

PHÂN TÍCH MÔ HÌNH BÀI TOÁN ĐIỀU CHỈNH NỘI LỰC TRONG CẦU TREO DÂY VĂNG

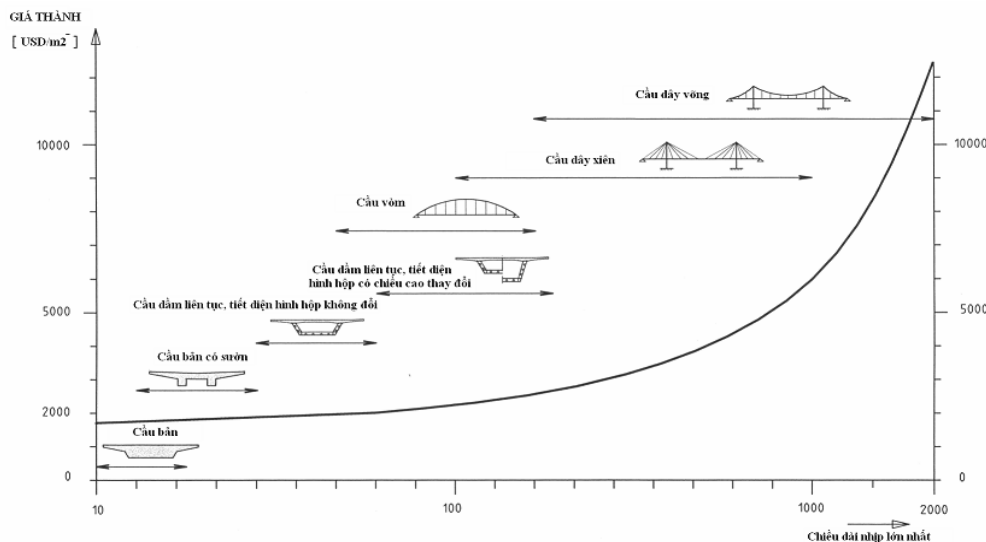
PGS.TS. Lê Đức Chính
KS. Nguyễn Trọng Nghĩa
Bộ môn Tự động hoá Thiết kế Cầu đường
Khoa công trình - Đại học Giao thông Vận tải

Tóm tắt: Bài báo đi sâu phân tích mô hình bài toán điều chỉnh nội lực trong cầu treo dây văng, thi công theo phương pháp đúc hẫng cân bằng và minh hoạ bằng ví dụ tính theo chương trình RM 2000.

Summary: This article concentrates on analysing model of internal force adjustment in cable-stayed bridge, which is constructed by free cantilever method (FCM). An illustration proceduced by using RM2000 program is also given.

I. GIỚI THIỆU CHUNG

Ngày nay kết cấu cầu treo dây văng đã vượt được những nhịp rất lớn. Năm 1999 Nhật Bản đã nâng kỷ lục vượt nhịp lên 859 m ở cầu Tataru, dự kiến đến năm 2007 Trung Quốc sẽ đưa kỷ lục này lên 1.018m cho cầu Stonecutter ở Hồng Kông. Nếu so sánh ta thấy khả năng vượt nhịp của cầu treo dây văng hơn hẳn các dạng cầu vòm, cầu dàn và dầm liên tục nên rất thích hợp để thiết kế các cầu lớn. Về độ cứng và hiệu quả kinh tế thì vượt trội hơn cả cầu treo dây văng (xem hình 1).



Hình 1: Khả năng vượt nhịp và hiệu quả kinh tế của cầu treo dây văng so với các dạng cầu khác [1]

ở nước ta hiện nay cũng đã và đang xây dựng những cầu treo dây văng có nhịp tương đối lớn như cầu Bính (260m), cầu Mỹ Thuận (350m), cầu Bãi Cháy (435m) và cầu Cần thơ (550m).

Cầu treo dây văng có kết cấu không gian phức tạp, có số bậc siêu tĩnh cao, nhất là đối với những cầu có số dây nhiều, sử dụng khoang nhỏ. Tuy nhiên phần cơ bản nhất của giải pháp kết cấu vẫn là sự làm việc của dầm chủ, bộ phận này được treo bằng các dây cáp nghiêng tạo thành những liên kết đàn hồi, nhờ đó mà làm giảm đáng kể mô men uốn cục bộ giữa 2 điểm neo [2].

Song để có một biểu đồ mô men như mong muốn ở giai đoạn hoàn thành công trình, thông thường người ta phải căng chỉnh các dây cáp nhiều lần và mỗi lần căng một dây cáp lại ảnh hưởng đến tất cả nội lực đã được tạo ra ở lần căng trước đó. Vì vậy việc căng chỉnh các dây cáp xiên trở thành một công đoạn quan trọng và phức tạp của công nghệ xây dựng cầu treo dây văng, nếu không có sự hỗ trợ của tin học sẽ gặp nhiều khó khăn và tốn kém.

Tuy nhiên khi xây dựng các cầu treo dây văng ở nước ta, các nhà thầu nước ngoài thường quản lý các phần mềm và trực tiếp chỉ đạo điều chỉnh nội lực, việc tiếp thu vấn đề này còn hạn chế. Để tiến tới làm chủ toàn bộ công tác thiết kế và xây dựng các cầu treo dây văng, tác giả xin làm rõ:

- nội dung cơ bản của phương pháp điều chỉnh nội lực,
- mô hình của bài toán điều chỉnh nội lực trong cầu treo dây văng và
- tính ví dụ bằng phần mềm RM 2000 [3].

II. PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU CHỈNH NỘI LỰC (PPĐCNL) TRONG CẦU TREO DÂY VẃNG

2.1. Cơ sở của PPĐCNL

Trong cầu treo dây văng, các bộ phận chịu lực chính (tháp, dầm chủ và cáp văng) liên kết với nhau dưới dạng các tam giác cơ bản tạo nên một kết cấu bền vững. Toàn hệ làm việc như một dầm cứng liên tục tựa trên các gối đàn hồi (là các cáp xiên) và một số gối cứng (đặt tại các mố và trụ cầu). Nhưng ngay khi thi công các đốt đầu tiên theo phương pháp hẫng, dưới tác dụng của tĩnh tải kết cấu đã bị biến dạng và dầm chủ bị võng. Độ võng do tĩnh tải sẽ làm sai lệch trục dọc thiết kế và có thể gây ra mô men uốn bất lợi trong dầm chủ, không bảo đảm an toàn về cường độ và ổn định trong các giai đoạn thi công, khi cầu hoàn thành sẽ ảnh hưởng đến khai thác công trình.

Vì vậy đối với cầu treo dây văng cần tiến hành điều chỉnh nội lực không chỉ ở giai đoạn khai thác công trình mà ngay ở các giai đoạn thi công. ĐCNL trong cầu dây văng thực chất là căng kéo các dây văng nhằm khắc phục độ võng do tĩnh tải, đảm bảo đúng với trục dọc thiết kế của cầu và hệ quả còn tạo ra một trạng thái nội lực (mô men uốn) hợp lý trong dầm chủ.

Có rất nhiều biện pháp và công nghệ điều chỉnh khác nhau để đạt được hoặc là biểu đồ biến dạng hoặc biểu đồ nội lực hợp lý hoặc cả hai. PPĐCNL bằng cách căng kéo các dây được ứng dụng phổ biến nhất, đặc biệt là cầu dây văng thi công theo phương pháp đúc hẫng hoặc lắp hẫng cân bằng. Phương pháp này thực hiện bằng cách căng các dây cáp trong quá trình thi công nhằm tạo các chuyển vị và nội lực cưỡng bức trong toàn hệ theo hướng có lợi nhất cho công trình. Đặc biệt là trình tự căng kéo được gắn liền với các bước thi công.

2.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến ĐCNL

Kết cấu cầu treo dây văng là kết cấu siêu tĩnh, nếu cầu được làm bằng vật liệu bê tông cốt thép và bê tông dự ứng lực thì từ biến và co ngót sẽ làm phát sinh thêm biến dạng, các biến dạng này bị các liên kết thừa cản trở và sinh ra nội lực thứ cấp. Từ đó dẫn đến sự phân bố lại nội lực trong kết cấu.

Trong quá trình thi công (trường hợp áp dụng công nghệ đúc hẫng cân bằng) và điều chỉnh nội lực cầu dây văng cần xét đến những tải trọng thường xuyên sau:

- Trọng lượng bản thân kết cấu
- Lực căng trong các dây văng

Đối với trọng lượng bản thân kết cấu: tác dụng vào hệ tương tự như ngoại lực và lần lượt theo từng bước thi công. ứng suất tương ứng với trọng lượng của từng đốt trong hệ không đổi trong khoảng thời gian từ lúc ban đầu (to) đến thời điểm tính toán (t). Tải trọng này gây ra chuyển vị tức thời và sau đó tăng thêm do từ biến.

Đối với lực căng trong các dây văng [4]: tác động vào hệ tương đối phức tạp. Tại thời điểm to lực căng tác dụng vào hệ như là ngoại lực và gây ra chuyển vị tức thời, sau đó do từ biến lại làm thay đổi lực căng trong các dây (thời điểm t) với vai trò là nội lực trong hệ siêu tĩnh và làm thay đổi ứng suất trong dầm chủ. Do vậy việc xác định lực căng trong dây văng không thể thực hiện được trong một lần mà phải sử dụng phương pháp tính lặp.

Trong thực tế, để tính toán lực căng trong cáp thoả mãn mục tiêu điều chỉnh cần có sự hỗ trợ của các phần mềm chuyên dụng. Hiện nay việc tính toán ĐCNL cầu dây văng được ứng dụng trong các phần mềm chuyên dụng như RM-spaceframe, Midas/Civil. Các phần mềm này đang được sử dụng khá phổ biến tại các công ty tư vấn lớn ở Việt Nam.

2.3. Phương pháp tải trọng đơn vị trong tính toán ĐCNL

Trong tính toán, để đơn giản hoá người ta chấp nhận các giả thiết của bài toán tuyến tính, nghĩa là coi các biến dạng là nhỏ và trong khuôn khổ phương pháp lực sẽ lần lượt thay các dây cáp bằng ẩn lực Xi . Để xác định lực căng trong các dây phải căn cứ vào mục tiêu cần đạt tới của quá trình điều chỉnh nội lực. Mục tiêu điều chỉnh có thể là mô men uốn hoặc chuyển vị tại các nút của dầm cứng.

a) Khi mục tiêu điều chỉnh là mô men uốn của các nút, ta có phương trình cân bằng:

$$[M_i][X] + [MP] = [M] \quad (1)$$

Trong đó:

[Mi] là ma trận ảnh hưởng mô men uốn (phần tử mij là mô men uốn tại nút i do lực căng dây đơn vị tại nút j gây ra)

[X]: là véc tơ ẩn lực trong các dây văng

[M]: là véc tơ mô men uốn của hệ cần đạt được sau điều chỉnh

[MP]: là véc tơ mô men uốn do trọng lượng kết cấu và các ảnh hưởng thứ cấp gây ra trong hệ ở trạng thái hoàn chỉnh

b) Khi mục tiêu điều chỉnh là chuyển vị của các nút, ta có phương trình cân bằng:

$$[Y_i][X] + [Y_P] = [Y] \quad (2)$$

Trong đó:

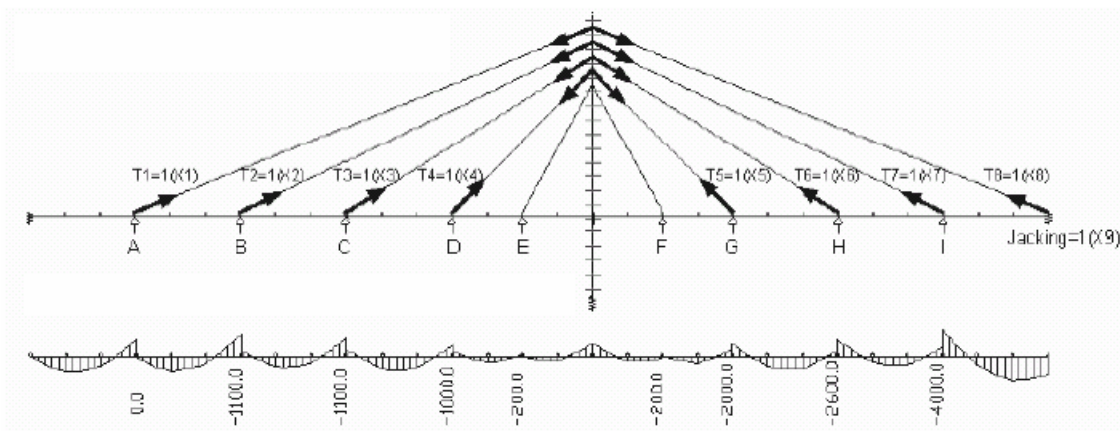
[Y_i]: là ma trận ảnh hưởng độ võng (phần tử v_{ij} là độ võng tại nút i do lực căng dây đơn vị tại nút j gây ra

[X]: là véc tơ ẩn lực trong các dây văng

[Y_P]: là véc tơ độ võng do trọng lượng kết cấu và các ảnh hưởng thứ cấp gây ra trong hệ ở trạng thái hoàn chỉnh

[Y]: là véc tơ độ võng của hệ cần đạt được sau điều chỉnh

Trên hình 2 là sơ đồ kết cấu của một cầu dây văng thi công theo phương pháp đúc hẫng cân bằng. Phía dưới là biểu đồ mô men uốn sau khi điều chỉnh đưa chuyển vị tại các gối đàn hồi trên dầm về bằng không.



Hình 2: Mô hình kết cấu ĐCNL khi thi công theo phương pháp đúc hẫng cân bằng của cầu Ulleva (Thụy điển) [5]

Bài toán có 9 ẩn từ X1 đến X9, trong đó 8 ẩn đầu là lực kéo trong các dây cáp và ẩn thứ 9 là chuyển vị gối tại điểm j.

Nếu mục tiêu điều chỉnh là mô men uốn tại các nút, ta có hệ phương trình tuyến tính sau:

$$M_A = M_P + M_{T1=1} \cdot X_1 + M_{T2=1} \cdot X_2 + \dots + M_{T8=1} \cdot X_8 + M_{TJ} \cdot X_9$$

.....

.....

$$M_I = M_P + M_{T1=1} \cdot X_1 + M_{T2=1} \cdot X_2 + \dots + M_{T8=1} \cdot X_8 + M_{TJ} \cdot X_9$$

Trong đó:

- Từ M_A đến M_I là mô men uốn cần đạt tới của các điểm từ A đến I sau điều chỉnh
- M_P là mô men uốn do tĩnh tải tại các điểm từ A đến I trên kết cấu cơ bản
- Từ M_{T1=1} đến M_{T8=1} là mô men uốn tại các điểm từ A đến I khi lần lượt có các tải trọng đơn vị "căng cáp" T_i=1 tác động gây ra.
- M_{TJ} là các mô men uốn tại các điểm từ A đến I khi có chuyển vị gối đơn vị gây ra.

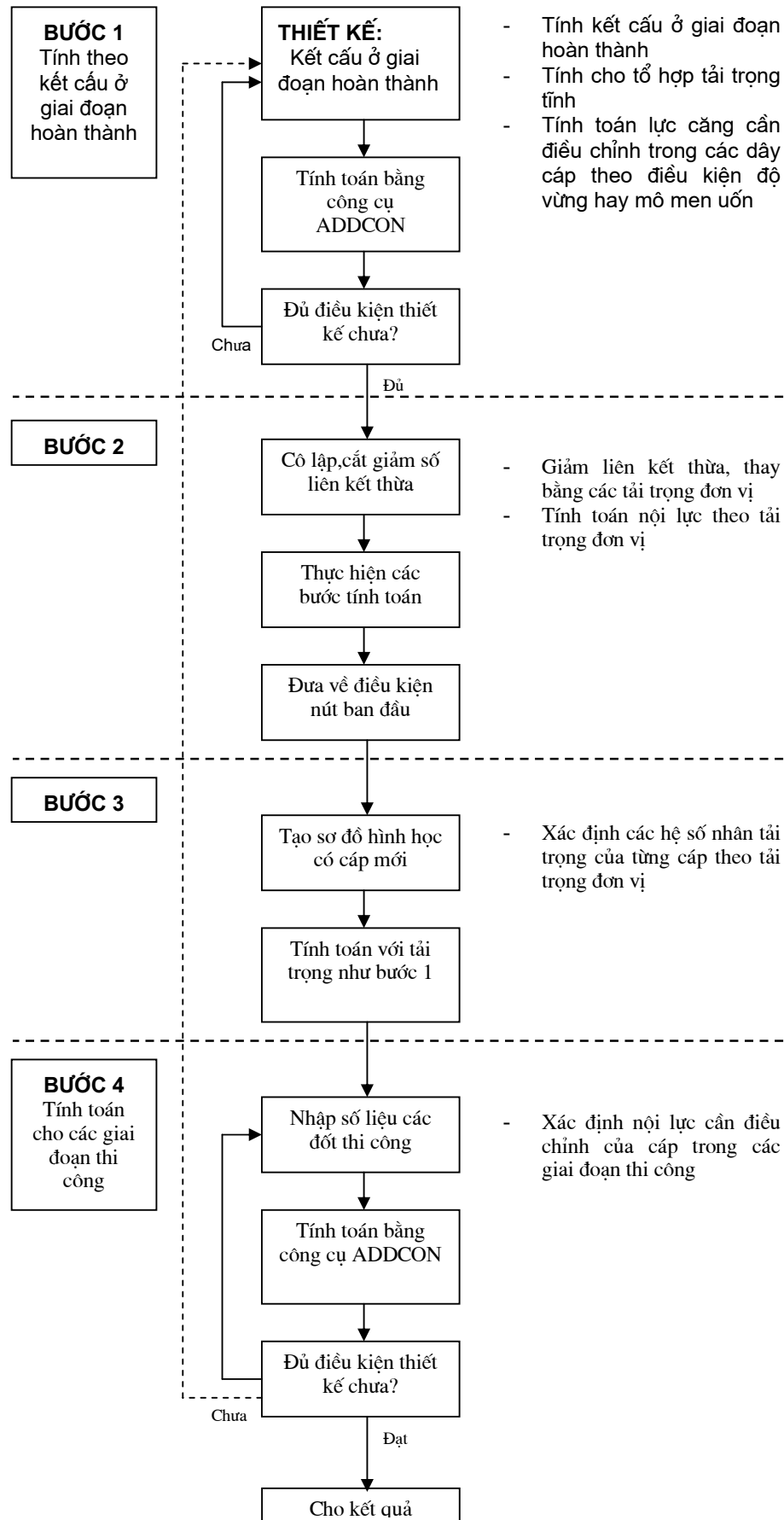
Giải hệ phương trình trên sẽ tìm được X1 đến X9, đó cũng là các lực căng cáp cần tìm để điều chỉnh nội lực trong dầm.

III. PHÂN TÍCH MÔ HÌNH BÀI TOÁN ĐCNL TRONG CẦU TREO DÂY VĂNG THEO RM2000

3.1. Mô hình hoá bài toán

Bài toán điều chỉnh nội lực được chia làm 4 bước theo sơ đồ trên hình 3.

Trong mỗi bước, kết cấu được mô hình hoá tương ứng với từng giai đoạn (giai đoạn hoàn thành và các giai đoạn thi công), bao gồm sơ đồ tính, các tác động và tải trọng tính toán.



Hình 3: Mô hình bài toán điều chỉnh nội lực trong cầu dây văng sử dụng RM- spaceframe

Điểm khác biệt của phần mềm chuyên dụng RM- Spaceframe so với các chương trình tính kết cấu thông thường khác là trình tự phân tích và tính toán cầu dầm văng dựa trên cơ sở phân tích cộng dồn từ các giai đoạn thi công có xét tới nhiều yếu tố thực tế. Tiến trình thiết kế dựa trên hệ kết cấu cuối cùng và thiết kế các giai đoạn thi công dựa trên kết quả của phân tích kết cấu ở giai đoạn cuối.

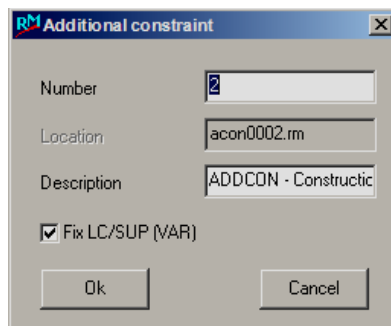
3.2. Nội dung tính toán ĐCNL cầu dầm văng

Các nội dung cần tính toán khi ứng dụng phần mềm RM- 2000 trong ĐCNL cầu treo dầm văng :

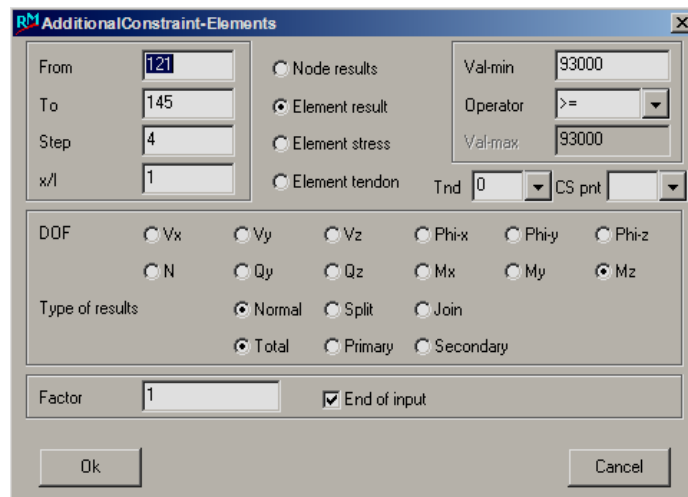
- Xây dựng các giai đoạn thi công và xác định thời gian thi công cho từng giai đoạn.
- Xác định trạng thái cuối cùng của hệ (mục tiêu điều chỉnh)
- Xác định biểu đồ bao nội lực và biến dạng do tĩnh tải và các ảnh hưởng thứ cấp (co ngót và từ biến của bê tông, biến dạng dư của dầm theo thời gian)
- Xác định các ẩn lực thoả mãn mục tiêu trên
- Xác định lực căng trong trong các dây, độ võng của các nút theo đúng trình tự thi công
- Xác định nội lực và độ võng của hệ ở trạng thái cuối cùng do tĩnh tải, các ảnh hưởng thứ cấp và lực căng chỉnh trong các dây.
- Đánh giá kết quả theo các số liệu của mục tiêu điều chỉnh

3.3. ứng dụng phương pháp tải trọng đơn vị trong ĐCNL

PPĐCNL trong RM- Spaceframe là phương pháp #tải trọng đơn vị# (Unit Load method) sử dụng công cụ ADDCON (apply ADDitional CONstraint) của chương trình.



ADDCON sẽ tính toán tìm ra hệ số nhân nội lực để đạt được các mục tiêu điều chỉnh. RM2000 cho phép đưa ra 12 mục tiêu điều chỉnh (6 mục tiêu về chuyển vị: Vx, Vy, Vz, Phi-x, Phi-y, Phi-z và 6 mục tiêu về nội lực: N, Qy, Qz, Mx, My, Mz):



Các nội dung cần khai báo trong ADDCON:

- Định nghĩa tải trọng đơn vị trong mỗi bó cáp
- Gán các tải trọng tác dụng thường xuyên lên kết cấu cho giai đoạn thi công cuối cùng (giai đoạn sử dụng): Tĩnh tải, co ngót từ biến#
- Định nghĩa các mục tiêu điều chỉnh như: biến dạng hoặc nội lực tại các nút nào đó trong hệ.

IV. VÍ DỤ MINH HOẠ

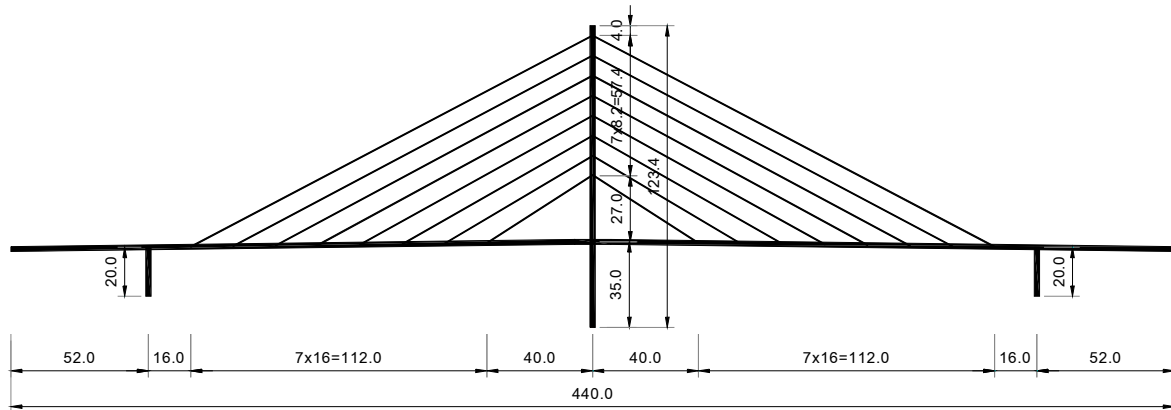
4.1. Sơ đồ tính:

Cầu nằm trên đường thẳng, chiều dài toàn cầu 440m.

Độ dốc dọc là 3.15%, bán kính đường cong đứng là $R=5000m$

Gối cố định bố trí trên tháp, gối di động bố trí trên 2 trụ P1, P2, mố 1, mố 2.

Sơ đồ tính:



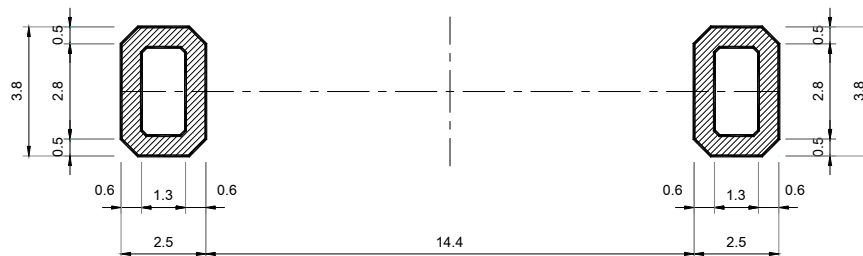
Số liệu mặt cắt:

Mặt cắt ngang của trụ tháp (Pylon):

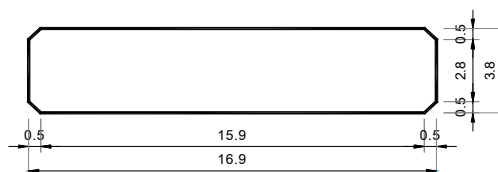
- Phần dưới:



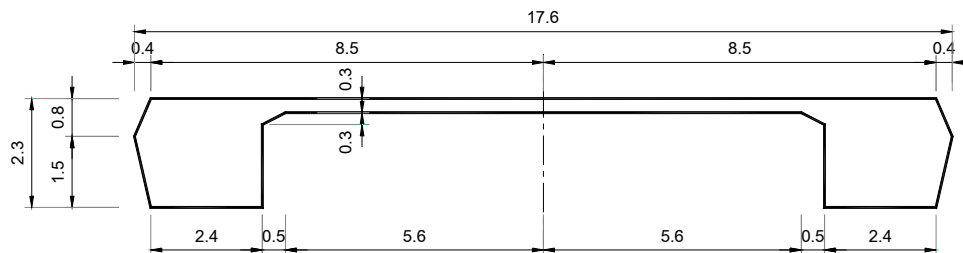
- Phần trên dầm:



Mặt cắt ngang của trụ (P1, P2):



Mặt cắt ngang của dầm chủ (Maingirder):



Số liệu cáp D.Ư.L (Tendon):

Mỗi mặt cắt của dầm chủ gồm 8 bó: 4 bó bố trí phía trên, 4 bó bố trí phía dưới.

Diện tích của mỗi bó là: $0.0031 m^2$, diện tích của ống ghen là $0.0079m^2$

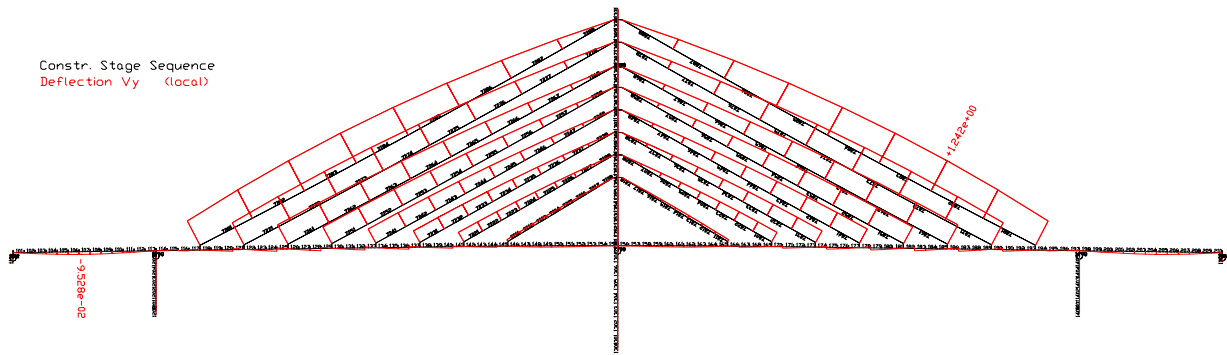
Lực căng của 1 bó thiết kế là 4296KN, độ tụt neo tính toán là 6mm.

Số liệu cáp treo (Cable):

Cáp treo có diện tích ngang bằng nhau là: $0.296 m^2$

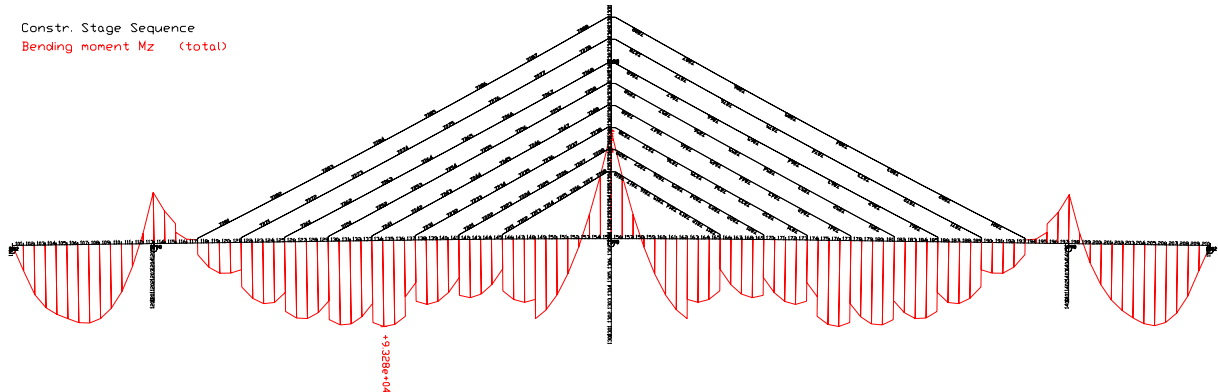
4.2. Vật liệu

Kết quả cho thấy chuyển vị tại các nút trên dầm chủ (các điểm neo dây cáp) đều trở về điểm không, chuyển vị lớn nhất sau khi điều chỉnh xuất hiện ở nút 106 trên nhịp biên là $v = -9,528e-02$ hay 9,528 cm.



- Biểu đồ mô men uốn sau khi điều chỉnh:

Mô men dương lớn nhất xuất hiện ở nút 134 trên dầm chủ sau khi điều chỉnh, có trị số $M=+9,328e+4$ tương ứng với 93280 kNm.



V. NHẬN XÉT VÀ KẾT LUẬN

Trong những năm gần đây, ngành giao thông đã và đang xây dựng được một số cầu treo dây văng hiện đại, tuy nhiên chúng ta chưa làm chủ được hoàn toàn công nghệ mới mà vẫn phải nhờ vào chuyên gia nước ngoài. Một trong những vấn đề đó là việc khai thác sử dụng các phần mềm tính toán có gắn với công nghệ thi công. Trong bài đã đi sâu phân tích phương pháp điều chỉnh nội lực trong cầu dây văng trên cơ sở phần mềm RM 2000. Việc đưa các phần mềm chuyên dùng vào sử dụng và áp dụng thành công phương pháp nói trên đã thực sự góp phần vào việc phát triển ngành cầu ở nước ta. Chính kết quả của việc điều chỉnh nội lực đã tạo điều kiện cho các cầu treo dây văng có khả năng vượt được những nhịp lớn hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Saul, R.: Aesthetics vs Economics or Must Economical bridges necessarily be ugly?
Báo cáo khoa học của Công ty Leonhardt, Andrae & Partner GmbH tại Hà nội 2004
- [2] Lê Đình Tâm, Phạm Duy Hoà: Cầu dây văng. NXB KH&KT, Hà nội 2001
- [3] ứng dụng phần mềm RM 2000 - Bản quyền của Công ty VinaCico
- [4] Lê Đắc Chính: Phân tích độ bền mỏi và tuổi thọ của cáp trên cầu dây văng.
Tạp chí Cầu đường Việt nam, số 8 năm 2000
- [5] Pircher, H.: Die computerunterstuetzte Berechnung fuer eine grosse Schraegseilbruecke
(Ullevalabruecke) in Schweden, Báo cáo khoa học, Công ty TDV 2000
- [6] Tiêu chuẩn thiết kế, kiểm tra và thi công cầu dây văng - PTI
- [7] Tiêu chuẩn về co ngót từ biển - CEB-FIP90