

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG THAM SỐ HÌNH HỌC MẶT CẮT DẦM CHỦ DẠNG TỔ HỢP CỦA CẦU TRỤC HAI DẦM TẠI VIỆT NAM

STUDY ON THE INFLUENCE OF GEOMETRIC PARAMETERS OF THE BUILT-UP
MAIN GIRDER CROSS-SECTION OF DOUBLE-GIRDER OVERHEAD CRANES IN
VIETNAM

TS. Đoàn Văn Tú^{1,*}, KS. Hoàng Văn Dũng²

¹Trường Đại học Giao thông vận tải

²Học viện Kỹ thuật quân sự

*Email: doantugtvt189@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Các nghiên cứu về kết cấu trong tính toán thiết kế cầu trục là cơ sở quan trọng trong việc sản xuất cầu trục tại Việt Nam. Nghiên cứu này tập trung vào việc xây dựng mô hình phần tử hữu hạn (PTHH) kết cấu thép cầu trục hai dầm để xác định khả năng chịu lực của kết cấu. Trên cơ sở đó, phân tích đa tham số hình học của mặt cắt dầm chính nhằm xác định mức độ ảnh hưởng của từng tham số đến nội lực và đề xuất kích thước mặt cắt hợp lý. Kết quả là cơ sở cho việc nghiên cứu các mô hình xấp xỉ xác định nhanh nội lực của kết cấu, tối ưu hóa về thời gian tính toán.

Từ khóa: Cầu trục hai dầm; Phần tử hữu hạn; Phân tích đa tham số; Kết cấu thép; ANSYS APDL.

ABSTRACT

Structural studies in crane design calculations play an important role in the manufacturing of cranes in Vietnam. This study focuses on developing a finite element model of the steel structure of a double-girder overhead crane to evaluate its load-carrying capacity. Based on this model, a multi-parameter analysis of the geometric characteristics of the main girder cross-section is conducted to determine the influence of each parameter on internal forces and to propose rational cross-sectional dimensions. The results provide a foundation for developing approximate models for rapid estimation of internal forces, thereby optimizing computational time.

Keywords: Double-girder overhead crane; Finite element method; Multi-parameter analysis; Steel structure; ANSYS APDL.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong thiết kế kết cấu thép cầu trục hai dầm thường được tính toán theo lý thuyết Sức bền vật liệu và các tài liệu kết cấu thép máy xây dựng – xếp dỡ [1, 2]. Phương pháp này cho kết quả nhanh và đơn giản, tuy nhiên thường dựa trên các giả thiết lý tưởng hóa và hệ số an toàn tương đối lớn, dẫn đến thiết kế chưa tối ưu về vật liệu, trọng lượng và chi phí.

Trong những năm gần đây, đã có nhiều nghiên cứu ứng dụng phương pháp PTHH [3] trong phân tích kết cấu cầu trục, tuy nhiên phần lớn tập trung vào mô hình một dầm, hoặc chỉ dừng lại ở việc kiểm tra độ bền cho một phương án hình học cụ thể. Các nghiên cứu phân tích có hệ thống ảnh hưởng của các tham số hình học mặt cắt dầm chính (dầm chủ) trong mô hình cầu trục hai dầm dạng khung không gian vẫn còn hạn chế, đặc biệt trong điều kiện thiết kế và chế tạo tại Việt Nam.

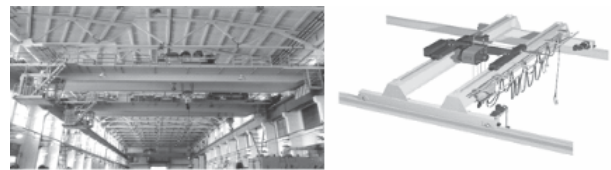
Xuất phát từ thực tế đó, nghiên cứu này tập trung xây dựng mô hình PTHH kết cấu thép cầu trục hai dầm có mặt cắt dạng tổ hợp, được tham số hóa bằng ngôn ngữ ANSYS APDL [4, 5, 6] cho kết quả khảo sát nhanh chóng. Mô hình cho phép xác định nhanh nội lực, ứng suất và biến dạng của hệ dầm chính – dầm đầu dưới các tổ hợp tải trọng làm việc đặc trưng, đồng thời thực hiện phân tích đa tham số để đánh giá mức độ ảnh hưởng của các kích thước hình học chủ yếu của mặt cắt dầm chính đến khả năng chịu lực của kết cấu.

Thực hiện phân tích đa tham số mô hình khung không gian tổng thể của kết cấu thép cầu trục hai dầm có hệ thống để đánh giá mức độ ảnh hưởng của các tham số hình học chủ yếu của mặt cắt dầm chính (chiều cao bản bụng, chiều rộng chiều dày bản cánh và chiều dày bản bụng) đến phân bố ứng suất và khả năng chịu

lực của kết cấu, qua đó làm rõ vai trò tương đối của từng tham số trong thiết kế dầm cầu trục hai dầm.

Trên cơ sở kết quả mô phỏng và kiểm chứng với phương pháp tính toán theo lý thuyết Sức bền vật liệu, đề xuất một số tổ hợp kích thước mặt cắt hợp lý cho dầm chính cầu trục hai dầm, góp phần định hướng tối ưu hóa thiết kế kết cấu thép trong điều kiện chế tạo và sử dụng tại Việt Nam.

2. TÍNH TOÁN KẾT CẤU THÉP CẦU TRỤC HAI DẦM THEO LÝ THUYẾT SỨC BỀN VẬT LIỆU



Hình 1. Cầu trục hai dầm

Cầu trục hai dầm gồm hai dầm chính, hai dầm đầu, bộ phận nâng hạ (pa-lăng/xe con) và cơ cấu di chuyển. Dầm chính thường dùng mặt cắt thép dạng tổ hợp. Trong nghiên cứu này, đối tượng khảo sát là dầm chính dạng tổ hợp làm việc cùng dầm đầu trong cấu trúc cầu trục hai dầm. Hình 1 minh họa mô hình cầu trục dùng để tính toán với các thông số kỹ thuật điển hình, tải trọng nâng $Q = 100$ tấn, khẩu độ $L \approx 20,5$ m, chiều cao nâng $H = 22$ m. Xe con chuyển tải xuống hai dầm chính qua các bánh xe, trong khi dầm đầu đảm nhiệm liên kết và chuyển động toàn bộ cầu trục trên ray nhà xưởng.

2.1. Tính toán kết cấu thép dầm chủ và dầm đầu theo lý thuyết sức bền vật liệu (SBVL) và Kết cấu thép máy xây dựng – xếp dỡ

2.1.1. Đường lối tính toán chung



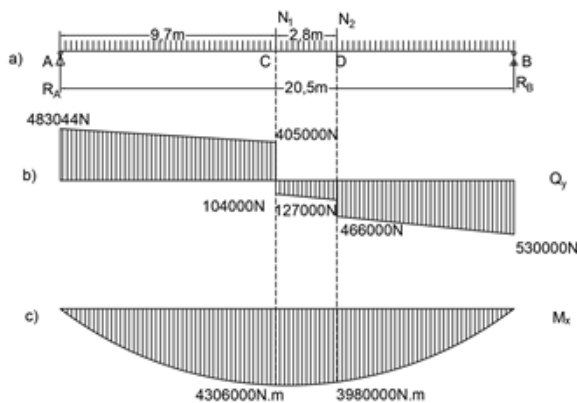


Hình 2. Đường lối tính toán kết cấu thép máy xây dựng nổi chung và kết cấu thép cầu trục

Theo tham khảo [2], kết cấu được tách rời thành bài toán dầm giản đơn: dầm đầu, dầm chính. Các trường hợp tính đặc trưng được lựa chọn nhằm tạo ra nội lực bất lợi cho từng bộ phận như sau:

Dầm chính (mỗi dầm tính riêng): Xem như dầm giản đơn nhịp L , chịu: tải bánh của xe con đặt gần giữa nhịp (trường hợp gây mômen uốn lớn nhất), trọng lượng bản thân dầm chính quy dẫn thành tải phân bố q_1 , dùng để xác định các thông số quan trọng của dầm.

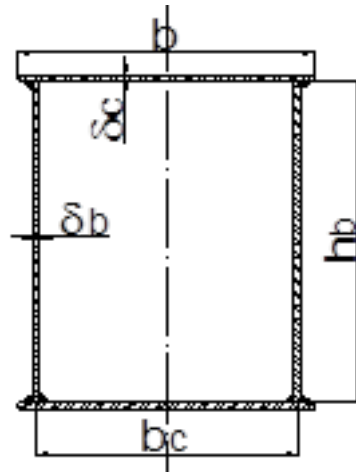
Với cách tách bài toán như trên, nội lực cho từng bộ phận được lập bằng cách cho xe con chạy dọc nhịp để tìm vị trí bất lợi; sau đó tính ứng suất uốn, ứng suất cắt và độ võng theo công thức Sức bền vật liệu, làm cơ sở đối chiếu với mô phỏng PTHH ở các mục tiếp theo.



Hình 3. Biểu đồ nội lực của dầm chủ cầu trục hai dầm: a) Sơ đồ tính, b) Biểu đồ nội lực, c) Biểu đồ mômen.

Ngoài ra, kích thước mặt cắt của dầm

chính cũng được xác định sơ bộ theo tài liệu [2] và các biểu đồ nội lực được xác định theo lý thuyết sức bền vật liệu trong trường hợp tính toán, kết quả về lực cắt và mô men uốn thu được như hình 3. Kiểm tra các điều kiện độ bền, độ cứng và ổn định thu được mặt cắt có dạng và kích thước như hình 4.



Hình 4. Mặt cắt ngang của dầm chủ cầu trục hai dầm: $b_c = 650\text{mm}$, $b = 700\text{mm}$, $h_b = 1900\text{mm}$, $\delta_c = 16\text{mm}$, $\delta_b = 12\text{mm}$.

2.1.2. Cơ sở lý thuyết phương pháp PTHH tính toán kết cấu thép dầm chủ và dầm đầu

2.1.2.1. Theo lý thuyết PTHH

Trong nghiên cứu này, phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) được sử dụng để mô phỏng và phân tích ứng xử chịu lực của kết cấu thép cầu trục hai dầm. Cơ sở lý thuyết của PTHH được trình bày chi tiết trong các tài liệu [3].

Kết cấu cầu trục được mô hình hóa dưới dạng khung không gian ba chiều, trong đó dầm chính và dầm đầu được liên kết toàn khối. Mỗi dầm được rời rạc hóa bằng các phần tử dầm không gian, cho phép mô phỏng đồng thời các dạng làm việc uốn, cắt và xoắn của kết cấu. Các điều kiện biên được thiết lập phù hợp với sơ đồ

làm việc thực tế của cầu trục khi di chuyển trên ray.

Tải trọng tác dụng lên kết cấu bao gồm tải trọng nâng danh nghĩa, trọng lượng bản thân các bộ phận kết cấu và các thành phần tải trọng quy đổi từ xe con mang hàng. Các trường hợp tải được lựa chọn nhằm tạo ra nội lực và chuyển vị bất lợi đối với dầm chính, phục vụ cho việc đánh giá độ bền và độ cứng của kết cấu.

Sau khi thiết lập mô hình, bài toán cân bằng tổng thể của hệ được giải bằng phương pháp số trên cơ sở PTHH để xác định các đại lượng đặc trưng như phản lực gối tựa, chuyển vị, nội lực và ứng suất trong các bộ phận kết cấu. Các bước giải theo mô hình PTHH được sơ đồ hóa như hình 5:



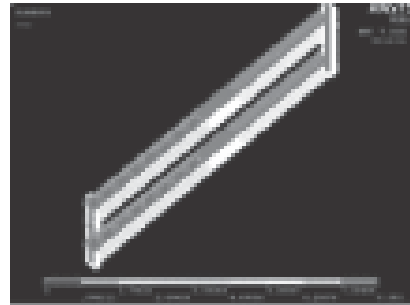
Hình 5. Các bước giải bài toán phần tử dầm bằng phương pháp PTHH.

2.1.2.2. Áp dụng phần mềm ANSYS APDL

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng phần tử dầm không gian BEAM189 gồm hai nút với sáu bậc tự do tại mỗi nút (dịch chuyển theo ba phương và quay quanh ba trục tọa độ). BEAM189 trong code ANSYS APDL. Vật liệu sử dụng là thép CT3, loại thép cacbon thông dụng trong chế tạo kết cấu thép tại Việt Nam, có mô đun đàn hồi $E = 2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ và hệ số Poisson $\nu = 0.3$, mô hình khung không gian toàn bộ khi dầm chủ và dầm đầu liên kết với nhau.

Các kết quả thu được từ mô phỏng, bao gồm biến dạng, chuyển vị, phản lực tại gối, lực

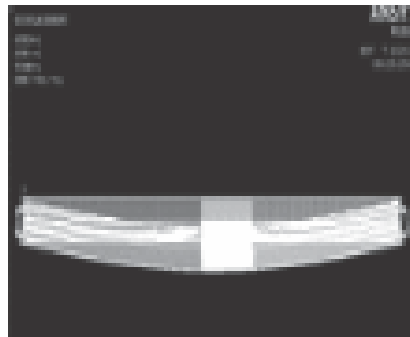
cắt, mô men uốn và ứng suất pháp lớn nhất, được thể hiện trong Hình 6:



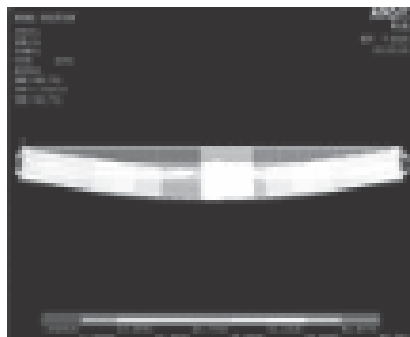
Mô hình PTHH dầm chính-dầm chủ



Mặt cắt dầm chủ trong không gian



Biến dạng

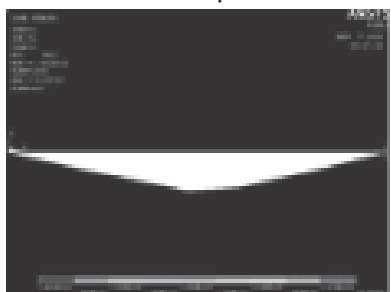


Biểu đồ chuyển vị

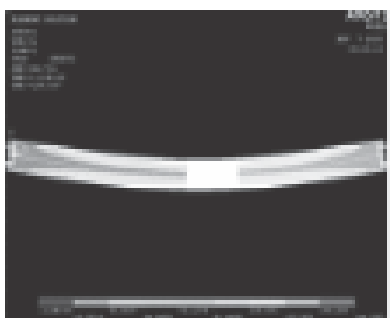




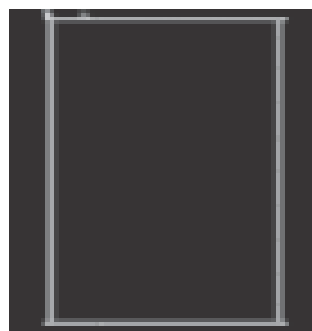
Biểu đồ lực cắt



Biểu đồ mô men uốn



Ứng suất theo Von Mises



Mặt cắt dầm chủ

Hình 6. Kết quả mô phỏng từ mô hình khung không gian dầm chủ - dầm đầu dạng code trên ANSYS APDL

2.2. So sánh kết quả tính toán giữa phương pháp sức bền vật liệu và ANSYS APDL

Để xác nhận tính đúng đắn của mô hình tính trên code của ANSYS APDL, tác giả đã so sánh cả trường hợp tính giữa phương pháp tính tay và phương pháp mô phỏng. Kết quả so sánh của mô hình dầm chủ - dầm đầu lần lượt trong bảng 1 và ứng suất một số trường hợp theo bảng 2. Theo kết quả so sánh, về cơ bản các giá trị đều sai lệch dưới 3% trường hợp chuyển vị của mô hình không gian cầu trục, điều này chứng tỏ kết quả tính trên ANSYS chính xác và mô hình được xác nhận trong trường hợp tính này.

Bảng 1. So sánh kết quả mô phỏng dầm chính

Thông số	Phản lực tại B (N)	Chuyển vị (mm)	Mô men uốn (N.m)	Ứng suất (N/mm ²)
SBVL	530230	28,37	4306000	124,33
ANSYS	540812	28,58	4310000	124,45
Sai lệch (%)	1,95%	0,73%	0,092%	0,096%

Bảng 2. Kết quả so sánh ứng suất dầm chính theo sức bền và phần mềm ANSYS APDL

TT	b (mm)	h_b (mm)	δ_b (mm)	δ_c (mm)	Ứng suất theo ANSYS (Mpa)	Ứng suất theo SBVL (MPa)	Sai số (%)
1	770	1520	10.8	14.4	176.775	175.98	0.45
2	770	1520	12	14.4	170.669	170.09	0.34
3	770	1520	13.2	14.4	164.97	164.59	0.23
4	840	1520	9.6	16	160.055	158.84	0.76
5	840	1520	10.8	16	155.064	154.1	0.63
6	840	1520	12	16	150.375	149.63	0.49
7	560	1710	9.6	12.8	205.137	204.43	0.34
8	560	1710	10.8	12.8	194.777	194.28	0.25
9	560	1710	12	12.8	185.414	185.08	0.18
10	630	1710	13.2	12.8	166.592	166.42	0.1
11	630	1710	14.4	12.8	159.964	159.64	0.2
12	630	1710	9.6	14.4	178.564	177.7	0.48
13	700	1710	14.4	17.6	127.473	127.02	0.35
14	700	1710	9.6	19.2	138.142	136.84	0.95
15	700	1710	10.8	19.2	133.469	132.38	0.82

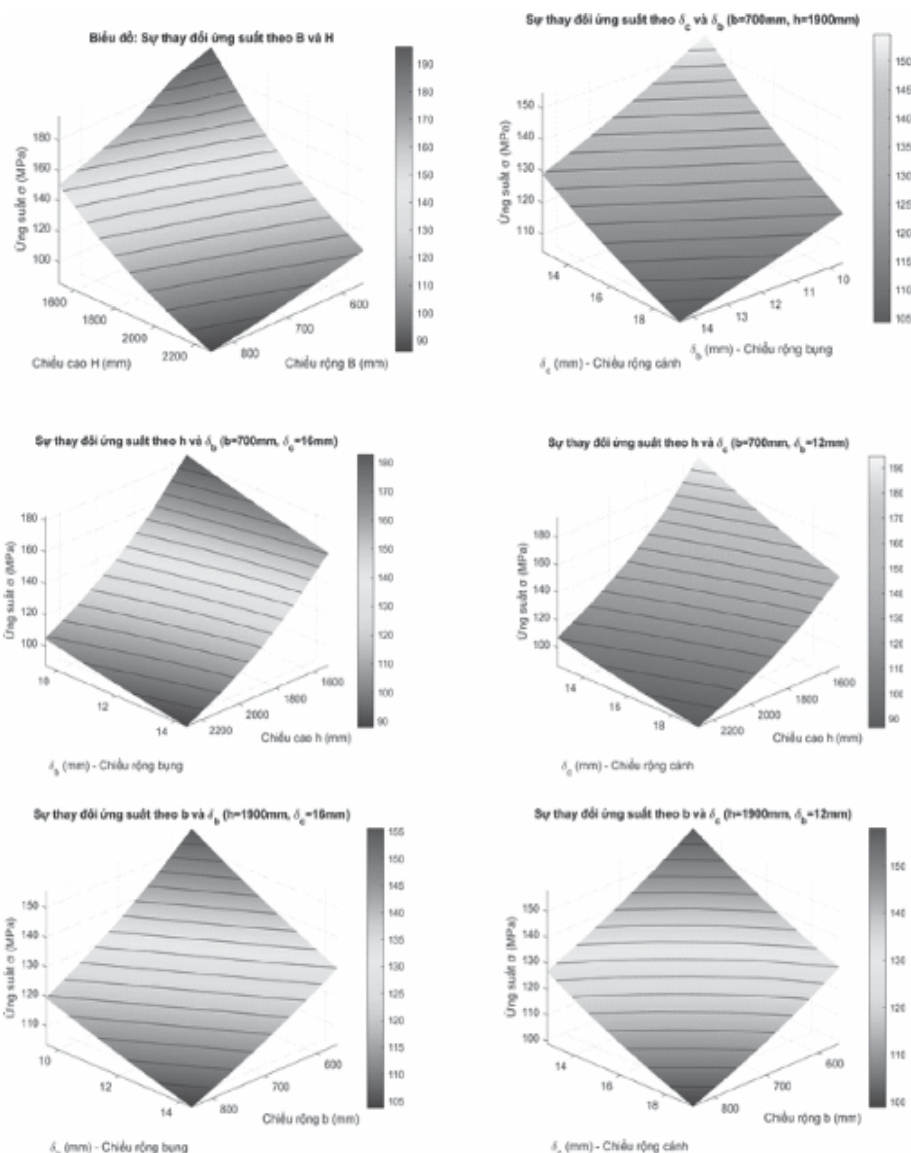
2.3. Phân tích đa tham số kích thước mặt cắt dầm chủ

Trên cơ sở mô hình code khung không gian, có thể dễ dàng thay đổi các thông số đầu vào về vật liệu và hình học của dầm chủ cũng như dầm đầu. Trên cơ sở mô hình khung không gian tham số hóa được xây dựng bằng ANSYS APDL, tiến hành phân tích đa tham số nhằm

đánh giá định lượng ảnh hưởng của các kích thước hình học chủ yếu của mặt cắt dầm chính đến ứng suất lớn nhất trong kết cấu. Các tham số được khảo sát bao gồm chiều cao bản bụng h_b , chiều rộng bản cánh b, chiều dày bản cánh δ_c và chiều dày bản bụng δ_b , với miền biến đổi $\pm 20\%$ so với giá trị danh nghĩa như trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Miền khảo sát của các tham số mặt cắt

Thông số	Chiều cao bản bụng h_b (mm)	Chiều rộng bản cánh b (mm)	Chiều dày bản cánh δ_c (mm)	Chiều dày bản bụng δ_b (mm)
Giá trị danh nghĩa	1900	700	16	12
Khoảng biến đổi	$\pm 20\%$	$\pm 20\%$	$\pm 20\%$	$\pm 20\%$
Khoảng giá trị	[1520 2280]	[560 840]	[12,8 19,2]	[9,6 14,4]
Số điểm xem xét (5 điểm)	1520, 1710, 1900, 2090, 2280	560, 630, 700, 770, 840	12.8, 14.4, 16, 17.6, 19.2	9.6, 10.8, 12, 13.2, 14.4



Hình 7. Mối quan hệ giữa các kích thước mặt cắt h_b , b , δ_c , δ_b đến ứng suất σ mặt cắt dầm chính.

Để đánh giá ảnh hưởng của sai số và lựa chọn vật liệu thép tấm, đã thực hiện biến đổi các thông số hình học của mặt cắt dầm chủ để xét ảnh hưởng của các thông số này đến ứng suất của kết cấu theo các giá trị như bảng 3. Từ đó đánh giá khả năng chịu lực của kết cấu thiết kế.

Xét mô hình khung không gian kết cấu thép cầu trục, cho biến đổi giá trị 2 trong

4 thông số mặt cắt chiều cao h_b , chiều rộng b , chiều dày bản cánh δ_c , chiều dày bản bụng δ_b và hai thông số còn lại giữ nguyên, mối quan hệ giữa chúng với ứng suất nhận được như hình 7. Kết quả trên đồ thị cho thấy chiều cao mặt cắt là ảnh hưởng lớn nhất đến khả năng chịu lực của kết cấu.

Khi giữ nguyên các tham số b , δ_c , δ_b và thay đổi chiều cao mặt cắt h_b trong khoảng

$[h_{bmin} = 1520; h_{bmax} = 2280]$ mm, kết quả mô phỏng cho thấy ứng suất lớn nhất trong dầm chính giảm rõ rệt khi h_b tăng. Cụ thể, khi h_b tăng 20% so với giá trị danh nghĩa (từ 1520mm lên 2280mm), ứng suất lớn nhất giảm từ $\sigma = 170.159$ MPa xuống $\sigma = 95.580$ MPa, tương ứng mức giảm 43,83%. Trong trường hợp giữ nguyên h_b , b , δ_b và thay đổi chiều dày bản cánh δ_c trong khoảng $[\delta_{cmin} = 12.8 \text{ mm}; \delta_{cmax} = 19.2 \text{ mm}]$, ứng suất trong dầm chính cũng có xu hướng giảm khi δ_c tăng. Khi δ_c tăng 20%, ứng suất giảm từ 140.625 MPa xuống 111.68 MPa. Khi thay đổi chiều rộng bản cánh b trong khoảng $[560\text{mm}; 840\text{mm}]$ và giữ nguyên các tham số còn lại, ứng suất trong dầm chính chỉ thay đổi giảm 21.55%. Kết quả này cho thấy trong miền khảo sát, b và δ_b có mức độ ảnh hưởng thấp hơn đáng kể so với h_b và δ_c .

Như vậy, có thể xem xét thay đổi đồng thời các thông số mặt cắt h_b , b , δ_c , δ_b để xét sự biến đổi của ứng suất từ đó đánh giá khả năng chịu lực của kết cấu dầm chủ. Trong trường hợp này đồng thời giảm các thông số xuống nhỏ nhất có kết quả ứng suất là lớn nhất trong các tổ hợp tính toán nhưng vẫn đảm bảo nhỏ hơn ứng suất cho phép là $[\delta] = 171,62$ MPa.

3. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng và áp dụng thành công mô hình mô phỏng số dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn để phân tích ứng xử chịu lực của kết cấu thép cầu trục hai dầm với dầm chính có mặt cắt dạng tổ hợp. Mô hình được thiết lập dưới dạng khung không gian tham số hóa bằng ngôn ngữ ANSYS APDL, cho phép mô phỏng đồng thời sự làm việc của dầm chính và dầm đầu trong điều kiện tải trọng làm việc thực tế.

Kết quả so sánh giữa phương pháp tính toán truyền thống theo lý thuyết Sức bền vật

liệu và mô phỏng bằng ANSYS APDL cho thấy độ sai lệch của các đại lượng đặc trưng (phản lực gối, chuyển vị lớn nhất, mô men uốn và ứng suất) đều nhỏ hơn 1%, khẳng định độ tin cậy của mô hình số được xây dựng và khả năng ứng dụng trong tính toán, thiết kế kết cấu cầu trục hai dầm.

Tuy nhiên, nghiên cứu hiện tại mới chỉ xem xét bài toán chịu tải tĩnh và chưa xét đến các yếu tố như tải trọng động, dao động của xe con và ổn định cục bộ của các bản thép. Trong các nghiên cứu tiếp theo, mô hình sẽ được mở rộng để xét đến các yếu tố này, cũng như kết hợp với các phương pháp tối ưu hóa và mô hình xấp xỉ nhằm nâng cao hiệu quả tính toán và thiết kế. ❖

Ngày nhận bài: 09/3/2026

Ngày phản biện: 23/3/2026

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Văn Hợp, Phạm Thị Nghĩa, Lê Thiện Thành, “*Máy trục vận chuyển*”. NXB. Giao thông vận tải, Hà Nội, 2000.
- [2]. Nguyễn Văn Hợp, Phạm Thị Nghĩa, “*Kết cấu thép máy xây dựng – xếp dỡ*”. NXB. Giao thông vận tải, Hà Nội, 1996.
- [3]. Chu Quốc Thắng, “*Phương pháp phần tử hữu hạn*”. NXB. Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, 1997.
- [4]. ANSYS Mechanical APDL Structural Analysis Guide.
- [5]. Nguyễn Văn Vịnh, Đoàn Văn Tú, “*Nghiên cứu ứng dụng phần mềm Ansys trong tính toán kết cấu thép cần trục tháp theo mẫu JTL65C4*”. Tạp chí Bộ Giao thông vận tải, 08 (2014) 19-23.
- [6]. Bùi Thanh Danh, Đoàn Văn Tú, “*Ứng dụng phần mềm ANSYS APDL trong tính toán thiết kế cổng trục long môn phục vụ lao lắp dầm bê tông khẩu độ nhịp nhỏ trong thi công cầu dân sinh*”. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 08 (2020) 57-68.