



Calculation of suspension vehicle structure used to inspect cable-stayed bridges

Article info

Type of article:

Original research paper

DOI:

<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2024.vn.4.4.33-40>

*Corresponding author:

Email address:

giangdt@huce.edu.vn

Received: 16/10/2024

Revised: 12/11/2024

Accepted: 14/11/2024

Dương Trường Giang^{1*}, Phùng Công Dũng²

¹Faculty of Mechanical Engineering, Hanoi University of Civil Engineering, Hanoi 100000, Vietnam

²Institute of Mechanical Engineering, University of Transport Technology, Hanoi 100000, Vietnam

Abstract: The solution of a suspended vehicle moving under the bridge beam to inspect the cable-stayed bridge is one of the suitable and feasible solutions in the conditions of manufacturing technology in Vietnam. However, this is a special specialized device. During the implementation process, the designer and verifier encountered many difficulties, especially in calculating the vehicle frame structure. Therefore, this paper will present the basis of the design method of suspended vehicle structure for bridge beam inspection. In which the focus is on presenting load analysis methods and testing methods to evaluate structure. The results of this study will contribute to improving the capacity of domestic technical staff and developing localized products. In addition, it will also be the basis for other studies related to this subject in the future.

Keywords: bridge beam, truss structure, load combination, finite element, design standards.



Nghiên cứu tính toán kết cấu xe treo kiểm tra cầu dây văng

Thông tin bài viết

Dạng bài viết:

Bài báo nghiên cứu

DOI:

<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2024.vn.4.4.33-40>

***Tác giả liên hệ:**

Địa chỉ Email:

giangdt@huce.edu.vn

Ngày nộp bài: 16/10/2024

Ngày nộp bài sửa: 12/11/2024

Ngày chấp nhận: 14/11/2024

Dương Trường Giang^{1*}, Phùng Công Dũng²

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, Hà Nội, Việt Nam

²Viện Cơ khí động lực, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải, Hà Nội, Việt Nam

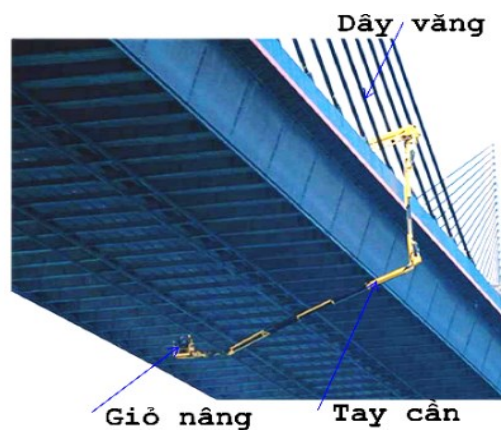
Tóm tắt: Giải pháp xe treo di chuyển dưới dầm cầu để kiểm tra cầu dây văng là một trong những giải pháp phù hợp khả thi trong điều kiện công nghệ chế tạo ở Việt Nam. Tuy nhiên đây là một thiết bị chuyên dụng đặc thù. Trong quá trình triển khai người thiết kế và thẩm tra gặp nhiều khó khăn, đặc biệt tính toán kết cấu khung xe. Vì vậy bài báo này sẽ trình bày cơ sở của phương pháp thiết kế kết cấu xe treo kiểm tra dầm cầu. Trong đó tập trung trình bày phương pháp phân tích tải trọng và phương pháp kiểm tra để đánh giá kết cấu. Kết quả của nghiên cứu này sẽ góp phần nâng cao năng lực cán bộ kỹ thuật trong nước và phát triển các sản phẩm nội địa hóa. Ngoài ra nó cũng là cơ sở cho các nghiên cứu khác liên quan đến đối tượng này trong tương lai.

Từ khóa: dầm cầu, kết cấu giàn, tổ hợp tải trọng, phần tử hữu hạn, tiêu chuẩn thiết kế.

1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây rất nhiều cây cầu lớn đã được xây dựng và hoàn thành như cầu Vàm Cống, cầu Cao Lãnh, cầu Cần Thơ đều là những cây cầu dây văng lớn và dài. Công tác kiểm tra và bảo dưỡng cầu là công việc thường xuyên, do đặc điểm cấu tạo cầu nên đây là công việc khó khăn [1]. Có nhiều phương án kiểm tra dầm cầu khác nhau như dùng xe di chuyển trên mặt cầu dùng công nghệ kỹ thuật số, xe di chuyển trên mặt cầu sử dụng hệ tay cần và giở nâng đưa người vòng xuống gầm cầu kiểm tra và bảo dưỡng (Hình 1), ngoài ra còn có phương pháp tiến hành bảo dưỡng từ xa lan. Do đặc điểm cấu tạo cầu dây văng, việc di chuyển bên trên và đưa người trên giở nâng vòng xuống dưới dầm cầu có thể vướng các dây văng, cản trở giao thông, chi phí đầu tư thiết bị lớn. Vì vậy giải pháp xe treo di chuyển dưới dầm cầu vẫn là phương án hợp lý (Hình 2). Vấn đề là phải lựa chọn phương án phù hợp với đặc điểm cấu tạo

cầu, phương pháp nâng hạ người và thiết bị, cách bố trí thiết bị dẫn động.



Hình 1. Xe kiểm tra đặt trên mặt cầu của PALFINGER

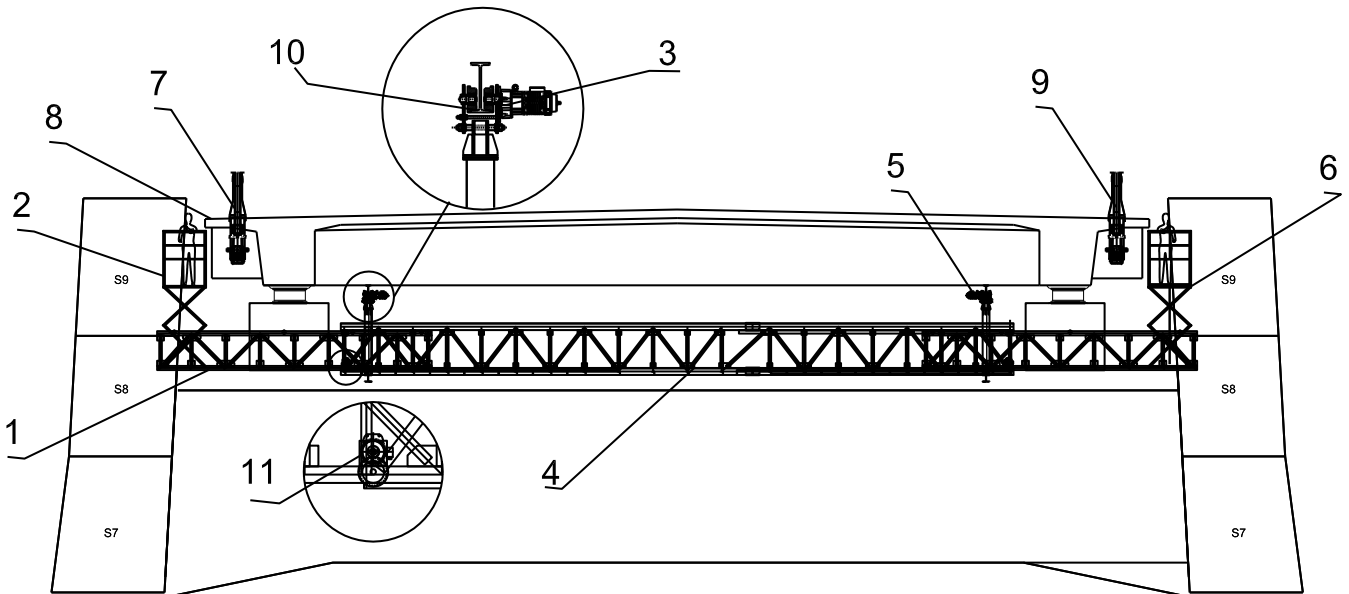
Các công trình nghiên cứu và tài liệu kỹ thuật có liên quan tới công tác thiết kế xe treo có thể kể như tính toán kết cấu, phân tích tải trọng, yêu cầu thiết kế sàn nâng, giàn giáo... Trong [2] là các quy định chung cho thiết kế kết cấu thép công trình dân dụng và công nghiệp. Các quy định tải trọng trong

thiết kế các kết cấu xây dựng, nền móng nhà và công trình được chỉ dẫn trong [3]. Đối với giàn giáo phục vụ sửa chữa thi công có các quy định cho thiết kế và lắp đặt trong TCVN 296-2004 hay các tiêu chuẩn quốc tế BS 1139, ANSI/ASE A10.8 [4-6]. Trong tiêu chuẩn EN 280, GB 19155 [7], [8] có các quy định với sàn nâng người di động. Đối với các thiết bị nâng hạ thì các chỉ dẫn tính toán chung ngoại trừ thiết bị lắp trên tàu biển, giàn khoan hay quy định đặc biệt khác đã nêu trong TCVN 4244-2005, FEM 1.001 [9] và trong một số tài liệu chuyên ngành [10], [11].

Xe treo kiểm tra dầm cầu là một tổ hợp thiết bị gồm các thiết bị nâng, di chuyển, hệ khung sàn thò thụt, đây là một thiết bị chuyên dụng đặc thù. Tài liệu chuyên khảo tính toán với đối tượng nghiên cứu này hầu như không có. Trong quá trình triển

khai người thiết kế và thẩm tra gặp nhiều khó khăn, đặc biệt tính toán kết cấu khung xe. Khi giải quyết bài toán cụ thể phải vận dụng một cách sáng tạo, kết hợp kiến thức của nhiều chuyên ngành khác nhau.

Trong phạm vi bài báo này sẽ trình bày phương pháp thiết kế tính toán kết cấu xe kiểm tra dầm cầu dây văng. Phương pháp tính toán này đã được áp dụng để thiết kế xe treo kiểm tra gầm cầu Cao Lãnh do công ty cổ phần Công nghiệp SHM và Viện khoa học Công nghệ Cơ điện Xây dựng – trường Đại học Xây dựng Hà Nội thực hiện trong dự án kết nối khu vực Trung tâm đồng bằng sông MeKong – Việt Nam [12]. Đây là một nghiên cứu ứng dụng nên kết quả rất bổ ích cho các cán bộ kỹ thuật để làm chủ thiết kế chế tạo và lắp ráp một số thiết bị phục vụ thi công xây dựng ở Việt Nam.



Hình 2. Cấu tạo xe treo kiểm tra dầm cầu: 1. Khung trượt; 2, 6. Thiết bị nâng hạ; 3, 5. Cơ cấu di chuyển khung chính (toàn bộ xe); 4. Khung chính; 7, 9. Dây văng; 8. Dầm chính của cầu; 10. Ray; 11. Cơ cấu di chuyển khung trượt.

2. Phương án thiết kế

Hình 2 là phương án bố trí xe treo dưới dầm cầu dây văng. Mặt bên dưới cầu bố trí đường ray di chuyển 10, xe sẽ di chuyển bên dưới hệ đường ray này. Cơ cấu di chuyển 3, 5 được lắp trên khung treo. Yêu cầu xe treo sẽ có các chuyển động và thiết bị chính gồm: cơ cấu di chuyển 3, 5 giúp xe chuyển động dọc bên dưới dầm cầu; thiết bị nâng hạ 2, 6 đưa người và dụng cụ để kiểm tra, bảo trì; cơ cấu và thiết bị di chuyển khung trượt 11 dùng

thay đổi miền phục vụ theo phương ngang cầu; nguồn động lực là động cơ đốt trong và có thiết bị dự phòng.

Phương án kết cấu xe kiểm tra dầm cầu được chia thành 2 phần chính: khung chính 4 và khung trượt 1, khung trượt có khả năng trượt trên khung chính, di chuyển ngang qua mô trụ cầu và vươn ra ngoài để sửa chữa các mấu nối dây văng với mặt dầm cầu khi có sự cố. Hai đầu khung chính lắp hai khung trượt có khả năng di chuyển độc lập

với nhau, dẫn động riêng cho mỗi bên, bánh xe dẫn hướng khung trượt chạy trên ray được hàn vào khung chính. Hai đầu khung trượt lắp hai bàn nâng 2, 6 có khả năng nâng lên hạ xuống. Người công nhân sẽ đứng trên thiết bị nâng hạ và tiến hành bảo dưỡng. Phương án này có đặc điểm: có thể bao quát toàn bộ bề mặt bên dưới; không gây ảnh hưởng tới các phương tiện di chuyển trên cầu và không vướng các dây cáp trên cầu; không gian làm việc rộng rãi, thuận tiện, linh hoạt khi bảo trì; việc chế tạo khả thi do các bộ phận của xe treo đều rất phổ biến, có sẵn trên thị trường nên có giá thành hợp lý; quá trình lắp dựng xe treo hoặc sửa chữa là khó khăn do xe ở bên dưới; ngoài ra yêu cầu khoảng cách từ gầm cầu đến mặt nước đủ lớn để không ảnh hưởng đến quá trình làm việc của xe. Qua phân tích có thể thấy đây là phương án rất phù hợp, khả thi trong điều kiện công nghệ trình độ kỹ thuật ở Việt Nam.

Theo công dụng và nguyên tắc làm việc, khung dầm xe treo phải đáp ứng các yêu cầu cơ bản là đủ khả năng chịu lực trong trạng thái làm việc và không làm việc. Khung trượt có khả năng lồng vào khung chính để thò thụt. Khung dầm xe treo cũng đồng thời là hệ sàn thao tác cho con người, đáp ứng yêu cầu an toàn lao động, do vậy phải có kết cấu hở. Kết cấu có trọng lượng phù hợp, dễ chế tạo. Kết cấu phải đáp ứng được các quy định về kiểm định an toàn thiết bị nâng, giàn giáo, sàn nâng người. Phương án hệ khung dầm xe treo dạng giàn là hợp lý nhất, vì nó đáp ứng đầy đủ các yêu cầu cần thiết đã đặt ra. Chiều cao giàn, với giàn cánh song song, chiều cao giàn hợp lý là trong khoảng (1/5 ~ 1/6) nhịp dầm. Chiều cao này thường khó thỏa mãn điều kiện vận chuyển nên thường lấy nhỏ hơn bằng (1/7 ~ 1/9) nhịp dầm. Khoảng cách các nút giàn được xác định sau khi đã lựa chọn được hệ thanh bụng.

Cơ sở của các tính toán, thiết kế hợp lý phải dựa trên cấu tạo và nguyên lý của thiết bị. Có thể thấy với cấu tạo và nguyên lý ở trên, việc tính toán, đánh giá phải dựa trên cơ sở thiết kế kết cấu giàn giáo treo, thiết bị nâng chuyển, kết cấu công trình.

3. Phương pháp tính toán

3.1. Phân tích các tác động

Trọng lượng thiết bị đặt trên xe, trong lượng bản thân kết cấu khi tính toán cần phải kể đến hệ số độ tin cậy. Riêng khung kết cấu khi tính toán theo phương pháp phần tử hữu hạn ví dụ như chương trình SAP 2000 hoặc các phần mềm khác có kể đến hệ số để xem xét kể đến mỗi hàn, bản mã, các kết cấu phụ cấu tạo. Trọng lượng máy phát điện và bàn nâng, các bộ phận khác phải phù hợp với TCVN 2737 [3].

$$G_{Ti} = \gamma G_i \quad (1)$$

Trong đó là hệ số độ tin cậy, trong trường hợp này có thể lấy $\gamma = 1.05$ theo bảng 2 của [3], G_{Ti} và G_i là trọng lượng tính toán và trọng lượng tải đặt trên kết cấu xác định theo thiết kế sơ bộ ban đầu.

Tải trọng phân bố sàn công tác do người và dụng cụ ở mức tải nhẹ $q_{san} = 1250N/m^2$. Tải trọng do người và dụng cụ khi thao tác trên bàn nâng xác định theo [4]

Trường hợp áp dụng ở Việt Nam có thể lấy khối lượng 1 người mang dụng cụ là 25kg và khối lượng 1 người là 75kg. Khung kết cấu phải chịu được tải trọng do người và dụng cụ kèm theo ít nhất 4 lần tải trọng tính toán [5], [6].

$$F_{qti} = a m_i \quad (2)$$

Trong đó a là gia tốc chuyển động, m_i là khối lượng chuyển động thứ i .

Tải trọng ngang do gió, áp lực gió tính toán theo vận tốc gió. Giá trị áp lực này tính toán chia làm nhiều trường hợp [9], [10]:

$$q = 0,613v^2 \quad (3)$$

Trong đó khi v là vận tốc gió có đơn vị (m/s) thì áp lực gió đơn vị là (N/m^2). Tương tự với kết cấu máy nâng truyền thống khác, trong bài toán kết cấu xe treo, xét khi gió thổi vuông góc với dầm. Trạng thái không làm việc thì xe được cố định vào dầm. Công thức chung tính toán tải trọng do gió theo [9] áp dụng cho các bộ phận kết cấu.

$$F_{wi} = A_i q C_{ri} \quad (4)$$

Trong đó F_{wi} là tải trọng gió tác dụng vào bộ phận kết cấu thứ i , C_{ri} là hệ số khí động tùy thuộc bộ phận kết cấu, A_i là diện tích chắn gió bộ phận kết cấu thứ i .

Bảng 1. Các trường hợp tải trọng áp dụng tính toán cho xe treo cầu Cao Lãnh khi sử dụng chương trình SAP 2000

Tải trọng	Ký hiệu	Trường hợp 1	Trường hợp 2	Trường hợp 3
Trọng lượng bản thân khung chính (bởi chương trình SAP 2000)	G_c	SW 1,15	SW 1,15	SW 1,15
Trọng lượng khung trượt (bởi chương trình SAP 2000)	G_t	SW 1,15	SW 1,15	SW 1,15
Máy phát điện	$G_{MFD} (N)$	13000	13000	13000
Trọng lượng bàn nâng	$G_{BN} (N)$	12600	12600	12600
Tải trọng phân bố sàn công tác, người và dụng cụ trên khung chính, khung trượt	$q_{sn} (N/m^2)$	1250	1250	-
Tải trọng người thao tác (ví dụ 3 người trên một bàn nâng) G_{CN}	$F_{ttn}(N)$	12000	12000	-
Lực ngang do quán tính di chuyển dọc cầu khi làm việc bởi trọng lượng bàn nâng và người	$F_{qtCN} (N)$	99,81	99,81	-
Lực ngang do quán tính di chuyển dọc cầu khi làm việc bởi trọng lượng máy phát điện	$F_{qtMF} (N)$	83,2	83,2	-
Lực ngang do quán tính di chuyển dọc cầu khi làm việc bởi trọng lượng khung trượt	$F_{qtKT} (N)$	178,6	178,6	-
Lực ngang do quán tính di chuyển dọc cầu khi làm việc bởi trọng lượng khung chính	$F_{qtKC} (N)$	334	334	-
Lực ngang do quán tính di chuyển dọc cầu khi làm việc bởi người và dụng cụ trên sàn công tác khung trượt	$S_{qtKT} (N)$	92,8	92,8	-
Lực ngang do quán tính di chuyển dọc cầu khi làm việc bởi người và dụng cụ trên sàn công tác khung chính	$S_{qtKC} (N)$	298	298	-
Lực quán tính đẩy khung trượt	Bỏ qua	-	-	-
Tải trọng gió khi làm việc tác động vào khung trượt	$F_{w1} (N)$	-	478	-
Tải trọng gió khi làm việc tác động vào khung chính	$F_{w2} (N)$	-	1961,7	-
Tải trọng gió khi làm việc tác động vào bàn nâng, người	$F_{wBN} (N)$	-	172,7	-
Tải trọng gió khi làm việc tác động vào máy phát điện	$F_{wMFD} (N)$	-	69	-
Tải trọng gió khi bão và có neo giằng	$F_{KLVw} (N)$	-	-	12245

Trường hợp 3 khi tính khung trượt sẽ bỏ qua vì khung trượt lồng vào khung chính

Áp dụng các quy định đối với thiết bị nâng chuyển tính toán theo ba trường hợp tải trọng trường hợp 1 thiết bị làm việc không có gió, trường hợp 2 thiết bị làm việc có gió, trường hợp 3 khi không làm việc.

Trường hợp 1 là thiết bị nâng làm việc không có gió, trường hợp tải trọng này là tập hợp:

$$\gamma_c (S_G + \psi S_L + S_H) \tag{5}$$

Trong đó γ_c là hệ số khuếch đại, lấy theo

nhóm chế độ làm việc, áp dụng cho xe treo nên nhóm làm việc là A2 hoặc A3, S_G là tải trọng do trọng lượng bản thân, ψS_L là tải trọng chính có kể tới hệ số động lực ψ , S_H là tải trọng ngang. Các thành phần này biểu diễn bởi hệ tập hợp (6) và được giải thích trong Bảng 1.

$$\begin{cases} S_G = \{G_c, G_t, G_{MFD}, G_{BN}\} \\ \psi S_L = \{F_{ttn}, q_{sn}\} \\ S_H = \{F_{qtCN}, F_{qtMF}, F_{qtKT}, F_{qtKC}, S_{qtKT}, S_{qtKC}\} \end{cases} \tag{6}$$

Trường hợp 2 là thiết bị nâng làm việc có gió trong giới hạn thiết kế.

$$\gamma_c(S_G + \psi S_L + S_H) + S_W \tag{7}$$

Trong đó S_W là tải trọng gió trong trạng thái làm việc. Các thành phần này biểu diễn bởi hệ tập hợp (8) và được giải thích trong Bảng 1.

$$S_W = \{F_{w1}, F_{w2}, F_{wBN}, F_{wMFD}\} \tag{8}$$

Trường hợp 3 là tải trọng bất thường, trong trường hợp xe treo được tính toán qua tập hợp (9):

$$S_G + F_{KLWw} \tag{9}$$

$$S_G + \psi \rho_1 S_L, S_G + \rho_2 S_L$$

Trường hợp thử tải tĩnh và tải động với các hệ số $\rho_1=1,1$ và $\rho_2=1,25$. Kết hợp các trường hợp trên và với đặc điểm làm việc ta có các sự phối hợp tải trọng như Bảng 1.

3.2. Phương pháp kiểm tra kết cấu

Kết cấu xe treo gồm khung chính và khung trượt lồng vào nhau. Bài toán dùng phương pháp tách dầm. Coi phản lực của khung trượt là ngoại lực tác dụng khung chính. Các thành phần nội lực chủ yếu dùng để tính toán là lực dọc, mô men uốn. Trong hệ giàn có thể bỏ qua ứng suất tiếp do nó là nhỏ so với các thành phần khác.

Chương trình con để xử lý số liệu kết xuất với các bài toán cơ bản theo [9] bởi công thức tổng quát.

$$\frac{F}{S} + \frac{M_f V}{I} \leq \sigma_a \tag{10}$$

$$\frac{\omega F}{S} + \frac{M_f V}{I} \leq \sigma_a$$

Trong đó, F là lực kéo hay nén của phần tử

xét, M_f mô men uốn tại phần tử xét, I là mô men quán tính mặt cắt phần tử, S là diện tích mặt cắt phần tử, V là khoảng cách thớ kim loại xa nhất tới trục trung hòa của tiết diện xét, ω là hệ số uốn dọc, σ_a là ứng suất cho phép trong trường hợp tải trọng đảm bảo hệ số an toàn n nhất định theo mục 2.2.1 của [9]: trường hợp 1, $n=1,5$; trường hợp 2, $n=1,33$; trường hợp 3, $n=1,1$.

Chuyển vị lớn nhất δ (mm) tại giữa dầm và đầu công xôn, tính toán này so sánh với điều kiện cho phép trong [2] theo công thức.

$$\delta < [\delta] = \frac{L}{600}, \delta < [\delta] = \frac{L}{300} \tag{11}$$

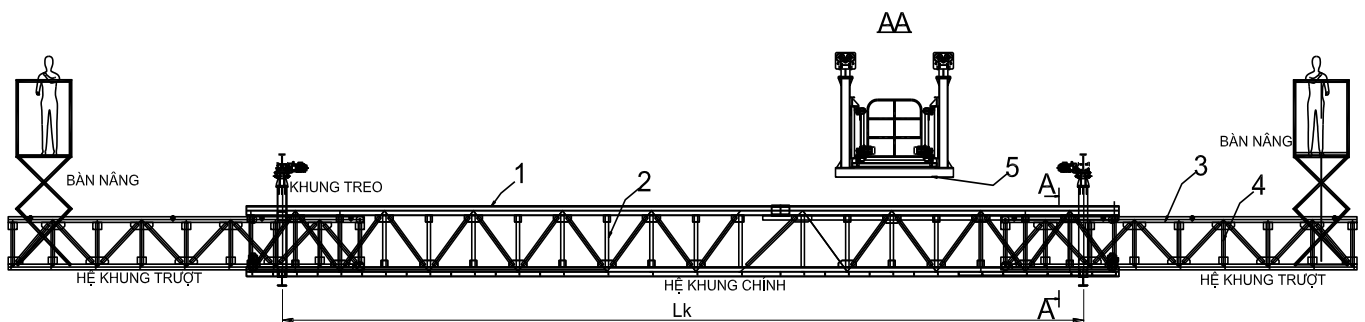
Trong đó L là khẩu độ hoặc chiều dài công xôn (mm).

3.3. Ví dụ thiết kế

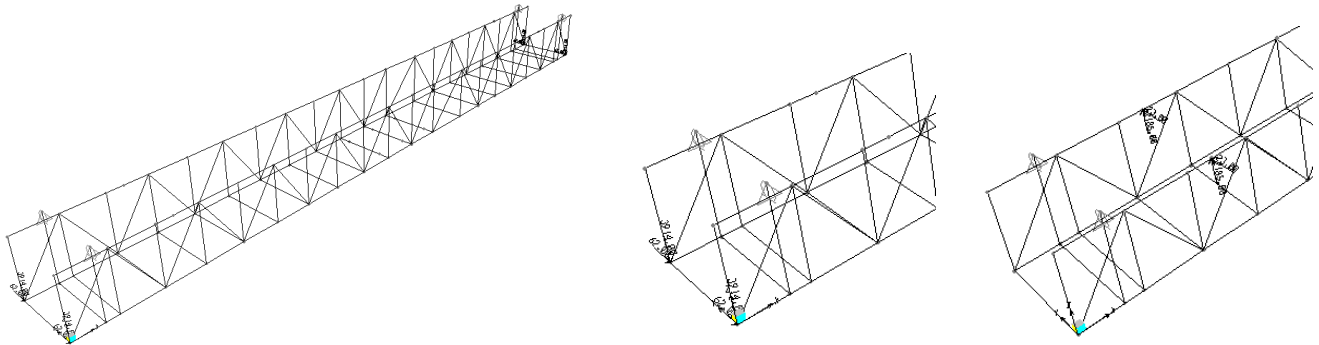
Kết cấu xe treo kiểm tra dầm cầu Cao Lãnh do Công ty cổ phần Công nghiệp SHM, công ty Cầu 12 và Viện khoa học Công nghệ Cơ điện Xây dựng – trường Đại học Xây dựng Hà Nội thiết kế và chế tạo được mô tả trong Hình 3. Các thông số tính toán về tải trọng và trường hợp tải trọng tại Bảng 1. Vật liệu sử dụng cho thiết kế kết cấu là thép SS400 theo tiêu chuẩn JIS G 3101.

Hình 4 là ví dụ về phản lực của khung trượt tác dụng lên khung chính trong trường hợp tải trọng 2. Trong trạng thái này khung trượt duỗi ra hết tầm, người kèm các dụng cụ thao tác trên bàn nâng.

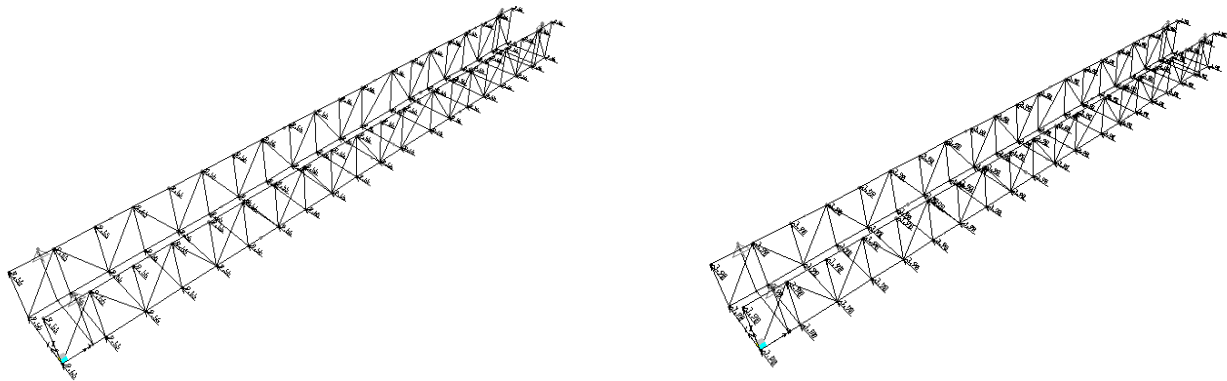
Hình 5 là sự tác dụng các loại tải trọng ngang như gió F_{w2} và lực quán tính F_{qtKC} trên khung chính.



Hình 3. Sơ đồ kết cấu xe treo kiểm tra dầm cầu khi duỗi ra: 1. Hệ thanh biên khung chính; 2. Hệ thanh bụng khung chính; 3. Hệ thanh biên khung trượt; 4. Hệ thanh bụng khung trượt; 5. Hệ thanh đáy khung chính



Hình 4. Ví dụ phân lực do khung trượt tác dụng vào khung chính trong trường hợp tải trọng 2



Hình 5. Ví dụ các lực tải trọng ngang do gió F_{w2} và lực quán tính khi di chuyển tác dụng vào khung chính F_{qtKC}

Bảng 2. Một số kết quả ứng suất và chuyển vị

TT	Tiết diện phần tử/vị trí	Ứng suất hoặc chuyển vị lớn nhất	Ứng suất hoặc chuyển vị cho phép	Đơn vị	Bộ phận kết cấu
1	2[]120x54x4,8/ Hệ thanh biên	142	160	N/mm ²	Khung trượt
2	L75x75x7/Hệ thanh bụng	154	160	N/mm ²	Khung trượt
3	L75x75x7/Hệ thanh bụng	78,6	160	N/mm ²	Khung chính
4	I200x100x4,8x8/ Hệ thanh đáy	39	160	N/mm ²	Khung chính
5	H200x200x8x12/ Hệ thanh biên	34	160	N/mm ²	Khung chính
6	Đầu công xôn	12.9	18.3	mm	Khung trượt
7	Giữa dầm	10.29	32.66	mm	Khung chính

Sử dụng phần mềm SAP 2000 phân tích nội lực và các chương trình con của Viện khoa học Công nghệ Cơ điện Xây dựng – trường Đại học Xây dựng Hà Nội phân tích kết cấu. Kết quả tính ứng suất và chuyển vị cho trong Bảng 2. Kết quả tính toán ứng suất lớn nhất có hệ số an toàn là 1.56, chuyển vị trong giới hạn cho phép. Xe treo này hiện đã lắp đặt và được sử dụng để bảo dưỡng dầm cầu dây văng Cao Lãnh [12].

4. Kết luận

Bài báo này đã trình bày phương pháp tính toán thiết kế kết cấu xe kiểm tra cầu dây văng. Với

cầu dây văng phương án kiểm tra dầm cầu có thể có nhiều phương án khác nhau, nhưng phương án dùng xe treo là một trong các phương án phù hợp khả thi. Dựa trên cơ sở cấu tạo và nguyên lý của thiết bị, bài báo đã phân tích các yếu tố tải trọng tác động, phương pháp tính toán và kiểm tra kết cấu. Qua ví dụ và thực tế công trình đã minh chứng cho tính khả thi và sự đúng đắn của phương pháp áp dụng cho thiết kế xe treo kiểm tra dầm cầu Cao Lãnh do công ty cổ phần Công nghiệp SHM và Viện khoa học Công nghệ Cơ điện Xây dựng –

trường Đại học Xây dựng Hà Nội thực hiện. Đây là một nghiên cứu ứng dụng, góp phần tiến tới làm chủ các thiết kế và chế tạo, lắp ráp một số thiết bị phục vụ thi công xây dựng ở Việt Nam. Để hoàn thiện thiết kế xe treo, các nghiên cứu tiếp theo của chúng tôi trong giai đoạn tới sẽ là tối ưu hóa kết cấu, nghiên cứu động lực học quá trình làm việc.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin cảm ơn Viện khoa học và Công nghệ Cơ điện Xây dựng - trường Đại học Xây dựng Hà Nội, công ty cổ phần Công nghiệp SHM, công ty Cầu 12 đã cung cấp số liệu và sử dụng kết quả nghiên cứu này áp dụng vào trong thực tế.

Tài liệu tham khảo

- [1]. N.V. Khoa. (2015). Bảo trì cầu dây văng tại Việt Nam. Tạp chí Cầu đường Việt Nam, 11, 29-37.
- [2]. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam. (2012). TCVN 5575, Kết cấu thép, tiêu chuẩn thiết kế.
- [3]. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam. (2023). TCVN 2737, Tải trọng và tác động.
- [4]. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam. (2004). TCVN 296, Giàn giáo yêu cầu về an toàn.
- [5]. British Standards Institution (BSI). (1990). BS1139, Metal scaffolding.
- [6]. American National Standard for Construction and Demolition Operations. (2011). ANSI/ASSE A10.8, Safety Requirements for Scaffolding.
- [7]. European Standard. (2013). EN 280, Mobile elevating work platforms – Design calculations – Stability criteria – Construction – Safety – Examinations and tests.
- [8]. Ministry of Construction of the People Republic of China. (2003). GB 19155, Temporarily installed suspended access equipment.
- [9]. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam. (2005). TCVN 4244, Thiết bị nâng, thiết kế, chế tạo và kiểm tra kỹ thuật.
- [10]. D.T. Giang. (2019). Hướng dẫn tính toán đồ án môn học máy nâng chuyển. Nhà xuất bản Xây dựng.
- [11]. T.Q. Thành, P.Q. Dũng. (2004). Máy và thiết bị nâng. Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật.
- [12]. Dự án kết nối khu vực Trung tâm đồng bằng sông Mekong – Việt Nam. (2017). Xe kiểm tra dầm khi đi qua trụ tháp.