

# XÁC ĐỊNH CHIỀU CAO NHỎ NHẤT CỦA DẦM I DỰ ỨNG LỰC CĂNG TRƯỚC SỬ DỤNG BÊ TÔNG CHẤT LƯỢNG SIÊU CAO (UHPC) THEO MÔ MEN KHÁNG UỐN VÀ MÔ HÌNH SỐ

Ngô Quý Tuấn<sup>a</sup>, Lê Bá Danh<sup>b,\*</sup>, Nguyễn Bình Hà<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Khoa Cơ khí – Công nghệ, Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế, số 102 Phùng Hưng, phường Thuận Thành, thành phố Huế, Việt Nam

<sup>b</sup>Khoa Cầu Đường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 08/02/2024, Sửa xong 23/02/2024, Chấp nhận đăng 23/02/2024

## Tóm tắt

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu xác định chiều cao nhỏ nhất của dầm I dự ứng lực (DUL) căng trước sử dụng bê tông chất lượng siêu cao (UHPC) dựa trên công thức tính mô men kháng uốn và mô hình số. Kích thước dầm và mặt cắt ngang của kết cấu nhịp sử dụng cho nghiên cứu này được tham khảo từ tài liệu hướng dẫn thiết kế cầu “LRFD Bridge Design Manual” [1]. Trong đó, dầm I dự ứng lực căng trước nhịp đơn sử dụng bê tông cốt thép có chiều dài 42 m, chiều cao 1,6 m. Nghiên cứu đã tiến hành thay thế vật liệu làm dầm từ bê tông cốt thép thường sang bê tông UHPC sử dụng vật liệu sẵn có tại Việt Nam. Chiều cao dầm khảo sát được thay đổi và giảm dần từ 1,6 m xuống 1,0 m. Nghiên cứu cho thấy, việc phân tích sức kháng uốn của dầm bằng công thức tính và mô hình số cho kết quả tương đương nhau. Khi ứng dụng UHPC cho dầm I DUL căng trước với chiều dài 42 m có thể giảm chiều cao dầm từ 1,6 m xuống còn 1,1 m. Nghiên cứu sẽ mở ra một triển vọng rất lớn trong việc ứng dụng UHPC cho dầm công trình cầu nhịp lớn tại Việt Nam.

*Từ khóa:* bê tông chất lượng siêu cao (UHPC); dầm I dự ứng lực căng trước; kết cấu công trình cầu; sức kháng uốn; mô hình số; phương pháp phần tử hữu hạn; phần mềm ANSYS APDL.

DETERMINATION OF MINIMUM HEIGHT OF PRETENSIONED I-BEAM USING UHPC CONCRETE ACCORDING TO BENDING MOMENT RESISTANCE AND NUMERICAL MODEL

## Abstract

This article presents the results of research on determining the minimum height of pretensioned I-Beam using Ultra-High Performance Concrete (UHPC) based on the bending moment resistance formula and numerical model. The beam's dimensions and the cross-section of the span used for this study are referenced from the bridge design guide “LRFD Bridge Design Manual” [1]. The pretensioned I-Beam uses reinforced concrete with a length of 42 m and a height of 1.6 m. The study was conducted to replace the beam's material from normal reinforced concrete to UHPC concrete using materials available in Vietnam. The height of the survey beam was changed and gradually decreased from 1.6 m to 1.0 m. Research results show that analyzing the bending resistance of beams using calculation formulas and numerical models gives equivalent results. When applying UHPC to a pretensioned I-Beam with a length of 42 m, the beam's height can be reduced from 1.6 m to 1.1 m. This research will open up a great prospect in applying UHPC to beams of large-span bridges in Vietnam.

*Keywords:* ultra-high performance concrete (UHPC); pretensioned I-Beam; bridge structure; bending resistance; numerical model; FEM; Ansys APDL.

[https://doi.org/10.31814/stce.huace2024-18\(1V\)-10](https://doi.org/10.31814/stce.huace2024-18(1V)-10) © 2024 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

\*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: [danhb@huce.edu.vn](mailto:danhb@huce.edu.vn) (Danh, L. B.)

## 1. Giới thiệu

Bê tông chất lượng siêu cao (Ultra-High Performance Concrete - UHPC) là loại bê tông được chế tạo từ hỗn hợp gồm xi măng Poóc lăng, cát nghiền mịn, bột quắc, silica fume, phụ gia siêu dẻo, sợi thép và nước với tỷ lệ nước/chất kết dính rất thấp (thường nhỏ hơn 0,25 tính theo khối lượng) [2, 3]. Trong đó lượng dùng chất kết dính tương đối cao, khoảng 900-1000 kg/m<sup>3</sup>, lượng dùng silica fume thường là 150-250 kg/m<sup>3</sup> (10-30% so với khối lượng xi măng) [4]. Sản phẩm tạo thành có cường độ nén lớn hơn 120 MPa, có thể đạt đến 250 MPa, có cường độ uốn lớn (khi sử dụng cốt sợi phân tán) và độ bền lâu cao [4, 5]. Điều này cho phép khi thiết kế cùng một khả năng chịu lực, kết cấu UHPC có tiết diện nhỏ hơn, nên lượng dùng vật liệu ít hơn, tải trọng bản thân kết cấu nhỏ hơn so với bê tông thường. Các tính chất của UHPC có thể được tối ưu khi sử dụng kết hợp với biện pháp dùng cốt thép ứng suất trước, khi đó sẽ phát huy được tối đa khả năng chịu uốn của UHPC.

UHPC được nghiên cứu và sử dụng rộng rãi trên thế giới cho ngành xây dựng từ những năm cuối thập niên 90 của thế kỷ XX vì tính ưu việt của nó so với bê tông thông thường [6]. Trong đó, ứng dụng UHPC cho công trình cầu là phổ biến nhất [7]. Ứng dụng UHPC cho kết cấu công trình cầu đã được thực hiện ở nhiều quốc gia khác nhau bao gồm Úc, Áo, Canada, Trung Quốc, Cộng hòa Séc, Pháp, Đức, Ý, Nhật Bản, Malaysia, Hà Lan, New Zealand, Slovenia, Hàn Quốc, Thụy Sĩ và Hoa Kỳ [6].

Ở Việt Nam, các nghiên cứu về bê tông UHPC đã được thực hiện trong khoảng 10 năm trở lại đây. Các nghiên cứu tập trung chủ yếu vào thành phần vật liệu và hướng đến sử dụng các vật liệu địa phương để chế tạo UHPC [8–12]. Một số công trình đã tiến hành nghiên cứu ứng dụng UHPC cho kết cấu nhằm nâng cao khả năng chịu lực, độ bền trong môi trường đặc biệt và tải trọng nổ [13–19].

Việc nghiên cứu ứng dụng UHPC cho công trình cầu cũng được quan tâm và thực hiện. Tác giả Phạm Duy Hòa và cs. [20] đã nghiên cứu đề xuất một số tiết diện chữ I định hình cho dầm cầu dự ứng lực căng trước sử dụng vật liệu UHPC sản xuất tại Việt Nam, với các chiều dài nhịp dầm nghiên cứu là 18,6 m, 24,5 m và 33 m. Tác giả Trần Bá Việt và cs. [21] đã tiến hành nghiên cứu ứng dụng bê tông UHPC cho xây dựng cầu tại Việt Nam, với dạng mặt cắt dầm dạng Double Tee, chiều dài nhịp là 16 m và nhịp 20 m ứng suất trước. Nhìn chung, các nghiên cứu trong nước đang tập trung vào dầm giản đơn, với chiều dài nhịp phổ biến không vượt quá 33 m.

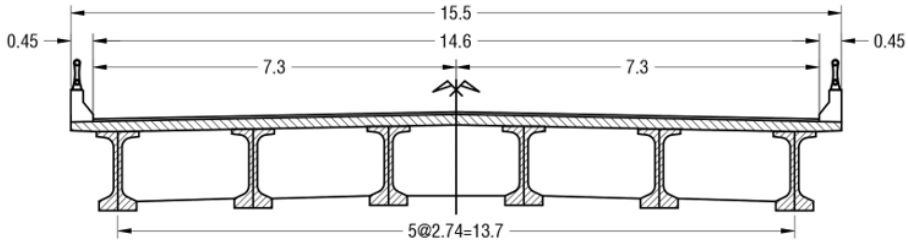
Với những tính năng vượt trội của UHPC so với bê tông thường, việc sử dụng UHPC để tăng chiều dài nhịp, giảm chiều cao dầm cầu là rất phù hợp và có tính khả thi cao. Mục tiêu của nghiên cứu này là đề xuất ứng dụng UHPC cho dầm cầu giản đơn nhịp 42 m, tiết diện chữ I dự ứng lực (DUL) căng trước chịu hoạt tải thiết kế HL93, qua đó tối ưu hóa chiều cao dầm đảm bảo khả năng chịu uốn khi sử dụng bê tông UHPC được chế tạo từ các vật liệu sẵn có ở Việt Nam. Sức kháng uốn của dầm được xác định bằng công thức tính toán và kiểm nghiệm kết quả thông qua mô hình số phần tử hữu hạn dựa trên nghiên cứu [19].

## 2. Kết cấu công trình cầu nghiên cứu

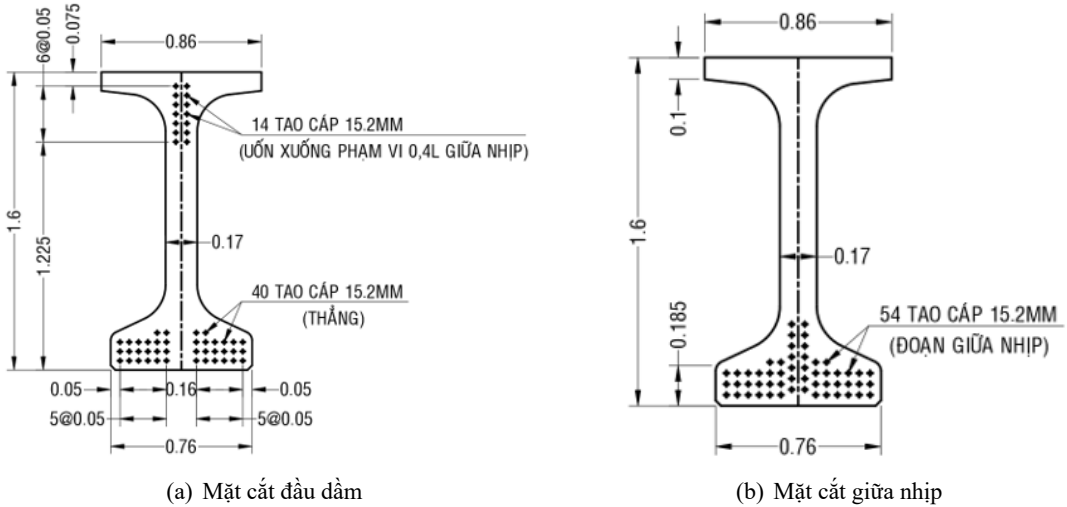
### 2.1. Đặc điểm cấu tạo

Kết cấu cầu sử dụng cho nghiên cứu này được chọn từ tài liệu hướng dẫn thiết kế cầu “LRFD Bridge Design Manual” [1]. Cầu được thiết kế theo tiêu chuẩn AASHTO LRFD với các thông số như sau: bề rộng cắt ngang cầu 15,5 m, gồm 4 làn xe, trên mặt cắt ngang bố trí 06 dầm chủ cách nhau 2,74 m, bản mặt cầu bằng BTCT thường dày 0,215 m (Hình 1). Dầm cầu sử dụng dầm I BTCT DUL căng trước nhịp giản đơn dài 42 m, chiều cao 1,6 m, sử dụng 54 tao cáp loại 15,2 mm (Hình 2). Tải trọng thiết kế là hoạt tải HL93.

Các thông số vật liệu sử dụng cho kết cấu dầm và bản mặt cầu được sử dụng theo hướng dẫn thiết kế cầu “LRFD Bridge Design Manual” [1] và được trình bày ở Bảng 1.



Hình 1. Mặt cắt ngang cầu [1]



Hình 2. Mặt cắt ngang dầm I42 [1]

Bảng 1. Vật liệu sử dụng cho dầm và bản mặt cầu [1]

TT	Thành phần	Đơn vị	Giá trị
1	Bê tông bản mặt cầu		
	Cường độ chịu nén $f'_c$	MPa	28
	Mô đun đàn hồi $E$	MPa	25.125
2	Bê tông dầm		
	Cường độ chịu nén $f'_c$	MPa	62
	Mô đun đàn hồi $E$	MPa	33.000
3	Thép DU $\bar{L}$		
	Cường độ chịu kéo giới hạn $f_{pu}$	MPa	1.860
	Mô đun đàn hồi $E_p$	MPa	196.500
	Đường kính tạo cáp	mm	15,2

Trên cơ sở mặt cắt ngang cầu và cấu tạo dầm đã chọn, tiến hành thay thế vật liệu bê tông dầm bằng vật liệu UHPC. Do đặc tính cơ học vượt trội của UHPC, chiều cao dầm có xu hướng giảm, vì vậy, nghiên cứu sẽ khảo sát dầm ứng với các chiều cao khác nhau, biến thiên từ 1,6 m đến 1,0 m với mức giảm chiều cao là 0,1 m.

2.2. Vật liệu nghiên cứu

Ở Việt Nam, đã có nhiều công trình nghiên cứu về thành phần vật liệu chế tạo UHPC. Các kết quả nghiên cứu đều chỉ ra rằng, hoàn toàn có thể dùng xi măng, tro bay, xi lò cao nghiền mịn, bột đá vôi, cát mịn địa phương, cát quartz, bột quartz ở trong nước để chế tạo UHPC [8–12].

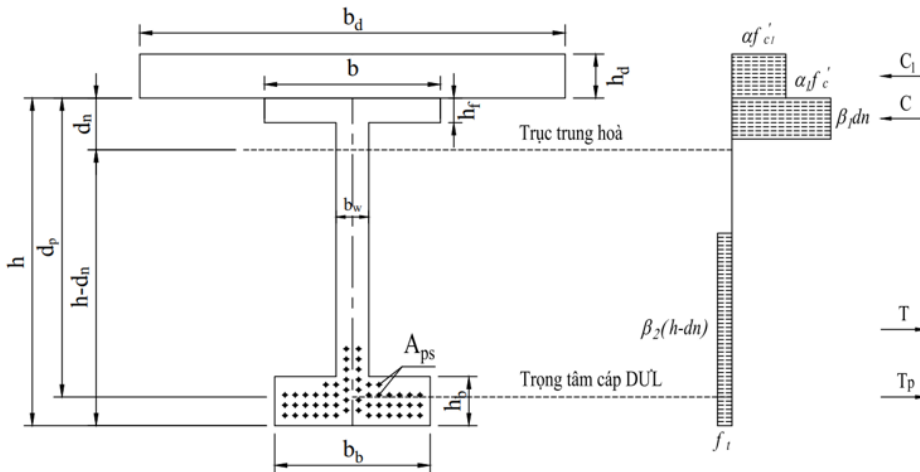
Trong nghiên cứu này, sử dụng vật liệu UHPC với thành phần vật liệu chủ yếu trong nước, được nghiên cứu thành công tại trường đại học Xây dựng Hà Nội thông qua chương trình nghiên cứu KH&CN cấp Bộ “Nghiên cứu ứng dụng bê tông chất lượng siêu cao trong xây dựng cầu quy mô nhỏ và trung bình” do TS. Phạm Duy Hoà làm chủ nhiệm chương trình [15] và được gọi là NUCE-UHPC. Cấp phối bê tông NUCE-UHPC phục vụ thí nghiệm được trình bày ở Bảng 2 [20]. Cường độ chịu nén của NUCE-UHPC là  $f'_c = 120$  MPa, mô đun đàn hồi  $E = 42$  GPa, hệ số Poisson 0,209.

Bảng 2. Cấp phối vật liệu NUCE-UHPC [20]

Thành phần vật liệu cho 1 m <sup>3</sup> UHPC (kg)						
Sợi thép	Cát nghiền	Xi măng	SF	GGBFS	SP	Nước
158	1100	770	110	220	8,25	176

3. Tính toán khả năng chịu uốn của dầm UHPC DUL

Tính toán khả năng chịu uốn dầm chữ I DUL bằng vật liệu UHPC dựa trên biểu đồ phân bố ứng suất khối chữ nhật tương đương trên tiết diện ngang của dầm, đây là kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả khi thực hiện đề tài luận án tiến sĩ “Nghiên cứu ứng xử uốn dầm cầu dự ứng lực sử dụng bê tông chất lượng siêu cao (UHPC) chế tạo tại Việt Nam”. Biểu đồ phân bố ứng suất trên mặt cắt được trình bày ở Hình 3.



Hình 3. Biểu đồ phân bố ứng suất khối chữ nhật

Từ biểu đồ phân bố ứng suất khối chữ nhật trình bày ở Hình 3, công thức xác định vị trí trục trung hoà  $d_n$  và khả năng chịu uốn của dầm  $M_n$  tương ứng theo biểu thức (1) và (2) như sau:

$$d_n = \frac{A_{ps} f_{pu} + [(b_b - b_w) h_b + b_w \beta_2 h] f_t - \alpha_1 f'_c (b - b_w) h_f - 0.85 f'_{c1} b_d h_d}{\alpha_1 f'_c \beta_1 b_w + k A_{ps} \frac{f_{pu}}{d_p} + f_t b_w \beta_2} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
 M_n = & A_{ps}f_{ps}\left(d_p - \frac{\beta_1 d_n}{2}\right) + f_t(b_b - b_w)h_b\left(h - \frac{h_b}{2} - \frac{\beta_1 d_n}{2}\right) \\
 & + f_t\beta_2(h - d_n)b_w\left(h - \frac{\beta_2(h - d_n)}{2} - \frac{\beta_1 d_n}{2}\right) \\
 & + \alpha_1 f'_c(b - b_w)h_f\left(\frac{\beta_1 d_n}{2} - \frac{h_f}{2}\right) + 0,85f'_{c1}b_d h_d \frac{(h_d + \beta_1 d_n)}{2}
 \end{aligned} \tag{2}$$

trong đó  $A_{ps}$  là diện tích cốt thép dự ứng lực ( $\text{mm}^2$ );  $f_{pu}$  là cường độ chịu kéo quy định của thép dự ứng lực (MPa);  $f_{py}$  là giới hạn chảy của thép dự ứng lực (MPa);  $b$  là chiều rộng có hiệu của bản cánh chịu nén (mm);  $b_w$  là chiều rộng của bản bụng (mm);  $b_b$  là chiều rộng của bản cánh chịu kéo (mm);  $h_f$  là chiều dày bản cánh chịu nén (mm);  $h_b$  là chiều dày bản cánh chịu kéo (mm);  $d_p$  là khoảng cách từ thớ ngoài cùng chịu nén đến trọng tâm các bó cáp dự ứng lực (mm);  $d_n$  là khoảng cách từ trục trung hoà đến thớ ngoài cùng chịu nén của dầm I (mm);  $\alpha_1, \beta_1$  là các hệ số quy đổi hình khối ứng suất hình chữ nhật tương đương vùng chịu nén ( $\alpha_1 = 0,763, \beta_1 = 0,73$ );  $\beta_2$  là hệ số quy đổi hình khối ứng suất hình chữ nhật tương đương vùng chịu kéo ( $\beta_2 = 0,693$ ).

Việc giảm chiều cao dầm ngoài ảnh hưởng đến khả năng chịu lực còn liên quan đến độ võng của dầm do hoạt tải, vì vậy trong phần này sẽ tiến hành kiểm tra độ võng của dầm do hoạt tải so với độ võng cho phép theo tiêu chuẩn (L/800). Kết quả tính toán được trình bày ở Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả tính toán khả năng chịu uốn và độ võng

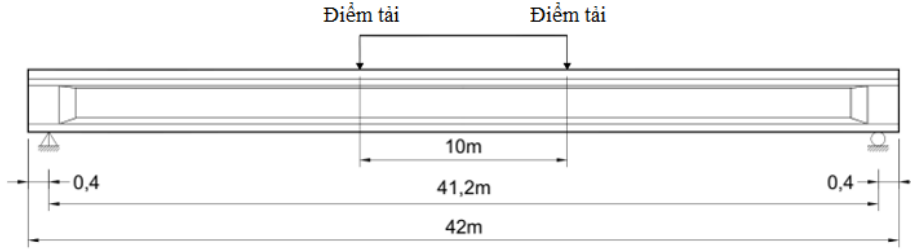
TT	Thành phần	Ký hiệu	Giá trị						
1	Chiều cao dầm (m)	$h$	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
2	Mô men TTGH cường độ (kN.m)	$M_u$	15527	15421	15315	15209	15103	14996	14890
3	Vị trí trục TH so với mép chịu nén dầm (m)	$d_n$	0,253	0,245	0,237	0,229	0,220	0,210	0,200
4	Vị trí trục TH so với mép chịu nén BMC (m)	$d_n + h_d$	0,468	0,460	0,452	0,444	0,435	0,425	0,415
5	Khả năng chịu uốn (kN.m)	$M_n$	25989	24065	22151	20248	18358	16480	14618
6	Kết luận chịu uốn		“Đạt”	“Đạt”	“Đạt”	“Đạt”	“Đạt”	“Đạt”	“Không đạt”
7	Độ võng do hoạt tải (m)	$D$	0,022	0,025	0,029	0,034	0,040	0,048	0,059
8	Độ võng cho phép (m)	L/800	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053
9	Kết luận độ võng		“Đạt”	“Đạt”	“Đạt”	“Đạt”	“Đạt”	“Đạt”	“Không đạt”

Kết quả tính toán cho thấy, dầm có chiều cao 1,1 m là giá trị chiều cao thấp nhất vừa đảm bảo khả năng chịu uốn vừa đảm bảo yêu cầu về giới hạn độ võng theo tiêu chuẩn. Điều này khẳng định rằng, khi sử dụng vật liệu UHPC thay thế bê tông thường, có thể giảm chiều cao dầm từ 1,6 m xuống còn 1,1 m khi phân tích theo mô men kháng uốn và điều kiện về độ võng.

#### 4. Mô hình số phân tích khả năng chịu uốn của dầm UHPC DƯ L

Mô hình phi tuyến vật liệu và kết cấu dầm thí nghiệm UHPC được xây dựng bằng phần mềm ANSYS APDL. Trong nghiên cứu này, việc mô phỏng ứng xử cơ học vật liệu UHPC sẽ sử dụng tổ hợp của hai bề mặt ở trạng thái phá hoại. Một bề mặt biểu diễn ứng xử kéo được gọi là bề mặt Drucker – Prager trong kéo, một bề mặt khác được gọi là bề mặt nén Drucker – Prager để biểu diễn ứng xử khi nén [19, 22].

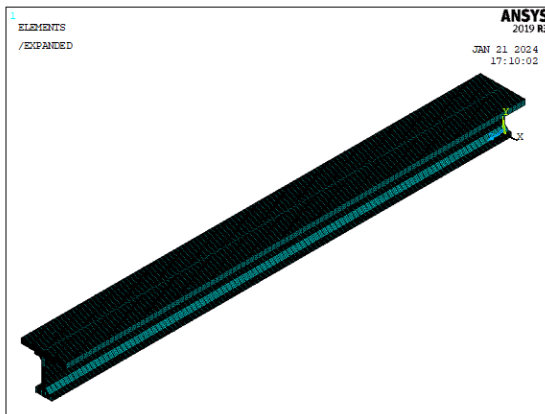
Mô hình hóa tải trọng gia tải thí nghiệm để xác định khả năng chịu uốn của dầm dựa vào phương pháp thực nghiệm dầm I42 của tác giả Jalairov và cs. [23] và được trình bày ở Hình 4.



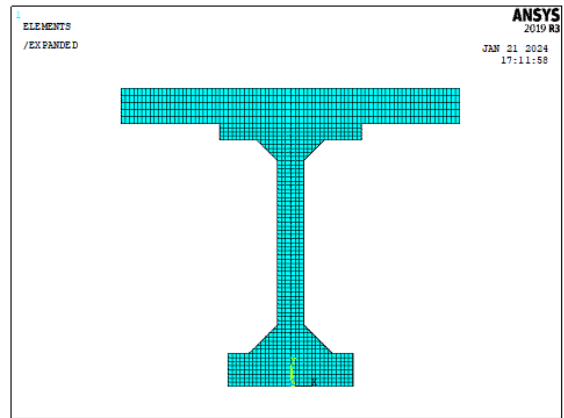
Hình 4. Bố trí gia tải thí nghiệm dầm I42

#### 4.1. Kết quả mô hình hóa dầm I42 UHPC DƯỠ

Mô hình phần tử hữu hạn (FEM) cho kết cấu dầm tiết diện chữ I42 UHPC DƯỠ được thực hiện cho 07 loại chiều cao dầm khác nhau, phần tử mô hình bao gồm dầm, bản mặt cầu và cốt thép dự ứng lực. Kết quả mô hình hoá dầm được trình bày ở Hình 5.



(a) Mô hình 3D 1/2 chiều dài dầm I42 UHPC



(b) Cắt ngang dầm I42

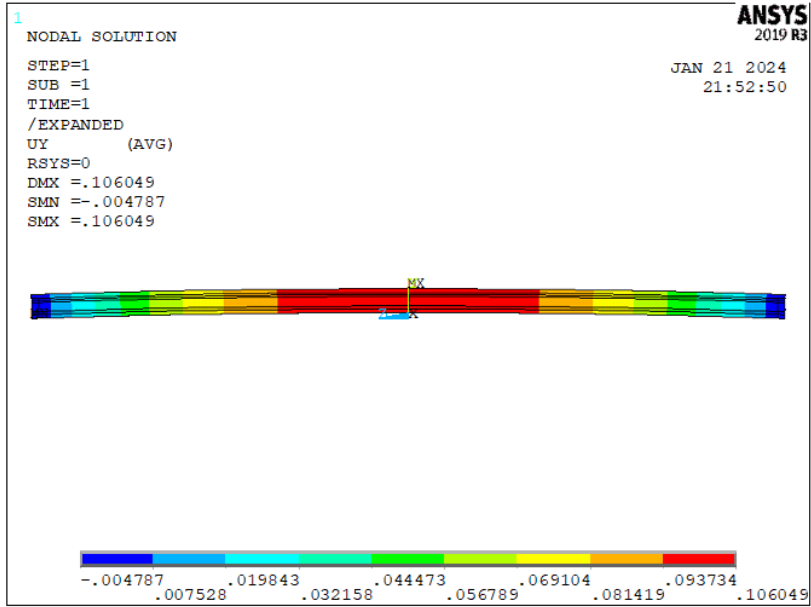
Hình 5. Mô hình hoá kết cấu dầm I42 UHPC DƯỠ

#### 4.2. Kết quả mô hình ứng suất trước cho dầm I42 UHPC

Sau khi cắt cáp dự ứng lực, lực dự ứng lực sẽ truyền ứng suất nén lên vùng bê tông ở thớ dưới dầm gây ra hiện tượng vồng ngược như ở Hình 6 cho dầm có chiều cao 1,1 m, giá trị độ vồng ngược do DƯỠ thu được từ mô hình số tương ứng với từng loại chiều cao dầm được trình bày ở Bảng 4.

Bảng 4. Độ vồng dầm sau khi cắt cáp DƯỠ

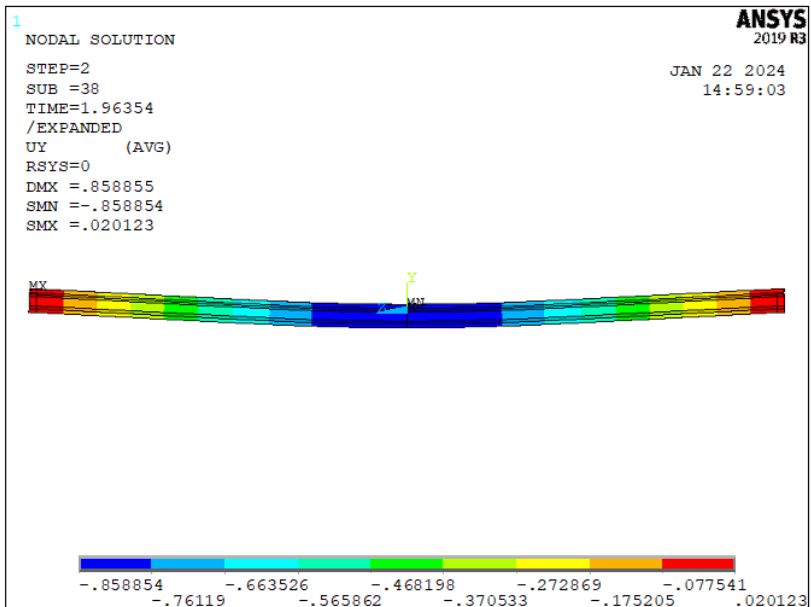
TT	Thành phần	Đơn vị	Giá trị						
1	Chiều cao dầm	m	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
2	Độ vồng	m	0,088	0,092	0,096	0,100	0,103	0,106	0,108



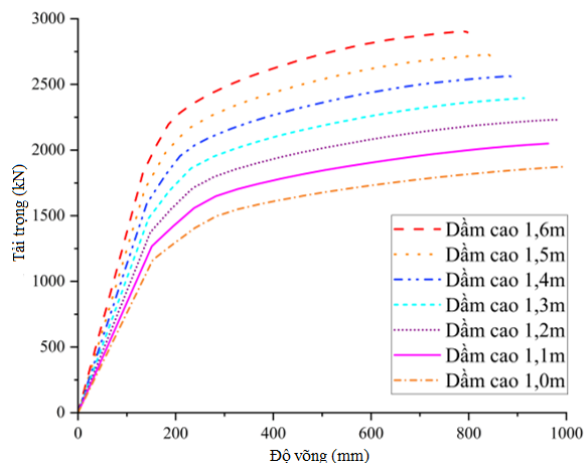
Hình 6. Độ võng dầm I42-UHPC cao 1,1 m sau khi cắt cáp

#### 4.3. Phân tích độ võng và khả năng chịu uốn của dầm

Quá trình mô hình hóa gia tải thí nghiệm dầm sẽ thu được đường quan hệ tải trọng và độ võng dầm tại giữa nhịp, dựa trên mối quan hệ này có thể xác định được thời điểm bắt đầu hình thành vết nứt và giá trị tải trọng lớn nhất, từ đó xác định khả năng chịu uốn của dầm. Phân tích độ võng dầm được thực hiện cho 7 dầm có chiều cao khác nhau. Kết quả phân tích độ võng dầm I42 cao 1,1 m được trình bày ở Hình 7 ứng với giá trị độ võng cực đại trước khi dầm bị phá hủy là 0,858 m. Biểu đồ quan hệ tải trọng và độ võng của 7 dầm có chiều cao khác nhau được tổng hợp và trình bày ở Hình 8.



Hình 7. Độ võng dầm I42-UHPC cao 1,1 m khi gia tải cực đại



Hình 8. Tải trọng - độ võng dầm I42-UHPC ứng với các chiều cao dầm khác nhau

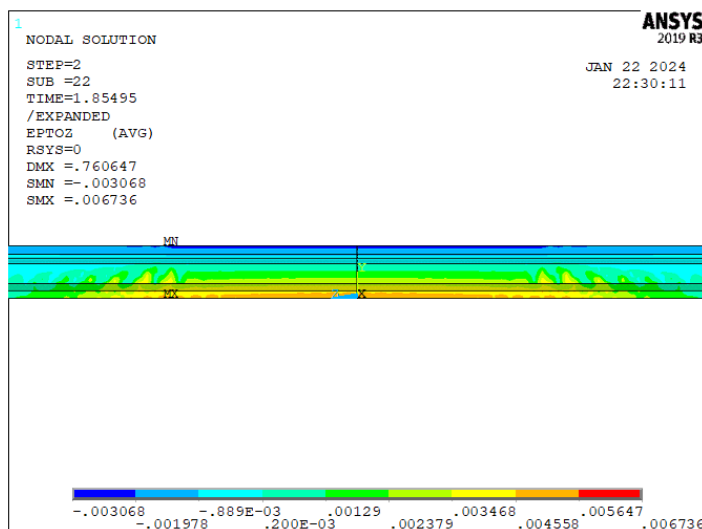
Dựa vào biểu đồ quan hệ tải trọng - độ võng như trình bày ở Hình 8, ta xác định giá trị tải trọng gia tải lớn nhất khi dầm bắt đầu bị phá hủy, từ đó xác định được khả năng chịu uốn lớn nhất của mỗi dầm và được trình bày ở Bảng 5.

Bảng 5. Kết quả khả năng chịu uốn từ phân tích mô hình số

TT	Thành phần	Đơn vị	Giá trị						
1	Chiều cao dầm	m	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
2	Khả năng chịu uốn	kN.m	24926	23393	21989	20555	18452	16949	15488

#### 4.4. Phân tích biến dạng và vị trí trục trung hòa tại giữa nhịp dầm I42

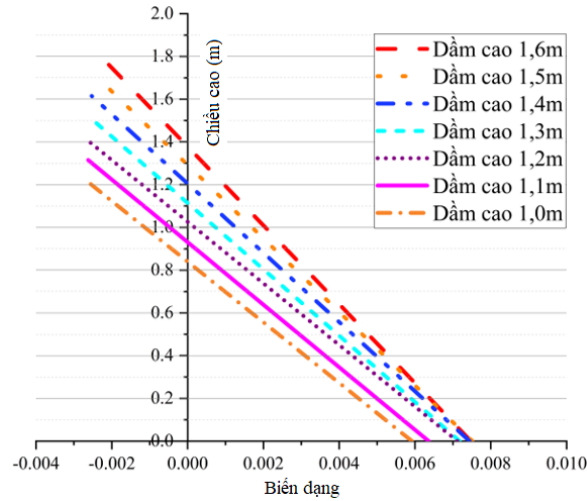
Tiến hành phân tích quá phân tích biến dạng trên tiết diện ngang dầm tại giữa nhịp bao gồm biến dạng tại đáy dầm và biến dạng tại mép trên bản mặt cầu. Kết quả biến dạng dầm I42 cao 1,1 m được trình bày ở Hình 9, trong đó, giá trị biến dạng kéo ở thớ dưới là 0,07 và biến dạng kéo ở thớ trên là 0,03.



Hình 9. Biến dạng dầm I42-UHPC cao 1,1 m khi gia tải cực đại



Phân tích tương tự cho 7 dầm có chiều cao khác nhau, thu được các giá trị biến dạng tương ứng và được thể hiện ở biểu đồ Hình 10.



Hình 10. Biến dạng dầm I42-UHPC khi gia tải cực đại

Kết quả phân tích trên biểu đồ cho thấy hầu hết các dầm, biến dạng nén ở thớ ngoài cùng chịu nén đạt xấp xỉ 0,003 trong khi biến dạng kéo ở thớ ngoài cùng chịu kéo đạt trên 0,005. Điều này thể hiện dầm sẽ bị phá hủy ở vùng kéo.

Dựa vào số liệu phân tích biến dạng, xác định vị trí trục trung hòa so với mép ngoài cùng chịu nén tại mặt cắt giữa nhịp ứng với khả năng chịu uốn của dầm và được tổng hợp ở Bảng 6.

Bảng 6. Kết quả vị trí trục trung hòa từ mô hình số

TT	Thành phần	Đơn vị	Giá trị						
1	Chiều cao dầm	m	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
2	Vị trí trục trung hòa	m	0,461	0,455	0,443	0,436	0,430	0,423	0,409

### 5. Đánh giá kết quả từ công thức và mô hình số dầm UHPC DƯỠI I42

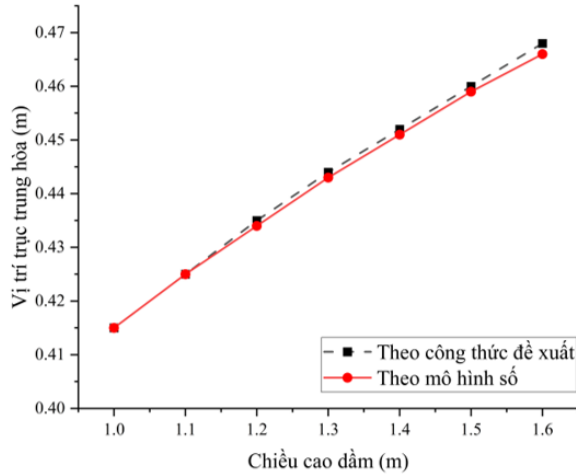
Từ kết quả tính toán khả năng chịu uốn bằng công thức và mô hình số, ta tiến so sánh và đánh giá kết quả dựa trên hai giá trị là vị trí trục trung hòa và khả năng chịu uốn của dầm. Biểu đồ thể hiện vị trí trục trung hòa ứng với các chiều cao dầm khác nhau được trình bày ở Hình 11.

Kết quả so sánh giá trị vị trí trục trung hòa giữa công thức tính toán và mô hình số được trình bày ở Bảng 7.

Bảng 7. Kết quả so sánh giá trị vị trí trục trung hòa

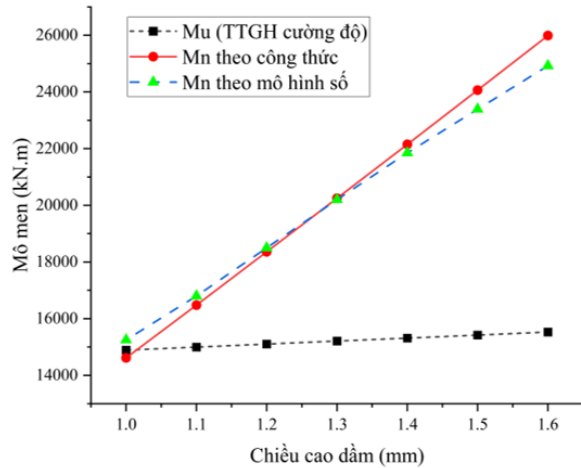
TT	Thành phần	Đơn vị	Giá trị						
1	Chiều cao dầm	m	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
2	Trục TH theo công thức	m	0,468	0,460	0,452	0,444	0,435	0,425	0,415
3	Trục TH theo mô hình số	m	0,466	0,459	0,451	0,443	0,434	0,425	0,415
4	Chênh lệch	%	0,43	0,22	0,22	0,23	0,23	0,00	0,00

Kết quả so sánh giá trị trục trung hòa cho thấy có sự tương đồng giữa công thức tính toán chiều cao trục trung hòa đã đề xuất và mô hình số, khi chiều cao dầm càng lớn thì độ lệch giữa hai giá trị này tăng lên, tuy nhiên chênh lệch này là chấp nhận được khi kết quả chênh lệch chỉ là 0,43%.



Hình 11. So sánh vị trí trục trung hòa

Khả năng chịu uốn của dầm xác định bằng mô hình số và công thức tính toán được so sánh và trình bày ở biểu đồ Hình 12. Kết quả hiển thị trên biểu đồ cho thấy giá trị khả năng chịu uốn ( $M_n$ ) tính bằng công thức phù hợp với kết quả phân tích bằng mô hình số. Trong đó, dầm có chiều cao 1,1 m có khả năng chịu uốn phù hợp nhất, và có thể kết luận khi sử dụng UHPC cho dầm cầu I42 DUL có thể giảm chiều cao dầm từ 1,6 m xuống còn 1,1 m. Kết quả so sánh giá trị khả năng chịu uốn giữa công thức tính toán và mô hình số được trình bày ở Bảng 8.



Hình 12. So sánh khả năng chịu uốn của dầm

Bảng 8. Kết quả so sánh giá trị khả năng chịu uốn  $M_n$

TT	Thành phần	Đơn vị	Giá trị						
1	Chiều cao dầm	M	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
2	Mn theo công thức	kN.m	25989	24065	22151	20248	18358	16480	14618
3	Mn theo mô hình số	kN.m	24926	23393	21850	20210	18502	16849	15250
4	Chênh lệch	%	4,26	2,87	1,38	0,19	-0,78	-2,19	-4,14

Kết quả so sánh ở Bảng 8 cho thấy, giá trị tính toán khả năng chịu uốn dầm theo công thức chênh lệch so với giá trị thu được từ mô hình số không quá 5%. Đồng thời, ứng với chiều cao dầm đã chọn là 1,1 m, kết quả tính toán bằng công thức thấp hơn so với kết quả phân tích bằng mô hình số. Điều này thể hiện giá trị  $M_n$  tính từ công thức tính toán đảm bảo độ tin cậy và thiên về an toàn.

## 6. Kết luận

Nghiên cứu đã trình bày kết quả ứng dụng vật liệu UHPC cho dầm cầu. Khi sử dụng UHPC có thành phần vật liệu chế tạo trong nước để chế tạo dầm cầu nhịp giản đơn dài 42 m, tiết diện chữ I DUL căng trước có thể giảm chiều cao dầm từ 1,6 m xuống còn 1,1 m. Điều này đã khẳng định rằng, có thể sử dụng vật liệu UHPC trong nước để chế tạo dầm cầu cho hiệu quả về khả năng chịu lực và giảm chiều cao kết cấu.

Nghiên cứu cũng đã trình bày kết quả thiết kế uốn dầm cầu UHPC DUL bằng công thức tính toán khả năng chịu uốn  $M_n$  và mô hình số theo phương pháp phần tử hữu hạn trong không gian 3 chiều. Khi so sánh kết quả khả năng chịu uốn dầm thu được từ công thức tính toán và mô hình số cho thấy có sự tương đồng rất lớn và giá trị chênh lệch kết quả là dưới 5%, điều này khẳng định công thức tính toán và mô hình số đảm bảo độ tin cậy và có thể áp dụng vào thực tế tính toán dầm cầu UHPC DUL căng trước.

Kết quả nghiên cứu này chỉ tập trung nghiên cứu về sức kháng uốn của dầm ở trạng thái giới hạn cường độ và độ võng của dầm khi chịu tải, nội dung nghiên cứu về ứng suất cho phép trong dầm ở trạng thái giới hạn sử dụng sẽ được thực hiện trong các bước nghiên cứu tiếp theo.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Minnesota Department of Transportation - MnDOT (2017). *LRFD Bridge Design Manual*. Bridge Office, USA.
- [2] Yu, R., Spiesz, P., Brouwers, H. J. H. (2014). [Mix design and properties assessment of Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete \(UHPRFC\)](#). *Cement and Concrete Research*, 56:29–39.
- [3] Wu, Z., Shi, C., He, W., Wu, L. (2016). [Effects of steel fiber content and shape on mechanical properties of ultra high performance concrete](#). *Construction and Building Materials*, 103:8–14.
- [4] An, L. H., Bảo, B. T. (2020). Nghiên cứu đánh giá tổng quan các đặc tính cơ học của bê tông chất lượng siêu cao UHPC - Kinh nghiệm từ Cộng hoà Liên bang Đức. *Tạp chí Giao thông Vận tải, Bộ Giao thông Vận tải*, 77–82.
- [5] Graybeal, B. A. (2006). *Material Property Characterization of Ultra-High Performance Concrete*. Tech Report.
- [6] Voo, Y. L., Foster, S., Pek, L. G. (2017). Ultra-high performance concrete—technology for present and future. *Proceedings of the High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet, Maastricht, The Netherlands*, 12–14.
- [7] Azmeem, N. M., Shafiq, N. (2018). [Ultra-high performance concrete: From fundamental to applications](#). *Case Studies in Construction Materials*, 9:e00197.
- [8] Hữu, P. D., Sang, N. T., Anh, P. D., Kha, N. L. (2011). Nghiên cứu vật liệu chế tạo bê tông cường độ siêu cao (UHPC). *Tạp chí Giao thông Vận Tải, Bộ Giao thông Vận tải*, 7:15–18.
- [9] Thắng, N. C., Tuấn, N. V., Hanh, P. H. (2012). Nghiên cứu chế tạo bê tông chất lượng siêu cao sử dụng vật liệu sẵn có ở Việt Nam. *Tạp chí Xây dựng*, 71–74.
- [10] Thắng, N. C., Thắng, N. T., Hanh, P. H., Tuấn, N. V., Thành, L. T., Lâm, N. T. (2013). Nghiên cứu chế tạo bê tông chất lượng siêu cao sử dụng silica fume và xỉ lò cao hạt hóa nghiền mịn ở Việt Nam. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD) - ĐHXD*, 15(3):83–92.
- [11] Ân, V. V. T., Long, H. V., Tuấn, N. K. (2016). Chế tạo bê tông chất lượng siêu cao sử dụng hỗn hợp phụ gia tro trấu - xỉ lò cao. *Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây dựng*, 4:118–122.
- [12] Tuấn, N. V., Thắng, N. C., Hanh, P. H. (2015). Nghiên cứu chế tạo bê tông cường độ siêu cao sử dụng phụ gia khoáng thay thế một phần xi măng ở Việt Nam hướng tới phát triển bền vững. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD)-ĐHXDHN*, 24:11–18.

- [13] Danh, L. B., Hòa, P. D., Thắng, N. C., Linh, N. Đ., Dung, B. T. T., Lộc, B. T., Đạt, Đ. V. (2019). [Nghiên cứu thực nghiệm khả năng chịu tác động tải trọng nổ của vật liệu bê tông chất lượng siêu cao \(UHPC\)](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXD*, 13(3V):12–21.
- [14] Pham, D. H., Le, B. D., Nguyen, C. T., Tran, H. T. (2020). Modeling the fracture behavior of Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete slabs under contact Blast Loading. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 869(5):052079.
- [15] Hà, N. B., Hòa, P. D., Tuấn, N. Q., Danh, L. B., Tuyền, N. N., Bảo, N. Q. (2019). [Phân tích và đánh giá xu hướng ứng dụng vật liệu bê tông chất lượng siêu cao trong xây dựng cầu quy mô nhỏ và trung bình ở Việt Nam](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXD*, 13(3V):1–11.
- [16] Hung, C. V., Phúc, N. Đ., Thắng, N. C., Tuyền, N. N., Hoà, P. D. (2018). [Dự báo sức kháng uốn của dầm bê tông chất lượng siêu cao \(UHPC\)](#). *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE) - NUCE*, 12(4):1–13.
- [17] Việt, T. B., Long, L. M. (2020). *Nghiên cứu giải pháp kết cấu lắp ghép sử dụng bê tông tính năng cao cho công trình xây dựng trên đảo*. Hà Nội.
- [18] Pham, H. D., Khuc, T., Nguyen, T. V., Cu, H. V., Le, D. B., Trinh, T. P. (2020). [Investigation of flexural behavior of a prestressed girder for bridges using nonproprietary UHPC](#). *Advances in Concrete Construction*, 10(1):71.
- [19] Tuấn, N. Q., Hòa, P. D., Hà, N. B., Danh, L. B., Tùng, K. Đ. (2022). [Nghiên cứu đánh giá sức kháng uốn của bê tông chất lượng siêu cao: thực nghiệm và mô hình số](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 16(2V):1–13.
- [20] Hòa, P. D., Tùng, K. Đ., Phát, N. T., Hùng, N. M., Danh, L. B., Thắng, N. C. (2020). [Đề xuất một số tiết diện chữ I định hình cho dầm cầu dự ứng lực căng trước sử dụng vật liệu UHPC sản xuất tại Việt Nam](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXD*, 14(2V):1–13.
- [21] Việt, T. B., Phúc, L. H., Hùng, L. T. (2022). Nghiên cứu ứng dụng bê tông siêu tính năng - UHPC cho xây dựng cầu tại Việt Nam. *Tạp chí Xây dựng*, 8:64–69.
- [22] ANSYS Inc (2019). *ANSYS help system: version 19.2*. Canonsburg.
- [23] Jalairov, A., Kumar, D., Kassymkanova, K.-K., Sarsembekova, Z., Nuruldaeva, G., Jangulova, G. (2022). [Structural Behavior of Prestressed Concrete Bridge Girder with Epoxy Joint](#). *Communications - Scientific letters of the University of Zilina*, 24(2):D59–D71.