

# NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG CHỊU LỰC VÀ ỔN ĐỊNH CỦA THÁP PHONG ĐIỆN KHI MỞ RỘNG KHẨU ĐỘ CỬA THÁP

## RESEARCH ON EVALUATING STRENGTH AND STABILITY OF WIND TOWER WHEN EXPANDING APERTURE DOOR

Nguyễn Dương Khánh Tâm<sup>1</sup>, Lê Anh Tuấn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Kiến trúc Đà Nẵng; khanhtam07x1c@dau.edu.vn

<sup>2</sup>Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; a.tuanpro.successo@gmail.com

**Tóm tắt** - Năng lượng sạch, cụ thể là năng lượng gió đang là vấn đề nóng hổi trong bối cảnh năng lượng hóa thạch đang dần cạn kiệt, việc kiểm định tiêu chuẩn thiết kế turbine gió từ tiêu chuẩn châu Âu, Nhật Bản ứng dụng vào điều kiện địa hình Việt Nam đang là vấn đề cấp thiết. Bài báo cáo nhằm kiểm chứng khả năng chịu lực, và ổn định cục bộ của tháp phong điện khi tỉ lệ chiều cao và chiều rộng của lỗ cửa chân tháp  $b/h \leq 3$  như trong tiêu chuẩn châu Âu, và tiến hành kiểm tra khả năng chịu lực, và ổn định cục bộ của tháp phong điện khi tỉ lệ bề rộng và chiều cao của lỗ cửa chân tháp  $b/h > 3$ . Qua đó đề xuất phương trình xác định hệ số ảnh hưởng của lỗ cửa trong tính toán ổn định tháp phong điện.

**Từ khóa** - turbine gió; mất ổn định; cường độ và ổn định tấm vỏ; vỏ trụ; lý thuyết tấm vỏ.

**Abstract** - Clean energy, in particular wind energy, is a hot issue in a time when fossil fuels are being exhausted. The testing of wind turbine design standards from European, Japanese standards applied in Vietnam is an urgent issue. The article aims to verify the strength and local stability of wind power tower when the ratio of width and height of the leg holes of tower gate is  $b/h \leq 3$ . The article also examines the strength, and the local stability of wind power tower when the ratio of width and height of the leg holes of tower gate is  $b/h > 3$ . Thereby, the article proposes equations to determine coefficients that affect the stability calculations of electricity tower.

**Key words** - wind turbine; buckling; strength and stability of shell structures; cylindrical shell; shell plate theory.

### 1. Đặt vấn đề

Năng lượng gió hiện nay được sử dụng khá rộng rãi ở các nước châu Âu, Nhật Bản. Ở Việt Nam, năng lượng gió cũng được bắt đầu đưa vào sử dụng ở một số tỉnh duyên hải miền Trung như Tuy Phong - Bình Thuận. Nhưng do chúng ta chưa có tiêu chuẩn cụ thể về việc thiết kế turbine gió, nên việc ứng dụng tiêu chuẩn thiết kế của châu Âu cần được kiểm chứng lại sao cho phù hợp với điều kiện địa lí, thời tiết ở Việt Nam.

Bài báo cáo đề cập đến sự phá hoại của tháp tại tiết diện cửa tháp do mất ổn định (cục bộ, tổng thể) với các tỉ lệ khẩu độ cửa  $h/b = 2,5; 3; 3,5; 4$  tương ứng với các mô hình tháp có chiều cao lần lượt là 35m, 42m, 77m.

### 2. Lý thuyết tính toán

#### 2.1. Khả năng chịu lực của tháp phong điện

Tải trọng thiết kế của tháp được lấy bằng 0,7 lần khả năng chịu lực của trường hợp tháp với tỉ lệ lỗ cửa tháp nhất  $h/b = 2,5$ .

#### 2.2. Tính toán ứng suất thiết kế của tháp phong điện theo tiêu chuẩn châu Âu Eurocode 3

Sử dụng tiêu chuẩn thiết kế châu Âu Eurocode 3 thiết kế kết cấu thép phần 1.6 Cường độ và sự ổn định của kết cấu vỏ (Eurocode 3: Design of steel structures- Part 1-6: Strength and Stability of Shell Structures) [1] để tính toán ứng suất thiết kế của vỏ trụ tháp phong điện. Hệ thống các công thức được sử dụng trong tính toán như sau:

$$\sigma_{x,Rd} = \frac{\sigma_{x,Rk}}{\gamma_{M1}} \quad (2.1); \quad \sigma_{x,Rk} = \chi_x f_{y,k} \quad (2.2)$$

$$\chi_x = \begin{cases} 1 & \text{khi } \bar{\lambda}_x \leq \bar{\lambda}_{x0} \\ 1 - \beta \left( \frac{\bar{\lambda}_x - \bar{\lambda}_{x0}}{\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{x0}} \right)^\eta & \text{khi } \bar{\lambda}_{x0} < \bar{\lambda}_x < \bar{\lambda}_p \\ \chi = \frac{\alpha_x}{\bar{\lambda}_x^2} & \text{khi } \bar{\lambda}_x \geq \bar{\lambda}_p \end{cases} \quad (2.3)$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha_x}{1 - \beta}} \quad (2.4); \quad \alpha_x = \frac{0,62}{1 + 1,91(\Delta w_k / \bar{\lambda}_t)^{1,44}} \quad (2.5)$$

$$\Delta w_k = \frac{t}{Q} \sqrt{\frac{r}{t}} \quad (2.6); \quad \bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\sigma_{x,Rcr}}} \quad (2.7)$$

$$\sigma_{x,Rcr} = 0,605 E C_x \frac{t}{r} \quad (2.8); \quad \omega = \frac{l}{r} \sqrt{\frac{r}{t}} = \frac{l}{\sqrt{rt}} \quad (2.9)$$

$$C_x = \begin{cases} 1 & \text{khi } 1,7 \leq \omega \leq 0,5r/t \\ 1,36 - 1,83/\omega + 207/\omega^2 & \text{khi } \omega \leq 1,7 \\ \max(1 + 0,2[1 - 2\alpha/r]/C_{xb}; 0,6) & \text{khi } \omega > 0,5r/t \end{cases} \quad (2.10)$$

$$\text{Nếu } \begin{cases} \frac{r}{t} \leq 150 \\ \omega \left( \frac{t}{r} \right) \leq 6 \\ 500 \leq \frac{E}{f_{y,k}} \leq 1000 \end{cases} \text{ thì } C_x = C_{x,N} \left( \frac{\sigma_{x,E,N}}{\sigma_{x,E}} \right) + \left( \frac{\sigma_{x,E,M}}{\sigma_{x,E}} \right) \quad (2.11)$$

Trong đó:

$\sigma_{x,Rd}$ : ứng suất thiết kế;

$\gamma_{M1}$ : là hệ số từng phần  $\gamma_{M1} \geq 1,1$ ;

$\sigma_{x,Rk}$ : là ứng suất mất ổn định đặc trưng;

$f_{y,k}$ : là cường độ thực tế của thép;

$\chi_x$ : là hệ số điều chỉnh mắt ổn định;

$\bar{\lambda}_{x0} = 0, 2$ : là độ mảnh giới hạn;

$\bar{\lambda}_p$ : là độ mảnh giới hạn tương đối;

$\beta$ : là hệ số vùng dẻo:  $\beta = 0,6$ ;

$\alpha_x$ : là hệ số khiếm khuyết đàn hồi;

$\Delta w_k$ : là biên độ khiếm khuyết đặc trưng;

Q: là thông số chất lượng giả định, được cho bởi bảng D.2 phụ lục D trong Eurocode 3 phần 1.6.

**Bảng 1. Thông số chất lượng giả định Q**

Lớp giả định	Đặc trưng	Q
Lớp A	Rất cao	40
Lớp B	Cao	25
Lớp C	Trung bình	16

$\bar{\lambda}_x$ : Độ mảnh tương đối của vỏ tháp;

$\sigma_{x,Rcx}$ : Ứng suất mắt ổn định tới hạn theo phương đứng;

$C_x$ : Phụ thuộc vào thông số chiều dài đường kính  $\omega$ .

$C_{xb} = 3$ : Tương ứng với điều kiện biên trong bảng sau:

**Bảng 2. Hệ số  $C_{xb}$**

Trường hợp	Mép trụ	Điều kiện biên	$C_{xb}$
1	Đỉnh	Tầm dầy chịu uốn	6
	Đáy	Có neo	
2	Đỉnh	Tầm mỏng	3
	Đáy	Có neo	
3	Đỉnh	Tầm mỏng	1
	Đáy	Tầm dầy, không neo	

$\sigma_{xE}$ : là ứng suất thiết kế dọc trục;

$\sigma_{xE,N}$ : là ứng suất thành phần của ứng suất  $\sigma_{x,Ed}$  xuất phát từ lực nén dọc trục;

$\sigma_{xE,M}$ : là ứng suất thành phần của ứng suất  $\sigma_{x,Ed}$  xuất phát từ lực uốn của tháp.

### 2.3. Tổng quát hóa kiểm tra ổn định tháp theo tiêu chuẩn Nhật

So sánh ứng suất thiết kế  $\sigma_{x,Rk}$  với ứng suất cục bộ tại mép cửa này sẽ thu được khả năng chịu lực của mỗi tháp. Từ khả năng chịu lực của tháp, tiến hành kiểm tra ổn định cục bộ của tháp theo tiêu chuẩn Nhật [3] với công thức sau:

$$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{C \times c f_{cr}} \leq 1 \quad (2.12)$$

$$c f_{cr} = \begin{cases} \left(\frac{F}{1,5}\right) \times 1,5 \text{ khi } \left(\frac{r}{t} \leq 0,377 \left(\frac{E}{F}\right)^{0,72}\right) \\ \left\{ 0,267F + 0,4F \left[ \frac{2,567 - \frac{r}{t} \left(\frac{F}{E}\right)^{0,72}}{2,190} \right] \right\} \times 1,5 \\ \text{khi } \left(0,377 \left(\frac{E}{F}\right)^{0,72} < \frac{r}{t} \leq 2,567 \left(\frac{E}{F}\right)^{0,72}\right) \\ \left(\frac{1}{2,25} c \sigma_{cr,e}\right) \times 1,5 \text{ when } \left(\frac{r}{t} > 2,567 \left(\frac{E}{F}\right)^{0,72}\right) \end{cases} \quad (2.13)$$

$$c \sigma_{cr,e} = 0,6E \frac{r}{t} \left[ 1 - 0,901 \left[ 1 - \exp \left( -\frac{1}{16} \left(\frac{r}{t}\right)^{1/2} \right) \right] \right] \quad (2.14)$$

$$C = C_1 \left( A - B \left( \frac{r'}{t} \right) \right) \quad (2.15)$$

Trong đó:

$c f_{cr}$ : Cường độ chịu nén tới hạn;

E: Môđun đàn hồi;

F =  $\sigma_c$ : Ứng suất chảy của thép;

r: Bán kính trung bình tháp (tính đến mép ngoài của tháp)

t: Chiều dày vỏ tháp;

C: Hệ số kể đến ảnh hưởng của lỗ cửa, phụ thuộc vào khẩu độ cửa;

r': Bán kính trung bình tháp tính đến tâm vỏ trụ;

$C_1$ : Hệ số giảm yếu, tùy thuộc vào khẩu độ cửa, phụ thuộc vào tỉ suất chịu lực của tháp.

A, B: Hệ số phụ thuộc góc mở  $\beta$  của lỗ cửa, lấy theo bảng sau:

**Bảng 3. Hệ số góc mở cửa**

Góc mở $\beta$	A	B
$20 \leq \beta < 30$	$1,15 - 0,01\beta$	$2,1 \times 10^{-3}$
$30 < \beta \leq 60$	$1,0 - 0,05\beta$	$(1,8 + 0,01\beta) 10^{-3}$

## 3. Kết quả và bình luận

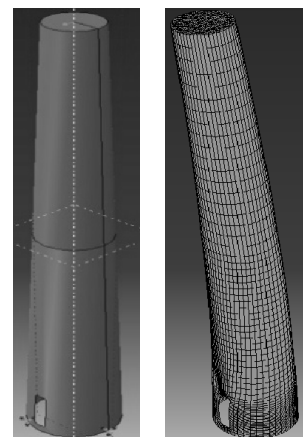
### 3.1. Mô phỏng mô hình tháp phong điện

Đặc trưng hình học tháp phong điện:

**Bảng 4. Đặc trưng hình học tháp**

Chiều cao (m)	Độ dày vỏ t rung bình (m)	Bán kính trung bình (m)
35	0,011	1,93
42	0,0175	1,675
77	0,025	3,15

Sử dụng phần mềm Abaqus 6.10, ta mô phỏng được sự làm việc của các mô hình tháp phong điện trên với các chiều cao 35m, 42m, 77m với các tỉ lệ bề rộng trên chiều cao của lỗ cửa lần lượt là  $h/b = 2,5$ ;  $h/b = 3$ ;  $h/b = 3,5$ ;  $h/b = 4$ . Giả sử dưới tác dụng của tải trọng ngang, đỉnh tháp sẽ chuyển vị ngang 1,5m ứng với tháp cao 35m; 42m, và chuyển vị 3m ứng với tháp 77m.



**Hình 1. Mô hình ban đầu và chuyển vị của tháp**

### 3.2. Khả năng chịu lực

Tải trọng thiết kế như Bảng 5.

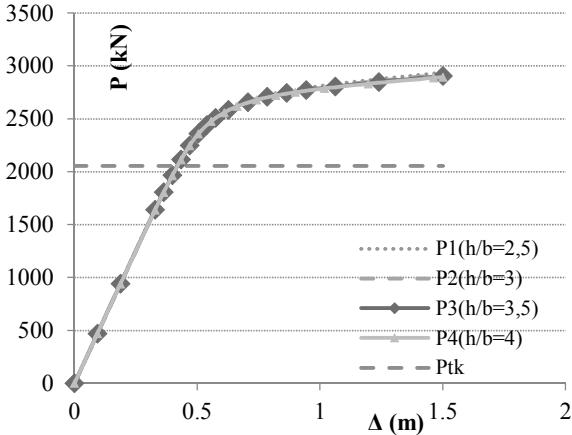
**Bảng 5. Tải trọng thiết kế**

Mô hình	35m	42m	77m
$P_{tk}$ (kN)	2056	2024	4027

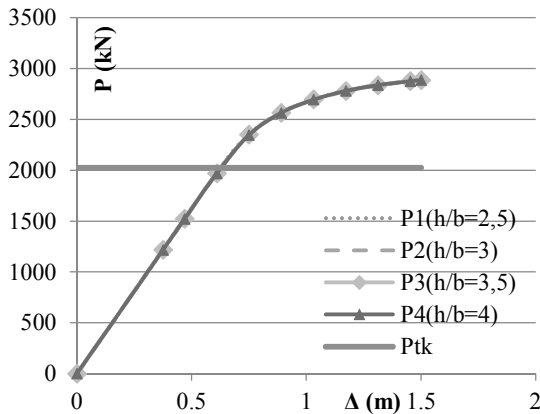
Khả năng chịu lực bé nhất (tương ứng với mô hình lỗ cửa có tỉ lệ lớn nhất  $b/h = 4$ ) của các mô Hình 35m, 42m, 77m như Bảng 6.

**Bảng 6. Khả năng chịu lực**

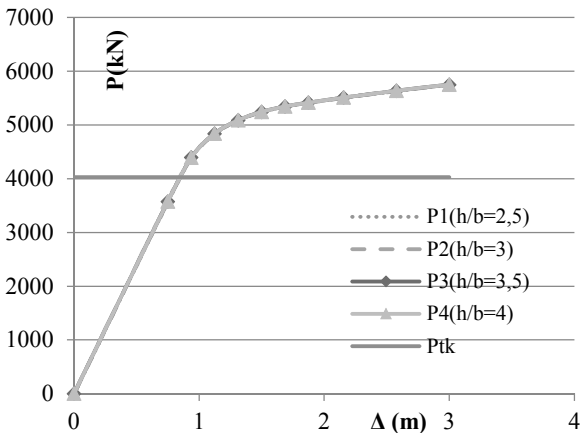
Mô hình	35m	42m	77m
$P_{tk}$ (kN)	2894	2887	5246



**Hình 2. Biểu đồ tải trọng và chuyển vị tháp 35m**



**Hình 3. Biểu đồ tải trọng và chuyển vị tháp 42m**



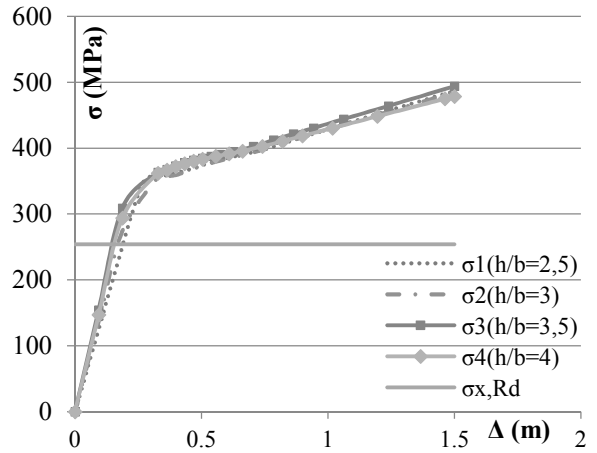
**Hình 4. Biểu đồ tải trọng và chuyển vị tháp 77m**

Như vậy, cả ba mô hình đều đảm bảo khả năng chịu lực.

**3.3. Kiểm tra ổn định**

**3.3.1. Mô hình tháp 35m**

Ứng suất thiết kế tính toán theo tiêu chuẩn Eurocode 3 [1] ta được:  $\sigma_{x,Rd} = 254$  Mpa. Ứng suất này được sử dụng làm giá trị tham chiếu trong biểu đồ ứng suất - chuyển vị sau:



**Hình 5. Biểu đồ quan hệ ứng suất - chuyển vị tháp 35m**

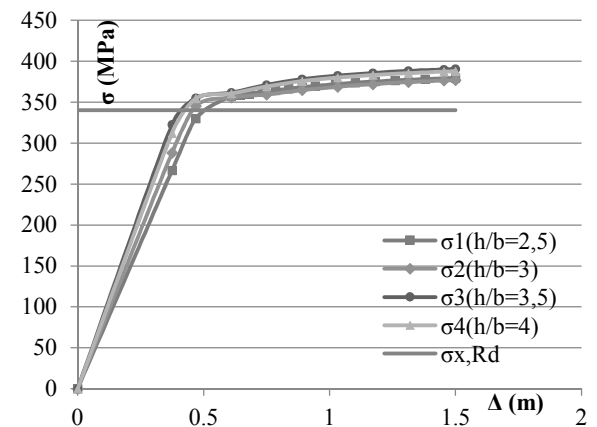
Chuyển vị thu được bằng cách nội suy từ biểu đồ  $\sigma$ - $\Delta$  (Hình 5) tương ứng với ứng suất thiết kế  $\sigma_{x,Rd} = 254$  Mpa như sau:

**Bảng 7. Chuyển vị tương ứng các tỉ lệ lỗ cửa**

Mô hình	$\Delta$ (m)
$h/b = 2,5$	0,19
$h/b = 3$	0,17
$h/b = 3,5$	0,15
$h/b = 4$	0,16

**3.3.2. Mô hình tháp 42m**

Ứng suất thiết kế tính toán theo tiêu chuẩn Eurocode 3 [1] ta được:  $\sigma_{x,Rd} = 340$  Mpa. Ứng suất này được sử dụng làm giá trị tham chiếu trong biểu đồ ứng suất - chuyển vị sau:



**Hình 6. Biểu đồ quan hệ ứng suất - chuyển vị tháp 42m**

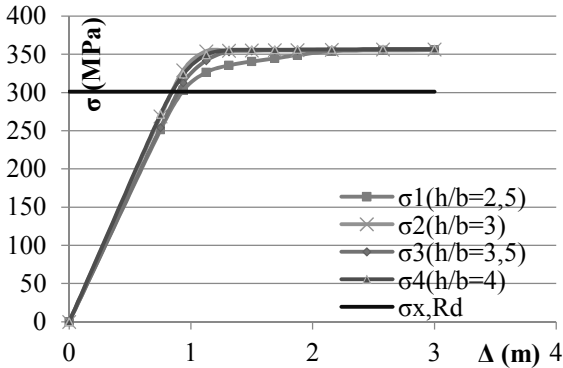
Chuyển vị thu được bằng cách nội suy từ biểu đồ  $\sigma$ - $\Delta$  (Hình 6) tương ứng với ứng suất thiết kế  $\sigma_{x,Rd} = 340$  Mpa như sau:

**Bảng 8.** Chuyển vị tương ứng các tỉ lệ lỗ cửa

Mô hình	$\Delta$ (m)
$h/b = 2,5$	0,52
$h/b = 3$	0,46
$h/b = 3,5$	0,43
$h/b = 4$	0,44

3.3.3. Mô hình tháp 77m

Ứng suất thiết kế tính toán theo tiêu chuẩn Eurocode 3 [1] ta được:  $\sigma_{x,Rd} = 301 \text{Mpa}$ . Ứng suất này được sử dụng làm giá trị tham chiếu trong biểu đồ ứng suất - chuyển vị sau:



**Hình 7.** Biểu đồ quan hệ ứng suất - chuyển vị tháp 77m

Chuyển vị thu được bằng cách nội suy từ biểu đồ  $\sigma - \Delta$  (Hình 7) tương ứng với ứng suất thiết kế  $\sigma_{x,Rd} = 301 \text{Mpa}$  như sau:

**Bảng 9.** Chuyển vị tương ứng các tỉ lệ lỗ cửa

Mô hình	$\Delta$ (m)
$h/b = 2,5$	0,93
$h/b = 3$	0,85
$h/b = 3,5$	0,9
$h/b = 4$	0,86

Như vậy trong cả ba mô hình, khi tỉ lệ lỗ cửa  $h/b > 3$  thì đều cho kết quả chuyển vị giới hạn đỉnh tháp thấp hơn so với trường hợp  $h/b \leq 3$ .

3.4. Tổng quát hóa kiểm tra ổn định tháp theo tiêu chuẩn Nhật

Thiết lập phương trình đường trung bình tỉ suất chịu lực của các mô hình tháp dựa trên khả năng chịu lực tương ứng với từng tỉ lệ lỗ cửa.

**Bảng 10.** Khả năng chịu lực

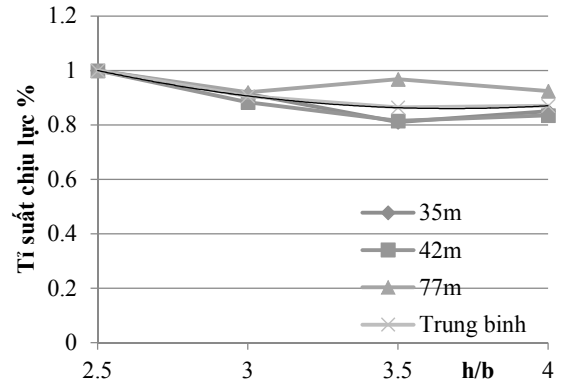
h/b	P(kN)		
	35m	42m	77m
2.5	954	1699	4371
3	871	1500	4017
3.5	773	1385	4232
4	811	1418	4040

**Bảng 11.** Tỉ suất chịu lực

h/b	35m	42m	77m	Trung bình
2.5	1	1	1	1

3	0,913	0,883	0,919	0,905
3.5	0,810	0,815	0,968	0,864
4	0,851	0,835	0,924	0,870

Từ Bảng 4-7 cho ta biểu đồ quan hệ tỉ suất chịu lực của tháp với tỉ lệ khẩu độ cửa.



**Hình 8.** Đường tỉ suất chịu lực trung bình

Từ đồ thị trên, ta thiết lập được phương trình của đường trung bình:

$$C_1 = 0,1005(h/b)^2 - 0,7393(h/b) + 2,2198$$

$C_1$ : Hệ số giảm yếu, được dùng để xác định hệ số C trong công thức (2.15) ở trên.

Kiểm tra ổn định

$$\text{Công thức kiểm tra ổn định: } \frac{\sigma_c + \sigma_b}{C \times_c f_{cr}} \leq 1 [3]$$

**Bảng 12.** Ứng suất cục bộ tháp 35m

h/b	2,5	3	3,5	4
$C_1$	1	0,905	0,864	0,870
C	0,749	0,678	0,647	0,651
$c_{f_{cr}}$ (Mpa)	407	407	407	407
$\sigma$ (Mpa)	254	254	254	254
Kiểm tra	0,83	0,92	0,96	0,96

**Bảng 13.** Ứng suất cục bộ tháp 42m

h/b	2,5	3	3,5	4
$C_1$	1	0,905	0,864	0,870
C	0,810	0,733	0,701	0,705
$c_{f_{cr}}$ (Mpa)	513	513	513	513
$\sigma$ (Mpa)	340	340	340	340
Kiểm tra	0,82	0,90	0,95	0,94

**Bảng 14.** Ứng suất cục bộ tháp 77m

h/b	2.5	3	3.5	4
$C_1$	1	0,905	0,864	0,870
C	0,860	0,778	0,743	0,748
$c_{f_{cr}}$ (Mpa)	460	460	460	460
$\sigma$ (Mpa)	301	301	301	301
Kiểm tra	0,76	0,84	0,88	0,87

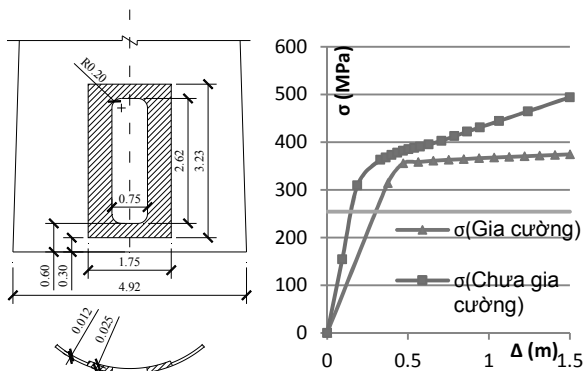
Như vậy, các trường hợp ứng suất cục bộ tại chân tháp của các mô hình với các tỉ lệ cửa đều đảm bảo điều kiện kiểm tra nhỏ hơn 1.

### 3.5. Bình luận

Muốn tăng khả năng ổn định cục bộ của các mô hình tháp phong điện với các tỉ lệ lỗ cửa  $b/h > 3$ , nên tiến hành gia cường mép quanh lỗ cửa, ở đây tác giả kiến nghị biện

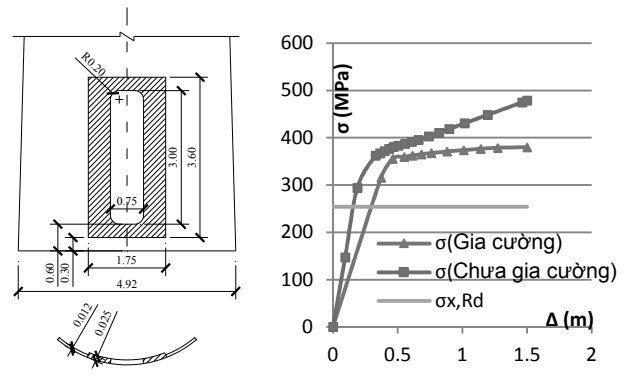
pháp tăng cường chiều dày ( $t = 25\text{mm}$ ) của mép xung quanh lỗ cửa. ở đây tiến hành khảo sát cho tháp cao 35m với các tỉ lệ lỗ cửa  $h/b = 3,5$  và  $h/b = 4$ .

Từ biểu đồ *Ứng suất - chuyển vị* (Hình 10, 12) nhận thấy ứng suất cục bộ quanh mép cửa giảm đáng kể sau khi tiến hành gia cường quanh mép cửa.



Hình 9.  $b/h = 1/3,5$

Hình 10. Ứng suất - chuyển vị



Hình 11.  $b/h = 1/4$

Hình 12. Ứng suất - chuyển vị

## 4. Kết luận

Khả năng chịu lực và ổn định cục bộ (có xét đến biến dạng dẻo của thép) của tháp phụ thuộc vào tỉ lệ mở lỗ cửa tại chân tháp. Bài báo nhằm tái khẳng định nên chọn tỉ lệ chiều cao và bề rộng của lỗ cửa nên nhỏ hơn hoặc bằng 3 khi thiết kế tháp phong điện. Đồng thời qua đó, đề xuất cách xác định hệ số ảnh hưởng của lỗ cửa C tại chân tháp trong tính toán ổn định, và biện pháp gia cường mép cửa khi tỉ lệ  $h/b > 3$ .

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Eurocode 3: *Design of steel structures* Part 1-6: Strength and Stability of Shell Structures.
- [2] John Corbett Nicholson - *Design of wind turbine tower and foundation systems: ptimization approach* - University of Iowa.
- [3] Yotsuya I-chome, Shinjuku-ku(2010) - *Guidelines for Design of Wind Turbine Support Structures and Foundations* - Tokyo, Japan.
- [4] Phạm Huy Chính, *Tính toán và thiết kế kết cấu thép*, NXB Xây dựng, 2011.

(BBT nhận bài: 15/12/2015, phản biện xong: 28/03/2016)