

# NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG BÊTÔNG GEOPOLYMER CHO CẦU DẦM LIÊN TỤC BÊTÔNG CỐT THÉP DỰ ỨNG LỰC

Nguyễn Bình Hà<sup>a</sup>, Nguyễn Quốc Bảo<sup>a,\*</sup>, Vũ Thành Quang<sup>a</sup>

<sup>a</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 14/4/2023, Sửa xong 05/5/2023, Chấp nhận đăng 05/5/2023*

## Tóm tắt

Khi nguồn phế thải công nghiệp (tro bay và xỉ lò cao) từ các nhà máy nhiệt điện và ngành công nghiệp luyện kim ngày càng gia tăng thì nhu cầu xử lý các phế thải này cũng ngày một lớn. Hiện nay, các phế thải này chủ yếu được chôn lấp và chỉ một phần rất nhỏ được tái chế. Do vậy, ứng dụng bê tông geopolimer sử dụng chất kết dính thân thiện với môi trường (tro bay, xỉ lò cao và chất hoạt hóa) mà không sử dụng xi măng poóc lăng truyền thống hiện đang được quan tâm nghiên cứu. Các nghiên cứu gần đây đều chỉ ra rằng loại bê tông này có nhiều đặc tính cơ lý tương tự như bê tông sử dụng xi măng poóc lăng truyền thống, ngoài ra nó còn có một số tính chất ưu việt hơn về co ngót ít, từ biến thấp, khả năng chống ăn mòn cao,... Bài báo này đề cập đến khả năng ứng dụng bê tông geopolimer trong thiết kế và xây dựng dầm cầu dự ứng lực nhịp liên tục.

*Từ khóa:* geopolimer, tro bay, xỉ lò cao, cầu, cường độ nén, mô đun đàn hồi.

## STUDY ON THE APPLICATION OF GEOPOLYMER CONCRETE FOR PRESTRESSED CONTINUOUS BRIDGE

### Abstract

As the amount of industrial waste (fly ash and blast furnace slag) from thermal power plants and metallurgical industry increases, the need to treat these wastes is also growing. Currently, these wastes are mainly buried and only a very small portion is recycled. Therefore, the application of geopolimer concrete using environmentally friendly binders (fly ash, blast furnace slag, and activators) without using traditional portland cement is being researched and focused on. Recent studies have shown that this concrete exhibits many mechanical and physical properties similar to ordinary portland cement, in addition to having some superior properties such as low shrinkage, low creep, and high resistance to corrosion. This article discusses the potential application of geopolimer concrete in the design and construction of continuous prestressed concrete girder bridge.

*Keywords:* geopolimer; fly ash; blast furnace slag; bridge; compressive strength; modulus of elasticity.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce2023-17\(2V\)-03](https://doi.org/10.31814/stce.huce2023-17(2V)-03) © 2023 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

## 1. Giới thiệu

Ở Việt Nam, với nhu cầu sử dụng năng lượng ngày càng tăng và để đáp ứng các yêu cầu của thời đại công nghiệp hóa và hiện đại hóa, ngành năng lượng nhiệt điện cùng với ngành thủy điện và tua bin khí, năng lượng tái tạo đã đóng góp một lượng lớn năng lượng, trong đó năng lượng điện từ than (nhiệt điện than) chiếm tới 51,9% tổng sản lượng điện sản xuất trên toàn hệ thống của Tập đoàn điện lực Việt Nam [1]. Tuy nhiên, mặt trái của sự phát triển ngành công nghiệp năng lượng điện than này cũng như của các nhà máy công nghiệp luyện kim là sự xuất hiện các sản phẩm phế thải với khối lượng

\*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: [baonq@huce.edu.vn](mailto:baonq@huce.edu.vn) (Bảo, N. Q.)

lớn cần được xử lý, đó là tro bay và xỉ lò cao; các phế phẩm này được tái sử dụng không nhiều, phần lớn được chôn lấp tại các bãi chứa [2–4]. Ngoài việc là nguy cơ gây ô nhiễm đất và nguồn nước trong một thời gian rất dài, việc chôn lấp cũng đồng thời chiếm một diện tích đất rộng hàng nghìn hecta cho bãi rác, nhất là khi Việt Nam có kế hoạch đến năm 2030 sẽ có gần 80 nhà máy nhiệt điện [5]. Vì vậy, việc tái sử dụng các phế phẩm như tro bay và xỉ lò cao trở nên rất cấp thiết ở Việt Nam với mục tiêu giải quyết vấn đề ô nhiễm môi trường và cung cấp nguồn vật liệu cho các ngành công nghiệp khác, đặc thù là ngành xây dựng và giao thông. Các công trình xây dựng và giao thông hiện nay chủ yếu sử dụng xi măng poóc lăng truyền thống (Ordinary Portland Cement: OPC) làm nguyên liệu để sản xuất bê tông. Tuy nhiên, việc sản xuất và sử dụng loại xi măng này lại gây ra nhiều tác động xấu đến môi trường. Theo các nghiên cứu, ngành sản xuất xi măng chiếm khoảng 5-7% tổng lượng khí thải toàn cầu [2, 4, 6], gây ảnh hưởng đến tầng ozon, tăng hiệu ứng nhà kính và làm biến đổi khí hậu (trong khi Việt Nam là một trong những nước chịu ảnh hưởng nặng nề nhất của biến đổi khí hậu [7]). Ngoài ra, việc sản xuất xi măng poóc lăng truyền thống đòi hỏi sử dụng lượng lớn nguyên liệu, tài nguyên thiên nhiên và hầu như không tái sử dụng các phế phẩm công nghiệp như tro bay và xỉ lò cao. Điều này gây ảnh hưởng đến môi trường và làm giảm tính bền vững của ngành xây dựng.

Bê tông Geopolymer (GeoPolymer Concrete: GPC) là bê tông sử dụng chất kết dính geopolymer (được coi là chất kết dính thân thiện với môi trường) được tạo thành từ các hợp chất giàu aluminosilicat (tro bay, xỉ lò cao, mêtacac, ...) được hoạt hóa trong môi trường kiềm. Chất kết dính geopolymer có cấu trúc được hình thành từ liên kết của các polymer [8–10]. Quá trình sản xuất bê tông geopolymer tạo ra ít khí thải hơn so với quá trình sản xuất bê tông truyền thống và do vậy giúp giảm lượng khí thải CO<sub>2</sub>. Hơn nữa, bê tông geopolymer được sản xuất bằng cách sử dụng các chất thải công nghiệp như tro bay từ nhà máy nhiệt điện, tro xỉ từ lò nung, nghiền đá vụn và thậm chí cát từ sa mạc nên giúp giảm thiểu lượng chất thải và sử dụng tài nguyên thiên nhiên ít hơn. Bê tông geopolymer cũng cần ít năng lượng hơn để sản xuất so với bê tông truyền thống vì quá trình sản xuất không yêu cầu nhiệt độ cao. Ngoài ra, bê tông geopolymer bền và có tuổi thọ cao hơn so với bê tông truyền thống, giúp giảm thiểu chi phí duy tu và bảo dưỡng công trình sau này. Do vậy, việc tái sử dụng các phế phẩm công nghiệp, đồng thời tạo ra một loại chất kết dính “xanh” (geopolymer) thân thiện với môi trường giảm dần lượng xi măng sử dụng là yêu cầu cấp thiết và được nhiều nhà khoa học trong nước và quốc tế quan tâm nghiên cứu [11–14].

Hadigheh và cs. [15] nghiên cứu đề xuất gia cố bê tông GPC bằng sợi carbon tạo thành vật liệu composite CFRP-GPC để cải thiện độ bền và khả năng chịu lực cho các cây cầu bê tông cốt thép hiện hữu. Hasan và cs. [16] đã tiến hành thí nghiệm khả năng chịu uốn của sáu dầm chữ T bê tông GPC được gia cố dọc bằng cốt sợi thủy tinh đối chứng với dầm bê tông sử dụng xi măng poóc lăng thông thường để chỉ ra những khác biệt trong thiết kế cần lưu ý. Kiên và cs. [17] đã tổng hợp từ các bài báo, công trình nghiên cứu để trình bày các tính chất cơ lý, khả năng ứng dụng của bê tông GPC trong những năm gần đây tại Việt Nam và trên thế giới, đề xuất những định hướng nghiên cứu và khả năng ứng dụng của loại vật liệu này cho xây dựng bền vững tại Việt Nam. Sơn và cs. [18] chỉ ra khả năng trộn bê tông GPC tại trạm trộn hiện trường đảm bảo các yêu cầu về cường độ và tính công tác. Hưng T.V. trong luận án tiến sĩ đã chế tạo thành công bê tông GPC từ tro bay nhiệt điện và các chất kích hoạt với cường độ lần lượt là 30 MPa, 40 MPa và 50 MPa. Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng mô đun đàn hồi của GPC thấp hơn so với tính toán (vận dụng) theo tiêu chuẩn hiện hành (áp dụng cho bê tông xi măng) từ 10-30%, tuy nhiên có cường độ kéo uốn cao hơn khoảng từ 7-27%. GPC cũng là loại bê tông có độ dính bám với cốt thép và khả năng chống thấm nước tốt. Việc áp dụng GPC cho kết cấu dầm cầu T12 m theo nghiên cứu này là khả quan [4]. Một nghiên cứu khác cũng đã xây dựng được cấp phối chế tạo bê tông GPC có cường độ nén mẫu trung bình là 50 MPa từ hỗn hợp tro bay và xỉ lò cao.

Kết quả nghiên cứu này cũng đã xây dựng được mối quan hệ ứng suất-biến dạng và đề xuất công thức gần đúng tính mômen kháng nứt có xét đến biến dạng không đàn hồi của GPC [2]. Danh và cs. [19] đã ứng dụng thành công bê tông GPC để thiết kế dầm I dự ứng lực căng sau có chiều dài dầm 33 m, việc này cũng khẳng định khả năng áp dụng bê tông GPC cho các công trình cầu có quy mô nhỏ và vừa. Nghiên cứu này sẽ tổng hợp các đặc tính cơ lý cơ bản của bê tông GPC, phân tích khả năng ứng dụng loại bê tông này vào xây dựng cầu và ứng dụng vật liệu này để thiết kế dầm cầu dự ứng lực nhịp liên tục.

## 2. Bê tông geopolimer và khả năng áp dụng vào ngành cầu

### 2.1. Các thành phần cốt liệu và đặc tính cơ lý

Các thành phần cốt liệu của bê tông geopolimer gồm có: tro bay, xỉ lò cao, chất hoạt hóa, nước, cát, đá và có thể có thêm phụ gia siêu dẻo. Trong nghiên cứu của mình, Đạo PQ đã sử dụng nguồn vật liệu như sau: (1) Tro bay loại F là sản phẩm tro bay thương mại của Nhà máy Sông Đà Cao Cường sử dụng nguồn tro bay nguyên liệu được khai thác từ nhà máy nhiệt điện Phả Lại; (2) Xi lò cao nghiên mìn S95 được cung cấp bởi nhà máy gang thép Hòa Phát-Hải Hương; (3) Chất hoạt hóa dạng bột khô, có thành phần hóa học chủ yếu là muối natri silicate dạng tinh thể rắn, được trộn khô cùng tro bay và xỉ lò cao; (4) Nước được lựa chọn thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 4506:2012 [20]; (5) Cát sử dụng là cát vàng sông Lô; (6) Đá Kiện Khê  $1 \times 2$  cm. Tác giả này đã nghiên cứu các cấp phối khác nhau để đánh giá, khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ nước trên chất kết dính, tỷ lệ chất hoạt hóa trên chất kết dính đến cường độ và tính công tác của loại bê tông này. Bài báo này sẽ phân tích khả năng ứng dụng bê tông GPC có cấp phối A3 được thực hiện bởi Đạo PQ. Các đặc trưng cơ lý của GPC với cấp phối nêu trên được tổng hợp trong Bảng 1 [2].

Bảng 1. Các đặc trưng cơ lý của bê tông GPC

STT	Nội dung	Đơn vị	Giá trị
1	Tỷ lệ nước trên chất kết dính		0,45
2	Tỷ lệ chất hoạt hóa trên chất kết dính		0,10
3	Cường độ chịu nén tại 3 ngày tuổi <sup>(1)</sup>	MPa	30,60
4	Cường độ chịu nén tại 7 ngày tuổi <sup>(1)</sup>	MPa	39,20
5	Cường độ kéo khi uốn tại 7 ngày tuổi <sup>(2)</sup>	MPa	4,25
6	Cường độ kéo dọc trục tại 7 ngày tuổi <sup>(3)</sup>	MPa	3,09
7	Cường độ kéo ép chẻ tại 7 ngày tuổi <sup>(1)</sup>	MPa	3,85
8	Môđun đàn hồi tại 7 ngày tuổi <sup>(1)</sup>	MPa	32756
9	Cường độ chịu nén tại 28 ngày tuổi <sup>(1)</sup>	MPa	48,20
10	Cường độ kéo khi uốn tại 28 ngày tuổi <sup>(2)</sup>	MPa	4,80
11	Cường độ kéo dọc trục tại 28 ngày tuổi <sup>(3)</sup>	MPa	3,70
12	Cường độ kéo ép chẻ tại 28 ngày tuổi <sup>(1)</sup>	MPa	4,42
13	Môđun đàn hồi tại 28 ngày tuổi <sup>(1)</sup>	MPa	35986
14	Độ sụt của bê tông	cm	6,00

<sup>(1)</sup>: Mẫu trụ  $150 \times 300$  mm; <sup>(2)</sup>: Mẫu hộp  $100 \times 100 \times 400$  mm; <sup>(3)</sup>: Mẫu hộp  $60 \times 100 \times 400$  mm

## 2.2. Khả năng áp dụng vào ngành cầu

Tính công tác: Khi nhắc đến bê tông trong xây dựng, một trong những đặc tính đầu tiên cần quan tâm đến là tính công tác, hay khả năng dễ thi công [21]. Bê tông GPC là vật liệu có tính công tác thấp do hồ geopolymer có tính dính và độ nhớt cao khi trộn hỗn hợp bột rắn nguyên liệu với dung dịch kiềm gốc natri [22], thể hiện ở độ sụt bằng 6 cm được nêu trong mục 2.1. Tính công tác của bê tông GPC có thể được cải thiện bằng cách điều chỉnh lượng nước trong hỗn hợp, có thể thêm 2% phụ gia siêu dẻo gốc naphthalene sulphonate, không ảnh hưởng nhiều đến cường độ nén [4]. Thời gian đông cứng của loại bê tông này phụ thuộc phần lớn vào thành phần hóa học của các nguyên liệu và nhiệt độ bảo dưỡng. Do vậy, khi cải thiện được tính công tác và vẫn giữ được cường độ nén, loại bê tông này có khả năng cao áp dụng vào ngành xây dựng cầu.

Cường độ nén: Bê tông GPC có cường độ chịu nén phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố: nhiệt độ và thời gian bảo dưỡng, nguyên vật liệu, thành phần cấp phối, tuổi của bê tông,... Không khó khăn để chế tạo bê tông GPC có cường độ nén lên đến 50 MPa. Ngoài ra, sự phát triển cường độ nén của bê tông GPC được đánh giá là nhanh hơn và hiệu quả hơn so với bê tông poóc lăng thông thường. Điều này đặc biệt đúng trong các giai đoạn đầu tiên của quá trình phát triển, trong đó bê tông GPC có thể đạt được cường độ nén đến 70% so với cường độ nén ở 28 ngày tuổi trong dưới 24 giờ đầu tiên [23]. Trong khi đó, bê tông poóc lăng thông thường chỉ đạt được khoảng 40% cường độ nén trong cùng thời gian.

Cường độ kéo: Kết quả của các thí nghiệm kéo gián tiếp cho thấy cường độ kéo của GPC cao hơn so với giá trị tính toán theo các tiêu chuẩn Úc AS 3600 (2005) và Châu Âu Eurocode 2 (2002). Nguyên nhân của hiện tượng trên được cho là do dưới ứng suất kéo tính chất của GPC tốt hơn so với vật liệu xi măng poóc lăng do trải qua phản ứng đa trùng ngưng, tạo nên mạng cấu trúc cứng và bền vững [4, 23]. Sarker PK thông qua các thí nghiệm cũng minh chứng điều tương tự đối với cường độ ép chệ [24]. Vận dụng công thức tính theo TCVN 11823:2017 [25], cường độ kéo của GPC bằng  $0,63 \times \sqrt{f'_c} \approx 4,37$  MPa là nhỏ hơn so với giá trị thực nghiệm, bằng 4,80 MPa. Như vậy, khi xét cùng một điều kiện chịu lực thì cấu kiện được chế tạo từ GPC sẽ xuất hiện vết nứt muộn hơn so với từ OPC.

Co ngót và từ biến cũng là những ưu điểm khác của bê tông GPC so với OPC. Biến dạng do co ngót của GPC chỉ bằng khoảng 1/5 đến 1/8 so với OPC do chúng có rất ít nước trong thành phần cấp phối [4]. Hệ số từ biến của GPC cũng chỉ bằng khoảng 50% so với OPC [26].

Mô đun đàn hồi: Các nghiên cứu đều chỉ ra rằng mô đun đàn hồi của GPC thường sai khác không đáng kể so với bê tông OPC khi xét cùng một cường độ nén của bê tông [4, 27]. Khi vận dụng tiêu chuẩn TCVN 11823:2017 [25], mô đun đàn hồi của GPC được tính bằng  $E_c = 0,0017 \times \gamma_c^2 \times f_c'^{0,33} = 34015$  MPa có giá trị nhỏ hơn so với giá trị trung bình thực nghiệm là 35986 MPa, sai lệch này là không nhiều.

Hệ số Poisson của bê tông GPC, được thống kê nằm trong khoảng từ 0,12 đến 0,16, có giá trị khá tương đồng so với bê tông OPC [28].

Khối lượng riêng của GPC phụ thuộc vào khối lượng riêng của các thành phần cốt liệu và cấp phối vật liệu, dao động trong khoảng  $2360 \pm 60$  kg/m<sup>3</sup> vào 28 ngày tuổi [28]. Khối lượng riêng này cũng khá gần với khối lượng riêng của bê tông OPC khi tính theo tiêu chuẩn TCVN 11823:2017 [25] ( $2240 + 2,29 \times 48,2 \approx 2350$  kg/m<sup>3</sup>).

Khả năng chống ăn mòn: GPC từ tro bay có khả năng chịu ăn mòn hóa học cao như ăn mòn cacbonat hóa, ăn mòn sun phát và ăn mòn axit. Tuy nhiên, khi trộn xi lò cao cùng tro bay để làm chất kết dính cho bê tông GPC thì các tính chất về khả năng chịu ăn mòn của vật liệu này có thay đổi nhưng vẫn tốt hơn so với OPC [2].

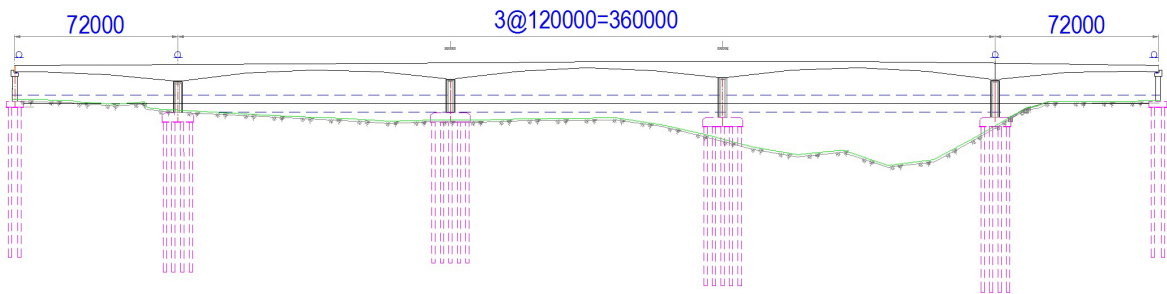
Như vậy, bê tông GPC có nhiều đặc tính cơ lý khá tương đồng so với bê tông truyền thống, một số tính chất còn tốt hơn. Khi xét về yếu tố kỹ thuật thì bê tông GPC có khả năng áp dụng vào xây dựng

công trình cầu, được thể hiện thông qua một ứng dụng trong thiết kế cầu tại mục 3. Các phân tích và so sánh về yếu tố kinh tế giữa hai loại bê tông này cần được thực hiện để có đầy đủ căn cứ về tính kinh tế-kỹ thuật trong việc áp dụng GPC trong ngành cầu.

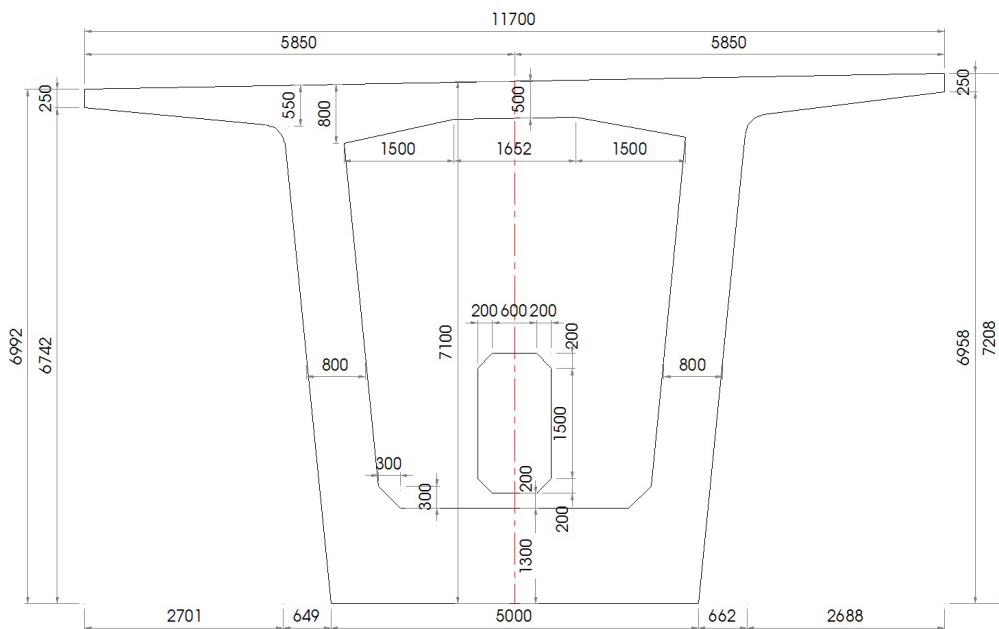
### 3. Ứng dụng thiết kế dầm cầu dự ứng lực nhịp liên tục

#### 3.1. Giới thiệu chung về công trình cầu nghiên cứu

Cầu được thiết kế vĩnh cửu bằng bê tông cốt thép (BTCT) và BTCT dự ứng lực (DUL) tuân thủ tiêu chuẩn thiết kế cầu đường bộ TCVN 11823:2017 với: tần suất thiết kế là 1%; tải trọng thiết kế là hoạt tải HL93 và tải trọng người đi bộ  $3 \text{ kN/m}^2$ . Cầu được thiết kế với sơ đồ  $(72 + 3 \times 120 + 72) \text{ m}$ , có tổng chiều dài là 504 m (Hình 1). Tổng bề rộng mặt cắt ngang cầu là 12 m, gồm 02 làn cơ giới mỗi làn rộng 3,5 m; 02 làn thô sơ mỗi làn rộng 2,0 m và dải lan can ngoài  $2 \times 0,5 \text{ m}$ . Dầm cầu dạng dầm hộp, một hộp hai vách, bằng BTCT DUL thi công theo phương pháp đúc hẫng cân bằng. Chiều cao dầm tại tim thay đổi từ 7,1 m trên đỉnh trụ đến 3,0 m giữa nhịp. Dầm bố trí dốc một mái 2% về một phía, xây dựng dầm ở phía thượng lưu đối với gian đoạn 1, giai đoạn 2 sẽ xây dựng ở phía hạ lưu. Mặt



Hình 1. Mặt cắt dọc cầu



(a) Mặt cắt trên đỉnh trụ

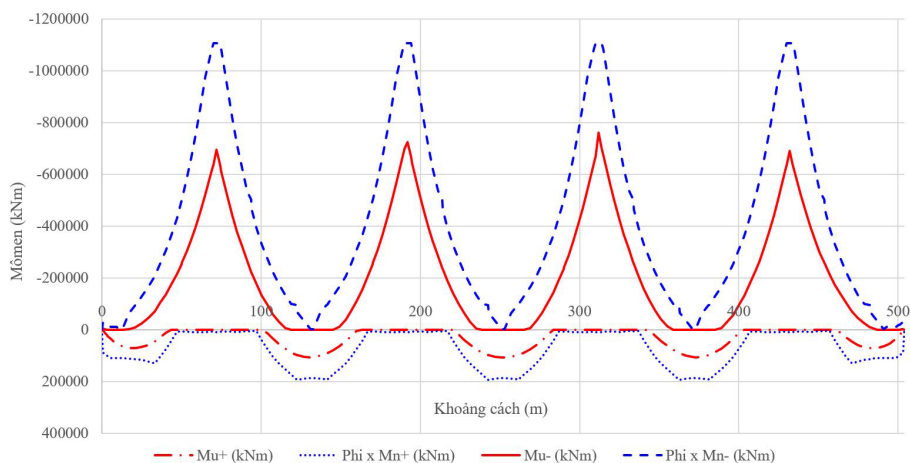
Hình 2. Mặt cắt ngang kết cấu nhịp

### 3.2. Các nội dung kiểm toán

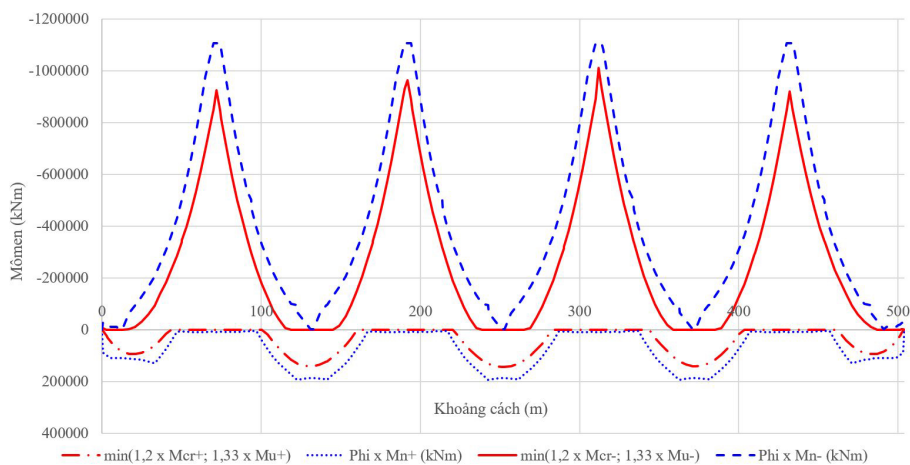
Yêu cầu về sức kháng uốn ở trạng thái giới hạn cường độ:  $M_u \leq \Phi_f \times M_n$ , trong đó:  $\Phi_f$  là hệ số sức kháng uốn;  $M_u$  là mômen uốn do tải trọng tác dụng, được tổ hợp ở trạng thái giới hạn cường độ;  $M_n$  là sức kháng uốn danh định của tiết diện. Biểu đồ bao mômen, đường màu đỏ, và biểu đồ bao vật liệu, đường màu xanh, được thể hiện trên Hình 3 tương ứng với phần mômen âm và mômen dương cho thấy tất cả các tiết diện dầm chủ đều thỏa mãn yêu cầu về sức kháng uốn.

Yêu cầu về sức kháng cắt ở trạng thái giới hạn cường độ:  $V_u \leq \Phi_v \times V_n$ , trong đó:  $\Phi_v$  là hệ số sức kháng cắt;  $V_u$  là lực cắt do tải trọng tác dụng, được tổ hợp ở trạng thái giới hạn cường độ;  $V_n$  là sức kháng cắt danh định của tiết diện. Biểu đồ bao lực cắt, đường màu đỏ, và biểu đồ bao vật liệu, đường màu xanh, được thể hiện trên Hình 5 cho thấy tất cả các tiết diện đảm bảo đều thỏa mãn yêu cầu về sức kháng cắt.

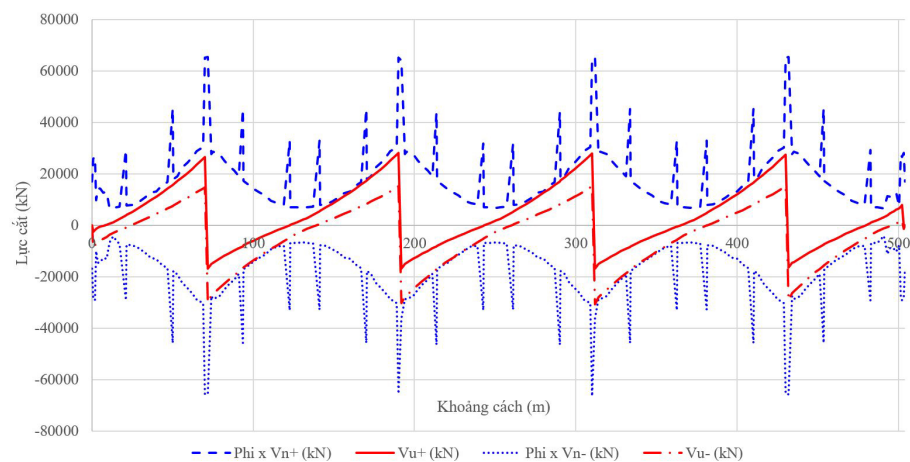




Hình 3. Biểu đồ bao mômen và bao vật liệu

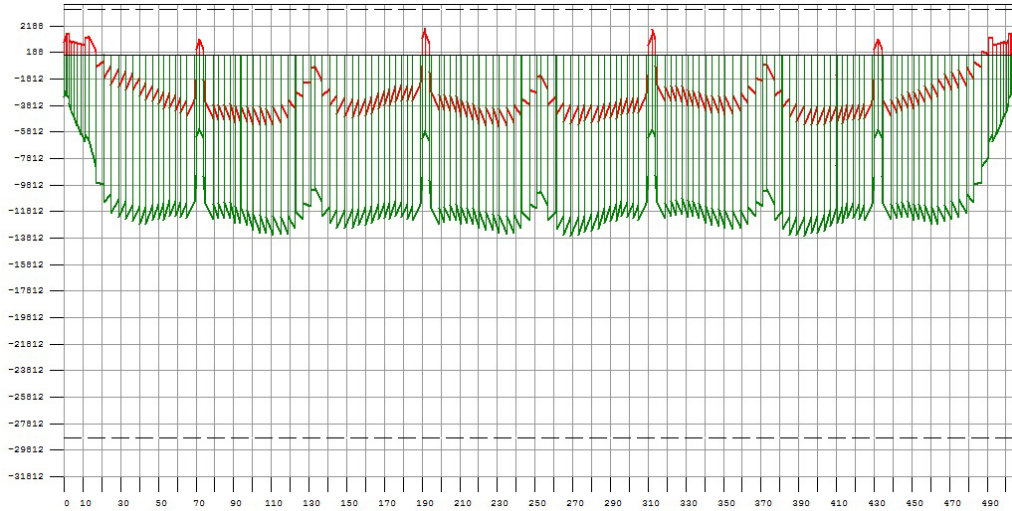


Hình 4. Yêu cầu về hàm lượng cốt thép tối thiểu

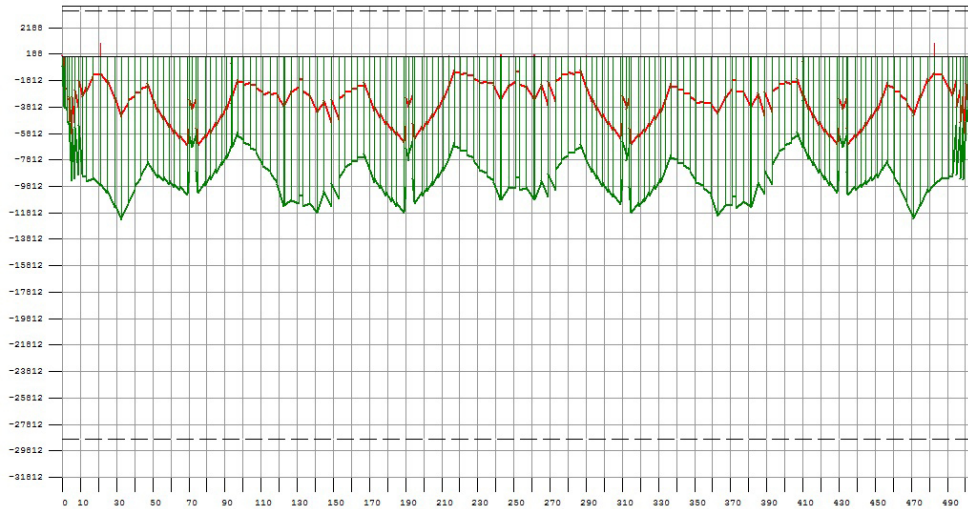


Hình 5. Biểu đồ bao lực cắt và bao vật liệu

Yêu cầu về ứng suất trong bê tông ở trạng thái giới hạn sử dụng:  $f_c \leq [f_c]$  và  $f_t \leq [f_t]$ , trong đó:  $f_c, f_t$  lần lượt là ứng suất nén lớn nhất và ứng suất kéo lớn nhất trong bê tông do tải trọng tác dụng ở trạng thái giới hạn sử dụng;  $[f_c], [f_t]$  là giới hạn ứng suất (cường độ) nén và kéo của bê tông. Ứng suất của dầm ở giai đoạn khai thác, thể hiện trên Hình 6, và ở các giai đoạn thi công đều nằm trong giới hạn cho phép.



(a) Thớ trên



(b) Thớ dưới

Hình 6. Ứng suất trong bê tông dầm

Yêu cầu về ứng suất trong cốt thép dự ứng lực ở trạng thái giới hạn sử dụng:  $f_{ps} \leq [f_{ps}]$ , trong đó:  $f_{ps}$  là ứng suất kéo lớn nhất trong cáp dự ứng lực do tải trọng tác dụng ở trạng thái giới hạn sử dụng;  $[f_{ps}]$  là giới hạn ứng suất (cường độ) kéo của cáp dự ứng lực. Ứng suất tại neo ngay sau khi đóng neo, ứng suất lớn nhất tại điểm bất kỳ dọc cầu kiện ngay sau khi đóng neo và ứng suất ở trạng thái giới hạn sử dụng của cáp dự ứng lực đều nằm trong giới hạn cho phép.





Hình 7. Độ võng dầm chủ do hoạt tải gây ra

Yêu cầu về độ võng ở trạng thái giới hạn sử dụng: Độ võng do hoạt tải gây ra  $y_{LL}$  cần thỏa mãn:  $y_{LL} \leq L/800$ , trong đó  $L$  là chiều dài nhịp. Giá trị độ võng do hoạt tải gây ra lớn nhất nhận giá trị bằng 12,44 mm đối với hai nhịp biên và 28,25 mm đối với ba nhịp giữa (thể hiện trên Hình 7) đều nhỏ hơn giới hạn về độ võng bằng  $72000/800 = 90$  mm và  $120000/800 = 150$  mm tương ứng.

#### 4. Kết luận

Bài báo đã tổng hợp các tính chất của bê tông geopolimer dựa trên các nghiên cứu khoa học gần đây. So với bê tông sử dụng xi măng poóc lăng truyền thống, bê tông geopolimer có tính bền vững trong điều kiện chống ăn mòn và chịu nhiệt độ cao; ngoài ra, loại bê tông này cũng có chỉ số co ngót thấp, từ biến thấp. Hơn nữa, GPC giúp giảm tiêu thụ năng lượng, giảm tỷ lệ khí thải CO<sub>2</sub> hơn nhiều so với OPC. Có thể khẳng định bê tông geopolimer ngoài những ưu điểm so với bê tông sử dụng xi măng poóc lăng truyền thống thì các đặc tính cơ lý của hai loại vật liệu này khá tương đồng với nhau. Việc ứng dụng bê tông geopolimer trong công tác thiết kế dầm cầu bê tông cốt thép ứng suất trước nhịp liên tục được thực hiện. Các yêu cầu về sức kháng uốn, về lượng cốt thép tối thiểu, về sức kháng cắt, về ứng suất trong bê tông, về ứng suất trong cốt thép dự ứng lực cũng như yêu cầu về độ võng đều được thỏa mãn phù hợp với tiêu chuẩn thiết kế cầu đường bộ TCVN 11823:2017. Như vậy, việc sử dụng bê tông geopolimer trong công trình cầu có tính khả thi cao, nhất là đối với các công trình phải chịu ăn mòn cao như các công trình ven biển và trên biển.

#### Lời cảm ơn

Tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Bộ Giáo dục và Đào tạo cho đề tài “Nghiên cứu ứng xử của dầm bê tông cốt thép ứng lực trước nhịp trung bình lớn sử dụng bê tông geopolimer”, mã số B2020-XDA-07.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Bộ Công Thương. *Năng lượng tái tạo chiếm tỷ trọng 11,4% trong 6 tháng đầu năm*. Truy cập ngày 10/04/2023.
- [2] Đạo, P. Q. (2021). *Nghiên cứu sự làm việc của dầm bê tông cốt thép sử dụng tro bay và xi lò cao làm chất kết dính geopolimer*. Trường Đại học Xây dựng Hà Nội.
- [3] Đạo, P. Q., Tùng, P. T. (2020). *Nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm về mô men kháng nứt của dầm geopolimer cốt thép*. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 14(2V):14–25.
- [4] Hưng, T. V. (2017). *Nghiên cứu thành phần, đặc tính cơ lý của bê tông Geopolymer tro bay và ứng dụng cho kết cấu cầu hầm*. Trường Đại học Giao thông Vận tải.
- [5] Báo Người lao động. *Chưa yên tâm về nhiệt điện than*. Truy cập ngày 10/04/2023.
- [6] DCCD. *Ứng dụng bê tông Geopolymer vào công trình xây dựng*. Truy cập ngày 10/04/2023.
- [7] Bộ Tài nguyên và Môi trường (2020). *Kịch bản biến đổi khí hậu*. Nhà xuất bản Tài nguyên-môi trường và bản đồ Việt Nam.
- [8] Davidovits, J. (2008). *Geopolymer Chemistry and Applications*. Geopolymer Institute.

- [9] Lăzărescu, A., Szilágyi, H., Baeră, C., Hegyi, A. (2021). *Alternative Concrete – Geopolymer Concrete*, volume 109. Materials Research Forum LLC.
- [10] Davidovits, J. (2012). *Geopolymer chemistry and sustainable development*. Conference: Geopolymer Green Chemistry and Sustainable Development Solutions, Geopolymer 2005 At Saint-Quentin, France. Institut Géopolymère / Geopolymer Institute. Volume: Session 1: 9-17.
- [11] Kishore, K. (2023). [Geopolymer concrete and its strength influencing variables](#). *Materials Today: Proceedings*, 80:1434–1441.
- [12] Karmokar, T., Mohyeddin, A., Lee, J. (2023). [Tensile performance of cast-in headed anchors in ambient-temperature cured fly ash-based geopolymer concretes with varying fracture energies](#). *Engineering Structures*, 282:115827.
- [13] Huang, J.-Q., Kumar, S., Dai, J.-G. (2023). [Flexural performance of steel-reinforced geopolymer concrete one-way slabs: Experimental and numerical investigations](#). *Construction and Building Materials*, 366: 130098.
- [14] Ansari, M. A., Shariq, M., Mahdi, F. (2023). [Structural behavior of reinforced geopolymer concrete beams – A review](#). *Materials Today: Proceedings*.
- [15] Hadigheh, S. A., Ke, F., Fatemi, H. (2022). [Durability design criteria for the hybrid carbon fibre reinforced polymer \(CFRP\)-reinforced geopolymer concrete bridges](#). *Structures*, 35:325–339.
- [16] Hasan, M. A., Sheehan, T., Ashour, A., Elkezza, O. (2023). [Flexural behaviour of geopolymer concrete T-Beams reinforced with GFRP bars](#). *Structures*, 49:345–364.
- [17] Kiên, T. T., Lan, P. T. V., Thành, L. T. (2013). *Bê tông geopolymer - những thành tựu, tính chất và ứng dụng*. Hội nghị khoa học kỷ niệm 50 năm thành lập viện Khoa học Công nghệ Xây dựng.
- [18] Son, T. H., Đông, Đ. V. (2021). Nghiên cứu công nghệ và chất lượng bê tông geopolymer sử dụng tro bay và xỉ lò cao nghiền mịn S95 tại trạm trộn hiện trường. *Tạp chí Giao thông vận tải*, 8:32–36.
- [19] Danh, L. B., Hòa, P. D., Hà, N. B., Đăng, C. B. (2021). Nghiên cứu ứng dụng bê tông Geopolymer cho kết cấu dầm dự ứng lực công trình cầu hướng tới phát triển bền vững. *Tạp chí Xây dựng Việt Nam*, 10: 148–152.
- [20] TCVN 4506:2012. *Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật*. Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [21] Hữu, P. D., Quảng, N. X., Lộc, M. Đ. (2011). *Vật liệu xây dựng*. Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà Nội.
- [22] Jaarsveld, J. V., Deventer, J. V., Schwartzman, A. (1999). [The potential use of geopolymeric materials to immobilise toxic metals: Part II. Material and leaching characteristics](#). *Minerals Engineering*, 12(1): 75–91.
- [23] Li, Z., Ding, Z., Zhang, Y. (2004). Development of sustainable cementitious materials. *Proceedings of international workshop on sustainable development and concrete technology, Beijing, China*, 55–76.
- [24] Sarker, P. K. (2010). [Bond strength of reinforcing steel embedded in fly ash-based geopolymer concrete](#). *Materials and Structures*, 44(5):1021–1030.
- [25] TCVN 11823:2017. *Tiêu chuẩn thiết kế cầu đường bộ TCVN 11823:2017*. Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [26] Rangan, B. V. (2014). Geopolymer concrete for environmental protection. *The Indian Concrete Journal*, 88(4):41–59.
- [27] Sarker, P. (2008). A constitutive model for fly ash-based geopolymer concrete. *Archit Civil Eng Environ*, 1(4):113–20.
- [28] Hardjito, D., Rangan, B. V. (2005). *Development and properties of low-calcium fly ash-based geopolymer concrete*. Research Report GC1, Faculty of Engineering, Curtin University of Technology, Australia.