUpdate($logSf)
362             ;~ _GUICtrlListBox_InsertString($logSf, $sOutput,0)
363             ;~ _GUICtrlListBox_UpdateHScroll($logSf)
364             ;~ _GUICtrlListBox_EndUpdate($logSf)
365             ;~ _GUICtrlListBox_SetSel($logSf, 0)
366             _GUICtrlRichEdit_AppendText($richsf,$sOutput)
367         EndIf
368     Wend
369     $fileLog= FileOpen($dir&"NhatKyChaySafir.txt",    $FO_APPEND )
370     FileWriteLine($fileLog, $sOutput)
371     FileClose($fileLog)
372 EndFunc
373
374 Func showLog ()
375     GUISetState($show,$guisf)
376     If $show == @SW_SHOW Then
377         $show = @SW_HIDE
378     Else
379         $show = @SW_SHOW;
380     EndIf
381 EndFunc

```