

# ẢNH HƯỞNG CỦA GÓC XIÊN THANH GIÀN ĐẾN ĐỘ CỨNG NGANG CỦA KẾT CẤU NHÀ CAO TẦNG DẠNG ỚNG LƯỚI

## OPTIMISED ANGLE OF DIAGONAL IN TALL BUILDING USING DIAGRID-TUBE STRUCTURES

Trần Quang Hưng

Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; Email: tqhung@dut.udn.vn

**Tóm tắt:** Kết cấu ống lưới gần đây đã được sử dụng thành công trong xây dựng nhà siêu cao tầng trên thế giới. Dạng kết cấu này không những có giá trị thẩm mỹ cao mà còn có khả năng chịu lực lớn, khối lượng nhẹ và kinh tế. Ống lưới là kết cấu lực chính nên độ cứng của công trình phụ thuộc vào cấu tạo của nó, đặc biệt là vào góc xiên của thanh giàn lưới. Nghiên cứu này tìm hiểu ứng xử của kết cấu khi chịu tải trọng ngang, đánh giá độ cứng ngang thông qua chuyển vị đỉnh, đồng thời cũng đưa ra đề xuất cách xác định góc xiên tối ưu trong một số trường hợp cụ thể. Các mô phỏng bằng số được thực hiện để so sánh với lý thuyết. Kết quả này có thể giúp người thiết kế lựa chọn cấu tạo hệ ống lưới hợp lý hơn.

**Từ khóa:** Nhà cao tầng; kết cấu ống lưới; độ cứng ngang; chuyển vị ngang; lực cắt đáy; góc xiên tối ưu

**Abstract:** Diagrid-tube structures have been successfully used to construct some skyscrapers in the world. Architectural aesthetic and high strength in lateral load resistance are advantages of this structural type. This good choice can bring us a very interesting economic gain caused by a maximum reduction in material. In case of these buildings, diagrid-tube is the main structure, therefore its configuration determining the lateral rigidity of whole structure and angle of diagonal is especially important. This paper shows how the structure behaves in case of lateral loads and evaluates its rigidity. Optimized angle is proposed by an analytical approach. Some numerical examples are also simulated in order to compare with analytical results which are very useful for structural designers.

**Keywords:** Tall building; diagrid-tube structures; lateral rigidity; lateral displacement; base shear force; optimized diagonal angle

### 1. Giới thiệu chung

Kết cấu nhà cao tầng rất đa dạng, mỗi loại có những ưu nhược điểm riêng và phù hợp với một khoảng chiều cao cụ thể. Nhà càng cao thì phương án kết cấu càng quan trọng vì nó quyết định tính khả thi và kinh tế của công trình.

Kết cấu dạng ống thường được dùng cho nhà siêu cao tầng. Thường các ống được tạo nên bởi hệ cột và dầm bố trí với bước cột bé. Nếu nhà có nhiều ống thì có thể tạo ra kết cấu ống lồng ống, ống bó [1,5].

Kết cấu ống lưới ban đầu được sử dụng hạn chế trong một số công trình chuyên biệt như tháp nước Sukhov ở Nga, khu triển lãm thương mại MyZeil ở Đức... Cấu tạo của ống lưới gồm các thanh xiên đan với nhau tạo nên hệ lưới bao quanh công trình. Kết cấu này gần đây được sử dụng khá hiệu quả trong các công trình nhà thép siêu cao tầng nhờ khả năng chịu lực ngang rất lớn và thẩm mỹ cao. Một số công trình nhà cao tầng tiêu biểu như tòa nhà Hearst Tower ở New York, tòa tháp Swiss Re ở London (hình 1, nguồn: *panoramio.com* & *skyscrapercity.com*), trung tâm truyền hình CCTV (hình 2, nguồn: *thecityreview.com*).

Mặc dù đã được ứng dụng thực tế nhưng các nghiên cứu về sự làm việc của kết cấu cao tầng dạng này chưa nhiều và chủ yếu bằng phân tích số, người thiết kế vẫn do đó chưa có một cơ sở khoa học mang tính hàn lâm để thực hành tính toán. Đặc biệt khi chịu tải trọng ngang như động đất, gió thì vấn đề cấu tạo hợp lý của hệ lưới là vô cùng quan trọng. Yếu tố quyết định trong cấu tạo ống lưới chính là góc xiên của các thanh giàn. Do đó chọn được một góc xiên tối ưu sẽ mang lại độ cứng tổng thể cho công trình lớn và hiệu quả kinh tế cao.



Hình 1. Swiss Re Building (trái), Hearst Tower (phải)

Một số ít công trình nghiên cứu về kết cấu ống lưới có thể kể đến như luận văn tiến sĩ của K.Moon [3] đề cập đến việc chọn sơ bộ kích thước thanh lưới và góc xiên tối ưu ứng với một số trường hợp cụ thể dựa vào các mô hình số; luận văn thạc sĩ của J. Leonard nghiên cứu hiện tượng tập trung lực dọc ở các thanh biên nhà [5].



Hình 2. CCTV Tower

**2. Sự làm việc của kết cấu ống lưới chịu tải ngang**

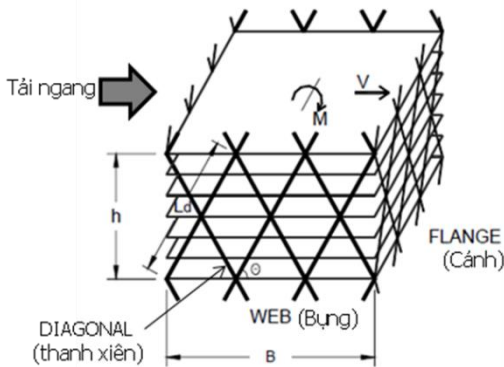
**2.1. Cấu tạo và cách bố trí kết cấu ống lưới trong nhà cao tầng**

Kết cấu ống rất hay được sử dụng đối với nhà siêu cao thì. Khác với kết cấu ống truyền thống, kết cấu ống lưới có điểm đặc biệt là không có cột đứng (hình 3).

Về tổ chức mặt bằng, kết cấu ống lưới có thể thích hợp với nhiều dạng như mặt bằng hình vuông (toàn nhà Hearts Tower), hình tròn (toà nhà Swiss Re) hay mặt bằng phức tạp khác (tòa nhà CCTV)...

Khi làm việc, hệ lưới bố trí xung quanh nhà tạo nên một tiết diện giống như tiết diện dầm dạng ống. Ngoài việc tiếp nhận tải trọng thẳng đứng theo diện chịu tải, hệ ống lưới tiếp nhận hoàn toàn tải trọng ngang (gió và động đất).

Dưới tác dụng của lực xô ngang, các giàn lưới vuông góc với phương lực đóng vai trò là cánh tiết diện, hai giàn song song phương lực liên kết hai cánh và đóng vai trò là bụng của tiết diện (hình 3). Các cột trong nếu có chỉ đóng vai trò chịu tải đứng theo diện chịu tải của nó.



**Hình 3.** Một môđun ống lưới và sự làm việc dưới tác dụng của tải ngang, trích từ [4]

Góc xiên của thanh chéo là một trong những thông số quan trọng không những ảnh hưởng đến kiến trúc mà còn quyết định đến độ cứng của nhà. Chọn được một góc xiên hợp lý sẽ cho độ cứng lớn, tiết diện thanh nhỏ dẫn đến tiết kiệm đáng kể vật liệu sử dụng cho toàn công trình.

**2.2. Độ cứng ngang của kết cấu ống lưới**

Xét một đoạn kết cấu có chiều cao h, chịu tác động của mômen M và lực cắt V. Gần đúng có thể coi hai giàn bụng chịu toàn bộ lực cắt V còn hai giàn cánh chịu mômen M.

**2.2.1. Độ cứng chống trượt**

Xét hai giàn bụng chịu lực cắt V như **hình 4**. Gọi  $F_d$  là lực dọc trong thanh giàn thì  $F_d = A_{d,w} \sigma_d = A_{d,w} E \epsilon_d$ ; trong đó  $A_{d,w}$  là diện tích mặt cắt ngang của thanh xiên giàn bụng,  $\sigma_d$  và  $\epsilon_d$  lần lượt là ứng suất và biến dạng của thanh, E là môđun đàn hồi của thép. Dễ thấy:

$$V = 2n_w F_d \cos \theta = 2n_w A_{d,w} E \epsilon_d \cos \theta \quad (1)$$

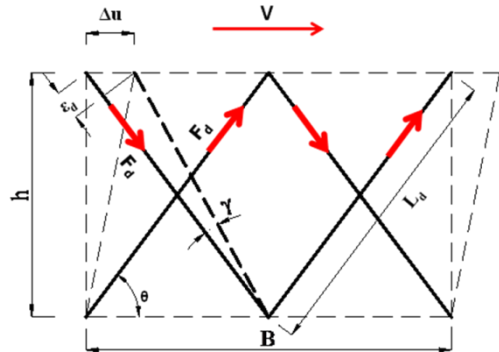
Với  $n_w$  là số thanh chéo trong một giàn bụng. Từ quan hệ hình học biểu diễn được [3,4]:

$$\epsilon_d = \frac{\Delta L_d}{L_d} = \frac{\Delta u \cos \theta}{h / \sin \theta} = \frac{\Delta u}{h} \cos \theta \sin \theta \quad (2)$$

Góc trượt của đoạn nhà (**hình 4**):  $\gamma = \Delta u / h$ , vậy có thể viết (theo K. Moon [4]):

$$\gamma = \frac{V}{2n_w A_{d,w} E \cos^2 \theta \sin \theta} = \frac{V}{\alpha_T \cos^2 \theta \sin \theta} \quad (3)$$

Với  $\alpha_T = 2n_w A_{d,w} E$ . Có thể thấy rằng nếu chỉ bị trượt thuần túy thì độ cứng của kết cấu lớn nhất khi góc xiên  $\theta = 35,2^\circ$ .



**Hình 4.** Sự làm việc chịu trượt của đoạn nhà

**2.2.2. Độ cứng chống uốn**

Xét đoạn nhà h chịu mômen M như **hình 5**. Dưới tác dụng của M mỗi giàn cánh chịu lực nén (kéo)  $N = M/B$ , hệ xoay góc  $\varphi$ , theo lí thuyết về uốn thuần túy, độ cong của đoạn nhà là:

$$\chi = \varphi / h = M / EI \quad (4)$$

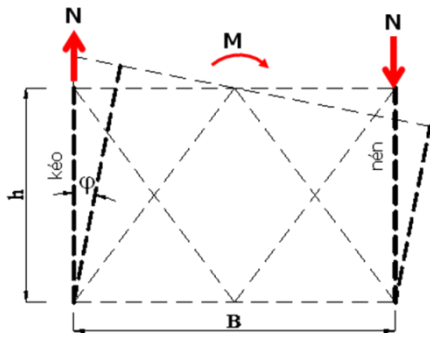
Trong đó I là mômen quán tính của hai giàn cánh đối với trục trung hòa chung của chúng. Để xác định I, xét riêng một cánh chịu lực nén N như **hình 6**, từ điều kiện cân bằng lực theo phương đứng ta có:

$$N = M / B = n_f F_d \sin \theta = n_f \sigma_d A_{d,f} \sin \theta \quad (5)$$

Hay: 
$$\sigma_d = \frac{M}{n_f A_{d,f} B \sin \theta} \quad (6)$$

Với  $n_f$  và  $A_{d,f}$  là số và tiết diện thanh xiên giàn cánh. Đối với tiết diện chịu uốn thì:

$$\sigma_d = \frac{M B}{I} \quad (7)$$



Hình 5. Biến dạng uốn của đoạn nhà

So sánh (7) và (8) được:

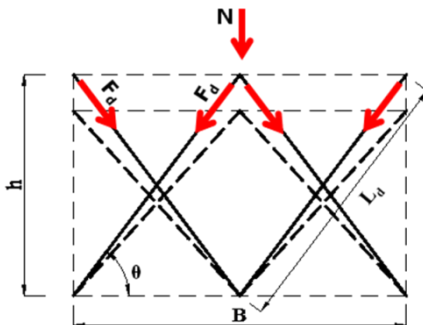
$$I = n_f A_{d,f} \frac{B^2}{2} \sin \theta \quad (8)$$

Vậy góc xoay  $\varphi$  tính cho đoạn h là:

$$\varphi = \frac{M \cdot h}{n_f A_{d,f} E \frac{B^2}{2} \sin \theta} = \frac{M \cdot h}{\alpha_B \sin \theta} \quad (9)$$

Trong đó  $\alpha_B = n_f A_{d,f} E B^2 / 2$ .

Để thấy nếu chỉ chịu uốn thuần túy thì độ cứng của kết cấu lớn nhất khi góc xiên  $\theta=90^\circ$  (thanh xiên thành cột thẳng đứng).



Hình 6. Nội lực trong các thanh xiên của giàn cánh khi chịu uốn

### 2.2.3. Độ cứng tổng thể

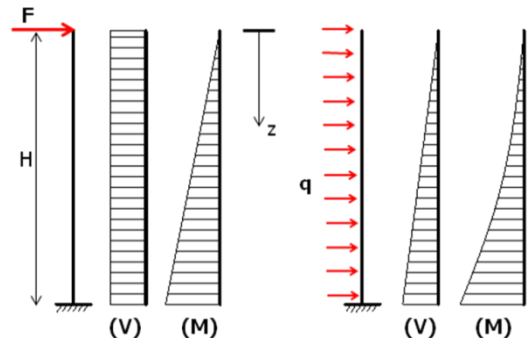
Chuyển vị ngang của đoạn h có thể xác định bằng công thức gần đúng như sau:

$$\delta = \gamma h + \varphi h = \frac{V \cdot h}{\alpha_T \cos^2 \theta \sin \theta} + \frac{M \cdot h^2}{\alpha_B \sin \theta} \quad (10)$$

Như vậy độ cứng phức thuộc vào biến dạng trượt và uốn. Nếu chỉ xét riêng ảnh hưởng của góc xiên  $\theta$  thì góc tối ưu để cho độ cứng lớn nhất sẽ rơi vào khoảng  $35,2^\circ \div 90^\circ$ . Kết luận này cũng được đưa ra bởi K. Moon [3].

### 3. Góc xiên tối ưu

Giả sử công trình có chiều cao H và bề rộng B. Xét hai trường hợp đại diện: trường hợp 1 công trình chịu lực tập trung F trên đỉnh; trường hợp 2 công trình chịu lực phân bố đều q như hình 7. Coi tiết diện thanh xiên không đổi theo chiều cao.



Hình 7. Hai trường hợp chịu lực điển hình

Chuyển vị tại đỉnh nhà có thể viết gần đúng:

$$\Delta_H = \frac{1}{\alpha_T \cos^2 \theta \sin \theta} \int_0^H V dz + \frac{H}{\alpha_B \sin \theta} \int_0^H M dz \quad (11)$$

Vậy chuyển vị đỉnh ứng với hai trường hợp là:

- Trường hợp 1:

$$\Delta_H = \frac{FH}{\alpha_T \cos^2 \theta \sin \theta} + \frac{FH^3}{2\alpha_B \sin \theta} \quad (12)$$

- Trường hợp 2:

$$\Delta_H = \frac{qH^2}{2\alpha_T \cos^2 \theta \sin \theta} + \frac{qH^4}{6\alpha_B \sin \theta} \quad (13)$$

Thông thường nhà có tiết diện ngang của thanh xiên ở giàn cánh và giàn bụng là như nhau và  $n_f = n_w$  nên ta có:  $\alpha_B / \alpha_T = B^2 / 4$ . Dễ dàng tìm được cực tiểu của  $\Delta_H$  ứng với góc xiên  $\theta$  thỏa mãn:

- Trường hợp 1:

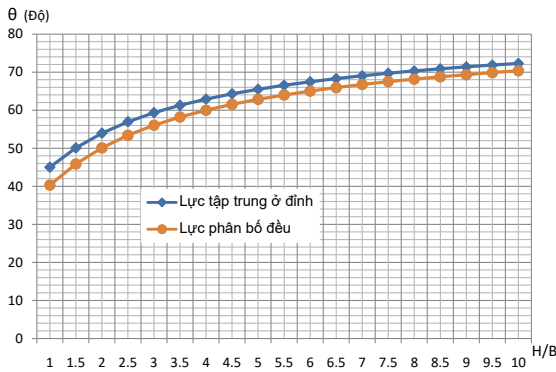
$$\tan^2 \theta = \frac{1}{4} \left( -1 + \sqrt{1 + 8(1 + 2H^2 / B^2)} \right) \quad (14)$$

- Trường hợp 2:

$$\tan^2 \theta = \frac{1}{3} \left( -1 + \sqrt{1 + 3(1 + 2H^2 / B^2)} \right) \quad (15)$$

Hình 8 biểu diễn quan hệ giữa tỉ số H/B và góc xiên tối ưu. Nhận thấy rằng khi H/B càng nhỏ, biến dạng trượt chiếm ưu thế thì góc xiên tối ưu càng gần góc  $35,2^\circ$  và ngược lại, khi H/B lớn biến dạng uốn chiếm ưu thế, góc xiên tối ưu càng gần góc  $90^\circ$ .

Khi tiết diện thanh xiên thay đổi theo chiều cao hoặc tải trọng có dạng khác thì trong công thức (11) cần lấy tích phân trên từng đoạn, từ đó cũng hoàn toàn có thể xác định được góc tối ưu.

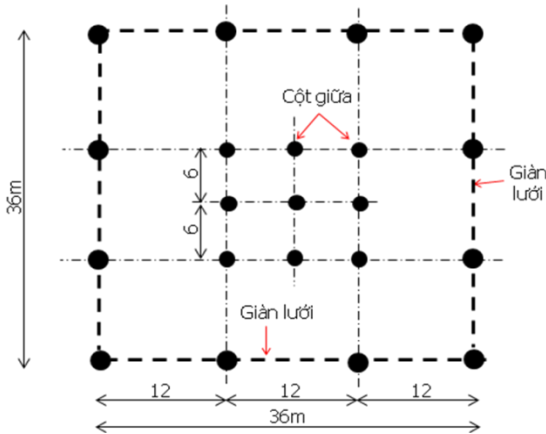


Hình 8. Quan hệ giữa tỉ số H/B và góc xiên tối ưu

#### 4. Khảo sát ví dụ số

Độ cứng và góc xiên tối ưu của công trình đã được xác định bằng lý thuyết dựa vào chuyển vị ngang của đỉnh nhà. Phần này sẽ xét một công trình cụ thể, khảo sát góc xiên tối ưu theo lý thuyết trên, đồng thời giải bằng phương pháp phần tử hữu hạn trong ETABS để kiểm chứng lý thuyết.

Xét công trình 60 tầng có mặt bằng hình vuông rộng  $B=36\text{m}$ , chiều cao  $H=240\text{m}$ , chiều cao tầng  $4\text{m}$ , bước lưới  $12\text{m}$  (hình 9). Đây là công trình mô phỏng lại tòa nhà Hearst Tower, công trình này cũng được mô hình trong các nghiên cứu [2,3,4].



Hình 9. Mặt bằng kết cấu công trình

Sàn nhà kiểu kết cấu liên hợp thép-bê tông dày  $20\text{cm}$ , khi tính toán chịu tải ngang giả thiết độ cứng của bản sàn trong mặt phẳng làm việc là vô cùng.

Các cột bên trong không thuộc giàn lưới biên chỉ nhận tải trọng đứng, không có vai trò đối với độ cứng ngang của công trình. Mặt của giàn lưới coi là khớp.

Theo chiều cao nhà, kết cấu ống lưới được chia thành từng mô đun, mỗi mô đun chứa một số lượng tầng nhất định. Hình 3 biểu diễn mô đun chứa 6 tầng.

Các đặc trưng cơ học của vật liệu thép: mô đun đàn hồi  $E=2 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ ; giới hạn chảy  $f_y=340 \text{N/mm}^2$ ; khối lượng riêng  $7,8 \text{T/m}^3$ .

##### 4.1. Lựa chọn sơ bộ tiết diện thanh giàn

Từ (3) và (9) rút ra tiết diện thanh giàn tại mô đun kết cấu là:

$$A_{d,w} = \frac{V}{2n_w E \gamma \cos^2 \theta \sin \theta} \quad (16)$$

$$A_{d,f} = \frac{M}{n_f E \chi \frac{B^2}{2} \sin \theta} \quad (17)$$

K. Moon đã đề xuất cách lựa chọn sơ bộ tiết diện dựa trên chuyển vị đỉnh mục tiêu:

$$\frac{\Delta_H}{H} = \left[ \frac{\Delta}{H} \right]$$

(18)

Ứng với chuyển vị đỉnh mục tiêu ta có biến dạng trượt và uốn mục tiêu  $\gamma$  và  $\chi$ . Các thông số này được xác định như sau [4]:

$$\gamma = \frac{1}{1+s} \left[ \frac{\Delta}{H} \right]; \quad \chi = \frac{2s}{H(1+s)} \left[ \frac{\Delta}{H} \right] \quad (19)$$

$$\text{Với: } s = \frac{H}{Bf \tan \theta}$$

Trong đó  $f$  là tỉ số giữa biến dạng của thanh bụng do  $V$  gây ra và biến dạng của thanh cánh do  $M$  gây ra. Theo kinh nghiệm  $f=0.5 \div 1$  tùy thuộc vào tỉ số  $H/B$ . Chuyển vị cho phép trong hầu hết các tiêu chuẩn lấy:  $[\Delta/H]=1/500$ . [6,7]

Xét nhà có mô đun 6 tầng tương ứng với góc xiên  $\theta=63,4^\circ$ . Ở bước chọn sơ bộ giả sử nhà chịu tải gió phân bố đều lên toàn chiều cao nhà, giá trị áp lực gió tính toán lấy tại chiều cao trung bình  $H/2=120\text{m}$  là:

$$w = 1,2 \cdot c \cdot k \cdot w_0 = 1,2(0,6+0,8)1,66 \cdot 95 = 265 \text{ daN/m}^2$$

(gió vùng IIB theo TCVN 2737:1995)

Lực phân bố đều lên nhà:

$$Q = wB = 2,65 \cdot 36 = 95,38 \text{ kN/m}$$

Mômen đáy công trình:

$$M = qH^2/2 = 2746856,5 \text{ kNm}$$

Lực cắt đáy:

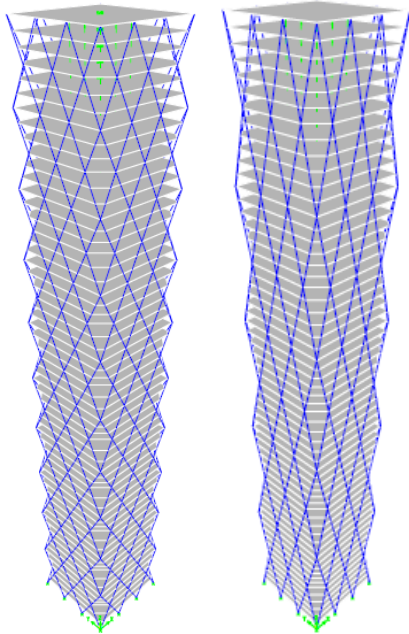
$$V = qH = 22890,5 \text{ kN}$$

Tỉ số  $H/B=240/36=6,67$  nên chọn  $f=0,8$ . Theo các công thức (19) tính được  $s=12,5$ ;  $\gamma=0,000148$  và  $\chi=1,54 \cdot 10^{-5} \text{m}^{-1}$ . Có:  $n_w=n_f=6$ .

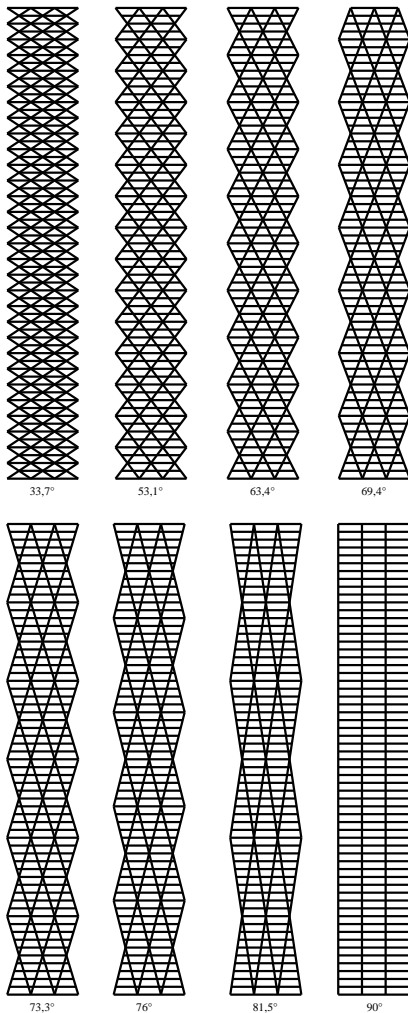
Từ (16) và (17) tính được sơ bộ:  $A_{d,w}=342367 \text{mm}^2$ ;  $A_{d,f}=244319 \text{mm}^2$ . Sau khi mô hình thử, tiết diện thanh giàn lưới ở chân công trình  $408200 \text{mm}^2$  đã được chọn.

##### 4.2. Ảnh hưởng của góc xiên đến độ cứng ngang của nhà

Để đánh giá độ cứng ngang của công trình khi góc xiên thay đổi, có thể giả thiết tiết diện thanh giàn là không đổi theo chiều cao và bằng tiết diện thanh giàn ở chân công trình là  $408200 \text{mm}^2$ .



**Hình 10.** Mô hình 3D trong ETABS của công trình ứng với góc xiên 63,4° (trái) và 76° (phải)



**Hình 11.** Kết cấu ứng với các góc xiên khác nhau

Xét tải ngang là gió phân bố đều như trong phần lựa chọn sơ bộ. Trong phần này, góc xiên của thanh giàn sẽ

được thay đổi và độ cứng ngang nhà được đánh giá thông qua chuyển vị ngang tại đỉnh công trình, cụ thể:  $\theta = 33,7^\circ; 53,1^\circ; 63,4^\circ; 69,4^\circ; 73,3^\circ; 76^\circ; 81,5^\circ; 90^\circ$ . Các góc xiên này được chọn phụ thuộc vào số tầng trong một môđun. Các mô hình này được thể hiện ở **hình 11**. Mô hình 3D trong ETABS của công trình ứng với góc xiên 63,4° và 76° biểu diễn ở **hình 10**.

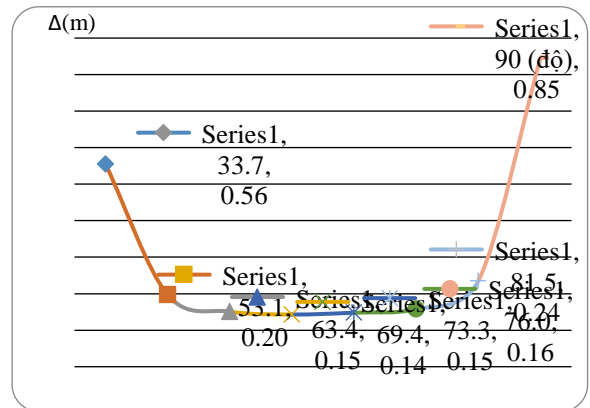
Biểu đồ **hình 12** biểu diễn chuyển vị đỉnh công trình ứng với các góc xiên  $\theta$  khác nhau. Ta thấy rằng chuyển vị bé nhất ứng với góc xiên rơi vào khoảng từ 63° đến 73°. Khi  $\theta=90^\circ$  kết cấu trở thành hệ khung cứng truyền thống, nhận thấy rằng hệ khung cứng có chuyển vị rất lớn so với hệ giàn ống. Chú ý rằng đối với hệ khung cứng, tiết diện các cột đã được chọn có các đặc trưng hình học gấp đôi so với thanh xiên trong hệ giàn ống (chập 2 ống lại một); đảm bảo tổng hợp W40x431 trong thư viện của ETABS.

Theo công thức (16) ta có:

$$\tan^2 \theta = \frac{1}{3} \left( -1 + \sqrt{1 + 3(1 + 2.240^2 / 36^2)} \right) = 6,46$$

Vậy góc tối ưu theo lý thuyết là:  $\theta=66,2^\circ$ . Kết quả này khá phù hợp với kết quả số thực hiện trong ETABS.

Trong thực tế, tiết diện thanh giàn có thể thay đổi theo chiều cao, nên theo công thức (12) dẫn đến góc xiên tối ưu thay đổi, nhưng có thể tiên đoán rằng sự thay đổi này là không lớn.



**Hình 12.** Quan hệ giữa  $\Delta_H$  và  $\theta$

#### 4.3. Ảnh hưởng của góc xiên đến hiệu quả kinh tế

Mục tiêu đặt ra là so sánh khối lượng thép sơ bộ của hệ kết cấu ống lưới ứng với các phương án góc xiên khác nhau. Phương án góc  $\theta=90^\circ$  sẽ không được xem xét vì theo biểu đồ trên **hình 12** chuyển vị của hệ quá lớn, không khả thi. Sự so sánh ở đây chỉ dừng lại ở thỏa mãn độ cứng ngang với mục tiêu là chuyển vị đỉnh cho phép  $[\Delta/H]=1/500$ .

Đối với từng phương án, tiết diện thanh giàn sẽ được thay đổi theo chiều cao; tiết diện trong mỗi môđun được chọn sơ bộ theo các công thức (16) và (17). Các tiết diện này sẽ được lựa chọn lặp đi lặp lại cho đến khi chuyển vị đỉnh thỏa mãn:

$$\Delta_H = \frac{1}{500} H = \frac{240}{500} = 0,48m \quad (19)$$

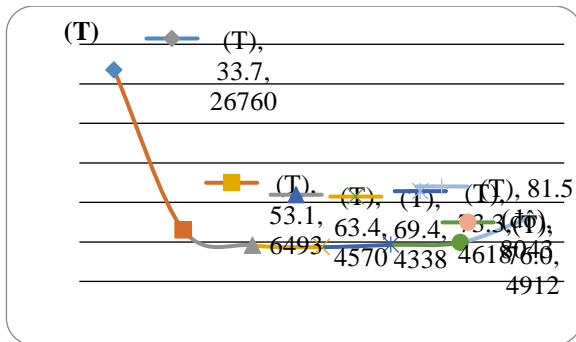
Kết quả tiết diện thanh xiên của 10 môđun ứng với

phương án góc xiên  $\theta=63,4^\circ$  được thể hiện trong **bảng 1**.

**Bảng 1.** Tiết diện thanh xiên của hệ với  $\theta=63,4^\circ$

Môđun	Lực cắt tầng kN	Mômen tầng kNm	$A_d$ mm <sup>2</sup>
1	2099	27475	11337
2	4388	109901	23705
3	6678	247277	36073
4	8968	439603	48442
5	11257	686880	60810
6	13547	989107	79095
7	15836	1346285	107658
8	18126	1758413	140614
9	20416	2225491	177965
10	22705	2747520	219710

Biểu đồ ở **hình 13** biểu diễn tổng khối lượng thép của hệ kết cấu ống cho toàn công trình ứng với các góc xiên khác nhau. Như vậy nếu chọn góc xiên hợp lý trong khoảng  $63^\circ \div 73^\circ$  thì sẽ có thể tiết kiệm thép hơn nhiều so với các trường hợp khác, thậm chí lên đến vài lần.



**Hình 13.** Quan hệ giữa tổng khối lượng thép và góc xiên  $\theta$

(BBT nhận bài: 30/11/2013, phản biện xong: 10/02/2014)

## 5. Kết luận

Nghiên cứu này đã phân tích được một cách định tính về sự làm việc của kết cấu nhà cao tầng dạng ống lưới bằng thép. Góc xiên thanh giàn là thông số quan trọng nhất quyết định đến khả năng chịu lực ngang của nhà. Để xác định góc xiên tối ưu, một số công thức gần đúng đã được đề xuất ứng với các trường hợp tải trọng đơn giản (công thức 14 và 15).

Các kết quả mô phỏng bằng số trong ETABS quả rất phù hợp với lý thuyết đã xây dựng và cũng khá sát với các kết quả nghiên cứu của K.Moon [3,4]. Kết của này có thể làm cơ sở để người thiết kế lựa chọn góc xiên hợp lý cho nhà cao tầng kiểu ống lưới theo quan điểm kết cấu.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Bungale S. Taranath (1998), *Steel, Concrete, and Composite Design of Tall Buildings*, second edition, McGraw-Hill Company.
- [2] Johan Leonard, *Investigation of Shear Lag Effect in High-rise Buildings with Diagrids System*, Thesis (Master), Massachusetts Institute of Technology, June, 2007.
- [3] Moon, K. S., *Dynamic Interrelationship Between Technology and Architecture in Tall Buildings*, Thesis (PhD), Massachusetts Institute of Technology, June, 2005.
- [4] Moon, K., *Design and Construction of Steel Diagrid Structures*, NSCC2009, Sweden, September 2009.
- [5] Smith B.S., Coull A., *Tall Building Structures: Analysis and Design*, John Wiley & Son, Inc, 1991.
- [6] TCVN 2737:1995 *Tải trọng và tác động – Tiêu chuẩn thiết kế*.
- [7] Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 1-1: *General Rules and Rules for Buildings*.