

# Ảnh hưởng của tính bất đối xứng chiều cao trụ tháp đến sự phân bố nội lực trong dầm chủ cầu treo dây võng

Effect of tower height asymmetry on internal force distribution in main girder of suspension bridge

> **NGÔ VĂN TÌNH<sup>1</sup>, NGÔ VĂN QUÂN<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Khoa Xây dựng, Học viện Hàng không Việt Nam

## TÓM TẮT

Cầu treo dây võng là dạng kết cấu siêu tĩnh bậc cao, có tính thẩm mỹ về kiến trúc và khả năng vượt nhịp lớn. Trong cầu treo dây võng thì dầm chủ, trụ tháp, cáp chủ, cáp treo là những kết cấu chịu lực chính. Trong cầu treo dây võng, thường có hai trụ tháp với chiều cao bằng nhau. Tuy nhiên, trong thực tế chiều cao của hai trụ tháp không nhất thiết phải bằng nhau gọi là bất đối xứng và thực tế là đã có những công trình cầu treo dây võng với chiều cao trụ tháp không đối xứng nhau. Khi chiều cao trụ tháp không đối xứng và thay đổi thì sự phân bố nội lực, biến dạng, chuyển vị của các kết cấu trong cầu treo dây võng cũng thay đổi. Trong bài báo này tác giả tập trung khảo sát ảnh hưởng của tính bất đối xứng chiều cao trụ tháp đến sự phân bố nội lực trong dầm chủ của cầu treo dây võng thông qua phân tích kết quả tính toán các mô hình cầu treo dây võng dựa trên kết quả thống kê kích thước, tỷ lệ nhịp, chiều cao trụ tháp của các cầu treo dây võng thực tế trên thế giới. Thông qua việc sử dụng phần mềm phân tích kết cấu cầu rất phổ biến ở Việt Nam hiện nay là Midas/civil và các lý thuyết phần tử hữu hạn. Còn ảnh hưởng của tính bất đối xứng chiều cao trụ tháp đến nội lực trong trụ tháp, cáp chủ, cáp treo và biến dạng, chuyển vị sẽ được xem xét trong các bài báo sau.

**Từ khóa:** Cầu treo dây võng; cầu treo dây võng bất đối xứng; nội lực trong cầu treo dây võng; cầu New San Francisco-Oakland bay; trụ tháp cầu treo dây võng.

## ABSTRACT

Suspension bridge is high-level static structure, with architectural aesthetics and the ability to overcome long spans. In a suspension bridge, the main girder, tower, main cable, and suspender cable are the main load-bearing structures. In a suspension bridge, there are usually two towers with the same height. However, in reality, the height of the two towers is not necessarily equal, called asymmetry and the fact that there have been suspension bridges with asymmetrical tower heights. When the height of the towers is not symmetrical and changes, the distribution of internal forces, deformation, and displacement of the structures in the suspension bridge also changes. In this paper, the author studies the influence of towers height asymmetry on the distribution of internal forces in the main girder of a suspension bridge by analyzing the results of calculation of models of suspension bridges based on Statistical results of size, span ratio, tower height of the actual suspension bridge in the world. Using software to analyze bridge structure very popular in Vietnam is Midas/civil and the theory of finite element method. The influence of tower height asymmetry on internal forces in tower, main cables, suspender cable and deformation and displacement will be considered in the following articles.

**Keywords:** Suspension bridge; Suspension bridges with asymmetrical tower heights; finite element method; New San Francisco-Oakland bay suspension bridge; main deck.

## 1. GIỚI THIỆU

Cầu treo dây văng là một dạng kết cấu có nhiều ưu điểm trong đó khả năng khai thác triệt để tính năng của vật liệu trong các bộ phận chịu lực chính đã giúp cho cầu treo dây văng vượt được khẩu độ rất lớn mà các loại kết cấu khác không làm được kể cả cầu dây văng. Hiện nay, cầu treo dây văng được coi là loại cầu đẹp, nhẹ và chịu lực tốt, được áp dụng phổ biến trên thế giới cho các cầu nhịp lớn [1].



**Hình 1.** Mô hình tính toán cầu treo dây văng biến dạng nhỏ

Cầu treo dây văng là một hệ siêu tĩnh bậc cao. Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến sự phân bố nội lực trong cầu treo dây văng như: chiều dài nhịp, cấu tạo dầm chính, số lượng mặt phẳng dây treo, chiều cao tháp cầu, vật liệu... Trong lịch sử phát triển cầu treo dây văng, các nhà nghiên cứu đã đề nghị các sơ đồ nhịp hợp lý về khả năng chịu lực của cầu. Thực tế không phải bất kỳ ở vị trí nào chúng ta cũng có thể xây dựng được một kết cấu đối xứng như mong đợi. Trong đó, vị trí trụ tháp và chiều dài nhịp phụ thuộc vào các điều kiện địa hình, địa chất, thủy văn và yêu cầu khổ thông thuyền. Do đó tính bất đối xứng của chiều cao tháp cầu trực tiếp ảnh hưởng đến chiều dài nhịp và sau đó là ảnh hưởng đến nội lực, biến dạng và chuyển vị trong kết cấu. Và thực tế đã có công trình cầu treo dây văng bất đối xứng đã được xây dựng là Cầu New San Francisco-Oakland bay xây dựng năm 2002 [7].

Nhằm mục đích làm rõ hơn ảnh hưởng của tính bất đối xứng chiều cao trụ tháp đến phân bố nội lực trong cầu treo dây văng, nội dung bài báo này phân tích và so sánh kết quả tính toán nội lực trong các sơ đồ kết cấu cầu treo dây văng với chiều cao trụ tháp thay đổi dựa trên thống kê những công trình cầu treo dây văng thực tế trên thế giới đã được xây dựng. Quá trình mô hình tính toán được thực hiện bằng phần mềm tính toán thiết kế cầu khá phổ biến ở Việt Nam hiện nay là MIDAS/civil [3].

Tại Việt Nam hiện tại việc tính toán thiết kế thực hiện theo Tiêu chuẩn TCVN11823-2017 (được điều chỉnh từ 22TCN272-05). Khi tính toán thiết kế kết cấu cầu thì tổ hợp nội lực tùy theo từng dạng kết cấu cầu mà mức độ quan trọng của các trạng thái giới hạn cũng khác nhau. Tuy nhiên, thường thì Trạng thái giới hạn cường độ 1 (TTGHCD1) và Trạng thái giới hạn sử dụng (TTGHSD) là quan trọng và ưu tiên hơn cả. Để nghiên cứu gần hơn với thực tế tính toán thiết kế, các tải trọng tính toán cơ bản được lấy theo tiêu chuẩn trên gồm các Tải trọng bản thân (TTBT) và hoạt tải HL93. Và nội lực sẽ được so sánh giữa các trường hợp sơ đồ kết cấu do (TTBT) và tổ hợp theo (TTGHCD1) [2].

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Trụ tháp và nhịp chính cầu treo dây văng

Cầu treo dây văng gồm các bộ phận chính sau: Dầm chủ, trụ tháp, cáp chủ, cáp treo, mố neo. Trong đó trụ tháp là một trong những bộ phận chính tạo nên đặc điểm nổi bật và đặc trưng cho kết cấu cầu treo dây văng. Vật liệu thiết kế trụ tháp thường là thép hoặc bê tông cốt thép. Theo phương ngang cầu, trụ tháp thường có dạng dàn, dạng cổng hoặc dạng phối hợp giữa hai loại trên. Trụ tháp được phân loại thành tháp cứng, tháp mềm và tháp chân khớp khi xét đến độ cứng của trụ tháp. Tháp mềm thường dùng ở cầu treo nhiều nhịp để cung cấp đủ độ cứng cho cầu. Tháp chân khớp thường dùng ở cầu treo nhịp ngắn [5].

Chiều dài nhịp chính  $L$ , chiều cao trụ tháp  $H$  và tỷ lệ  $L/H$  của một số cầu treo dây văng được thống kê trong Bảng 1 [5], [6].

**Bảng 1.** Chiều dài nhịp chính, nhịp biên và chiều cao trụ tháp của một số cầu treo dây văng.

STT	Tên cầu	Nhịp chính $L_0$ (m)	Trụ Tháp $H$ (m)	Nhịp biên $L_1$ (m)	$H/L_0$	$H/L_1$
1	Massina Straits	3300	382	810	0.116	0.472
2	Akashi Kaikyo	1991	282	960	0.142	0.294
3	Runyang	1490	207	-	0.139	-
4	Verrazano Narrows	1298	207	307	0.159	0.673
5	Golden Gate	1280	227	343	0.178	0.663
6	Hega Kusten	1210	180	310	0.148	0.580
7	Mackinac Straits	1158	168	548	0.145	0.306
8	George Washington	1067	183	186	0.171	0.984
9	Ponte 25 de Abril	1013	190	483	0.188	0.394
10	Forth Road	1006	150	408	0.149	0.368
11	Kita Bisan – Seto	990	161	274	0.163	0.588
12	Severn	98	136	305	0.138	0.446
13	Ohnaruto	876	128	330	0.146	0.388
14	Jiangyin	1385	190	336	0.137	0.565
15	Great Belt East	1624	254	535	0.156	0.474
16	Humber	1410	155	280	0.110	0.555
17	Tsing Ma	1377	206	455	0.150	0.453
18	Storda	677	97	-	0.143	-
19	Thuận Phước	405	98	120	0.242	0.816

Từ thực tế những cây cầu đã được xây dựng qua thống kê giữa tỷ lệ giữa chiều cao trụ tháp  $H$  và nhịp chính  $L_0$  ta thấy  $H/L_0=0.110 \sim 0.333$ . Mặt khác lại có  $H/L_1=0.3 \sim 1.0$ . Từ đây chọn  $H/L_1=0.6 \sim 0.8$  để xem xét nghiên cứu. (Với  $H_i=h_i + h$ : Trong đó  $h=40m=const$  là chiều cao từ đỉnh bệ đến dầm,  $h_i$  là chiều cao từ dầm đến trụ tháp. Vậy ta chọn  $h_i/L_i=0.3 \sim 0.4$ ).

### 2.2. Các trường hợp nghiên cứu

Các sơ đồ lựa chọn nghiên cứu là cầu treo dây văng ba nhịp có các thông số kỹ thuật như sau:

Chiều dài các nhịp giữa là không thay đổi với  $L_0=400m$ .

Chiều dài nhịp biên bên phải không thay đổi với  $L_2=125m$ .

Chiều dài nhịp biên bên trái không thay đổi với  $L_1=100m$ .

Chiều cao phần trụ tháp từ mặt cầu đến chân tháp là không thay đổi và bằng 40m

Khổ cầu rộng 11m, cho hai làn xe và hai làn bộ hành.

Neo cáp chủ: dạng neo vào đất nền bằng khối neo.

Trụ tháp: Dạng khung cứng được bố trí 3 giằng ngang tại đỉnh trụ tháp, giữa đỉnh trụ tháp và mặt cầu, tại vị trí bản mặt cầu.

Dạng liên kết của cáp chủ tại đỉnh trụ tháp: Cáp chủ được ngàm vào đỉnh của trụ tháp và trong tất cả các trường hợp nghiên cứu tính không thông thuyền xem như không thay đổi.

Để xem xét tính bất đối xứng của trụ tháp đến sự thay đổi nội lực ta lần lượt cho chiều cao trụ tháp thay đổi với các trường hợp kết cấu như sau:

Trong bài báo này nghiên cứu phân tích 24 trường hợp chiều cao trụ tháp thay đổi (trong phạm vi:  $h_i/L_i=0,24 \sim 0,45$ ; trong đó  $L_i$ ,  $h_i$  là chiều dài nhịp biên và chiều cao trụ tháp tương ứng) để từ đó tìm ra mối quan hệ giữa tính bất đối xứng của chiều cao trụ tháp đến phân bố nội lực trong cầu treo dây văng.

Chiều cao trụ tháp phía nhịp biên trái (với:  $L_1=100m$ ) có chiều cao nhỏ nhất tính từ cao độ mặt cầu là  $h_1=30m$  chiều cao lớn nhất  $h_1=45m$ . Tương tự như trụ tháp 1, chiều cao trụ tháp 2 bên phía

nhịp biên phải có chiều cao nhỏ nhất tính từ cao độ mặt cầu là  $h_2=30m$  đến chiều cao  $h_2=55m$ .

**Bảng 2.** Chiều cao của trụ tháp và tỷ lệ bất đối xứng của chiều cao trụ tháp trong các trường hợp nghiên cứu

Nhóm	TH	Chiều cao trụ tháp tính từ mặt cầu đến đỉnh trụ (m) và tỷ lệ bất đối xứng của chiều cao trụ tháp					Chiều cao tính từ đỉnh bộ đến đỉnh trụ (m)	
		$h_1$	$h_1/30$	$h_2$	$h_2/30$	$h_2/h_1$	$H_1$	$H_2$
1	1	30	100%	30	100%	100%	70	70
	2	30	100%	35	117%	117%	70	75
	3	30	100%	40	133%	133%	70	80
	4	30	100%	45	150%	150%	70	85
	5	30	100%	50	167%	167%	70	90
	6	30	100%	55	183%	183%	70	95
2	7	35	117%	30	100%	86%	75	70
	8	35	117%	35	117%	100%	75	75
	9	35	117%	40	133%	114%	75	80
	10	35	117%	45	150%	128%	75	85
	11	35	117%	50	167%	143%	75	90
	12	35	117%	55	183%	157%	75	95
3	13	40	133%	30	100%	75%	80	70
	14	40	133%	35	117%	88%	80	75
	15	40	133%	40	133%	100%	80	80
	16	40	133%	45	150%	113%	80	85
	17	40	133%	50	167%	125%	80	90
	18	40	133%	55	183%	138%	80	95
4	19	45	150%	30	100%	67%	85	70
	20	45	150%	35	117%	78%	85	75
	21	45	150%	40	133%	89%	85	80
	22	45	150%	45	150%	100%	85	85
	23	45	150%	50	167%	111%	85	90
	24	45	150%	55	183%	122%	85	95

**2.3. Các thông số vật liệu, đặc trưng hình học và tải trọng**

Các thông số về vật liệu của các bộ phận kết cấu và đặc trưng hình học được lấy theo các bảng 3 và bảng 4.

**Bảng 3.** Thông số vật liệu của các bộ phận kết cấu

Thông số	Đơn vị	Cáp chủ	Cáp treo	Dầm chủ	Trụ tháp
Mô đun đàn hồi ( $E_v$ )	kN/m <sup>2</sup>	2,0.10 <sup>8</sup>	1,4.10 <sup>8</sup>	2,1.10 <sup>8</sup>	2,1.10 <sup>8</sup>
Trọng lượng đơn vị	kN/m <sup>3</sup>	82,5	78,5	78,5	78,5
Hệ số Poisson	-	0,3	0,3	0,3	0,3

**Bảng 4.** Đặc trưng hình học các bộ phận kết cấu

Thông số	Cáp chủ	Cáp treo	Dầm chủ	Trụ tháp	Giằng trụ
Diện tích mặt cắt (m <sup>2</sup> )	0,04.178	0,00209	1.0016	0,16906	0,1046
Momen quán tính $I_{xx}$ (m <sup>4</sup> )	0	0	0,4399	0,1540	0,1540
Momen quán tính $I_{yy}$ (m <sup>4</sup> )	0	0	0,1316	0,1450	0,1080
Momen quán tính $I_{zz}$ (m <sup>4</sup> )	0	0	3,2667	0,1143	0,0913

Tải trọng được xem xét trong bài báo này bao gồm: Tĩnh tải bản thân kết cấu (TTBT), hoạt tải HL93 bao gồm tải trọng xe 3 trục, xe 2 trục, tải trọng làn và tải trọng người theo TCVN11823-2017. Tĩnh theo trạng thái giới hạn cường độ 1 (TTGHCĐ1).

**2.4. Mô hình tính toán**

Trong bài báo này chỉ xem xét phân tích trong giai đoạn khai thác nên mô hình lựa chọn để phân tích tính toán là mô hình biến dạng nhỏ, tức là xem xét vật liệu tuyến tính. Việc áp dụng mô hình biến dạng nhỏ nhằm mục đích phân tích tính bất đối xứng của chiều cao trụ tháp đến sự phân bố nội lực và biến dạng của cầu treo dây võng trong giai đoạn hoàn thiện. Quá trình phân tích này không đề cập đến việc phân tích động lực học công trình, ổn định tổng thể của kết cấu cũng như kiểm toán ứng suất trong các tiết diện. Phần mềm Midas/civil rất phổ biến và thuận lợi cho việc mô hình và phân tích kết quả tính toán.

**3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

Trong bài báo này đảm chủ có tiết diện không thay đổi vì vậy ta chỉ cần xét các mặt cắt bất lợi nhất của đảm chủ bao gồm: Mặt cắt giữa nhịp biên bên trái (MDC.NB1), mặt cắt nhịp giữa trụ tháp 1 và vị trí cáp treo ngắn nhất của nhịp giữa (MDC.NC1-1), mặt cắt tại vị trí cáp treo ngắn nhất của nhịp giữa (MDC.NC1-2), mặt cắt giữa trụ tháp 2 và vị trí cáp treo ngắn nhất nhịp giữa (MDC.NC1-3) và mặt cắt giữa nhịp biên bên phải (MDC.NB2).

Kết quả mô men trong đảm chủ và so sánh các kết quả được trình bày trong các bảng từ Bảng 5 đến Bảng 9.

**Bảng 5.** Mô men tại mặt cắt MCD.NB1

Nhóm	TH	Mômen của các trường hợp tải trọng (tonf.m)			
		TTBT		TTGHCĐ1	
		$M_1$	$M_i/M_1$	$M_1$	$M_i/M_1$
1	1	541.3	100%	3668.7	100%
	2	530.1	97.9%	3818.2	104.1%
	3	519.2	95.9%	3963.4	108.0%
	4	506.1	93.5%	4088.8	111.4%
	5	491.9	90.8%	4227.5	115.2%
	6	474.7	87.7%	4343.3	118.3%
2	7	440.6	81.4%	3671.3	100.1%
	8	431.4	79.7%	3816.5	104.0%
	9	423.0	78.1%	3959.1	107.9%
	10	414.0	76.5%	4095.1	111.6%
	11	403.5	74.5%	4222.4	115.1%
	12	391.3	72.2%	4339.9	118.3%
3	13	365.4	67.5%	3687.0	100.5%
	14	357.7	66.1%	3827.3	104.3%
	15	351.3	64.9%	3966.1	108.1%
	16	344.7	63.7%	4099.3	111.7%
	17	337.4	62.3%	4225.2	115.2%
	18	328.5	60.7%	4342.2	118.3%
4	19	310.9	57.4%	3710.7	101.1%
	20	304.3	56.2%	3845.7	104.8%
	21	299.3	55.3%	3979.6	108.5%
	22	294.4	54.4%	4109.0	112.0%
	23	289.0	53.4%	4232.2	115.4%
	24	282.6	52.2%	4347.4	118.5%

**Bảng 6. Mô men tại mặt cắt MCD.NC1-1**

Nhóm	TH	Mômen của các trường hợp tải trọng (tonf.m)			
		TTBT		TTGHÇĐ1	
		M <sub>1</sub>	M <sub>i</sub> /M <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>i</sub> /M <sub>1</sub>
1	1	492.5	100%	2936.3	100%
	2	482.3	97.9%	2975.1	101.3%
	3	472.1	95.8%	3010.5	102.5%
	4	459.6	93.3%	3033.2	103.3%
	5	445.3	90.4%	3061.8	104.3%
	6	427.3	86.7%	3075.6	104.7%
2	7	388.1	78.8%	2885.1	98.2%
	8	379.6	77.1%	2922.0	99.5%
	9	372.2	75.6%	2958.3	100.7%
	10	363.9	73.9%	2990.5	101.8%
	11	353.7	71.8%	3016.7	102.7%
	12	341.0	69.2%	3036.2	103.4%
3	13	306.1	62.1%	2865.0	96.6%
	14	298.9	60.7%	2900.2	98.7%
	15	293.5	59.6%	2936.1	100%
	16	287.7	58.4%	2969.2	101.1%
	17	280.7	57.0%	2997.7	102.1%
	18	271.7	55.2%	3020.4	102.8%
4	19	243.0	49.3%	2870.0	97.7%
	20	236.7	48.1%	2903.0	98.8%
	21	232.5	47.2%	2937.8	100.1%
	22	228.4	46.4%	2970.6	101.2%
	23	223.5	45.4%	2999.8	102.2%
	24	217.2	44.1%	3023.9	102.9%

**Bảng 7. Mô men tại mặt cắt MCD.NC1-2**

Nhóm	TH	Mômen của các trường hợp tải trọng (tonf.m)			
		TTBT		TTGHÇĐ1	
		M <sub>1</sub>	M <sub>i</sub> /M <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>i</sub> /M <sub>1</sub>
1	1	569.2	100%	3204.6	100%
	2	497.6	87.4%	3220.2	100.5%
	3	405.4	71.2%	3202.4	99.9%
	4	309.9	54.4%	3163.6	98.7%
	5	221.2	38.8%	3170.9	98.9%
	6	142.9	25.1%	3243.3	101.2%
2	7	483.1	84.8%	3180.8	99.3%
	8	457.7	80.4%	3271.7	102.1%
	9	403.4	70.8%	3303.6	103.1%
	10	337.1	59.2%	3313.8	103.4%
	11	269.8	47.4%	3318.4	103.5%
	12	207.3	36.4%	3326.4	103.8%
3	13	383.0	67.3%	3150.7	98.3%
	14	394.0	69.2%	3270.5	102.1%
	15	370.7	65.1%	3353.7	104.6%
	16	329.6	57.9%	3396.6	106.0%
	17	281.6	49.5%	3423.1	106.8%
	18	233.6	41.0%	3449.2	107.6%
4	19	285.6	50.2%	3119.9	97.4%
	20	323.3	56.8%	3270.4	102.1%
	21	324.1	56.9%	3369.0	105.1%
	22	303.5	53.2%	3446.2	104.4
	23	272.0	47.8%	3495.4	109.1%
	24	236.9	41.6%	3530.5	110.2%

**Bảng 8. Mô men tại mặt cắt MCD.NC1-3**

Nhóm	TH	Mômen của các trường hợp tải trọng (tonf.m)			
		TTBT		TTGHÇĐ1	
		M <sub>1</sub>	M <sub>i</sub> /M <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>i</sub> /M <sub>1</sub>
1	1	523.2	100%	2994.7	100%
	2	415.8	79.5%	2935.0	98.0%
	3	329.4	62.9%	2903.8	96.9%
	4	261.1	49.9%	2889.9	96.5%
	5	208.1	39.8%	2908.5	97.1%
	6	167.1	31.9%	2934.3	97.9%
2	7	511.5	97.7%	3039.8	101.5%
	8	406.1	77.6%	2978.3	99.4%
	9	321.3	61.4%	2945.5	98.3%
	10	254.4	48.6%	2936.1	98.0%
	11	202.1	38.6%	2945.5	98.4%
	12	161.6	30.9%	2967.9	99.1%
3	13	498.2	95.2%	3080.4	102.8%
	14	396.2	75.7%	3020.2	100.8%
	15	313.8	59.9%	2987.3	99.7%
	16	248.5	47.5%	2976.9	99.4%
	17	197.3	37.7%	2984.0	99.6%
	18	157.5	30.1%	3004.2	100.3%
4	19	482.2	92.2%	3114.1	103.9%
	20	384.4	73.5%	3057.2	102.1%
	21	305.2	58.3%	3025.7	101.0%
	22	242.0	46.3%	3015.3	100.7%
	23	192.2	36.7%	3021.3	100.9%
	24	153.5	29.3%	3039.9	101.5%

**Bảng 9. Mô men tại mặt cắt MCD.NB2**

Nhóm	TH	Mômen của các trường hợp tải trọng (tonf.m)			
		TTBT		TTGHÇĐ1	
		M <sub>1</sub>	M <sub>i</sub> /M <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>i</sub> /M <sub>1</sub>
1	1	580.6	100%	3787.3	100%
	2	469.0	80.8%	3807.1	100.5%
	3	381.6	65.7%	3842.5	101.5%
	4	314.6	54.2%	3875.9	102.3%
	5	264.2	45.5%	3939.5	104.0%
	6	226.8	39.1%	3992.5	105.4%
2	7	570.1	98.2%	3942.1	104.1%
	8	460.2	79.3%	3959.6	104.5%
	9	374.5	64.5%	3992.1	105.4%
	10	308.8	53.2%	4034.1	106.5%
	11	259.2	44.6%	4080.9	107.7%
	12	222.3	38.3%	4128.8	109.0%
3	13	557.9	96.1%	4090.0	108.0%
	14	451.1	77.7%	4107.6	108.4%
	15	367.7	63.3%	4138.6	109.3%
	16	303.6	52.3%	4177.8	110.3%
	17	255.0	43.9%	4220.9	111.4%
	18	218.9	37.7%	4264.5	112.6%
4	19	543.1	93.5%	4228.0	111.6%
	20	440.2	75.8%	4247.4	112.1%
	21	359.7	61.9%	4278.2	112.9%
	22	297.8	51.3%	4315.8	113.9%
	23	250.6	43.2%	4356.0	115.0%
	24	215.5	37.1%	4396.1	116.1%

So sánh kết quả trong các bảng từ Bảng 5 đến Bảng 9 ta nhận thấy tại các mặt cắt khác nhau, khi chiều cao các trụ tháp thay đổi và tính chất bất đối xứng của chiều cao trụ tháp thay đổi thì sự thay đổi về mô men tại các mặt cắt cũng khác nhau.

+ Tại mặt cắt MDC.NB1: Đối với mô men do TTBT ta nhận thấy khi chiều cao  $h_1$  và  $h_2$  tăng lên thì mô men tại mặt cắt này giảm. Đối với mô men theo TTGHCD1 khi chiều cao  $h_1$  và  $h_2$  tăng lên thì mô men tại mặt cắt này tăng. Nhìn chung, ta chưa có cơ sở để xác định tỷ lệ bất đối xứng hợp lý của chiều cao trụ tháp  $h_1$  và  $h_2$ .

+ Tại mặt cắt MDC.NC1-1: Đối với mô men do TTBT thì khi chiều cao  $h_1$  và  $h_2$  tăng lên thì mô men tại mặt cắt này đều giảm tỷ lệ giảm có sự khác nhau, trong đó mức độ giảm do  $h_1$  tăng lên nhiều hơn tỷ lệ giảm do  $h_2$  tăng, nguyên nhân là do mặt cắt này gần trụ tháp 1. Đối với mô men theo TTGHCD1 thì khi chiều cao trụ tháp  $h_1$  và  $h_2$  tăng thì mô men tại mặt cắt này cũng có sự thay đổi ngược nhau. Cụ thể, chiều cao  $h_1$  tăng thì mô men giảm và chiều cao  $h_2$  tăng thì mô men lại tăng. Tổng hợp lại ta nhận thấy khi kết cấu nhịp bất đối xứng ( $L_1=100m, L_0=400m, L_2=125m$ ) ta chưa thể đưa ra tỷ lệ chiều cao  $h_2$  hợp lý nhất với mặt cắt này. Tuy nhiên, ta có thể chọn chiều cao  $h_1$  từ 40m đến 45m là tỷ lệ hợp lý. Tương ứng với  $h_1/L_1=0.4$  đến 0.45.

+ Tại mặt cắt MDC.NC1-2: Đối với mô men do TTBT ta nhận thấy khi chiều cao  $h_1$  và  $h_2$  tăng lên thì mô men đều giảm, mức độ giảm ở mỗi nhóm và khi ta thay đổi mỗi mốc chiều cao của các trụ tháp cũng khác nhau. Nhìn chung, tỷ lệ chiều cao  $h_2/h_1$  nên lớn hơn 89% tương ứng với tỷ lệ bất đối xứng kết cấu nhịp ( $L_1=100m, L_0=400m, L_2=125m$ ). Đối với mô men theo TTGHCD1 ứng với mỗi nhóm ta đều tìm được vị trí cực tiểu của mô men khi thay đổi chiều cao trụ tháp. Tổng hợp cả 4 nhóm lại ta thấy tỷ lệ bất đối xứng chiều cao trụ tháp hợp lý là  $h_2/h_1=133%$  đến 167% tương ứng với  $h_1/L_1=0.3$  đến 0.35 và  $h_2/L_2=0.32$  đến 0.44.

+ Tại mặt cắt MDC.NC1-3: Đối với mô men do TTBT ta nhận thấy khi chiều cao  $h_1$  và  $h_2$  tăng lên thì mô men tại mặt cắt này giảm. Khi  $h_2$  càng tăng thì mô men tại các nhóm càng tiến sát đến nhau. Đối với mô men theo TTGHCD1 ở tất cả các nhóm xuất hiện vị trí cực tiểu tại  $h_2=45m$ . Ta có thể xem tỷ lệ hợp lý nhất của chiều cao trụ tháp là  $h_2/h_1=133%$  đến 167%. Tương ứng với tỷ lệ  $h_1/L_1=0.3$  đến 0.4 và  $h_2/L_2=0.32$  đến 0.4.

+ Tại mặt cắt MDC.NB2: Đối với mô men do TTBT ta nhận thấy khi chiều cao  $h_1$  và  $h_2$  tăng lên thì mô men tại mặt cắt này giảm. Đối với mô men theo TTGHCD1 khi chiều cao  $h_1$  và  $h_2$  tăng lên thì mô men tại mặt cắt này tăng. Nhìn chung, ta chưa có cơ sở để xác định tỷ lệ bất đối xứng hợp lý của chiều cao trụ tháp  $h_1$  và  $h_2$ .

- Ta nhận thấy mô men các mặt cắt MDC.NB1 và MDC.NB2 có sự biến thiên tương tự nhau khi chiều cao trụ tháp  $h_1$  và  $h_2$  thay đổi. Vì vậy ta chưa thể xác định được tỷ lệ bất đối xứng của chiều cao trụ tháp  $h_1$  và  $h_2$  cho các mặt cắt này.

- Tại các mặt cắt tại nhịp giữa, nhìn chung khi chiều cao các trụ tháp  $h_1$  và  $h_2$  tăng thì mô men đều giảm. Trong đó tỷ lệ giảm của mô men khi tăng chiều cao  $h_1$  ở mặt cắt MDC.NC1-1 nhiều hơn so với tỷ lệ giảm của mặt cắt MDC.NC1-3 và ngược lại khi tăng chiều cao  $h_2$  thì tỷ lệ giảm của mô men tại mặt cắt MDC.NC1-3 nhiều hơn so với mặt cắt MDC.NC1-1. Còn đối với mặt cắt MDC.NC1-2 thì tỷ lệ giảm của mô men khi tăng chiều cao  $h_1$  và  $h_2$  thì gần như nhau.

- Tổng hợp lại ta thấy khi kết cấu nhịp bất đối xứng với tỷ lệ như đã chọn ( $L_1=100m, L_0=400m, L_2=125m$ ) nếu ta chọn mô men dầm chủ làm thông số để lựa chọn tỷ lệ bất đối xứng của trụ tháp thì ta có thể chọn tỷ lệ:  $h_2/h_1=133%$  đến 167% tương ứng với  $h_1/L_1=0.3$  đến 0.4 và  $h_2/L_2=0.32$  đến 0.4

Kết quả lực cắt trong dầm chủ và so sánh các kết quả được trình bày trong các bảng từ Bảng 10 đến Bảng 12 với 3 mặt cắt MDC.NB1, MDC.NC1-2, MDC.NB2.

**Bảng 10. Lực cắt tại mặt cắt MDC.NB1 bên trái**

Nhóm	TH	Lực cắt của các trường hợp tải (tonf)			
		TTBT		TTGHCD1	
		$Q_1$	$Q_2/Q_1$	$Q_1$	$Q_2/Q_1$
1	1	48.6	100.0%	203.2	100.0%
	2	48.6	100.0%	203.9	100.3%
	3	48.5	99.8%	204.5	100.6%
	4	48.5	99.8%	205.1	100.9%
	5	48.4	99.6%	205.7	101.2%
	6	48.4	99.6%	206.2	101.5%
2	7	48.2	99.2%	203.1	99.9%
	8	48.2	99.2%	203.8	100.3%
	9	48.2	99.2%	204.4	100.6%
	10	48.1	98.9%	205.1	100.9%
	11	48.1	98.9%	205.6	101.2%
	12	48.1	98.9%	206.2	101.5%
3	13	47.8	98.4%	202.9	99.8%
	14	47.8	98.4%	203.6	100.2%
	15	47.8	98.4%	204.3	100.5%
	16	47.8	98.4%	204.9	100.8%
	17	47.8	98.4%	205.4	101.1%
	18	47.8	98.4%	206.0	101.4%
4	19	47.4	97.5%	202.6	99.7%
	20	47.4	97.5%	203.3	100.0%
	21	47.4	97.5%	204.0	100.4%
	22	47.4	97.5%	204.6	100.7%
	23	47.4	97.5%	205.1	100.9%
	24	47.5	97.7%	205.6	101.2%

**Bảng 11. Lực cắt tại mặt cắt MDC.NC1-2 trái**

Nhóm	TH	Lực cắt của các trường hợp tải (tonf)			
		TTBT		TTGHCD1	
		$Q_1$	$Q_2/Q_1$	$Q_1$	$Q_2/Q_1$
1	1	48.3	100.0%	216.6	100.0%
	2	51.1	105.8%	229.1	105.8%
	3	54.7	113.2%	243.3	112.3%
	4	58.2	120.5%	257.2	118.7%
	5	61.3	126.9%	270.4	124.8%
	6	63.9	132.3%	282.2	130.3%
2	7	47.4	98.1%	213.5	98.5%
	8	48.4	100.2%	222.2	102.6%
	9	50.5	104.5%	233.4	107.7%
	10	53.0	109.7%	245.3	113.2%
	11	55.4	114.7%	257.0	118.6%
	12	57.4	118.8%	267.8	123.6%
3	13	48.1	99.6%	213.6	98.6%
	14	47.6	98.5%	218.7	101.0%
	15	48.5	100.4%	227.2	104.9%
	16	50.1	103.7%	237.1	109.4%
	17	51.8	107.2%	247.3	114.2%
	18	53.5	110.7%	257.1	118.7%
4	19	49.4	102.3%	215.9	99.7%
	20	47.8	98.9%	217.5	100.4%
	21	47.9	99.2%	223.5	103.2%
	22	48.7	100.8%	231.6	106.9%
	23	49.8	103.1%	240.4	110.9%
	24	51.0	105.6%	249.2	115.0%

**Bảng 12. Lực cắt tại mặt cắt MCD.NB2 bên trái**

Nhóm	TH	Lực cắt của các trường hợp tải (tonf)			
		TTBT		TTGHÇĐ1	
		Q <sub>1</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>1</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>1</sub>
1	1	49.1	100.0%	208.1	100.0%
	2	49.7	101.2%	210.1	100.9%
	3	50.2	102.2%	212.0	101.9%
	4	50.7	103.3%	213.6	102.6%
	5	51.2	104.3%	215.2	103.4%
	6	51.7	105.3%	216.6	104.1%
2	7	49.0	99.8%	209.0	100.4%
	8	49.5	100.8%	211.0	101.4%
	9	50.1	102.0%	212.7	102.2%
	10	50.6	103.1%	214.4	103.0%
	11	51.1	104.1%	215.8	103.7%
	12	51.6	105.1%	217.2	104.3%
3	13	48.9	99.6%	209.9	100.9%
	14	49.4	100.6%	211.8	101.8%
	15	50.0	101.8%	213.5	102.6%
	16	50.5	102.8%	215.1	103.4%
	17	51.0	103.8%	216.5	104.0%
	18	51.5	104.9%	217.8	104.7%
4	19	48.8	99.4%	210.8	101.3%
	20	49.4	100.6%	212.6	102.2%
	21	49.9	101.6%	214.3	103.0%
	22	50.4	102.6%	215.8	103.7%
	23	50.9	103.7%	217.1	104.3%
	24	51.4	104.7%	218.4	104.9%

So sánh kết quả trong các bảng từ Bảng 10 đến Bảng 12 cho thấy.

+ Tại các mặt cắt MDC.NB1 và MDC.NB2: khi chiều cao trụ tháp  $h_1$  và  $h_2$  thay đổi thì lực cắt thì lực cắt có tăng nhưng với tỷ lệ nhỏ. Do đó, chiều cao trụ tháp và tính bất đối xứng của chiều cao trụ tháp không ảnh hưởng nhiều đến lực cắt của nhịp biên dầm chủ.

+ Tại mặt cắt MDC.NC1-2: Đối với lực cắt do TTBT thì sự thay đổi và tỷ lệ thay đổi tương tự như đối với các mặt cắt nhịp biên. Đối với lực cắt tính theo TTGHÇĐ1 khi chiều cao trụ tháp  $h_1$  và  $h_2$  thay đổi ta đều tìm được giá trị cực tiểu, với từng nhóm khác nhau thì vị trí đạt cực tiểu cũng khác nhau. Với tỷ lệ bất đối xứng kết cấu nhịp đã chọn ( $L_1=100m$ ,  $L_0=400m$ ,  $L_2=125m$ ) thì tỷ lệ bất đối xứng của chiều cao trụ tháp hợp lý là  $h_2/h_1=67%$  đến  $78%$ .

- Qua việc so sánh nội lực là mô men và lực cắt tại các mặt cắt của dầm chủ ta nhận thấy tỷ lệ bất đối xứng của chiều cao trụ tháp hợp lý lấy theo mô men và lực cắt có sự ngược nhau. Tuy nhiên, sự thay đổi theo lực cắt nhỏ hơn so với mô men. Do đó, để chọn chiều cao trụ tháp hợp lý theo tỷ lệ bất đối xứng

kết cấu nhịp đã chọn ta sẽ lấy theo thành phần nội lực là mô men, với tỷ lệ  $h_2/h_1=133%$  đến  $167%$  tương ứng với  $h_1/L_1=0.3$  đến  $0.4$  và  $h_2/L_2=0.32$  đến  $0.4$

#### 4. KẾT LUẬN

Với kết cấu nhịp bất đối xứng theo tỷ lệ như đã chọn ( $L_1=100m$ ,  $L_0=400m$ ,  $L_2=125m$ ) khi chiều cao trụ tháp và tính bất đối xứng của chiều cao trụ tháp thay đổi kéo theo sự thay đổi về nội lực trong dầm chủ, sự thay đổi tại từng mặt cắt có sự khác nhau. Và sự thay đổi đó cũng khác nhau khi xét với các loại tải khác nhau.

Qua việc tổng hợp kết quả phân tích ta cũng chọn được tỷ lệ chiều cao trụ tháp hợp lý  $h_2/h_1=133%$  đến  $167%$  tương ứng với  $h_1/L_1=0.3$  đến  $0.4$  và  $h_2/L_2=0.32$  đến  $0.4$ .

Tuy nhiên, tỷ lệ này bài báo lựa chọn mới chỉ dựa vào một yếu tố là nội lực trong dầm chủ, còn sự ảnh hưởng của tính bất đối xứng đến nội lực trong các bộ phận kết cấu khác như trụ tháp, cáp chủ, cáp treo và bài báo chưa đề cập đến, hay ảnh hưởng của tính bất đối xứng đến biến dạng, chuyển vị chưa đề cập đến trong bài báo này. Do đó, để có thể lựa chọn được một tỷ lệ bất đối xứng của chiều cao trụ tháp hợp lý, chúng ta cần phải xét thêm các yếu tố trên. Trong phạm vi một bài báo, tác giả không thể trình bày hết được tất cả những nội dung trên. Những nội dung đó sẽ được trình bày trong các bài báo sau.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] GS.TS Nguyễn Viết Trung, TS Hoàng Hòa, *Thiết kế cầu treo dây văng*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội, 2005.
- [2] *Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN11823-2017*, Bộ khoa học và công nghệ, Hà Nội, 2017
- [3] TS Phùng Mạnh Tiến, *Hướng dẫn phân tích, tính toán cầu treo dây văng bằng phần mềm Midas/civil*.
- [4] Chu Quốc Thắng, *Phương pháp phần tử hữu hạn*, Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật, 1987.
- [5] Đỗ Tiến Đạt, *Luận văn thạc sỹ: Nghiên cứu ảnh hưởng tỷ lệ chiều dài nhịp đến sự phân bố nội lực và biến dạng trong cầu treo dây văng*, Trường Đại học Bách khoa TP.HCM, 2006.
- [6] Phạm Vũ Quân, *Luận văn thạc sỹ: Nghiên cứu ảnh hưởng chiều cao trụ tháp đến nội lực biến dạng cầu treo dây văng dưới tác dụng của tải trọng gió*, Trường Đại học Bách khoa TP.HCM, 2008.
- [7] Mawan Nader, Rafael Manzanaraz, Man Chung Tan, *Design of the New San Francisco-Oakland bay self - anchored suspension Bridge*, Conference IABSE Symposium: Towards a Better Built Environment - Innovation, Sustainability, Information Technology, Melbourne, Australia, 2002
- [8] Ed. Wai-Fah Chen and Lian Duan. *Bridge Engineering Handbook*.
- [9] GS. TS Lê Thọ Trình, *Cách tính hệ treo theo sơ đồ biến dạng*, Nhà xuất bản Xây dựng.
- [10] *Completed State and Construction Stage Analyses of a suspension Bridge*.