

# Hệ số điều chỉnh moment trong tính toán bản liên tục nhiệt theo sơ đồ dầm đơn

## Moment modification factor for link slab with single beam model in jointless bridges

Mai Lựu\*, Phạm Ngọc Thuỳ

Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

\*Email liên hệ: luu.mai@ ut.edu.vn

### Tóm tắt:

Bản liên tục nhiệt là một phần của bản mặt cầu dùng để nối các dầm có nhịp giản đơn. Trong thực tế thiết kế, bản liên tục nhiệt thông thường được mô phỏng là kết cấu dầm đơn với liên kết hai đầu ngàm cùng nhịp tính toán là chiều dài phần bản không dính bám với đầu dầm bên dưới. Phương pháp tính này có thể làm sai lệch moment trong bản liên tục nhiệt dưới tác dụng của hoạt tải do độ lệch tâm giữa bản mặt cầu và dầm dọc, cũng như do tương tác của bản liên tục nhiệt lên đầu dầm thông qua lớp đệm ngăn dính bám bản liên tục nhiệt và đầu dầm. Bài báo sẽ đưa ra các hệ số điều chỉnh moment khi dùng sơ đồ dầm đơn để xét các yếu tố trên thông qua mô hình phần tử hữu hạn. Từ đó giúp kỹ sư thiết kế bản liên tục nhiệt chính xác hơn.

**Từ khóa:** Bản liên tục nhiệt ; phần tử hữu hạn; phần bản không dính bám; tương tác dầm và bản liên tục nhiệt; moment uốn.

### Abstract:

Link slab is the portion of bridge deck that connects two adjacent simply-supported girders. In the practical design of link slabs, the determination of their internal forces is based on the single-beam model in which the clear span is the length of deboned link slab on top of beams. It can lead to detune moments of link slabs due to the eccentricity of link slab and girders, and the interaction between link slab and girders through the deboned layer. In this paper, a numerical analysis model is established based on finite element method to investigate moment performance of link slabs. Then, moment modification factors for link slab with single beam models are suggested to allow engineers to make better decisions on the detailing of link slabs.

**Keywords:** Link slab; finite element method; deboned slab; slab link-girder interaction; bending moment.

### 1. Giới thiệu

Việc sử dụng những cấu kiện đúc sẵn trong các công trình xây dựng ngày càng được phổ biến bởi chúng có nhiều ưu điểm nổi bật như đảm bảo chất lượng bê tông các cấu kiện lắp ghép, sản xuất hàng loạt theo module để giảm giá thành và đặc biệt là thi công nhanh. Đó là lý do các công nghệ thi công lắp ghép được phát triển liên tục và phạm vi ứng dụng luôn được mở rộng trong công trình cầu. Với cầu nhiều nhịp được làm từ các dầm bê tông cốt thép chế tạo trước, khu vực đỉnh trụ có thể dùng các hình thức liên kết như sử dụng khe co giãn, liên tục dầm

ngang liền khối và liên tục bản mặt cầu bê tông cốt thép hay còn gọi là liên tục nhiệt. Trong đó, việc sử dụng khe co giãn có nhiều nhược điểm: Các khe co giãn thường bị bong bật trong quá trình khai thác, tạo ra những xung kích lớn khi xe cộ lưu thông tại các vị trí này. Trong quá trình khai thác nước rò rỉ gây hư hỏng kết cấu bên dưới. Do vậy, về mặt lâu dài phương án dùng khe co giãn làm tăng chi phí duy tu bảo dưỡng cũng như chất lượng khai thác, tuổi thọ công trình cầu. Giải pháp sử dụng bản liên tục nhiệt được nhiều nước áp dụng vì có những hiệu quả sau: Đảm bảo liên tục kết cấu áo đường, tạo êm thuận cho phương tiện lưu thông; bảo vệ kết cấu

phần dưới tránh bị hư hỏng do nước rò rỉ; thi công dễ dàng và nhanh chóng, giảm chi phí duy tu bảo dưỡng. Tuy nhiên, từ tính toán lý thuyết đến thực tế sử dụng, cho thấy bản liên tục nhiệt chịu lực kéo uốn rất lớn do nhiều tác nhân gây ra như xoay đầu dầm bởi hoạt tải trên kết cấu nhịp, thay đổi nhiệt độ, các ảnh hưởng thứ cấp vì co ngót, từ biến... tạo nên một hệ kết cấu làm việc khá phức tạp và khó kiểm soát. Một trong các nghiên cứu đầu tiên về loại kết cấu được tiến hành bởi Giáo sư Caner [1], tác giả thực hiện các thử nghiệm trên mẫu thí nghiệm để điều tra ứng xử của bản liên tục nhiệt dùng để nối hai nhịp dầm giản đơn liền kề nhau và đề xuất một phương pháp đơn giản để tính toán kết cấu bản liên tục nhiệt. Tác giả minh họa ba ví dụ tính toán trong bài báo, qua đó kết luận rằng bản liên tục nhiệt bị uốn cong và ứng xử như một phần tử dầm hơn là phần tử chịu kéo, nén. Dưới tải thí nghiệm, bản liên tục nhiệt bị phá hoại do uốn đồng thời với các vết nứt vốn xuất hiện ở mặt trên và nén vỡ mặt dưới.

Wing và Kowalsky [2] cũng đã nghiên cứu hiệu quả của cầu có sử dụng bản liên tục nhiệt đầu tiên ở North Carolina thông qua việc sử dụng các thiết bị đo từ xa cùng với hàng loạt các phương pháp kiểm tra và phân tích. Kết quả quan sát chỉ ra rằng các vết nứt trong bản liên tục nhiệt vượt quá các tiêu chí thiết kế. Cuối cùng, tác giả đề xuất một trạng thái giới hạn mà hàm lượng cốt thép (đường kính và số lượng) được thiết kế dựa trên góc quay và bề rộng vết nứt.

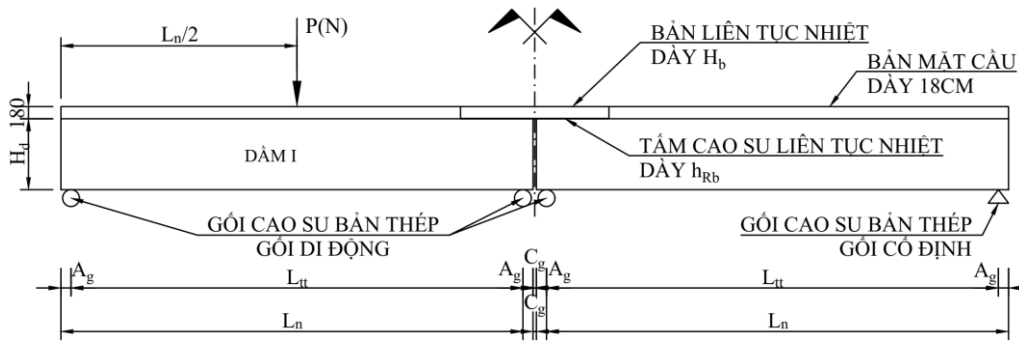
Nhìn chung, trong hầu hết tính toán bản liên tục nhiệt, sơ đồ tính của nó được xem như dải bản làm việc theo phương dọc cầu, và có thể cắt một đơn vị chiều dài theo phương ngang cầu để tính toán. Xem dải bản này như một dầm làm việc theo sơ đồ hai đầu ngàm có chiều dài tính toán bằng chiều dài bản liên tục nhiệt. Đây là phương pháp đang được sử dụng phổ biến hiện nay.

Phương pháp tính toán bản liên tục nhiệt dưới tác dụng của hoạt tải như trên thường phải xem dầm và sàn là hai cấu kiện độc lập để truyền. Bỏ qua sự tương tác giữa đầu dầm và bản liên tục nhiệt. Trong trường hợp tải trọng đặt trên kết cấu nhịp sẽ làm võng dầm chính, quá đó phát sinh góc xoay đầu dầm. Chuyển vị xoay của đầu dầm bị ngăn cản bởi bản liên tục nhiệt, vừa làm giảm ứng suất phát sinh tại mặt cắt ngàm, vừa làm phát sinh ứng suất cục bộ tại vị trí đầu dầm bị ngăn bởi bản liên tục nhiệt.

Việc đơn giản hóa giúp cho việc tính toán nhanh hơn phù hợp với kỹ sư làm thiết kế trong thực tế. Tuy nhiên kết quả tính toán chưa phản ánh đúng sự làm việc của bản liên tục nhiệt. Vấn đề đặt ra ở đây là cần nghiên cứu xây dựng một hệ số điều chỉnh nội lực đơn giản nhất để kết quả tính toán diễn tả đúng thực tế làm việc của bản liên tục nhiệt dưới tác dụng của hoạt tải. Bài báo đưa ra mô hình mô phỏng các phần tử dầm chính, bản mặt cầu, bản liên tục nhiệt và tấm cao su bản liên tục nhiệt, trong mô hình có xét đến đặc tính vật liệu cụ thể (vật liệu bê tông cốt thép, cao su). Mô phỏng các liên kết ràng buộc, liên kết tiếp xúc giữa các phần tử phù hợp theo thực tế làm việc của kết cấu. Thay đổi các thông số đầu vào mô hình để khảo sát sự ảnh hưởng của chúng đến quá trình làm việc của bản liên tục nhiệt. So sánh kết quả mô hình với mô hình dầm đơn. Cuối cùng xây dựng hệ số điều chỉnh nội lực do hoạt tải đặt trên kết cấu nhịp.

## **2. Tính toán nội lực trong bản liên tục nhiệt theo phương pháp dầm đơn dưới tác dụng của hoạt tải trên kết cấu nhịp**

Trong trường hợp đặt tải trọng lên kết cấu nhịp thì bản liên tục nhiệt sẽ có các chuyển vị cưỡng bức tại mặt cắt tiếp nối giữa bản liên tục nhiệt và bản dầm, có nghĩa là: Bỏ qua tương tác của các dầm lên bản liên tục nhiệt và xem góc xoay ở đầu dầm chính là tại mặt cắt ngàm của bản liên tục nhiệt. Sơ đồ tính được thể hiện như hình 1.



**Hình 1.** Sơ đồ tổng quát tính bản liên tục nhiệt dưới tác dụng của tải trọng đặt trên kết cấu nhịp.

$L_{LS}$ : Chiều dài bản liên tục nhiệt;

$E_{LS}$ : Module đàn hồi bản liên tục nhiệt;

$J_{LS}$ : Moment quán tính của bản liên tục nhiệt;

$C_g$ : Khoảng hở giữa hai đầu dầm.

Khi đó, góc xoay tại đầu dầm bên trái và bên phải của bản liên tục nhiệt được xác định như sau [3]:

$$\phi_L = \frac{P_L \times L_t^2}{16 \times E_B \times J_B}; \quad \phi_R = \frac{P_R \times L_t^2}{16 \times E_B \times J_B} \quad (1)$$

Chuyển vị thẳng đứng tại mặt cắt ngàm của bản liên tục nhiệt:

$$Y_L = \frac{L_{LS} - C_g}{2} \times \phi_L; \quad Y_R = \frac{L_{LS} - C_g}{2} \times \phi_R \quad (2)$$

Từ đó, moment tại vị trí mặt cắt ngàm trái được xác định như sau:

$$M_L = 2 \times \frac{E_{LS} \times J_{LS}}{L_{LS}} \left[ \frac{3 \times (Y_L - Y_R)}{L_{LS}} - 2 \times \phi_L + \phi_R \right] \quad (3)$$

Moment tại vị trí mặt cắt ngàm phải:

$$M_R = 2 \times \frac{E_{LS} \times J_{LS}}{L_{LS}} \left[ \frac{3 \times (Y_R - Y_L)}{L_{LS}} - 2 \times \phi_R + \phi_L \right] \quad (4)$$

Moment tại vị trí giữa nhịp:

$$M_M = - \left( \frac{E_{LS} \times J_{LS}}{L_{LS}} \times \phi_R + \frac{E_{LS} \times J_{LS}}{L_{LS}} \times \phi_L \right) \quad (5)$$

Trong đó:

$P_L$ : Tải trọng hoạt tải tương đương trên dầm chính;

$L_t$ : Chiều dài tính toán dầm chính;

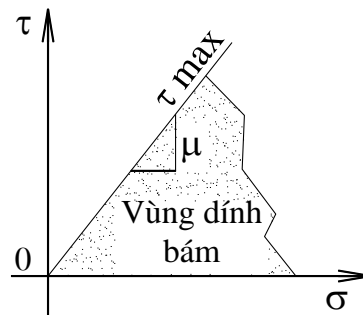
$E_B$ : Module đàn hồi của dầm chính;

$J_B$ : Moment quán tính của dầm chính;

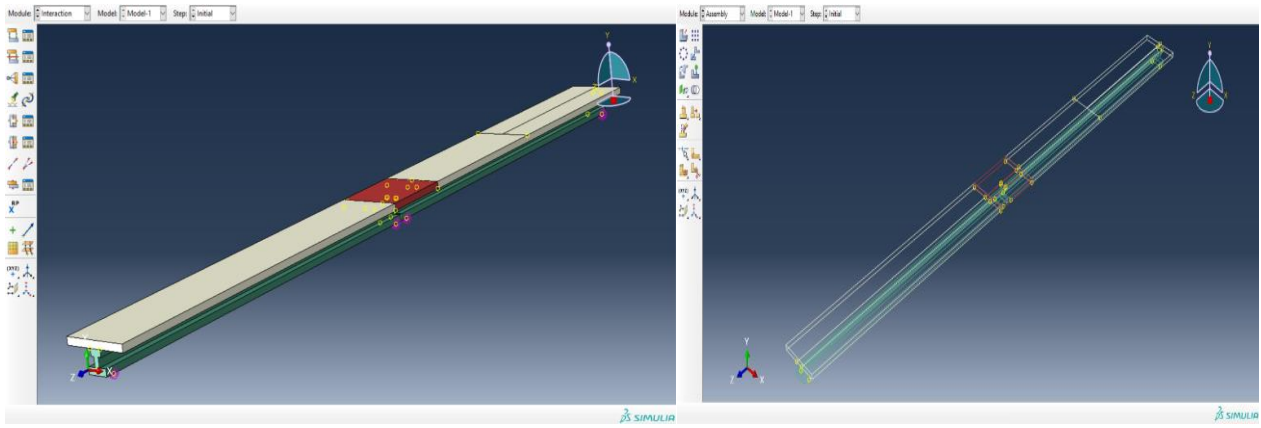
Dựa vào các công thức từ (1) đến (5), các nội lực trong bản liên tục nhiệt dưới tác dụng của hoạt tải trên kết cấu nhịp có thể được xác định.

### 3. Tính toán nội lực trong bản liên tục nhiệt theo phương pháp phần tử hữu hạn

Sử dụng phần mềm Abaqus để mô phỏng, phân tích sự làm việc của bản liên tục nhiệt trong đó có sử dụng phần tử tiếp xúc để mô phỏng liên kết giữa lớp ngăn cách với bản liên tục nhiệt và đầu dầm. Mô hình ma sát Coulomb là mô hình ma sát phổ biến được sử dụng để mô tả tương tác giữa các mặt tiếp xúc [4]. Khái niệm của mô hình Coulomb cơ bản là mối quan hệ giữa ứng suất ma sát (cắt) lớn nhất cho phép thông qua mặt liên kết với áp lực giữa các bộ phận tiếp xúc. Trong mô hình cơ bản của mô hình ma sát Coulomb, hai mặt tiếp xúc có thể truyền ứng suất cắt lên nhau với độ lớn nhất định trước khi chúng trượt tương đối với nhau, trạng thái này là trạng thái dính bám. Mô hình ma sát Coulomb định nghĩa miền giới hạn ứng suất cắt, tại đó các mặt bắt đầu trượt như hình 2, trong đó:  $\mu$ ,  $\sigma$  và  $\tau$  lần lượt là hệ số ma sát, ứng suất pháp và ứng suất tiếp tại mặt tiếp xúc.



**Hình 2.** Vùng dính bám trong mô hình ma sát Coulomb cơ bản.



**Hình 3.** Mô hình mô phỏng hoàn chỉnh kết cấu bản liên tục nhiệt.

Mô hình được phân tích theo dầm đơn và liên hợp giữa bản mặt cầu với dầm dọc dưới tác dụng của hoạt tải như hình 3. Mô hình phần tử hữu hạn trên cũng đã được đánh giá độ chính xác so với kết quả thực nghiệm trong [5].

**4. Xây dựng các mô hình tính toán để xác định hệ số hiệu chỉnh moment do hoạt tải**

Bởi có sự khác nhau về nội lực giữa mô hình dầm đơn và mô hình phần tử hữu hạn nên bài báo đưa ra hệ số điều chỉnh I được định nghĩa như sau:

$$K = \frac{S_{33,FEM}}{S_{33,SIB}} = \frac{M_{33,FEM}}{M_{33,SIB}} \quad (6)$$

Trong đó:  $S_{33,FEM}$  và  $M_{33,FEM}$  lần lượt là ứng suất và moment được xác định từ mô hình phần tử hữu hạn;  $S_{33,SIB}$  và  $M_{33,SIB}$  lần lượt là ứng suất và moment được xác định từ mô hình dầm đơn.

Dựa vào các phương trình từ (1) đến (5) có thể thấy rằng: Ba yếu tố chính ảnh hưởng đến nội lực trong bản liên tục nhiệt dưới tác dụng của hoạt tải là kích thước dầm chính; khoảng cách từ tim gối đến đầu dầm và chiều dài bản liên tục nhiệt.

Nhằm mô tả quy luật biến thiên đầy đủ của nội lực trong bản liên tục nhiệt theo các trường hợp phổ biến ở thiết kế, bài báo chia thành ba nhóm mô hình, với mỗi nhóm giữ khoảng cách từ tim gối đến đầu dầm không đổi và thay đổi hai tham số chiều dài bản liên tục nhiệt và loại dầm chính. Ba nhóm mô hình được phân tích cụ thể như sau:

**Nhóm mô hình 1 (MH1)**

- Khoảng cách từ gối đến đầu dầm  $A_g = 150$  mm;
- Chiều dài bản liên tục nhiệt thay đổi  $L_{LS} = [2.0; 2.2; 2.4]$  (m);
- Loại dầm chính khảo sát: [I1 2.50 m; I1 5.20 m; I1 8.60 m; I2 1.40 m; I2 4.54 m; I2 7.40 m; I3 0.50 m; I3 6.60 m];

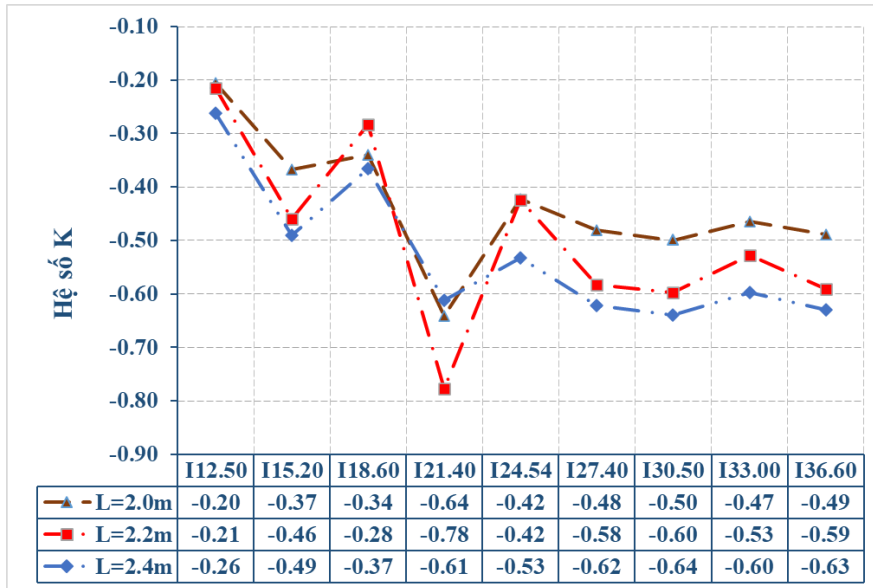
**Nhóm mô hình 2 (MH2)**

- Khoảng cách từ gối đến đầu dầm  $A_g = 250$  mm;
- Chiều dài bản liên tục nhiệt thay đổi  $L_{LS} = [2.0; 2.2; 2.4]$  (m);
- Loại dầm chính khảo sát: [I1 2.50 m; I1 5.20 m; I1 8.60 m; I2 1.40 m; I2 4.54 m; I2 7.40 m; I3 0.50 m; I3 6.60 m].

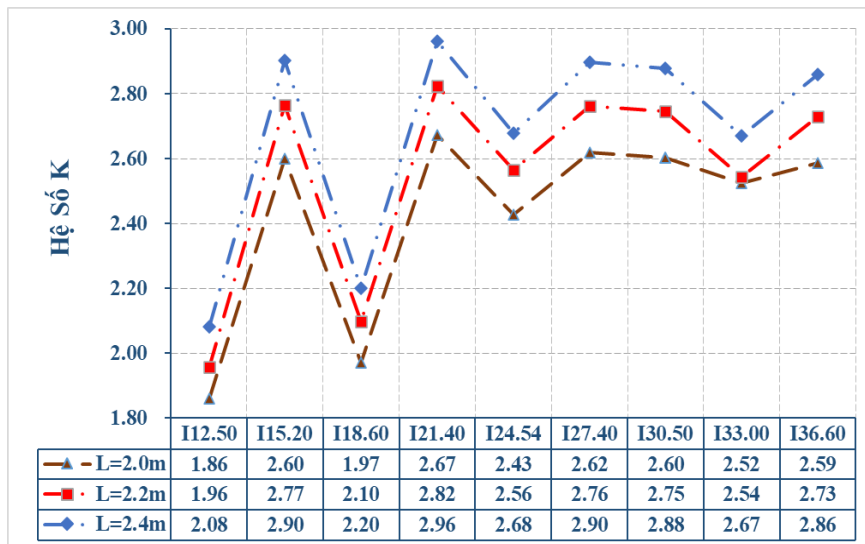
**Nhóm mô hình 3 (MH3)**

- Khoảng cách từ gối đến đầu dầm  $A_g = 300$  mm;
- Chiều dài bản liên tục nhiệt thay đổi  $L_{LS} = [2.0; 2.2; 2.4]$  (m);
- Loại dầm chính khảo sát: [I1 2.50 m; I1 5.20 m; I1 8.60 m; I2 1.40 m; I2 4.54 m; I2 7.40 m; I3 0.50 m; I3 6.60 m].

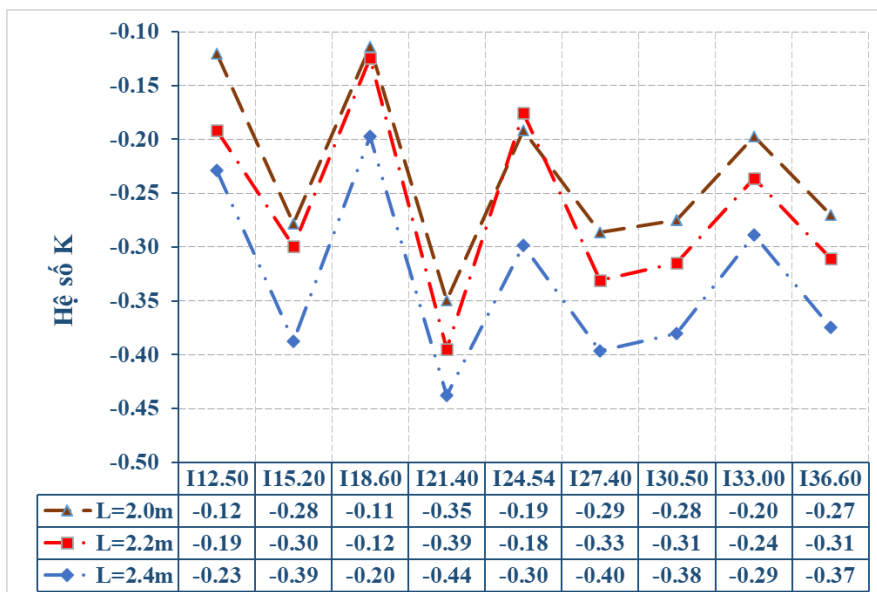
Độ lớn của giá trị tải trọng đặt trên kết cấu nhịp không ảnh hưởng nhiều đến hệ số điều chỉnh và để thiên về an toàn bài báo sử dụng  $P_{max}$  (Giá trị lực mà chuyển vị của dầm chính đạt  $L_{tt}/800$ ) để tính toán và mô phỏng. Kết quả phân tích các trường hợp trên được thể hiện như hình 4 đến hình 15. Trên mỗi hình gồm có: Trục tung thể hiện hệ số  $K$ , trục hoành là các loại dầm khảo sát và bảng giá trị hệ số  $K$  từ công thức (6).



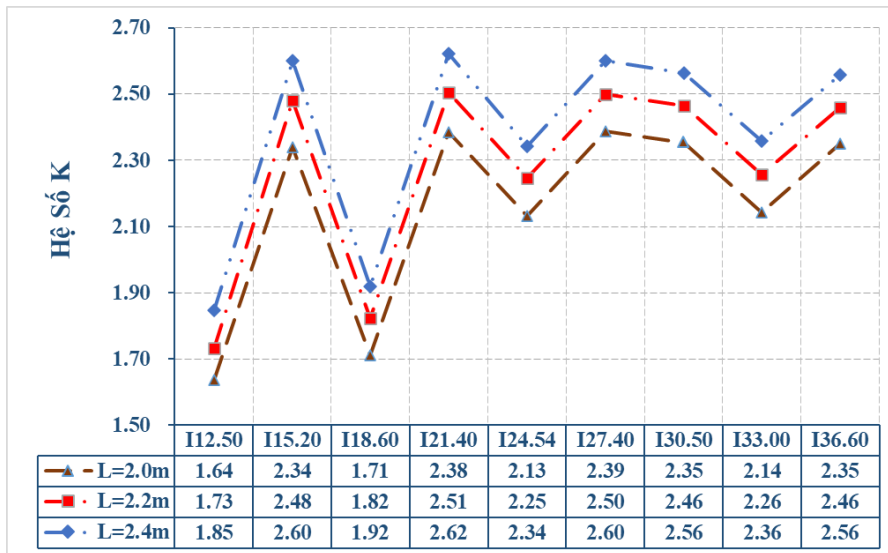
Hình 4. Biểu đồ hệ số K tại mặt cắt ngàm cho MH1 với trường hợp tải tính toán đặt tại nhịp trái.



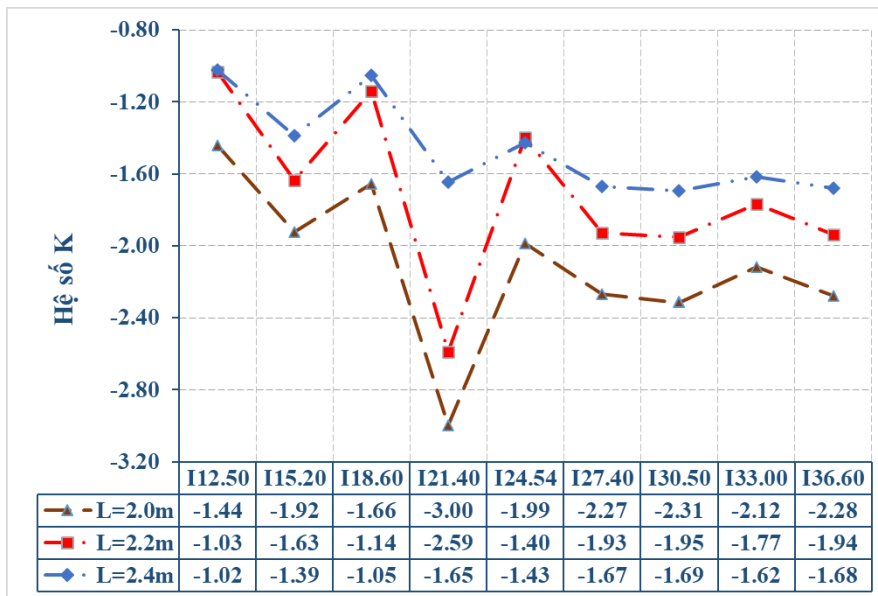
Hình 5. Biểu đồ hệ số K tại mặt cắt giữa nhịp cho MH1 với trường hợp tải tính toán đặt tại nhịp trái.



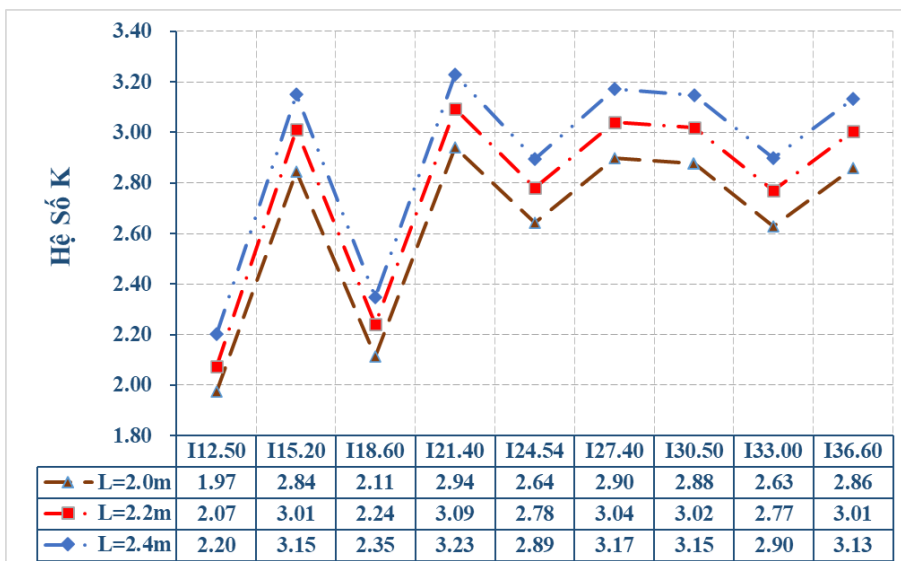
Hình 6. Biểu đồ hệ số K tại mặt cắt ngàm cho MH1 với trường hợp tải tính toán đặt tại trên cả hai nhịp.



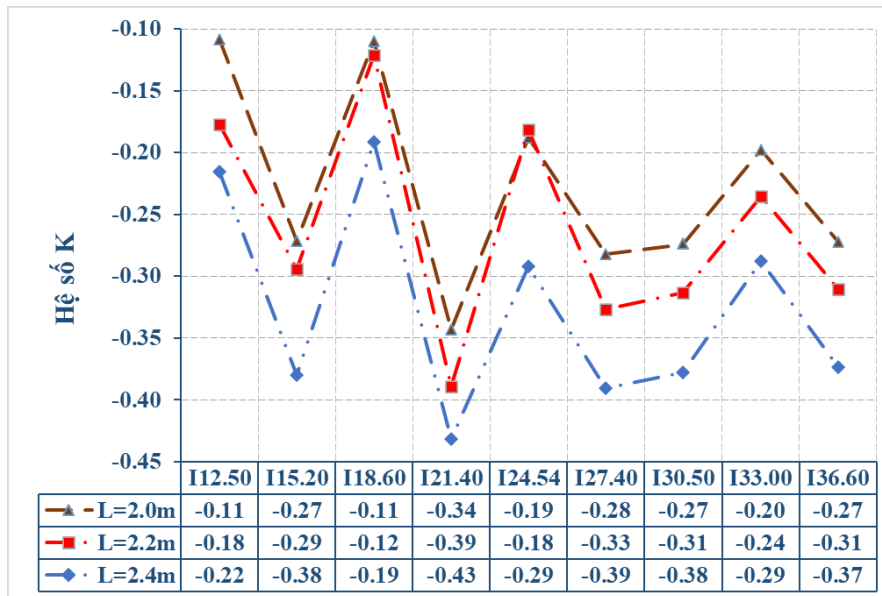
**Hình 7.** Biểu đồ hệ số K tại mặt cắt giữa nhịp cho MH1 với trường hợp tải tính toán đặt trên cả hai nhịp



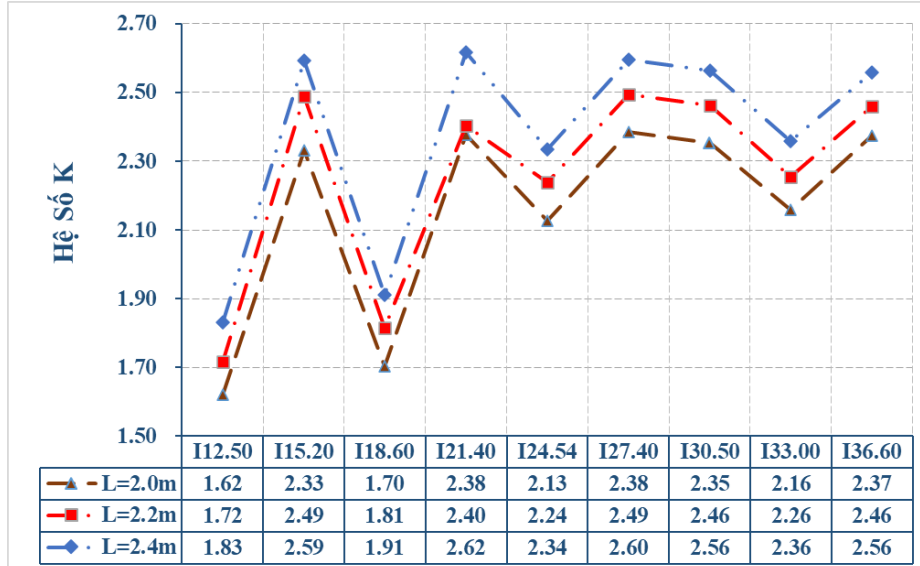
**Hình 8.** Biểu đồ hệ số K tại mặt cắt giữa ngàm cho MH2 với trường hợp tải tính toán đặt tại nhịp trái.



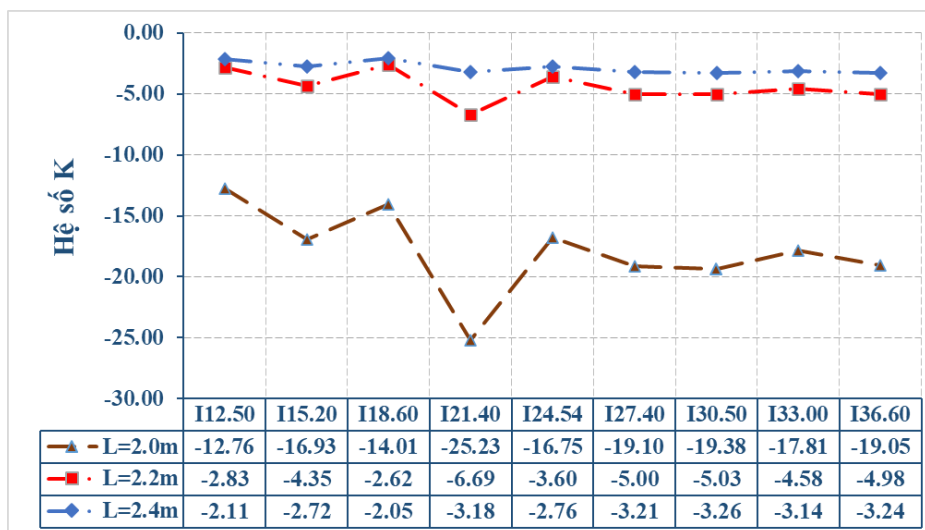
**Hình 9.** Biểu đồ hệ số K tại mặt cắt giữa nhịp cho MH2 với trường hợp tải tính toán đặt tại nhịp trái.



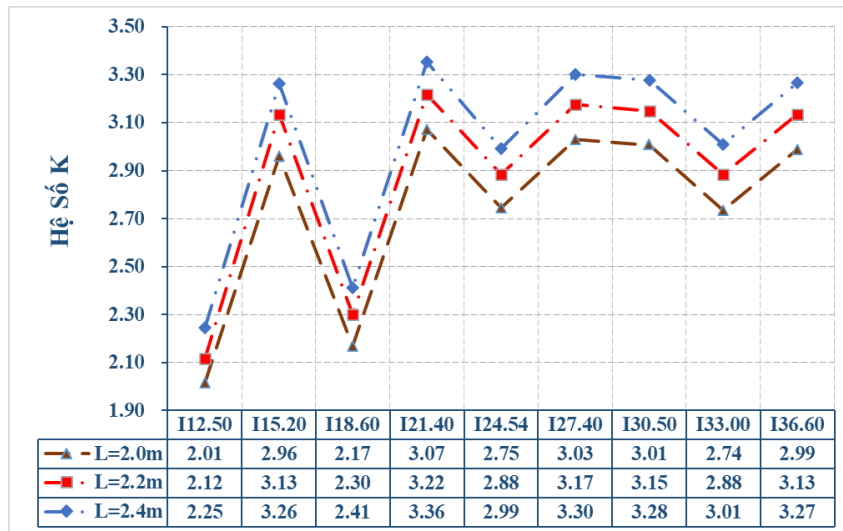
Hình 10. Biểu đồ hệ số K tại mặt cắt ngàm cho MH2 với trường hợp tải tính toán đặt tại trên cả hai nhịp.



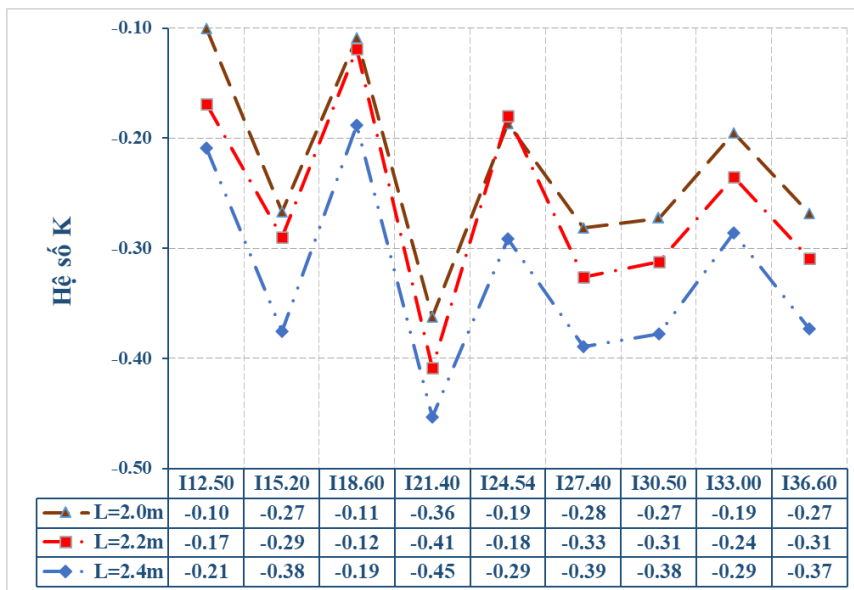
Hình 11. Biểu đồ hệ số K tại mặt cắt giữa nhịp cho MH2 với trường hợp tải tính toán đặt trên cả hai nhịp.



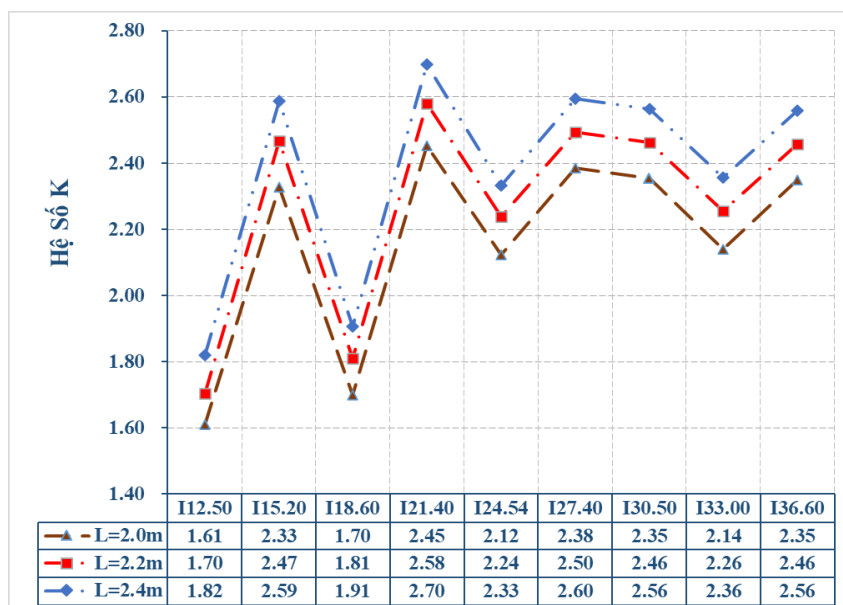
Hình 12. Biểu đồ hệ số K tại mặt cắt ngàm cho MH3 với trường hợp tải tính toán đặt tại nhịp trái.



Hình 13. Biểu đồ hệ số K tại mặt cắt giữa nhịp cho MH3 với trường hợp tải tính toán đặt tại nhịp trái.



Hình 14. Biểu đồ hệ số K tại mặt cắt ngàm cho MH3 với trường hợp tải tính toán đặt tại trên cả hai nhịp.



Hình 15. Biểu đồ hệ số K tại mặt cắt giữa nhịp cho MH3 với trường hợp tải tính toán đặt trên cả hai nhịp.

Nhìn chung, giá trị  $K$  thay đổi khá lớn theo chiều dài nhịp dầm chính và chiều dài bản liên tục nhiệt. Các biểu đồ tại mặt cắt ngàm, kết quả ứng suất từ hai phương pháp ngược dấu nên giá trị hệ số  $K$  mang dấu “-”. Điều này có ý nghĩa, hệ số  $K$  tại mặt cắt ngàm sẽ chiết giảm nội lực tính toán trong tổ hợp.

Các biểu đồ tại mặt cắt giữa nhịp, kết quả ứng suất từ hai phương pháp cùng dấu nên giá trị hệ số  $K$  mang dấu “+”, cộng với giá trị  $K$  luôn lớn hơn 1. Điều này có ý nghĩa,  $K$  tại mặt cắt giữa nhịp sẽ khuếch đại nội lực tính toán. Độ lớn giá trị  $K$  tăng dần theo chiều dài bản liên tục nhiệt.

## 5. Kết luận

Nghiên cứu đã cho thấy có sự khác biệt về nội lực giữa sơ đồ tính bản liên tục nhiệt theo sơ đồ dầm đơn và mô hình phần tử hữu hạn có xét sự tương tác giữa dầm và bản liên tục nhiệt, cũng như sự tiếp xúc qua lớp không dính bám giữa chúng. Các giá trị nội lực do hoạt tải trên kết cấu nhịp từ các biểu đồ, cho thấy có sự thay đổi khá lớn giữa mô hình dầm đơn và mô hình phần tử hữu hạn khi thay đổi các tham số: Khoảng cách hai tim dầm, chiều dài lớp đệm ngăn cách và loại dầm chính. Tuy nhiên, các giá trị nội lực trong bản liên tục nhiệt do hoạt tải trên kết cấu nhịp đang xét cũng chỉ là một trong nhiều loại tải trọng khác gây ra trong bản liên tục nhiệt như

nhiệt độ, co ngót, từ biến, hoạt tải cục bộ trên bản liên tục nhiệt... và moment do hoạt tải trên kết cấu nhịp đang xét chiếm khoảng 30 - 40% tổng moment trong hầu hết các tổ hợp.

Kết quả sự khác nhau về nội lực do hoạt tải giữa các mô hình đã được xây dựng thành các biểu đồ theo hệ số hiệu chỉnh  $K$  để giúp việc thiết kế thực tế tính toán một cách đơn giản và dễ sử dụng khi kiểm toán kết cấu bản liên tục nhiệt.

## Tài liệu tham khảo

- [1] A. Caner; P. Zia; “Behavior and design of link slabs for jointless bridge decks”. PCI Journal. 1998; 43(3):68-80. DOI:10.15554/pcij.05011998.68.80.
- [2] K. M. Wing; M. J. Kowalsky; “Behavior, analysis, and design of an instrumented link slab bridge”. Journal of Bridge Engineering. 2005; 10(3):331-344 DOI: 10.1061/(ASCE)1084-0702(2005)10:3(331).
- [3] M. Lựu, L. H. Lam, “Cầu bê tông cốt thép trên đường ô tô”. Hà Nội, Việt Nam: NXB Giao thông vận tải. 2018.
- [4] Abaqus/CAE, “User's Guide Release”; Ver. 6.14; Dassault Systemes. 2014.
- [5] M. Lựu, “Nghiên cứu cường độ chịu uốn của bản liên tục nhiệt bê tông cốt sợi thép bằng phần tử hữu hạn”. Tạp chí Khoa học công nghệ Giao thông vận tải. 2020; số 35-02/2020:54-59.