



MONITORING THE TEMPERATURE VARIATIONS AND SIMULATION OF THEIR EFFECTS ON STRESS DISTRIBUTION IN CONCRETE BOX-GIRDER BRIDGES AT THE SERVICE STAGE

Ngo Dang Quang¹, Nguyen Huy Cuong^{1*}, Mai Dinh Loc¹, Dinh Huu Tai¹,
Le Minh Canh²

¹Faculty of Construction Engineering, University of Transport and Communications, No. 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

²Faculty of Civil Engineering, Campus in Ho Chi Minh City, University of Transport and Communications, No. 450- 451 Le Van Viet Street, Thu Duc, Ho Chi Minh City, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 21/02/2022

Revised: 14/03/2022

Accepted: 21/03/2022

Published online: 15/04/2022

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.3.4>

* *Corresponding author*

Email: nguyenhuycuong@utc.edu.vn; Tel: +84989832425

Abstract. Temperature is one of the important reasons causing the cracks on the bridge structure. This paper presents an overview of the short-term monitoring of the temperature variations on concrete box-girder bridges in Vietnam. The monitoring works have just been conducted at the service stage in a period of over six months. Based on the field measurements on three box-girder bridges, the heat flux and temperature-induced stresses of the concrete box girder sections were simulated utilizing the finite element method. It can be concluded that the temperature distribution under solar radiation and the thermal load significantly affect bridges structures, which have not been considered in the current bridge design standards. In detail, for the box-girder bridge, the positive temperature gradients were displayed in both vertical and horizontal directions. The negative temperature gradients were also shown in all directions of the girder sections. It can be found that the temperature-induced tension stresses in the slabs and webs of sections are larger than ones induced by live load, leading to cracks on the concrete.

Keywords: monitoring, simulation, temperature variations, solar radiation, box girder, reinforced concrete.



QUAN TRẮC SỰ BIẾN THIÊN NHIỆT ĐỘ VÀ MÔ PHÒNG ẢNH HƯỞNG CỦA CHÚNG ĐẾN SỰ PHÂN BỐ ỨNG SUẤT TRONG MỘT SỐ CẦU DẦM HỘP BÊ TÔNG CỐT THÉP Ở GIAI ĐOẠN KHAI THÁC

Ngô Đăng Quang¹, Nguyễn Huy Cường^{1*}, Mai Đình Lộc¹, Đinh Hữu Tài¹,
Lê Minh Cảnh²

¹Khoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

²Khoa Công trình, Phân hiệu tại Thành phố Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 450-451 Lê Văn Việt, thành phố Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 21/02/2022

Ngày nhận bài sửa: 14/03/2022

Ngày chấp nhận đăng: 21/03/2022

Ngày xuất bản Online: 15/04/2022

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.3.4>

* Tác giả liên hệ

Email: nguyenuycong@utc.edu.vn; Tel: +84989832425

Tóm tắt. Biến dạng cưỡng bức do chênh lệch nhiệt độ là một trong những nguyên nhân thường gây ra nứt cho kết cấu bê tông của công trình cầu. Bài báo trình bày một số kết quả quan trắc thực địa sự biến thiên nhiệt độ trong bê tông của một số dầm cầu dạng hộp kín bằng bê tông cốt thép trong giai đoạn khai thác ở Việt Nam. Dựa trên các kết quả quan trắc này, một số tính toán mô phỏng tác động của sự biến thiên nhiệt độ lên dầm cầu cũng đã được thực hiện. Mặc dù các kết quả này mới là bước đầu do thời gian quan trắc chưa dài nhưng chúng cũng đã phản ánh được một số tác động của nhiệt độ lên công trình cầu mà tiêu chuẩn thiết kế chưa xét đến. Cụ thể là, trong các cầu dầm hộp, gradient nhiệt dương xuất hiện cả theo phương đứng và phương ngang. Gradient nhiệt âm cũng xuất hiện trên tất cả các mặt của cầu. Trên bản nắp và thành cầu, ứng suất do gradient nhiệt có thể lớn hơn ứng suất do hoạt tải gây ra và có thể gây nứt bê tông dầm cầu.

Từ khóa: quan trắc, mô phỏng, biến thiên nhiệt độ, bức xạ mặt trời, dầm hộp, bê tông cốt thép.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bên cạnh các tác động cơ học, công trình cầu còn chịu các tác động môi trường khác mà trong số đó, nhiệt được coi là rất đáng kể. Năm 1977, Leonhardt [1] đã chỉ ra rằng, “nhiệt độ đóng vai trò quan trọng trong việc gây ứng suất nhiều hơn mức mà hầu hết các kỹ sư vẫn quan niệm”. Theo Leonhardt, không khí bị “nhốt” trong lòng các dầm hộp kín có thể gây ra sự chênh lệch nhiệt độ lớn giữa bên trong và bên ngoài dầm và đi cùng là ứng suất kéo lớn.

Việc nghiên cứu tác động nhiệt lên các công trình cầu, trong đó có cầu dầm hộp, đã được nhiều nhà khoa học trên thế giới thực hiện [2]. Khác với các cầu có mặt cắt dầm dạng hở, nơi sự thay đổi nhiệt độ hầu như chỉ xảy ra chủ yếu theo phương đứng, ở cầu dầm hộp, sự thay đổi nhiệt độ còn có ở cả phương ngang. Hejnic [3] là người đầu tiên đo đạc và công bố kết quả đo nhiệt độ do bức xạ nghiêng của mặt trời trên thành hộp của một cầu lớn. Tác giả đã xác định được sự chênh lệch nhiệt độ ở bề mặt và ở độ sâu 500 mm là 10°C, và bằng tính toán, ứng suất phát sinh tương ứng là 3,25 MPa. Kết quả đo đạc của Abid *et al.* [4] trong 1 đoạn dầm thí nghiệm có mặt cắt hình hộp có kích thước gần bằng kích thước mặt cắt trên kết cấu dầm thực do tác động của bức xạ mặt trời tại Gaziantep (Thổ Nhĩ Kỳ) cho thấy, gradient nhiệt lớn nhất theo phương đứng là 20°C xảy ra vào tháng 6, gradient nhiệt lớn nhất theo phương ngang là 19°C xảy ra vào tháng 12. Nghiên cứu của Gu *et al.* [5] cũng cho thấy, dưới tác động của các sóng lạnh, chênh lệch nhiệt độ theo phương ngang trên các thành dầm có thể đến gần 10°C. Kehlbeck [6] đã giới thiệu mô hình tính toán bức xạ mặt trời tác động lên công trình cầu theo toạ độ trên mặt đất và thời gian bất kỳ. Mô hình này đã được Elbadry *et al.* [7], Yao Lu *et al.* [8] tiếp tục phát triển.

Trong Tiêu chuẩn thiết kế cầu hiện thời của Việt Nam, tiêu chuẩn TCVN 11823:2017 [12], tác động nhiệt lên công trình cầu được chia thành 2 phần: tác động nhiệt thay đổi đều và tác động nhiệt thay đổi trên mặt cắt (gradient nhiệt). Ở tiêu chuẩn này, gradient nhiệt chỉ được xem xét theo phương đứng. Tuy nhiên, dễ thấy rằng, mô hình này chỉ phù hợp với các mặt cắt dầm cầu dạng hở.

Nhằm mục đích xác định sự biến thiên nhiệt độ trong bê tông trên một số cầu dầm hộp bê tông cốt thép ở Việt Nam, một nghiên cứu với 2 nội dung chính là quan trắc thực địa và tính toán mô phỏng đã được thực hiện. Trong nghiên cứu quan trắc, các cảm biến đo nhiệt độ đã được gắn lên bê tông dầm của 3 cầu ở các vị trí đặc trưng, cho phép xác định sự biến thiên nhiệt độ trong giai đoạn khai thác tại các vị trí đó. Các cầu được lựa chọn ứng với các vùng khí hậu xây dựng khác nhau của nước ta. Với việc ứng dụng các thiết bị đo đạc hiện đại cùng công nghệ điện toán đám mây với tần suất đọc dữ liệu rất nhỏ, hệ thống quan trắc đảm bảo ghi lại rất chính xác sự biến thiên nhiệt độ trên các cầu. Nghiên cứu mô phỏng tính toán theo phương ngang ứng suất do nhiệt độ gây ra tại các vị trí trên mặt cắt ngang cầu. Bài báo này trình bày một số kết quả quan trắc và tính toán mô phỏng từ nghiên cứu trên.

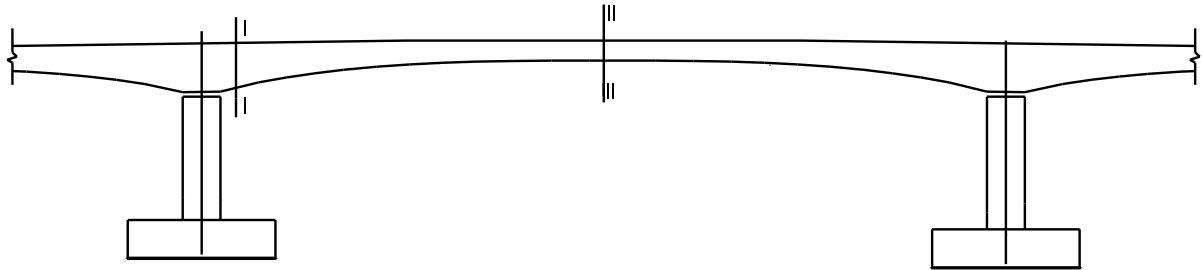
2. QUAN TRẮC NHIỆT ĐỘ TRÊN MỘT SỐ CẦU DẦM HỘP BÊ TÔNG CỐT THÉP

2.1. Phương pháp và thiết bị quan trắc

Căn cứ vào sự phân vùng khí hậu xây dựng theo Quy chuẩn xây dựng của nước ta [13], 3 công trình cầu có mặt cắt dạng hộp lớn, được thi công theo công nghệ đúc hẫng, đã được lựa chọn để lắp đặt thiết bị đo nhiệt độ. Trong đó, 1 công trình cầu nằm ở vùng trung du miền Bắc thuộc vùng khí hậu I-B (cầu Vĩnh Thịnh, Hà Nội), 1 cầu nằm ở Bắc miền Trung (cầu Quán Hàu, Quảng Bình), thuộc vùng khí hậu I-D và 1 cầu nằm ở khu vực Nam Bộ (cầu Gò Găng, Bà Rịa Vũng Tàu), thuộc vùng khí hậu II-C. Hơn nữa, các cầu còn được lựa chọn sao cho

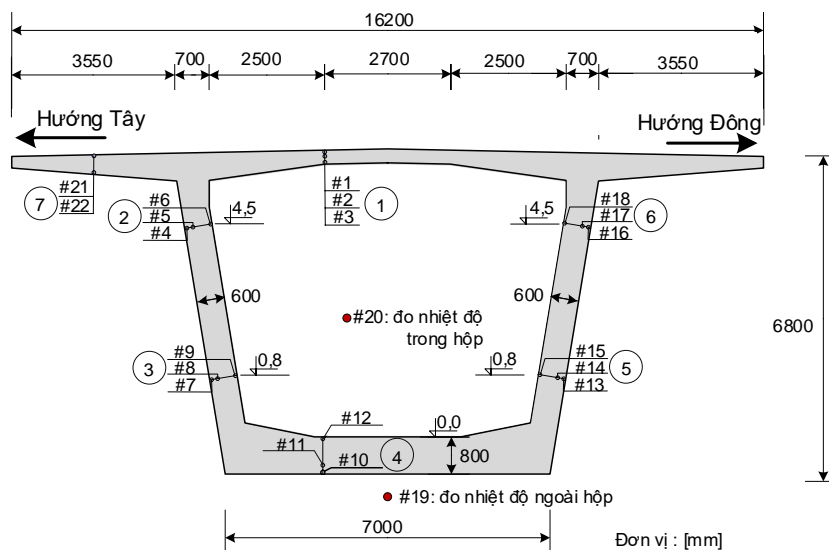
chúng có phương trên mặt bằng khác nhau đối với quỹ đạo của mặt trời. Cụ thể là cầu Vĩnh Thịnh có phương gần với trục Bắc – Nam, cầu Gò Găng có phương gần với trục Đông – Tây, và cầu Quán Hâu có phương theo trục Tây Bắc – Đông Nam. Điều này giúp khảo sát được ảnh hưởng của bức xạ mặt trời lên thành cầu một cách rõ ràng nhất.

Tại mỗi cầu, hai mặt cắt được lựa chọn để bố trí cảm biến nhiệt độ, bao gồm mặt cắt mặt cắt gần trụ (ký hiệu: mặt cắt I-I) với chiều cao cùng chiều dày của các bộ phận đều lớn và mặt cắt gần giữa nhịp (mặt cắt II-II) với chiều cao mặt cắt và chiều dày của các bộ phận đều nhỏ hơn (Hình 1).



Hình 1. Sơ đồ lựa chọn mặt cắt bố trí cảm biến trên cầu.

Tại từng mặt cắt, các cảm biến được bố trí ở các 7 vị trí trên bản nắp, bản thành, bản đáy và bản cánh hẫng như được thể hiện trên Hình 2. Ở mỗi vị trí, có 3 cảm biến được lắp đặt. Do mặt trong của dầm hộp nhiệt độ nói chung ít thay đổi hơn so với mặt ngoài và theo các kết quả đo đạc được nêu trong [2], nhiệt độ bê tông thay đổi nhiều ở gần bề mặt ngoài nên, tại từng vị trí, 2 cảm biến được bố trí gần bề mặt và cảm biến thứ 3 được ưu tiên đặt gần cảm biến mặt ngoài. Ngoài các cảm biến gắn vào bê tông, tại mỗi mặt cắt còn có 1 cảm biến đo nhiệt độ của không khí trong lòng cầu và trên từng cầu có 1 cảm biến đo nhiệt độ không khí ngoài cầu.



Hình 2. Sơ đồ bố trí cảm biến trên các mặt cắt I-I của cầu Vĩnh Thịnh.

Cảm biến đo nhiệt độ là thermocouple loại K với mức độ chính xác là $0,5^{\circ}\text{C}$. Tần suất lấy

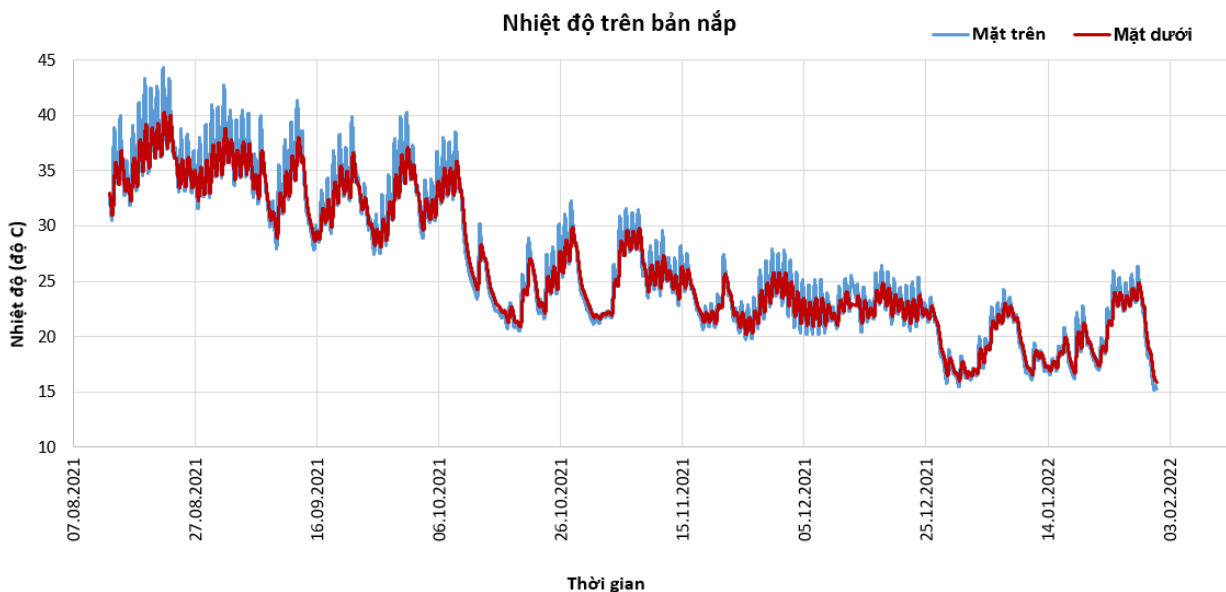
số liệu là 5 phút. Dữ liệu được chuyển lên máy chủ theo công nghệ điện toán đám mây thông qua mạng internet 4G. Với cách đo và quản lý dữ liệu này, thông tin về nhiệt độ trong bê tông cầu được thu thập gần như theo thời gian thực. Từ máy chủ, số liệu có thể được đọc và phân tích trực tuyến hay chuyển về các máy trạm ở dạng các tệp tin có định dạng phổ thông. Các hệ thống đo đã được kiểm định hợp chuẩn. Hình 3 minh họa cách sắp xếp cảm biến tại từng vị trí cũng như trên cả mặt cắt cầu.



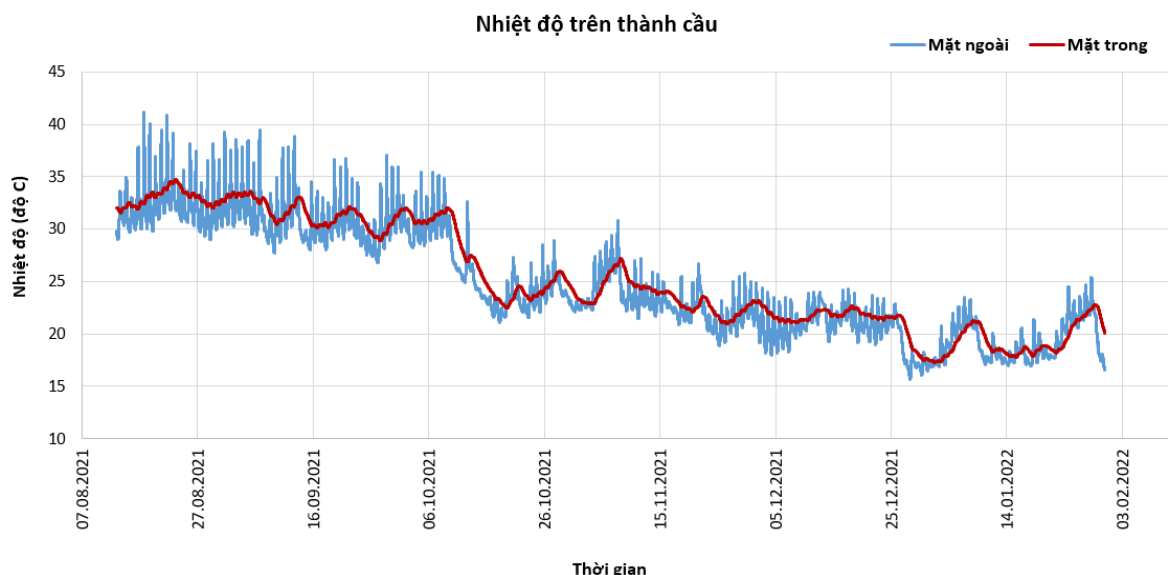
Hình 3. a. Sắp xếp cảm biến để chôn vào bê tông, b. Bố trí hệ thống quan trắc nhiệt độ trên cầu, c. Mạch thu nhận dữ liệu.

2.2. Một số kết quả quan trắc điển hình

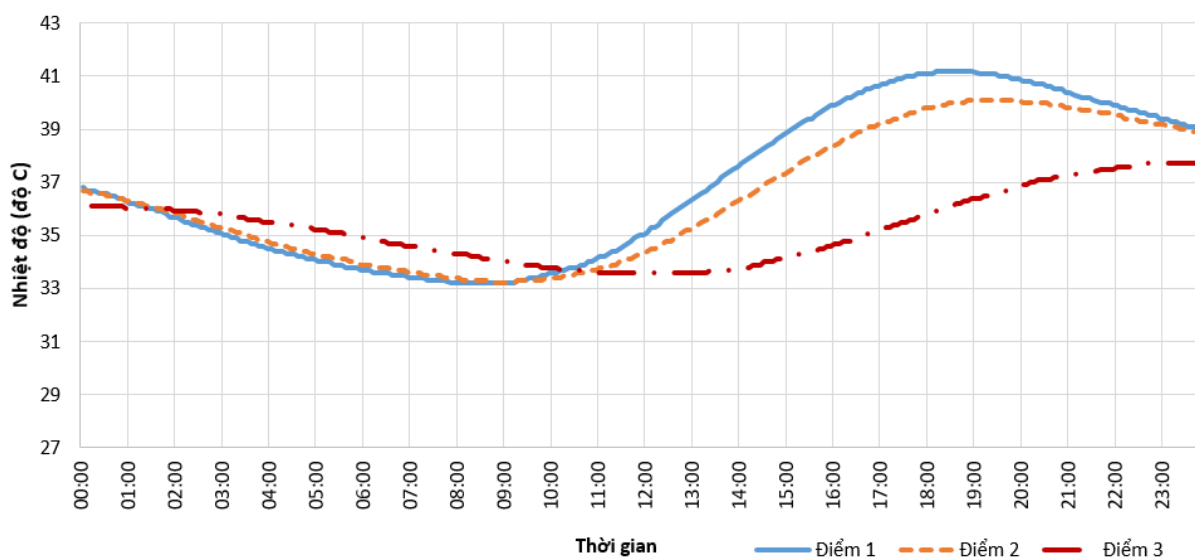
Hình 4 và Hình 5 lần lượt thể hiện sự thay đổi nhiệt độ ở thành phía Tây và bản mặt cầu của cầu Vĩnh Thịnh trong khoảng thời gian 6 tháng (từ tháng 08.2021 đến 01.2022). Nhiệt độ trung bình đo được trong thời gian mùa hè trên cầu này là khoảng 33 độ và ở mùa đông là khoảng 23 độ.



Hình 4. Sự biến thiên nhiệt độ ở gần mặt bê tông của bản nắp cầu Vĩnh Thịnh.



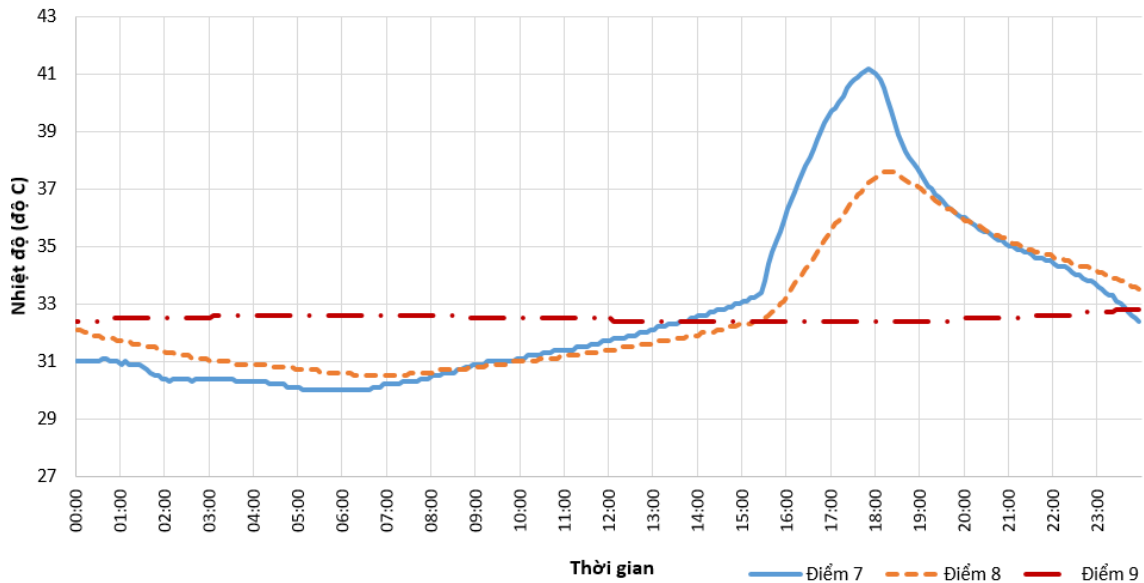
Hình 5. Sự biến thiên nhiệt độ ở mặt ngoài và mặt trong của thành phía Tây, cầu Vĩnh Thịnh.



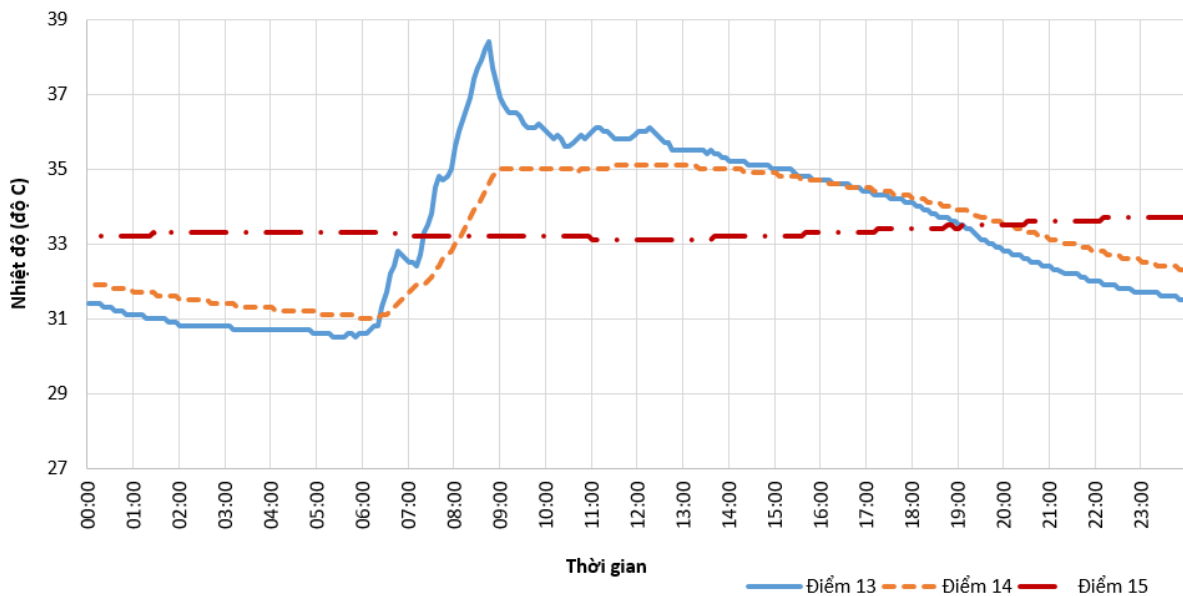
Hình 6. Biến thiên nhiệt độ trong ngày ở bản nắp, cầu Vĩnh Thịnh.

Hình 6, Hình 7 và Hình 8 minh họa chi tiết sự thay đổi nhiệt độ diễn hình trong ngày mùa hè ở bản mặt cầu, thành phía Tây và thành phía Đông của cầu Vĩnh Thịnh. Do thời gian tiếp nhận bức xạ mặt trời dài và cường độ bức xạ thay đổi đều đặn nên, nói chung, sự thay đổi nhiệt độ trên mặt cầu cũng đều đặn. Nhờ có lớp bê tông nhựa nên nhiệt độ tại các điểm đo trên mặt cầu cũng thay đổi tương đối đồng pha và độ chênh lệch giữa trên và dưới không quá lớn. Trong khi đó, ở thành cầu, sự biến thiên nhiệt độ trong ngày ở mặt ngoài và mặt trong có độ chênh lệch khá lớn. Nhiệt độ mặt ngoài thay đổi giữa ngày và đêm đến hơn 11°C trong khi nhiệt độ mặt trong chỉ thay đổi trong khoảng dưới 2°C và với độ trễ khá lớn so với mặt ngoài. Điều này tạo ra các gradient nhiệt lớn trên thành cầu. Thành cầu phía mặt trời lặn tiếp nhận bức xạ một cách đột ngột ở thời điểm đầu buổi chiều với cường độ bức xạ lớn nên nhiệt độ cũng thay đổi mạnh. Ngược lại, thành phía mặt trời mọc lại mất bức xạ tại gần trưa nên nhiệt

độ giảm nhanh sau thời điểm đó. Có thể thấy rằng, tần suất lấy dữ liệu rất nhỏ (5 phút) ở hệ thống này đã góp phần thu nhận chính xác sự biến động nhiệt độ nhanh chóng này. Bản đáy, do không chịu tác động trực tiếp của bức xạ mặt trời nên nhiệt độ ít thay đổi.



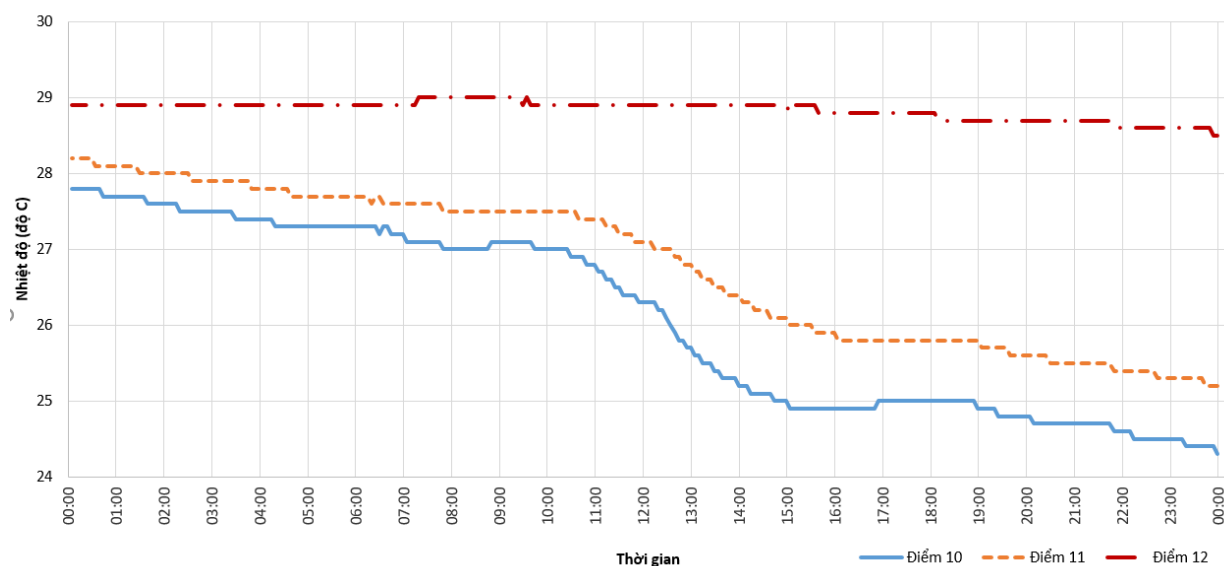
Hình 7. Biến thiên nhiệt độ trong ngày ở thành phía Tây, cầu Vĩnh Thịnh.



Hình 8. Biến thiên nhiệt độ trong ngày ở thành phía Đông, cầu Vĩnh Thịnh.

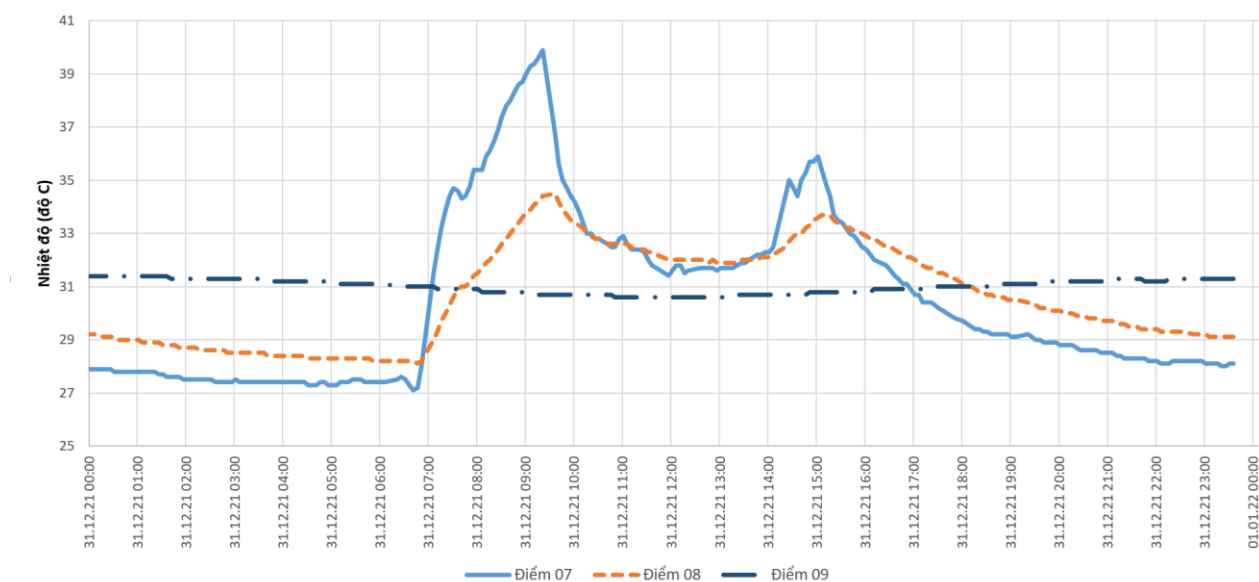
Sự biến thiên nhiệt độ tương tự cũng quan sát được ở các cầu Quán Hàu và Gò Găng. Tuy nhiên, tùy thuộc vào vĩ độ và phương của cầu mà giá trị của sự thay đổi nhiệt độ trên chúng cũng khác nhau. Ở cầu Quán Hàu, chênh lệch nhiệt độ ở mặt ngoài và mặt trong của thành cầu vào buổi chiều có thể đến gần 16°C. Bản đáy của cầu Quán Hàu cũng thể hiện mức độ chênh lệch giảm nhiệt độ (gradient nhiệt âm) giữa mặt dưới và mặt trên lớn nhất. Hình 9 minh họa sự biến thiên nhiệt độ ở bản đáy của dầm cầu Quán Hàu trong ngày nhiệt độ môi trường

giảm. Ở đây, nhiệt độ bê tông ở mặt dưới của bản đáy thấp hơn ở mặt trong đến $4,4^{\circ}\text{C}$.



Hình 9. Biến thiên nhiệt độ trong ngày ở bản đáy cầu Quán Hàu, trong ngày có nhiệt độ môi trường giảm.

Hình 10 minh họa sự biến thiên nhiệt độ trong thành của cầu C, nằm theo hướng Đông – Tây. Trong mùa hè, thành cầu được bản mặt cầu che gần hết bức xạ mặt trời nhưng về mùa Đông, do mặt trời lệch về hướng Nam nên thành cầu phía Nam sẽ tiếp nhận nhiều bức xạ mặt trời vào lúc mặt trời mọc và lúc mặt trời lặn. Tương ứng, nhiệt độ mặt ngoài những lúc đó cũng cao hơn so với nhiệt độ vào buổi trưa.



Hình 10. Biến thiên nhiệt độ trong ngày trên thành dầm phía Nam của cầu Gò Gông nằm theo phương Đông – Tây.

Dựa trên các kết quả quan trắc như trên, gradient nhiệt (tương quan giữa giá trị ở mặt ngoài và mặt trong) trên các vị trí dầm đã được lập thành bảng (Bảng 1, 2 và 3).

Bảng 1. Gradient nhiệt tại một số vị trí trên cầu Vĩnh Thịnh.

Bản nấp	
Gradient nhiệt dương	6,3
Gradient nhiệt âm	- 1,9
Thành phía Tây	
Gradient nhiệt dương	8,8
Gradient nhiệt âm	- 4,4
Thành phía Đông	
Gradient nhiệt dương	9,3
Gradient nhiệt âm	- 5,0
Bản đáy	
Gradient nhiệt dương	4,9
Gradient nhiệt âm	- 3,9

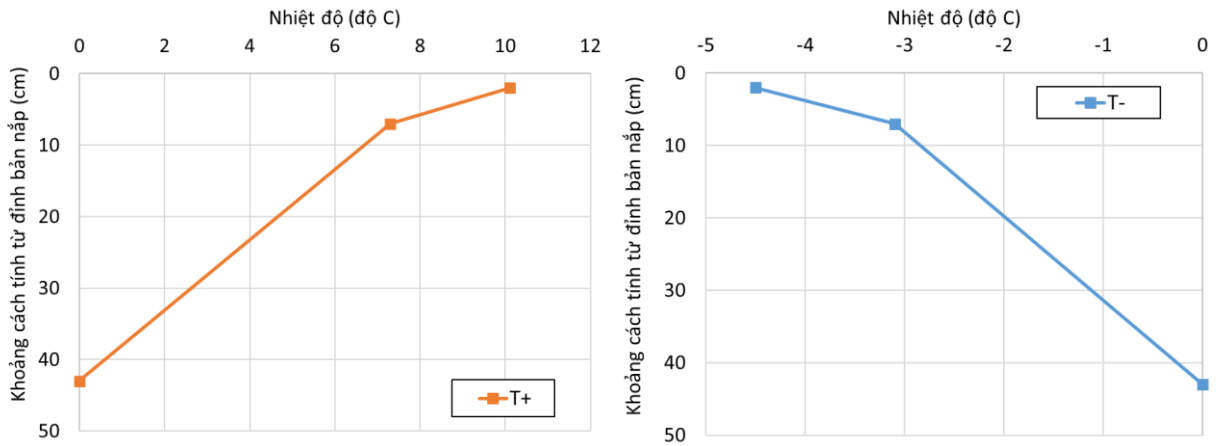
Bảng 2. Gradient nhiệt tại một số vị trí trên cầu Quán Hâu.

Bản nấp	
Gradient nhiệt dương	10,1
Gradient nhiệt âm	- 4,5
Thành phía Tây	
Gradient nhiệt dương	15,5
Gradient nhiệt âm	- 4,4
Thành phía Đông	
Gradient nhiệt dương	3,5
Gradient nhiệt âm	- 4,8
Bản đáy	
Gradient nhiệt dương	2,3
Gradient nhiệt âm	- 4,4

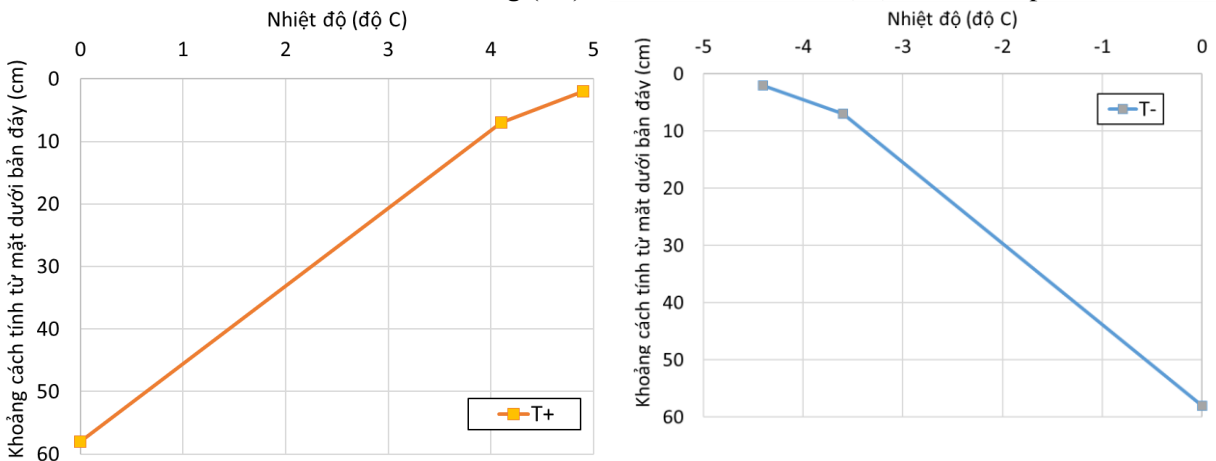
Bảng 3. Gradient nhiệt tại một số vị trí trên cầu C.

Bản nấp	
Gradient nhiệt dương	8,3
Gradient nhiệt âm	- 3,0
Thành phía Nam	
Gradient nhiệt dương	9,2
Gradient nhiệt âm	- 4,8
Thành phía Bắc	
Gradient nhiệt dương	1,4
Gradient nhiệt âm	- 3,9
Bản đáy	
Gradient nhiệt dương	1,1
Gradient nhiệt âm	- 3,4

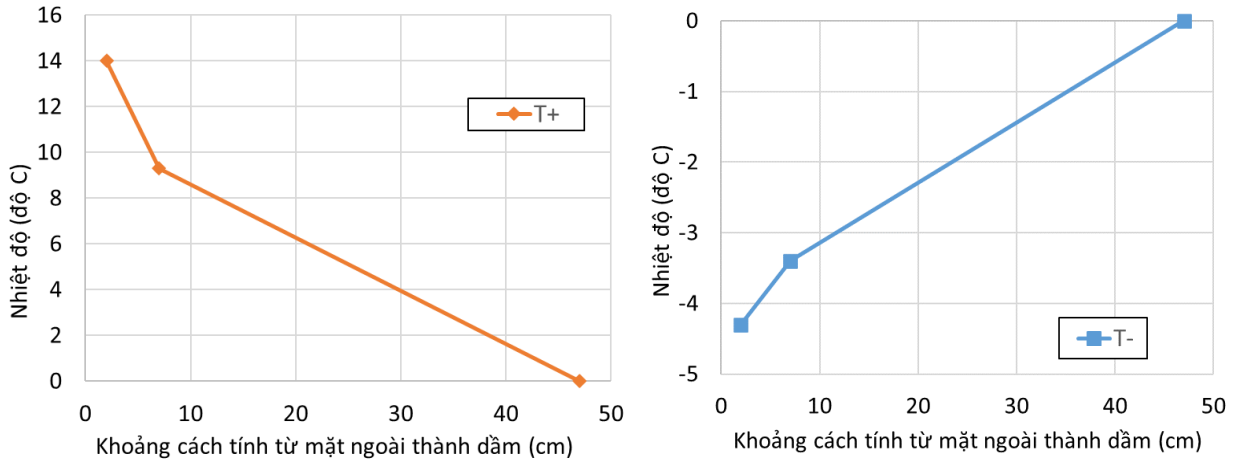
Các Hình 11, Hình 12 và Hình 13 thể hiện các gradient nhiệt điển hình trên các cầu đã được quan trắc. Đây mới là các kết quả phân tích bước đầu với thời gian quan trắc tương đối ngắn. Tuy vậy có thể thấy rằng, trên các cầu dầm hộp có xuất hiện các gradient nhiệt lớn trên thành cũng như gradient nhiệt âm ở bản đáy là những đại lượng chưa được xét đến trong tiêu chuẩn thiết kế cầu hiện nay. Các giá trị gradient nhiệt quan trắc được ở đây cũng khá phù hợp với các giá trị được nêu trong [3] và [4].



Hình 11. Gradient nhiệt dương (T+) và Gradient nhiệt âm (T-) trên bản nắp.



Hình 12. Gradient nhiệt dương (T+) và Gradient nhiệt âm (T-) trên bản đáy.



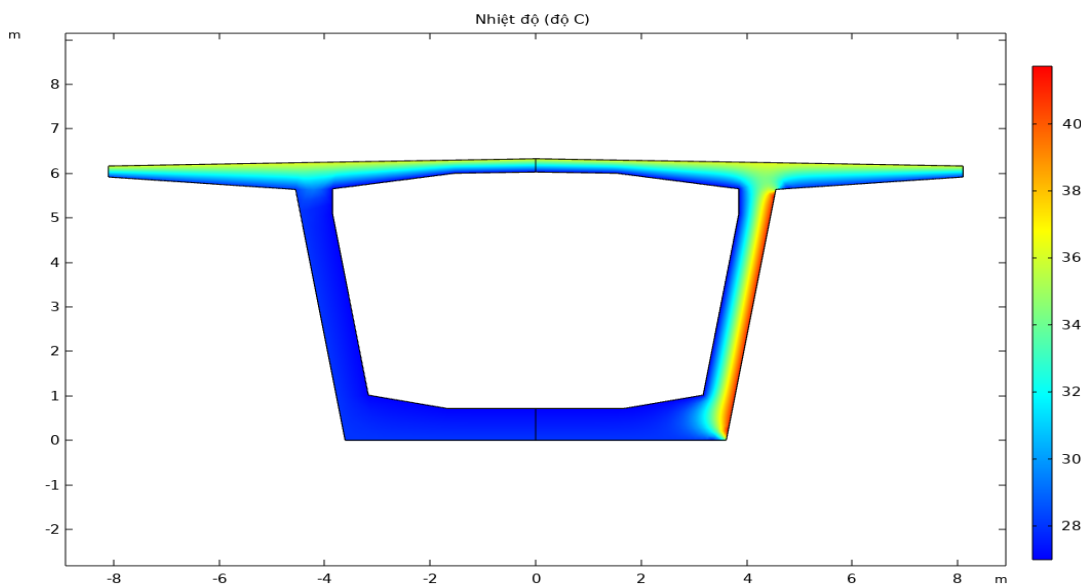
Hình 13. Gradient nhiệt dương (T+) và Gradient nhiệt âm (T-) trên thành.

3. TÍNH TOÁN ỨNG SUẤT DO GRADIENT NHIỆT GÂY RA TRÊN MẶT CẮT DẦM THEO PHƯƠNG NGANG

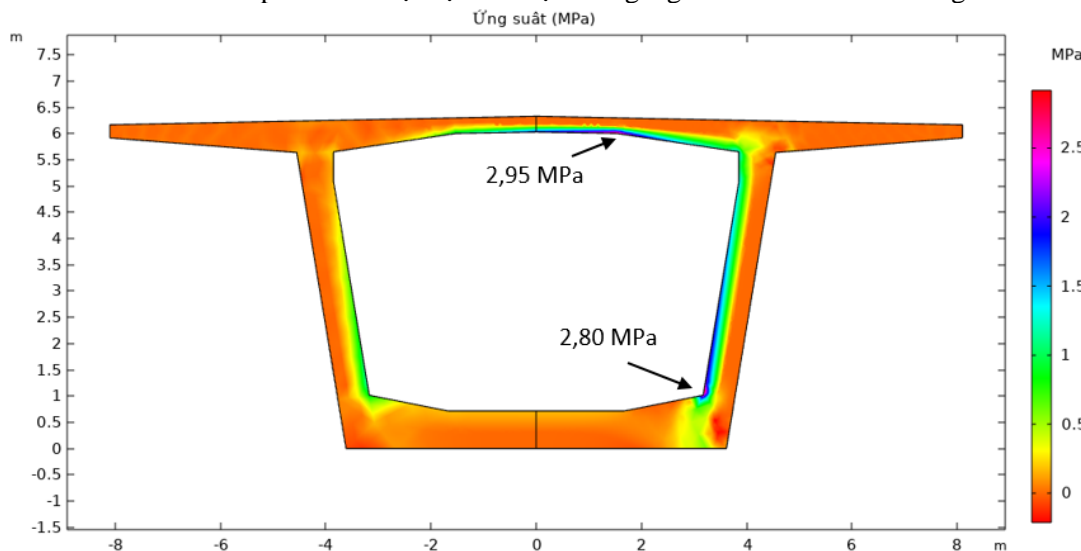
Khi xem xét ở bài toán phẳng, ứng suất tại các vị trí trên mặt cắt dầm do sự biến thiên nhiệt ở trên đã được tính toán với việc sử dụng phần mềm phần tử hữu hạn Comsol Multiphysic [9]. Phần mềm này cho phép xác định ứng suất do nhiệt độ gây ra theo dạng

trường nhiệt ổn định (nhiệt độ tại các biên được giữ không đổi) hoặc theo dạng trường nhiệt không ổn định (nhiệt độ tại các biên thay đổi theo thời gian ứng với các giá trị đo đạc). Việc mô phỏng được thực hiện với mô hình kết hợp Cơ học vật rắn (Solid Mechanics) và Truyền nhiệt trong vật rắn (Thermal Transfer in Solid). Điều kiện biên nhiệt độ tại các vị trí trên mặt cắt được gán với các giá trị thực đo được. Dạng phần tử hữu hạn được phần mềm Comsol lựa chọn tối ưu cho dạng bài toán kết hợp ở trên (Phần tử tam giác phẳng bậc 2). Các tham số vật liệu cần thiết của bê tông được sử dụng trong mô hình tính toán được trình bày ở Hình 14 thể hiện sự phân bố nhiệt độ trên mặt cắt dầm ở thời điểm khoảng 17:00 ứng với các giá trị nhiệt độ đo trên mặt cắt gần gối của cầu Vĩnh Thịnh. Lúc này, nhiệt độ ở mặt trên của bản nắp và mặt ngoài của thành phía nhận bức xạ mặt trời đều có giá trị lớn. Biểu đồ ứng suất trong mặt phẳng chỉ do nhiệt độ của mặt cắt dầm tương ứng ở thời điểm này được thể hiện trên Hình 15. Khi xét cả tĩnh tải, biểu đồ ứng suất được thể hiện trên Hình 16.

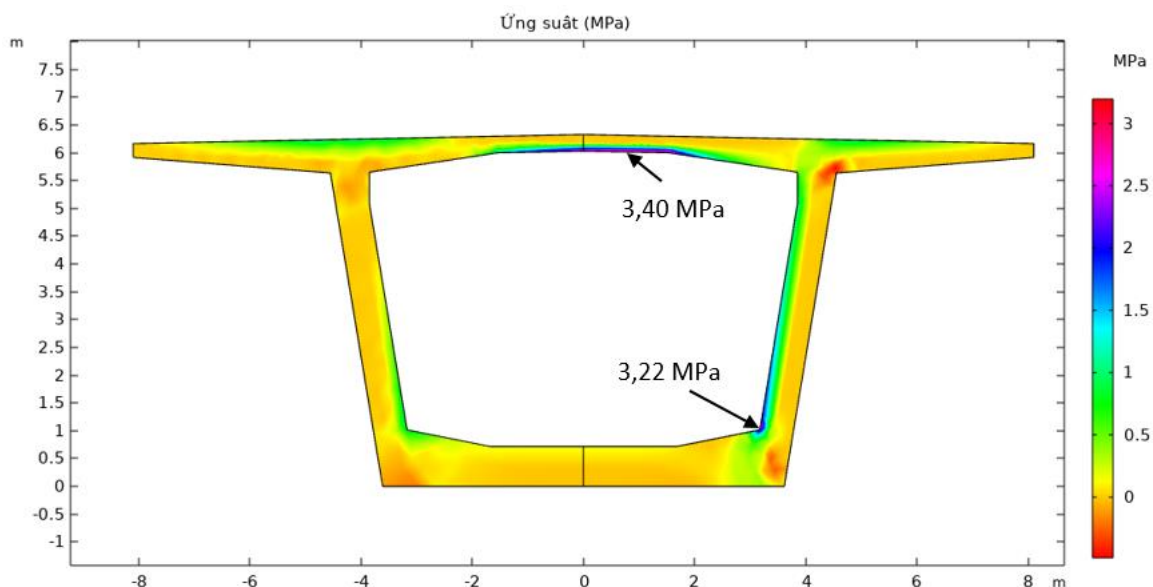
Bảng 4. Đây là các giá trị thông dụng của bê tông được sử dụng trong kết cấu.



Hình 14. Biểu đồ phân bố nhiệt độ trên mặt cắt ngang cầu ở thời điểm khoảng 17:00.



Hình 15. Biểu đồ ứng suất trong mặt cắt do chỉ nhiệt độ gây ra trên mặt cắt.

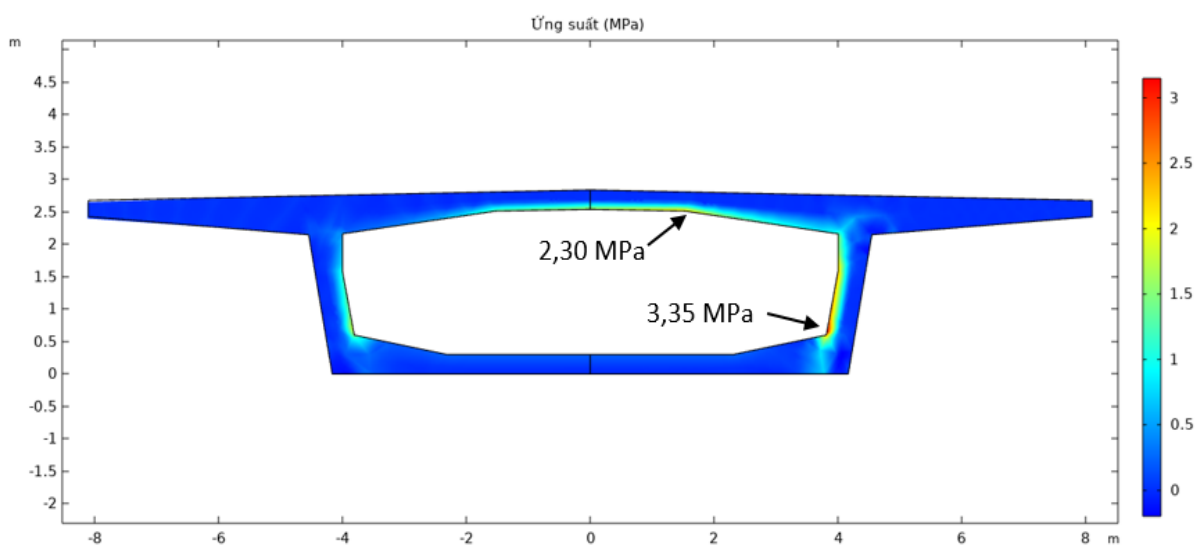


Hình 16. Biểu đồ ứng suất trong mặt cắt do nhiệt độ và tĩnh tải gây ra trên mặt cắt.

Hình 14 thể hiện sự phân bố nhiệt độ trên mặt cắt dầm ở thời điểm khoảng 17:00 ứng với các giá trị nhiệt độ đo trên mặt cắt gần gối của cầu Vĩnh Thịnh. Lúc này, nhiệt độ ở mặt trên của bản nắp và mặt ngoài của thành phía nhận bức xạ mặt trời đều có giá trị lớn. Biểu đồ ứng suất trong mặt phẳng chỉ do nhiệt độ của mặt cắt dầm tương ứng ở thời điểm này được thể hiện trên Hình 15. Khi xét cả tĩnh tải, biểu đồ ứng suất được thể hiện trên Hình 16.

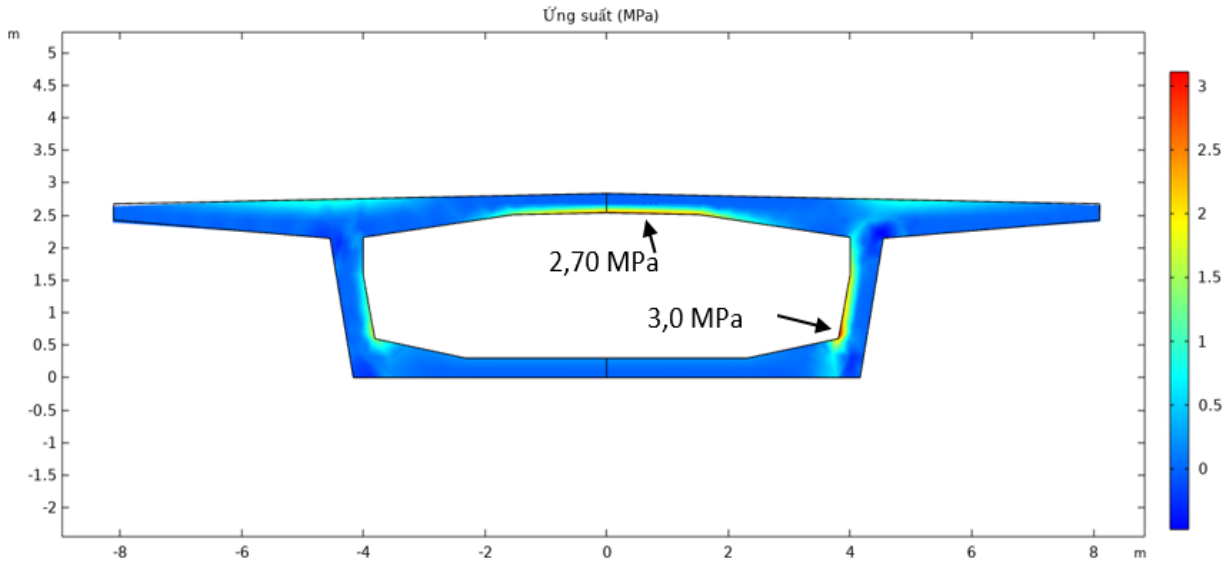
Bảng 4. Các tham số vật liệu của bê tông được sử dụng trong mô hình Comsol Multiphysic.

Mô đun đàn hồi	30.000 MPa
Khối lượng riêng	24.000 kg/m ³
Hệ số poisson	0,2
Hệ số giãn nở nhiệt	10.10e-6 [11]
Hệ số dẫn nhiệt	1,8 W/(m·K) [10]



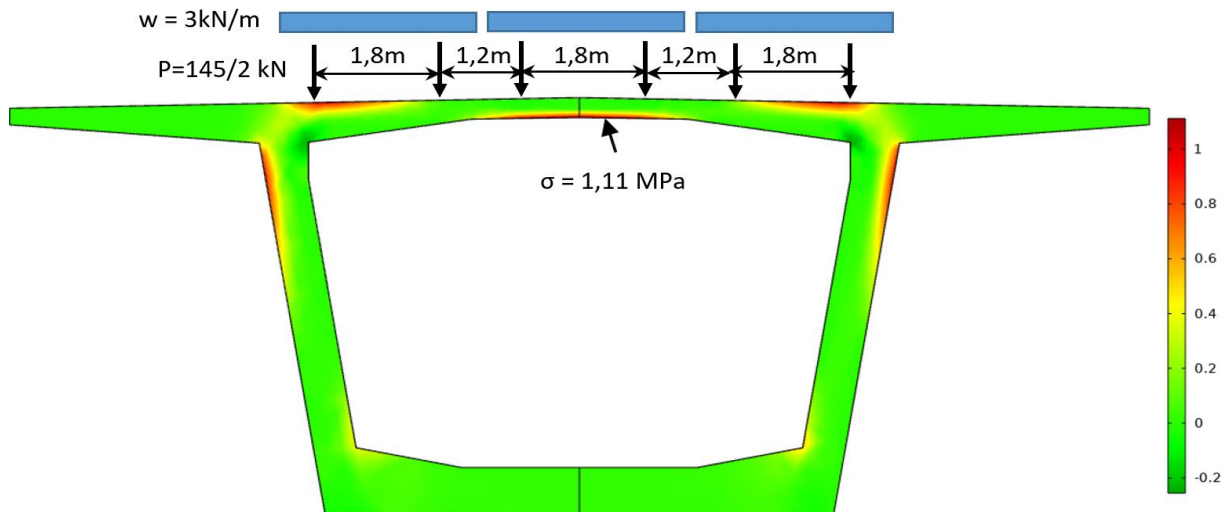
Hình 17. Ứng suất do nhiệt độ gây ra trên mặt cắt giữa nhịp.

Các biểu đồ trong tự cho mặt cắt giữa nhịp được thể hiện trên các Hình 17 và Hình 18. Có thể thấy rằng, ứng suất kéo tại mặt dưới của bản nắp và mặt trong của thành dầm đều có giá trị khá lớn. Các giá trị ứng suất này cũng khá gần với các giá trị được công bố trong [1] và [3]. Theo hồ sơ thiết kế, cường độ chịu nén của bê tông ở các cầu dầm hộp nhịp lớn hiện nay thường nằm trong khoảng 45 MPa đến 50 MPa và cường độ chịu kéo dọc trục, tương ứng, khoảng từ 2,3 MPa đến 2,5 MPa. Như vậy các giá trị ứng suất do nhiệt độ gây ra như được tính toán ở đây có thể vượt quá cường độ chịu kéo của bê tông dầm.

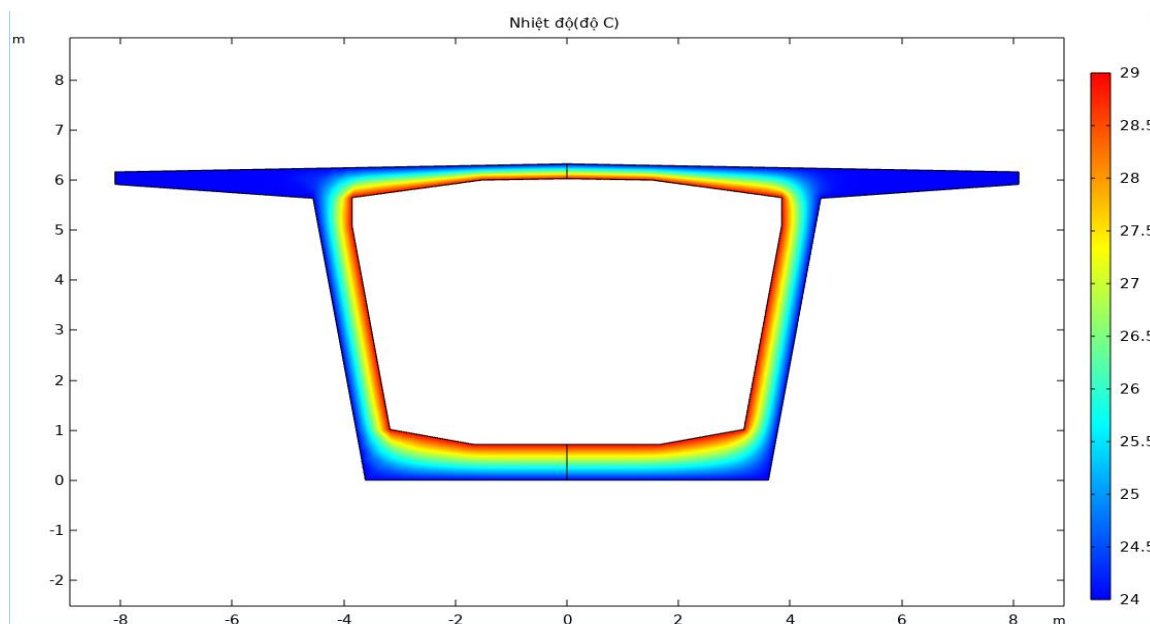


Hình 18. Ứng suất do nhiệt độ và tĩnh tải gây ra trên mặt cắt giữa nhịp.

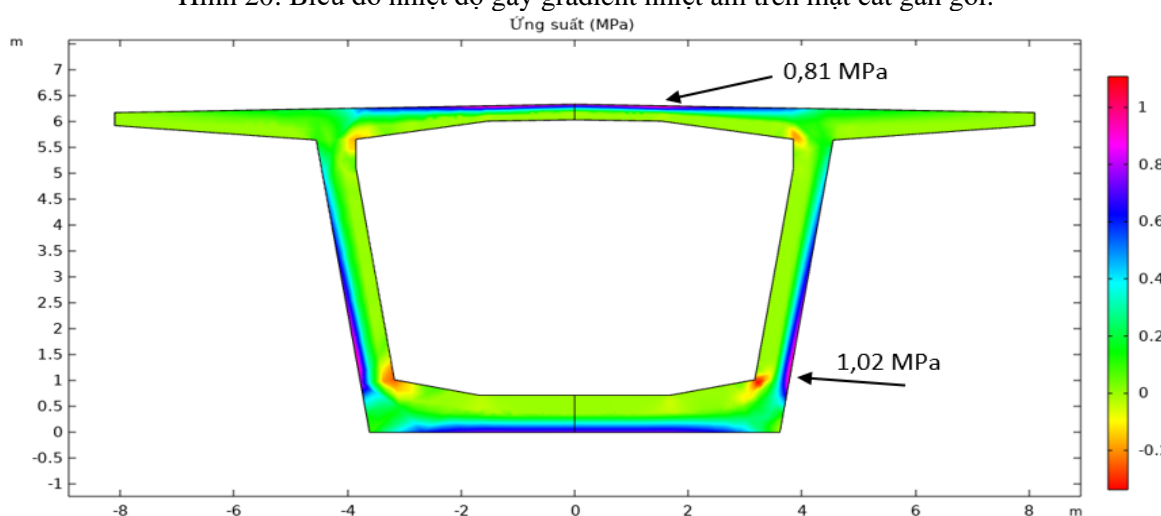
Ứng suất theo phương ngang trên mặt cắt ngang do nhiệt độ gây ra cũng lớn hơn ứng suất tương ứng do hoạt tải gây ra với sơ đồ xếp tải được mô tả trên Hình 19. Trên hình này, w mô tả tải trọng làn và P mô tả tải trọng bánh xe. Khi xét đến gradient nhiệt âm với các giá trị đã quan trắc được, ứng suất kéo xuất hiện ở mặt ngoài của thành dầm và mặt trên của bản nắp (Hình 20 và Hình 21). Các giá trị này, nói chung, đều không vượt quá cường độ chịu kéo của bê tông dầm thông thường.



Hình 19. Sơ đồ xếp tải và kết quả tính ứng suất do hoạt tải trên mặt cắt ngang.



Hình 20. Biểu đồ nhiệt độ gây gradient nhiệt âm trên mặt cắt gần gối.



Hình 21. Ứng suất do gradient nhiệt âm gây ra trên mặt cắt gần gối.

4. KẾT LUẬN

Mặc dù việc quan trắc nhiệt độ trên một số cầu dầm bê tông cốt thép dạng hộp mới được thực hiện trong một khoảng thời gian chưa dài nhưng các kết quả bước đầu đã cho thấy:

- Trong các cầu dầm hộp, gradient nhiệt dương lớn có thể xuất hiện cả theo phương đứng, mà chủ yếu là ở bản mặt cầu, và theo phương ngang trên thành cầu. Trong thời gian quan trắc, gradient nhiệt dương trên bản nắp là 10°C nhỏ hơn các giá trị được nêu trong tiêu chuẩn thiết kế là 23°C . Giá trị gradient nhiệt dương lớn nhất trên thành cầu là 14°C . Giá trị này, tuy vậy, chưa được xem xét trong tiêu chuẩn thiết kế.
- Ứng suất do gradient nhiệt dương, khi phân tích theo phương ngang cầu, ở mặt dưới của bản nắp và mặt trong của thành dầm lớn hơn ứng suất do hoạt tải gây ra và vượt quá

cường độ chịu kéo của bê tông.

- Hướng của cầu có ảnh hưởng rõ rệt đến gradient nhiệt theo phương ngang trên thành cầu. Cầu có hướng Tây Bắc – Đông Nam có gradient theo nhiệt phương ngang trên thành cầu phía Tây Nam lớn nhất do, ở đó, mặt trời buổi chiều chiếu gần như vuông góc với thành cầu. Cầu có hướng Đông – Tây ở khu vực Nam Bộ vẫn có gradient nhiệt lớn trên thành cầu phía Nam ở mùa Đông do, ở thời gian này, bức xạ mặt trời lớn và đường đi biểu kiến của mặt trời chệch về phía Nam.
- Gradient nhiệt âm xuất hiện trên tất cả các mặt của dầm hộp với giá trị khoảng $4,5^{\circ}$ C. Trong khi trong tiêu chuẩn thiết kế, gradient nhiệt âm chỉ có ở mặt trên cầu và có giá trị 7° C. Việc phân tích theo phương ngang cầu với nhiệt độ quan trắc được, ứng suất do gradient nhiệt âm có giá trị không lớn.
- Gradient nhiệt trên các thành cầu thay đổi rất lớn và rất nhanh theo bức xạ mặt trời. Để thu nhận được các giá trị này, tần suất lấy dữ liệu phải đủ nhỏ.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giao thông vận tải trong đề tài mã số DT214005.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. F. Leonhardt, Crack control in concrete structures, IABSE Surveys No. S-4/77, International Association for Bridge and Structural Engineering, Zurich, 1977.
- [2]. R. A. Imbsen, R. A. Vandershaf, Thermal effects in concrete bridge superstructure, NCHRP Report 276, 1985.
- [3]. J. Hejnic, Effect of temperature changes on prestressed concrete bridges, in: 7th F.I.P. Congress, New York, 1974.
- [4]. S. R. Abid, N. Taysi, M. Ozakca, Experimental analysis of temperature gradients in concrete box-girders, Construction and building materials, 106 (2016) 523-532. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.144>
- [5]. B. Gu, Z. J. Chen, X.D. Chen, Temperature gradients in concrete box girder bridge under effect of cold wave, Journal of central south university, 21 (2014) 1227-1241 <https://doi.org/10.1007/s1177101420576>
- [6]. F. Kehlbeck, Einfluss der Sonnenstrahlung bei Brückenbauwerken, Werner-Verlag, Duesseldorf, Germany, 1975.
- [7]. M. M. Elbadry, A. Ghali, Temperature Variations in Concrete Bridges, Journal of Structural Engineering, 109 (1983) 2355-2374. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1983\)109:10\(2355\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1983)109:10(2355))
- [8]. Y. Lu, D. Li, K. Wang, S. Jia, Study on solar radiation and the extreme thermal effect on concrete box girder bridges, Applied sciences, 11 (2021) 6332. <https://doi.org/10.3390/app11146332>
- [9]. COMSOL Inc, COMSOL Multiphysics reference manual, version 6.0, www.comsol.com.
- [10]. A. Iman, S. Payam, F. B. Zahiruddin, B. M. Norhayati, Thermal conductivity of concrete - a review, Journal of building engineering, 20 (2018) 81-93. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.07.002>
- [11]. M. P. Collins, D. Mitchell, Prestressed concrete structures, Response Publications, 1997.
- [12]. Bộ Khoa học và Công nghệ, Bộ Giao thông vận tải, TCVN 11823 - 3:2017, 2017.
- [13]. Bộ Xây dựng, QCVN 02: 2009/BXD, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia số liệu điều kiện tự nhiên dùng trong xây dựng, 2009.