

# Nghiên cứu chế tạo trụ gió bê tông cốt thép tiên chế tại Việt Nam

## Research for production of wind tower concrete at Vietnam

> TS TRẦN BÁ VIỆT<sup>1</sup>; TS PHẠM THANH ĐẰM<sup>1</sup>;  
KS LÊ HOÀNG PHÚC<sup>2</sup>; KS LƯƠNG TIẾN HÙNG<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hội Bê tông Việt Nam - VCA; Tel 0903406501; Email: [vietbach57@yahoo.com](mailto:vietbach57@yahoo.com)

<sup>2</sup> Công ty CP Sản xuất và Chuyển giao công nghệ Việt Nam; Email: [durinntech@uhpc.com.vn](mailto:durinntech@uhpc.com.vn)

### TÓM TẮT:

Bài báo trình bày phương pháp tính toán thiết kế, chế tạo các phần tử bê tông cốt thép đúc sẵn của tháp gió thay thế các phân đoạn thép nhập khẩu. Nắm vững thiết kế, chế tạo, lắp ráp và thi công tháp gió bê tông cốt thép trong thực hành. Kết quả có thể áp dụng cho xây dựng tháp gió bê tông cốt thép (BTCT) trong những năm tới với hiệu quả cao cả về tuổi thọ và giá thành.

**Từ khoá:** Tháp trang trại gió; phân đoạn bê tông; tuabin; tải trọng gió; bê tông chịu lực cao; chống môi của tháp kết cấu bê tông.

### ABSTRACT:

Presenting the method of calculating, designing and manufacturing reinforced concrete elements of wind tower to replace imported steel segments, to master the design, manufacture, assembly and construction of reinforced concrete wind tower. The results can be applied to wind tower in the coming years with high efficiency in both life and cost.

**Keyword:** Wind farm tower, segments concrete, turbine, windload, ultra- high performance concrete, fatigue of concrete structural tower.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

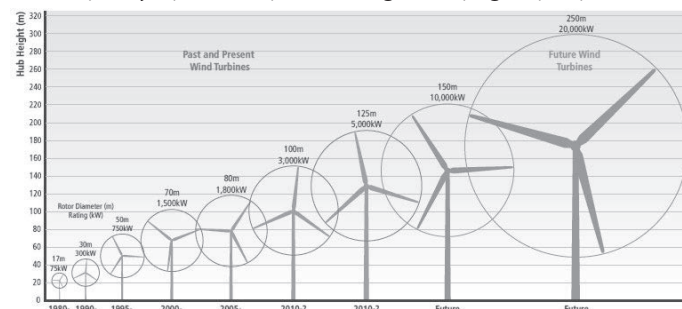
Hiện nay, Việt Nam đang trong giai đoạn phát triển điện gió trên bờ, gần bờ và xa bờ. Việc phát triển điện gió nằm trong dự thảo quy hoạch điện VIII, nhằm khai thác tài nguyên gió, giảm thiểu phát thải CO<sub>2</sub> và phát triển bền vững.

Tính đến thời điểm hiện tại, đã phê duyệt 200 dự án, trong đó có khoảng 60 dự án sẽ kịp tiến độ COD trước 31/10/2021 để kịp hưởng giá FIT1. Tất cả các dự án hiện nay đang dùng trụ thép tròn phân đốt, có chiều cao từ 90 ÷ 148m. Với công suất lớn nhất là 5MW cho 1 turbine. Chỉ có duy nhất một dự án của Trung Nam Group tại EaHleo, Đắk Lắk với 84 trụ, sử dụng trụ thép tấm tiên chế lắp ghép với hệ bulong ứng lực trước, công suất turbine 4,5 ÷

5,5MW. Trên thế giới hiện nay, cùng với cột thép đã thiết kế chế tạo và xây dựng trên 4000 trụ gió bằng BTCT tiên chế và trụ Hybrid - BTCT với trụ thép phân trên.

Với xu hướng tăng công suất của mỗi tuabin, chiều cao trụ tăng lên, khi đó việc áp dụng trụ BTCT hoặc trụ hybrid sẽ hiệu quả hơn trụ thép ống tròn tiên chế. Do đó, các nghiên cứu và áp dụng trụ BTCT tiên chế ngày càng được gia tăng nhanh chóng, nhất là với các dự án lớn.

Vì vậy, việc nghiên cứu ứng dụng trụ gió BTCT tiên chế là cấp bách hiện nay, tạo ra cơ hội lớn cho ngành điện gió tại Việt Nam.



Hình 1.1. Xu thế tăng công suất cùng với tăng chiều cao trụ gió - [54]

### 2. TỔNG QUAN

Qua thời gian áp dụng, thấy rằng có hai công nghệ chính được áp dụng phổ biến nhất là: công nghệ phân đoạn nhỏ nối rời khô và phân đoạn dài nối rời khô. Phương pháp phân đoạn nhỏ được áp dụng tại Đức, Trung Quốc, Thái Lan với số lượng trên 1800 trụ gió đã thi công, trong đó có trụ gió Hybrid tại Đức cao 178m và trụ Hybrid tại Thái Lan cao 148m, sử dụng công nghệ thuộc Max Bogl và Enercon. Phương pháp phân đoạn dài được áp dụng tại Tây Ban Nha, Nam Phi, Hoa Kỳ với số lượng 2400 trụ gió và trụ cao nhất là 165m, sử dụng công nghệ thuộc Acciona và Nordex. Hiện nay Enercon đã có đại diện tại Việt Nam.



Hình 2.2. Trụ BTCT thi công tại chỗ - [56]



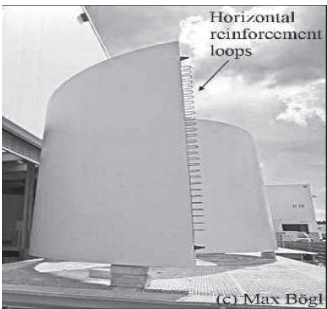
Trụ BTCT phân đoạn nhỏ nối rời khô - [44]



Hình 2.3. Trụ BTCT cophia trượt - [55]



Hình 2.4. Trụ BTCT kết hợp đổ tại chỗ và lắp ghép - [55]



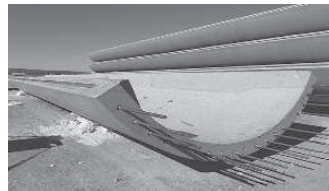
Hình 2.5. Trụ BTCT lắp ghép phân đoạn nhỏ mỗi nối ướ - [2]



Hình 2.7. Trụ BTCT phân đoạn dài mỗi nối ướ - [53]



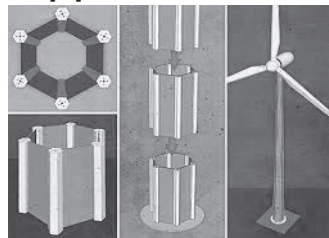
Hình 2.6. Trụ BTCT phân đoạn nhỏ lắp so le



Hình 2.8. Trụ BTCT phân đoạn dài mỗi nối khô - [53]



Hình 2.9. Trụ gió tiết diện vuông lắp ghép mảnh ngắ BTCT tiến chế - [55]



Hình 2.10. Trụ gió bằng UHPC modul, lắp ghép - [9]



Hình 2.11. Trụ BTCT in 3D (thử nghiệm mô hình cao 10m) - [52]



Hình 2.12. Trụ gió BTCT phân đoạn dài công nghệ Acciona (Nam Phi) - [53]

### 3. THIẾT KẾ

Với các thông số đầu vào là điều kiện tự nhiên, vật liệu yêu cầu, kích thước tháp, tuabin (biểu đồ tải trọng gió lên cánh) và tần số làm việc sẽ sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn, với tổ hợp tải trọng gió và tĩnh tải, tải trọng tuabin, tải trọng động đất để kiểm tra ứng suất tối hạn theo ACI 318-2020: “Building Code Requirements for Structural Concrete”. Điều kiện làm việc theo ACI 318, biến dạng – chuyển vị theo ACI 307-08: “Code Requirements for Reinforced Concrete Chimneys and Commentary” và kiểm tra môi theo MC90: “CEB - FIP Model Code 90”, được xác định theo ASCE 7-98.

Tải trọng tuabin cực hạn được áp dụng làm tải trọng tĩnh cho việc thiết kế các tháp trong nghiên cứu này. Nó cần được xem xét thận trọng, do đó các tải trọng tĩnh đã được sử dụng theo phương pháp thiết kế tiêu chuẩn ASCE để xuất để xác định tải trọng gió trực tiếp tác dụng lên tòa tháp. Tiêu chuẩn ASCE được là tham chiếu tải trọng cùng với tiêu chuẩn thiết kế bê tông cốt thép ACI 318.

Hệ số an toàn từng phần đối với tải giới hạn được đề xuất bởi tiêu chuẩn IEC 61400 -1 cho thiết kế tuabin gió là 1.1DL + 1.35WL cho tải thường và tải cực lớn. Hệ số tải từ ASCE là: 1.2DL + 1.6WL, cao hơn 19% so với hệ số của Ủy ban Kỹ thuật Điện Quốc tế (IEC). Trong nghiên cứu này, các hệ số tải trọng ASCE đối với tải trọng gió trực tiếp lên cấu trúc tháp được sử dụng vì chúng phù hợp với mã phương pháp dùng để tính tải trọng gió trực tiếp lên tháp. Hệ số tải 1,6 (so với 1,35) cao hơn cũng được cho là thích hợp vì không thể giảm thiểu tác động của gió trực tiếp đối với tháp như tải cực hạn được áp dụng cho các rôto tuabin. Các tháp bê tông thường cứng hơn một chút và nặng hơn đáng kể so với các tháp thép được thiết kế cho cùng một đỉnh tháp, phụ tải tuabin.

Đối với điều kiện hoạt động ổn định, điều kiện IEC EWM50, tốc độ gió thiết kế trong 3 giây là 59,5m/s (133mph) ở 100m (328ft) được sử dụng cho mục đích phân tích. Đối với hoạt động ở điều kiện không thuận lợi, điều kiện IEC EOG50, tốc độ gió thiết kế trong 3 giây độ cao trung tâm 100m (328ft) là 35,0m/s (78mph).

Điều quan trọng là sử dụng phương pháp thiết kế ASCE để tỷ lệ với tốc độ gió thiết kế thường được đưa ra tại chiều cao trung tâm tuabin trong ngành công nghiệp gió với tốc độ gió ở độ cao 10m (33ft) so với mặt đất, là độ cao tham chiếu cho các phương trình ASCE. Đối với gió trực tiếp tác động lên tháp, liên kết với điều kiện tuabin không hoạt động của IEC EWM50, số mũ cắt gió  $\beta$  là 0,1 để chuyển đổi thành độ cao tham chiếu 10m (33ft) đã được sử dụng và đối với tốc độ gió hoạt động liên quan đến IEC điều kiện hoạt động EOG50, số mũ cắt gió  $\beta$  bằng 0,2 được sử dụng cho chuyển đổi này. Do đó, phân bố gió dọc theo tháp  $v(z) = v_{hub} (33ft/z)^\beta$

Các tháp được trình bày ở đây được thiết kế để tiếp xúc trực tiếp với gió loại “D” để giải thích cho khu vực không bị cản trở tiếp xúc với gió thổi trên mặt nước hoặc một khu vực rộng lớn của địa hình bằng phẳng. Hệ số quan trọng 1,0 được chọn cho các công việc liên quan đến việc lắp đặt tuabin gió. Áp suất vận tốc  $q_z$  lên tháp được tính bằng:

$$q_z = 0,00256 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \text{ psf}$$

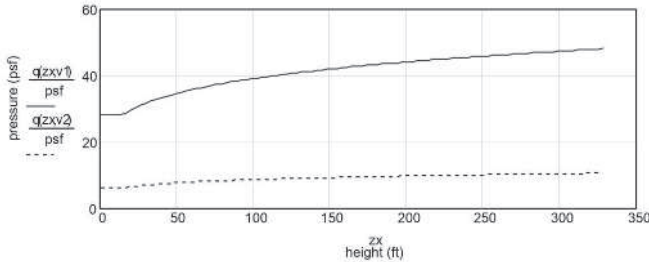
Hoặc đối với đơn vị SI:

$$q_z = 0,613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

trong đó vận tốc của gió giật  $V$  là 59,5m/s (133mph) ở độ cao 100m (328 t), hệ số địa hình  $K_{zt}$  là 1,0 đối với khu đất trống bằng phẳng, hệ số hướng gió  $K_d$  là 0,95 đối với tháp hình trụ tròn (bảng 6-6 của ASCE 7-98) và hệ số tiếp xúc địa hình  $K_z$  được xác định theo bảng 6-5 của ASCE 7-98 hoặc theo công thức sau:

$$K_z(z) = \begin{cases} 2,01 \cdot \left(\frac{15ft}{z_g}\right)^{2/\alpha_1} & \text{if } z < 15ft \\ 2,01 \cdot \left(\frac{z}{z_g}\right)^{2/\alpha_1} & \text{otherwise} \end{cases}$$

trong đó:  $z_g$  chiều cao lý thuyết của lớp ranh giới khí quyển là 213m và  $\alpha_1$  là 11,5 đối với tiếp xúc "D" (bảng 6-4 của ASCE-7-98),  $z$  là chiều cao so với mặt đất tính bằng feet. Áp suất vận tốc gió trực tiếp dọc theo chiều cao tháp được vẽ trong hình 3.1. Tốc độ gió thiết kế theo chiều cao trung tâm 100m được chuyển đổi thành tốc độ gió tham chiếu ASCE7 ở độ cao 10m (33ft) so với mặt đất.



**Hình 3.1.** Áp suất vận tốc gió dọc theo chiều cao tháp (ft) - [40]  
( $v_1 = 105,8\text{mph}$ ;  $v_2 = 49,5\text{ mph}$ )

**3.1 Tải trọng gió trực tiếp lên tháp**

Tải trọng gió trực tiếp lên tháp (hình 3.2) không chỉ phụ thuộc vào áp lực gió trực tiếp  $q_z$  lên tháp mà còn phụ thuộc vào hệ số tác dụng gió  $G_f$  và hệ số lực  $C_f$ . Hệ số hiệu ứng gió giật phụ thuộc vào tính linh hoạt của cấu trúc tháp. Đối với tháp tuabin linh hoạt, hệ số gió  $G_f$  có thể được tính bằng công thức:

$$G_f = 0.925 \cdot \left( \frac{1 + 1.7 \cdot I_z \sqrt{g_q^2 \cdot Q^2 + g_R^2 \cdot R^2}}{1 + 1.7 \cdot g_v \cdot I_z} \right)$$

Trong đó: cường độ của nhiễu động,  $I_z = 0,15 (33\text{ft}/z)^{1/6}$ , phản ứng nền  $Q$  và cộng hưởng hệ số đáp ứng  $R$  (công thức 6-4 và 6-8 của ASCE-7-98), hệ số gió giật đối với phản ứng nền  $g_Q$  và đối với phản ứng gió  $g_v$  bằng giá trị 3,4. Hệ số gió giật cao nhất cho phản ứng cộng hưởng  $g_R$  là một hàm của tần số thấp  $n_1$  và được tính theo công thức sau:

$$g_g = \sqrt{2 \cdot \ln(3600 \cdot n_1)} + \frac{0.577}{\sqrt{2 \cdot \ln(3600 \cdot n_1)}}$$

Hệ số lực  $C_f$  là một hàm của hình dạng kết cấu (bảng 6-10 của ASCE-7-98). Đối với tỷ lệ có chiều cao đến đường kính của 11 loại tháp điển hình đang được xem xét ở đây,  $C_f$  xấp xỉ 0,62 đối với tháp hình trụ tròn nhẵn vừa phải có  $D/qz > 2,5$ , trong đó  $D$  bằng đường kính tháp. Tải trọng gió tĩnh  $F_z(z)$  dọc theo chiều cao tháp  $z$  được tính bằng áp lực gió trực tiếp lên diện tích dự kiến thay đổi theo đường kính  $d(z)$ :

$$F_z(z) = q_z \cdot G_f \cdot C_f \cdot d(z)$$

Có thể tính toán lực cắt gió  $V_z(z)$  và mômen lật  $M_z(z)$  dọc theo chiều cao tháp  $z$  như sau:

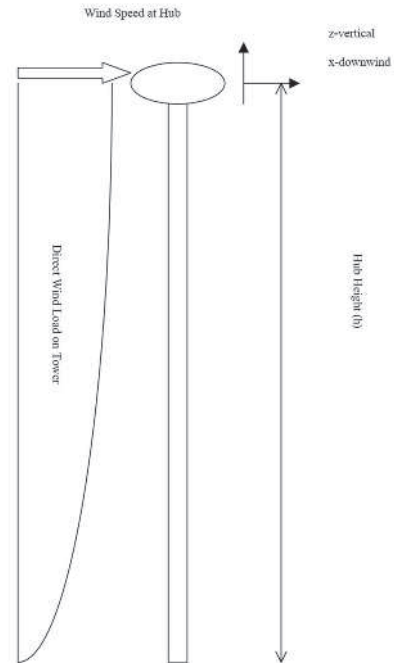
$$V_z(z) = \int_z^h F_z(x) \cdot dx$$

$$M_z(z) = \int_z^h F_z(z) \cdot (x - z) \cdot dx$$

Độ võng của tháp  $\Delta(z)$  dọc theo chiều cao (bảng 3.1) có thể được tính toán bằng cách bỏ qua lực cắt tháp biến dạng và chuyển dịch cơ sở:

$$M_z(z) = \int_z^h F_z(z) \cdot (x - z) \cdot dx$$

Trong đó:  $E$  là môđun đàn hồi,  $I$  là mômen quán tính của mặt cắt tháp, cả hai đều dọc theo chiều cao tháp và  $x$  là biến tích phân dọc theo chiều cao tháp.



**Hình 3.2.** Phân bố tải trọng gió trực tiếp lên tháp - [40]

Turbine Power	Hybrid Tower (EQ)		Conc. Tower (EQ)		Conc. Tower (Wind)		Steel Tower (Wind)	
	EQ	EQ	EQ	EQ	Wind	Wind	Wind	Wind
1.5MW	0.54m	1.77ft	0.27m	0.90ft	0.38m	1.26ft	0.92m	3.01ft
3.6MW	0.47m	1.53ft	0.35m	1.15ft	0.51m	1.66ft	0.92m	3.01ft
5.0MW	0.36m	1.18ft	0.27m	0.88ft	0.42m	1.36ft	0.61m	1.99ft

**Bảng 3.1.** Độ võng ở đỉnh tháp tuabin 100m đối với tải trọng gió lớn (EMW50) - [40]

EQ = thiết kế kiểm soát bởi động đất (Wind) = thiết kế kiểm soát bởi gió. Những độ lệch này phản ánh việc xem xét các hướng khác nhau của tải EWM50 và tải trọng gió trực tiếp lên kết cấu tháp.

**3.2 Hệ số tải trọng và kết hợp tải trọng cho tải trọng gió thiết kế tối ưu**

Đối với thiết kế cường độ cuối cùng, hệ số tải trọng thích hợp được đưa vào tổ hợp tải trọng thiết kế. Các khuyến nghị, cấu trúc, thành phần và nền tảng của ASCE 7-98 phải được thiết kế sao cho cường độ thiết kế cuối cùng bằng hoặc vượt quá ảnh hưởng của tải trọng tính theo các tổ hợp sau. (Lưu ý rằng các hiệu ứng tuabin gió sử dụng hệ số tải IEC là 1,35 đã được thêm vào các phương trình này).

Dưới đây là tóm tắt về các điều kiện tải thiết kế đối với trụ gió:

1. 1.4 DL
2. 1.2 DL + (1.35 TWL + 1.6 WL)
3. 1.2 DL + EQ
4. 0.9 DL - (1.35 TWL + 1.6 WL)
5. 0.9 DL - EQ
6. 1.0 DL + ΔWL turbine (fatigue load)
7. 1.0 DL + 1.0 TWL + 1.0 WL

Trong đó: DL :Tải tĩnh  
TWL :Tải trọng tuabin do gió gây ra  
WL :Tải trọng gió trực tiếp lên tháp  
EQ :Tải trọng động đất

Kết hợp 4 và 5 được sử dụng cho các điều kiện nâng cao.

**3.3 Tổng tải trọng gió thiết kế cuối cùng cho tháp phải là:**



Tải trọng gió thiết kế cuối cùng bằng ảnh hưởng của tải trọng gió tuabin cực hạn (với hệ số an toàn) cộng tải trọng trực tiếp tính được lên tháp. Chiều cao trụ gió thiết kế cho tuabin gió 3,6MW được đưa ra bởi đầu vào của đối tác trong ngành là 94,5m với chiều cao trung tâm là 100m. Chiều dài còn lại được tạo thành từ phần gấn thép cho trục tuabin. Đối với thiết kế tháp hỗn hợp sử dụng phương pháp xây dựng tự nâng, tháp thép được chế tạo cao hơn tháp bê tông để cho phép lắp đặt tuabin trước khi kích toàn bộ tháp thép cố gấn tuabin và rôto. Do đó, nửa chiều cao của tháp đối với tháp 94m (47m) là chiều cao của tháp bê tông. Mức cho phép tương tự được giả định cho tháp hybrid 5,0MW. Tải được đưa ra ở 47m là tải trên đỉnh trụ để thiết kế phần bê tông của hỗn hợp công suất 3,6MW và 5,0MW trụ thép/bê tông.

### 3.4 Tải trọng gió xây dựng tạm thời

Vận tốc gió thiết kế tạm thời là 40m/s (90mph) ở độ cao trung tâm 100m được sử dụng để xác định tải trọng gió thiết kế thi công tạm thời. Tải trọng gió tạm thời của công trình thấp hơn tải trọng cực hạn vì xác suất thấp hơn của tải trọng gió lớn trong khoảng thời gian giới hạn của giai đoạn xây dựng. Tải trọng gió tuabin được thu nhỏ từ trường hợp tải EMW50 theo tỷ lệ bình phương tốc độ gió tương ứng. Mức tải trọng này được sử dụng để kiểm tra các điều kiện thi công tạm thời.

### 3.5 Vận hành mỗi do gió tải

Trọng tâm chính của thiết kế chống mỗi của các tháp được nghiên cứu ở đây là các tháp bê tông. Thiết kế mỗi của các tháp thép được thực hiện với phương pháp tiếp cận tải trọng tương đương thiệt hại (DEL) được tìm thấy để cung cấp kết quả hợp lý. Phương pháp tiếp cận ít nghiêm ngặt hơn được sử dụng cho các tháp thép đã được thực hiện vì những thiết kế này có chỉ được chuẩn bị cho mục đích so sánh. Trong thiết kế cuối cùng của một tháp thép, cần phải có phân tích mỗi chi tiết. Đối với phân tích mỗi tháp thép và tháp bê tông, ảnh hưởng của gió trực tiếp lên tháp là không được thêm vào các tác động của tuabin khi tải mỗi, phù hợp với thông lệ công nghiệp hiện hành. Các moment mỗi dọc theo tháp được tính toán như mô tả dưới đây và độ mỗi được kiểm tra tại tháp cơ sở và giữa tháp. Đối với thiết kế cuối cùng, các phân bố sung sẽ được kiểm tra trên những tháp được kiểm soát bởi ảnh hưởng của sự mỗi.

### 3.6 Tải trọng mỗi cho tháp bê tông

Phương pháp thiết kế mỗi được nêu trong CEB-FIB, 1990 được sử dụng cho thiết kế mỗi của tháp hoàn toàn bằng bê tông và phần bê tông của tháp bê tông/thép Hybrid. Yếu tố tải trọng mỗi. Các hệ số an toàn kết hợp sau (bao gồm các hệ số an toàn từng phần trên tải và vật liệu) đã được sử dụng:

Kiểm tra mỗi bê tông theo mã mẫu 90:  $\gamma_F \cdot \gamma_{Sd} \cdot \gamma_C = 1.65$   
 Kiểm tra mỗi của cốt thép theo mã mẫu 90:  $\gamma_F \cdot \gamma_{Sd} \cdot \gamma_C = 1.265$   
 Kiểm tra độ mỗi của thép nhúng theo IEC 61400:  $\gamma_F \cdot \gamma_M = 1.265$   
 Trong đó:

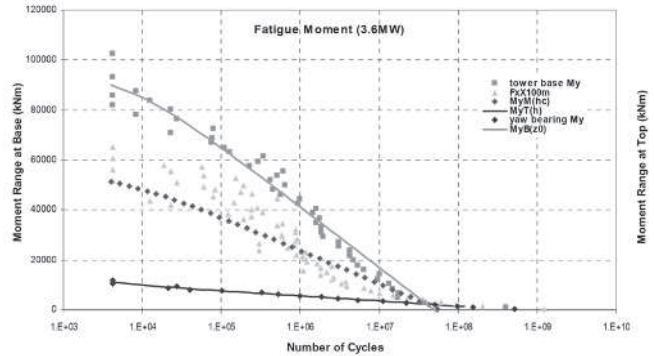
$\gamma_F$  = hệ số cho độ không đảm bảo của mô hình = 1,0

$\gamma_{Sd}$  = hệ số một phần trên tải = 1,1

$\gamma_C$  = hệ số riêng về cường độ bê tông = 1,5

$\gamma_M$  = hệ số vật liệu cho thép = 1,15

Biểu đồ tải trọng mỗi (Fx, Mx, My và Mz) liên quan đến chu kỳ tải là từ đầu vào đến nghiên cứu thiết kế rôto tuabin WindPACT và được cung cấp bởi GEC. Các giả định về dữ liệu mỗi. Các giả định sau được đưa ra khi áp dụng các dữ liệu này. Vì có sẵn khoảng 40 điểm dữ liệu của biểu đồ tải trọng mỗi và dữ liệu khoảng từ 4 x 103 đến 1,2 x 108 chu kỳ, 40 điểm dữ liệu tải trọng mỗi được nội suy và phân bố đều cho ước tính tải trọng mỗi ở giữa chiều cao của tháp. Số chu kỳ tương ứng có thể được ước tính bằng  $N_i = 100.115 (i-1) + 3.6$  và tổng số chu kỳ  $\Sigma N_i = 5.23 \times 108$ .



Hình 3.3. Thời điểm mỗi ở đầu và cơ sở của trụ công suất 5,0 MW trên hướng x - [40]

### 3.7 Tải trọng gió trên tháp tuabin gió

Tải trọng gió ngang gây ra bởi dòng xoáy đổ lên tháp tuabin gió có khả năng tương tự đặc điểm ảnh hưởng của gió đối với kết cấu ống khói. Theo chương 4 của ACI 307-98, phản ứng gió ngang của kết cấu hình trụ phụ thuộc vào tốc độ gió tới hạn ( $V_{cr}$ ). Không cần xem xét đến ảnh hưởng của tải trọng gió ngang nếu tốc độ gió ở độ cao tới hạn ( $z_{cr}$ ) nhỏ hơn  $0,5V_{cr}$  hoặc lớn hơn  $1,3V_{cr}$ . Hiệu ứng tải trọng gió ngang đối với chế độ động đầu tiên của tháp được kiểm tra vì chế độ cho tháp tuabin gió là chế độ chủ đạo để phân tích động lực học.

### 3.8 Tải trọng động đất

Trong một số phân tích và thiết kế tháp tuabin gió hình ống thép hiện tại, tải trọng động đất có thể không quan trọng đối với thiết kế tháp vì:

- Tháp tuabin gió thường được đặt ở những khu vực ít địa chấn, những khu vực rộng thoáng và những khu vực có gió giật mạnh trong đó tải trọng gió từ tuabin và áp suất gió trực tiếp lên tháp chi phối thiết kế của tòa tháp.
- Kết cấu tháp hình ống thép thường nhẹ hơn kết cấu bê tông, do đó, chúng ít động đất hơn lực quán tính của tháp bê tông.

Tải trọng do địa chấn phân bố dọc theo chiều cao  $h$  của tháp phân bố theo trọng lượng của nó. Xác định trục  $z$  dọc theo chiều cao tháp và phân bố trọng lượng  $w(z)$  là hàm của chiều cao, tổng trọng lượng của tháp  $W$  với trọng lượng đầu tuabin. Đối với các tháp tuabin gió lớn nằm trong khu vực hoạt động địa chấn với trọng lượng đầu tuabin ngày càng tăng, tải trọng địa chấn rất có thể trở thành trường hợp tải chính đối với tháp bê tông ứng suất trước và hiệu quả đáng kể hơn đối với một tháp thép tuabin lớn, đặc biệt là dọc theo vùng địa chấn cao ở các khu vực bờ biển phía tây Hoa Kỳ. Phân tích và thiết kế địa chấn phải tuân theo các thông số kỹ thuật địa chấn địa phương và quy chuẩn xây dựng chẳng hạn như Quy tắc xây dựng Quốc tế và Quy tắc xây dựng Thống nhất. Tải trọng địa chấn được coi là một điều kiện tải trọng cực hạn. Trong ASCE 7-98, phương pháp tải trọng địa chấn tương đương tĩnh được sử dụng để phân tích động đất.

### 3.9 Thiết kế Spectra (Phổ)

Tháp LWST được sử dụng để minh họa thiết kế tải trọng địa chấn. Từ bản đồ địa lý động đất, địa chất lớn nhất được coi là động đất (MCE) đối với vị trí đất Loại B với độ giảm địa chấn 5% là 1,5g (SS) đối với các cấu trúc có chu kỳ 0,2s và 0,6g (S1) đối với cấu trúc có chu kỳ 1s. Các tháp tuabin gió thường được đặt ở những khu đất trống, xa trung tâm dân cư với công suất sử dụng rất thấp. Đối với tháp bê tông dự ứng lực được trình bày ở đây, không có hệ số giảm đối với tháp thiết kế địa chấn được sử dụng và phân loại vị trí D được giả định. Địa điểm D được phân loại bởi đất cứng với vận tốc cắt ( $V_s$  trong đất) thường là  $600 \div 1.200 \text{fps}$  ( $183 \div 366 \text{m/s}$ ). Đối

với một thiết kế cụ thể của địa điểm thực tế, loại đất sẽ được xác định từ kết quả điều tra địa kỹ thuật

**3.10 Độ rung do rôto quay**

Trụ phải được thiết kế đảm bảo ổn định của tuabin dưới tải vận hành. Theo Germanischer Lloyd, tần số tự nhiên của tháp có thể thay đổi ± 5% do độ không đảm bảo trong tính toán tần số cơ bản.

**3.11 Xác định tần số tự nhiên riêng của trụ**

Các phương pháp thông thường để ước tính tần số tự nhiên của tháp sử dụng FEM hoặc một phương pháp gần đúng phương pháp phân tích (AAM). Kết quả chính xác có thể đạt được với phần mềm FEM bán sẵn trên thị trường. Tuy nhiên, phương pháp FEM tốn thời gian để xác định kích thước tháp theo phương pháp thử - sai. Đối với thiết kế tháp động sơ bộ, AAM được phát triển ở dạng rõ ràng.

**3.12 Thiết kế trụ BTCT ứng suất trước căng sau**

Vật liệu thép và bê tông là vật liệu xây dựng phổ biến nhất cho các công trình dân dụng có cấu trúc lớn. Hầu hết các tháp tuabin gió ở Bắc Mỹ được làm bằng thép. Và một số tháp bê tông được xây dựng, hầu hết ở Bắc Âu. Báo cáo của các nhà điều tra châu Âu cho thấy tháp sơ khai thiết kế bằng bê tông cốt thép thông thường dễ bị nứt và do đó, độ bền mỏi của cốt thép là một vấn đề. Tháp bê tông ứng suất trước cho kích thước hơn tháp thép hình ống.

Với thiết kế của thép/bê tông - hybrid và tất cả các tháp bê tông dự ứng lực cho các tuabin 1,5MW, 3,6MW và 5,0MW, tất cả đều có chiều cao trung tâm 100m. Vì kết cấu bê tông ứng suất trước tiết kiệm trong nhiều ứng dụng tương tự, thiết kế được nghiên cứu một số chi tiết để xác định yêu cầu kỹ thuật và chi phí phát sinh. Khi các tuabin gió trở nên lớn hơn và các tháp cao hơn, chi phí xây dựng tháp thép hình ống tăng theo cấp số nhân và chi phí hậu cần xây dựng và sự phức tạp tăng lên. Nhưng với tháp xây dựng bê tông thì ngược lại.

Do đó, bê tông ứng suất trước có khả năng là vật liệu xây dựng tiết kiệm hơn thép cho tháp tuabin gió vì chúng trở nên cao hơn và hỗ trợ tuabin gió lớn hơn. Các tháp bê tông phân đoạn và đúc tại chỗ dự ứng lực được đề xuất trong báo cáo này được phát triển cho LWST có những ưu điểm sau so với tháp thép hình ống:

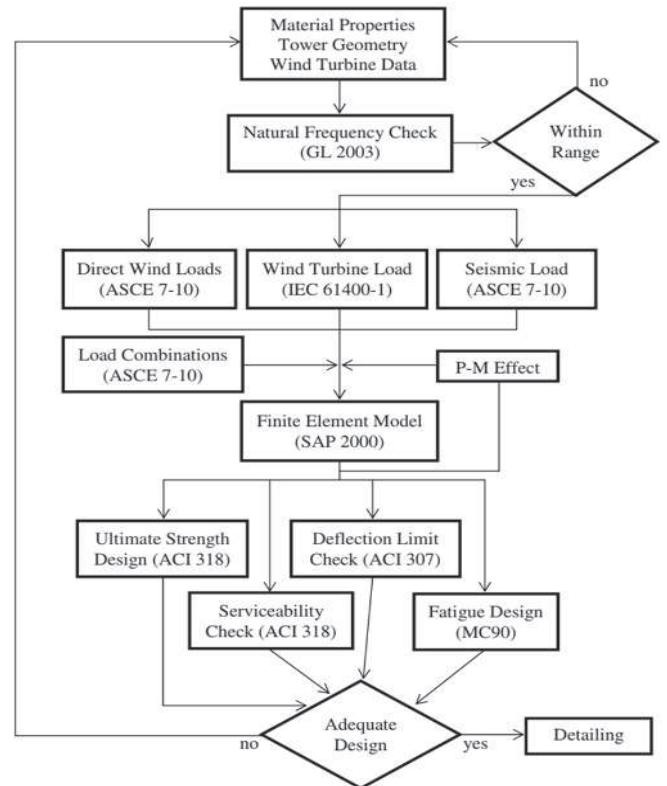
- Tháp bê tông dự ứng lực có cùng khả năng chịu tải cực hạn có độ cứng tương tự như tháp thép.
- Tháp bê tông dự ứng lực có đặc tính chống môi tốt hơn vì tỷ lệ dài ứng suất nhỏ (phạm vi ứng suất lớn nhất / ứng suất dự ứng lực được áp dụng) so với ứng suất tác dụng lên bê tông và các cấp dự ứng lực.
- Không có vấn đề vênh cục bộ trong tháp bê tông dự ứng lực có thể chi phối thiết kế cho các tháp thép lớn hơn.
- Chi phí vật liệu cho tháp bê tông ít hơn so với tháp thép có kích thước lớn

Chi phí xây dựng một tháp bê tông phần lớn phụ thuộc vào phương pháp lắp dựng/xây dựng, điều kiện địa điểm, yêu cầu thiết bị, khả năng vận chuyển tại địa phương và số lượng tháp được xây đồng thời tại một trang trại gió. Tỷ lệ tăng chi phí đối với tháp bê tông dự ứng lực trở nên cạnh tranh hơn so với các tháp thép hình ống tương tự khi tuabin gió trở nên lớn hơn và tháp trở nên cao hơn.

Tháp bê tông phân đoạn dự ứng lực được đề xuất bao gồm một số phân đoạn vòng cung kết hợp để tạo thành các phần tròn xếp chồng lên nhau và hoạt động như một khối thống nhất bằng các đường gân cường độ cao được căng sau để nén trước bê tông để bê tông gần như luôn ở trạng thái nén dưới tải trọng tác dụng. ACI-318 chương 18 là các hướng dẫn thiết kế được sử dụng cho thiết kế tháp bê tông dự ứng lực. Cấp dự ứng lực và bê tông cường độ cao được sử dụng. Kích thước mặt cắt ngang của tháp bê tông

phụ thuộc vào cường độ yêu cầu và yêu cầu về độ cứng đối với các đặc tính động lực học của tháp. Bê tông dự ứng lực tháp được thiết kế với đủ bền để chống địa chấn hoặc tải trọng gió thiết kế ở tốc độ 59,5m/s hoặc 133mph; Ứng suất căng bằng 0 trong bê tông khi chịu tải trọng gió; Không bị hư hỏng do môi khí tải trọng gió hoạt động trong vòng đời thiết kế 20 năm của kết cấu; Không hư hỏng trong quá trình thi công đối với tải trọng gió tạm thời ở tốc độ 40m/s (90mph) tại chiều cao trung tâm 100m.

**3.13 Thiết kế môi theo MC 90:1990**



**Hình 3.4.** Sơ đồ thiết kế trụ gió BTCT - [7]

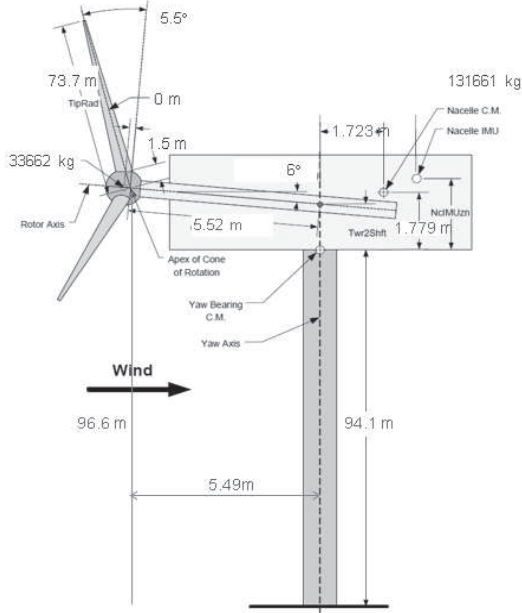
MC90 được CEB-FIP thiết lập để xây dựng cơ sở chung để thiết lập cho thiết kế và xây dựng các tòa nhà và kết cấu công trình dân dụng dựa trên cơ sở khoa học và kỹ thuật những phát triển đã xảy ra trong nhiều thập kỷ về an toàn, phân tích và thiết kế kết cấu bê tông. Tiêu chuẩn ban đầu được xuất bản vào năm 1978 và sau đó đã được sửa đổi thành bản nháp đầu tiên năm 1990 và được phát hành để xuất bản với tên CEB-FIP MC90 vào năm 1993. Kể từ lần phát hành đầu tiên tiêu chuẩn đã có tác động đáng kể đến các quy chuẩn thiết kế quốc gia ở nhiều quốc gia. Đặc biệt, nó đã được sử dụng rộng rãi để hài hòa các tiêu chuẩn thiết kế quốc gia và là tài liệu tham khảo cơ bản cho Eurocode2 (chính thức là EN 1992 - đã được lên kế hoạch xuất bản vào năm 2003). Hiện tại, MC90 là hướng dẫn chính thức duy nhất để cập đến quy trình thiết kế mới hoàn chỉnh cho bê tông, thép nhẹ và thép dự ứng lực chịu hơn 108 chu kỳ tải. Do đó, hiện tại cơ sở thiết kế phù hợp nhất cho tháp tuabin gió làm bằng bê tông dự ứng lực. Thiết kế môi được đề cập trong MC 90 chương 6.7 Trạng thái giới hạn cuối cùng của môi, cung cấp ba phương pháp với sự cải tiến và phức tạp ngày càng tăng.

**3.14 Các thông số lựa chọn**

- Wind turbine Vestas 150-4.2MW;
- Hub height 96.6m;
- Tower length 94.1m.

Thông số trụ	Đơn vị	Thép	Bê tông
Đường kính đỉnh trụ	m	3.268	3.268
Đường kính đáy	m	4.8	8.3
Tower height – Chiều cao	m	94.1	94.1
Tower mass – Khối lượng	kg	223,080	1,276,610
Tower fore-aft 1st mode freq.	Hz	0.176	0.436
Tower fore-aft 2nr mode freq.	Hz	1.484	2.78

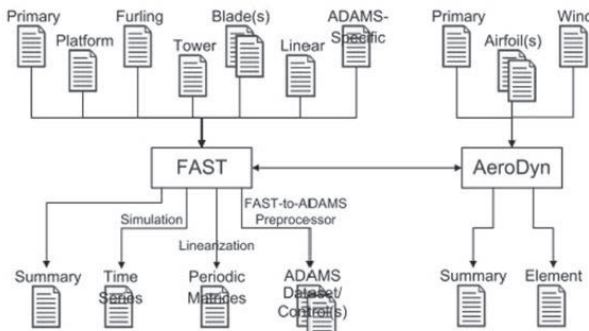
Bảng 3.2. Thông số kỹ thuật trụ điện gió



Hình 3.5. Kinh thước tính toán trụ gió

### 3.15 Mô hình số FAST và AeroDyn

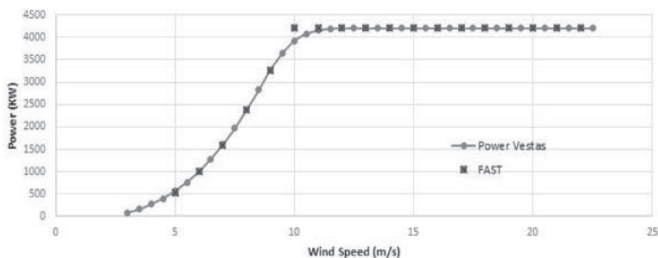
- Lựa chọn kích thước;
- Tính kiểm: Numerical simulation – FAST Modeling.



- Hình 3.6: Mô hình số FAST và AeroDyn

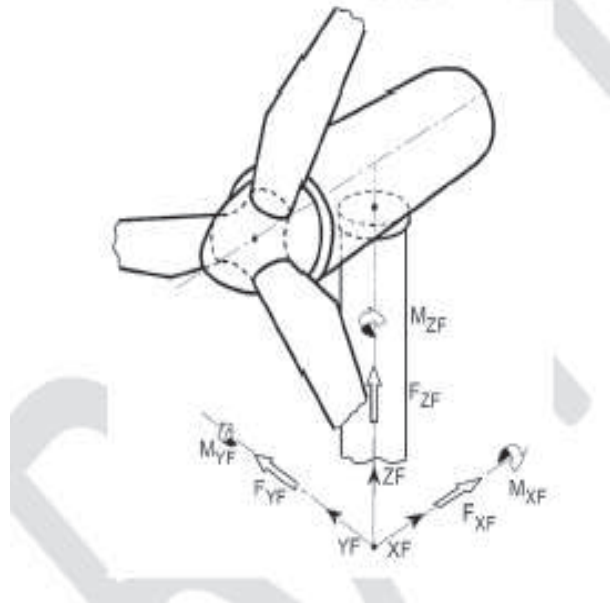
### 3.16 Biên dạng gió

Power generator output by FAST (tùy thuộc vào nhà thiết kế Turbine)



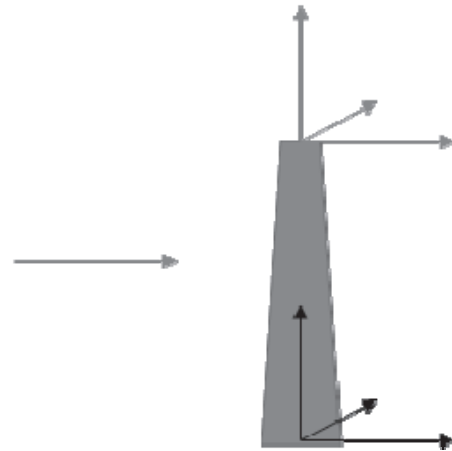
Hình 3.7. Biên dạng gió

Trọng lượng và tải trọng cơ bản: Wind turbine codination



Hình 3.8. Tải trọng cơ bản

Phân tích tải trọng cực hạn - Ultimate Load Analysis



Hình 3.9. Phân tích tải trọng cực hạn

DESIGN LOAD CASES				
Design situation	DLC	Wind condition	Type of Analysis	Partial safety Factors
Power production	1.2	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	FL	N
	1.3	ETM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ U N	U	N
	1.4	ECD $V_{hub} = V_r - 2m/s,$ $V_r, V_r + 2m/s$	U	N
Parked	6.1	EWM 50-year recurrence period	U	N

Bảng 3.3. Tải trọng tính toán

Trong đó:

NTM	Normal turbulence model (see 6.3.1.3)
ETM	Extreme turbulence model (see 6.3.2.3)
EDC	Extreme direction change (see 6.3.2.4)
U	Ultimate strength (see 7.6.2)
FL	Fatigue load
N	Normal



**Tham số:**

1	Tower top Fx	kN
2	Tower top Fy	kN
3	Tower top Fz	kN
4	Tower top bending moment Mx	kNm
5	Tower top bending moment My	kNm
6	Tower top torque moment Mz	kNm
7	Tower base Fx	kN
8	Tower base Fy	kN
9	Tower base Fz	kN
10	Tower base bending moment Mx	kNm
11	Tower base bending moment My	kNm
12	Tower base torque moment Mz	kNm

**Phân tích:**

DLC1.3				
Parameters	Unit	Steel	Concrete	
Tower top Fx	(kN)	843.3	1108	
Tower top Fy	(kN)	234	538.5	
Tower top Fz	(kN)	2266	2267	
Tower top bending moment Mx	(kNm)	6130	6222	
Tower top bending moment My	(kNm)	13250	13210	
Tower top torque moment Mz	(kNm)	13070	13450	
Tower base Fx	(kN)	897.7	1801	
Tower base Fy	(kN)	284.3	1161	
Tower base Fz	(kN)	4453	14790	
Tower base bending moment Mx	(kNm)	26600	84610	
Tower base bending moment My	(kNm)	82610	144400	
Tower base torque moment Mz	(kNm)	13070	13450	
DLC1.4				
Parameters	Unit	Steel	Concrete	
Tower top Fx	(kN)	873.1	846.2	
Tower top Fy	(kN)	128.5	186.6	
Tower top Fz	(kN)	2149	2138	
Tower top bending moment Mx	(kNm)	4941	4859	
Tower top bending moment My	(kNm)	12220	12610	
Tower top torque moment Mz	(kNm)	9494	9135	
Tower base Fx	(kN)	834.2	1094	
Tower base Fy	(kN)	124.7	325.2	
Tower base Fz	(kN)	4335	14660	
Tower base bending moment Mx	(kNm)	15570	31160	
Tower base bending moment My	(kNm)	84510	95780	
Tower base torque moment Mz	(kNm)	9494	9135	
DLC6.1				
Parameters	Unit	Steel	Concrete	
Tower top Fx	(kN)	129.5	116.1	
Tower top Fy	(kN)	429.5	399.1	
Tower top Fz	(kN)	2386	2386	
Tower top bending moment Mx	(kNm)	2445	2365	
Tower top bending moment My	(kNm)	7297	7207	
Tower top torque moment Mz	(kNm)	6181	6025	
Tower base Fx	(kN)	138.6	120.4	
Tower base Fy	(kN)	395.1	394.5	
Tower base Fz	(kN)	4578	14910	
Tower base bending moment Mx	(kNm)	41770	39870	
Tower base bending moment My	(kNm)	7350	5827	
Tower base torque moment Mz	(kNm)	6181	6025	

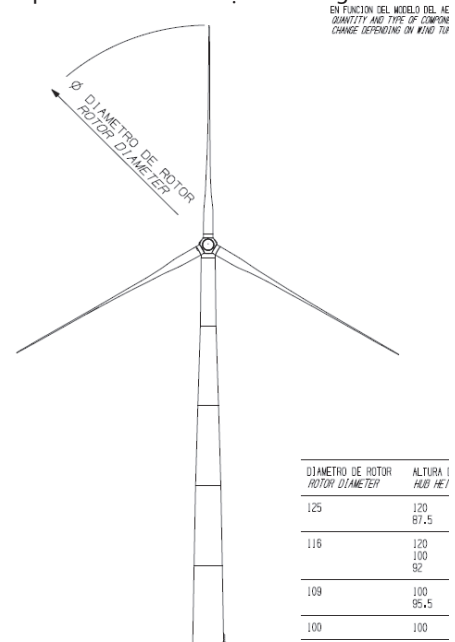


**Hình 3.10.** Nhà máy cấu kiện BTCT phân đoạn dài ACCIONA - [53]



**Hình 3.11.** Cấu kiện BTCT phân đoạn dài ACCIONA - [53]

Lựa chọn sơ bộ cấu hình để chế tạo BTCT tiên chế cho trụ 95m. Chiều cao 95m, đường kính trên 3m – dày 30cm, đường kính chân 6m – dày 65cm. Đúc theo công nghệ mảnh, gồm 5 đợt, 3 đoạn trên x 20m, đoạn chân 12m và đoạn tiếp theo 17m, tổng là 95m. Đoạn chân gồm 3 mảnh, đoạn tiếp theo 3 mảnh và đoạn trên cùng 2 mảnh.



**Hình 3.12.** Phân đoạn dài công nghệ Acciona, gồm tổ hợp 5 đợt - [53]



**Hình 3.13.** Phân đoạn dài công nghệ Acciona, gồm tổ hợp 5 đợt, mỗi đợt dài 20m - [53]

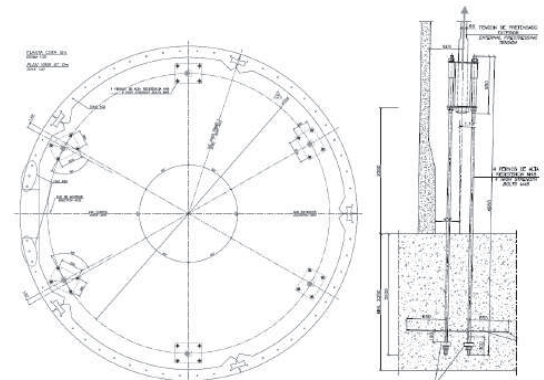
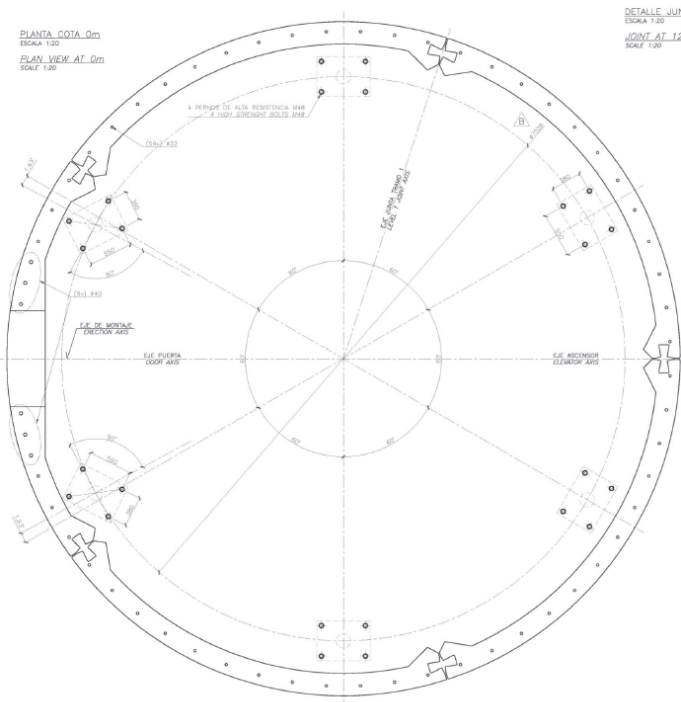


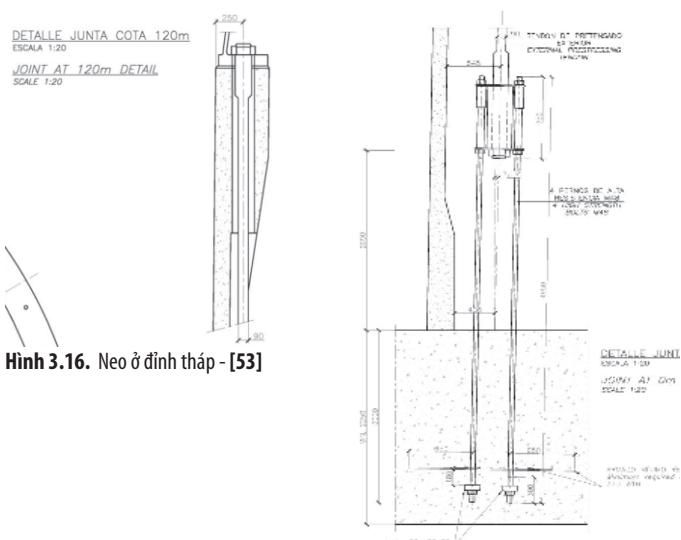
Figure 4: Detail of the anchoring prestressing tendons at the tower foundation.

**Hình 3.14.** Phân đoạn dài công nghệ Acciona, mặt cắt thân và vị trí neo - [53]



ACEROS/STEEL

**Hình 3.15.** Phân đoạn dài công nghệ Acciona, phần chân gồm 5 mảnh cong ghép lại thành 1 đốt dài 20m - [53]

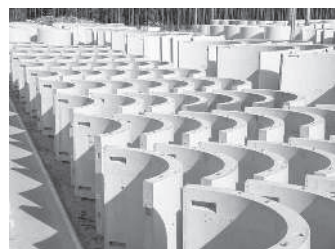


**Hình 3.16.** Neo ở đỉnh tháp - [53]

**Hình 3.17.** Neo ở đế móng - [53]



**Hình 3.18.** Phân đoạn dài công nghệ Acciona, móng BTCT với các bệ neo cấp dự ứng lực - [53]



**Hình 3.19.** Phân đoạn ngắn công nghệ Max Bogl, các mặt tiếp xúc được mài bằng máy CNC - [50]

#### 4. KẾT LUẬN

1. Theo Quy hoạch điện VIII (dự thảo), Việt Nam có 200 dự án điện gió, trong đó chủ yếu là các dự án trên bờ và ven bờ. Các dự án xa bờ chưa xây dựng, mặc dù tiềm năng công suất rất lớn. Tổng công suất đăng ký thử nghiệm COD của 106 nhà máy điện gió này là 5655,5MW. Đến 31/10/2021 đã có 62 dự án COD và kịp với giá FID với tổng công suất xấp xỉ 4GW với 1000 trụ gió bằng thép đã hoàn thành.

2. Xu thế tăng công suất tuabin trên mỗi trụ (5-7-10 MW) để giảm chi phí đầu tư và tăng hiệu quả là xu thế chung, đi cùng với đó là đường kính thân trụ tăng lên, làm khó khăn cho vận chuyển bộ, thậm chí là không thể vận chuyển đường bộ được. Vì thế với các trụ có tuabin công suất từ 5MW, với tốc độ gió < 7m/s, chiều cao trụ > 135m, thì phải tìm giải pháp thay thế trụ ống thép: có 3 giải pháp đã áp dụng: trụ thép tiền chế lắp ghép bằng thép tấm đặc biệt công nghệ Enercon, trụ BTCT và trụ Hybrid (dưới là BTCT, trên là tháp thép);

3. Trong giải pháp trụ BTCT thì BTCT tiền chế ứng suất trước căng sau được lựa chọn với hai công nghệ chính: Công nghệ tấm vỏ cong dài Acciona và công nghệ đốt ngắn Max Bogl, với nhà máy di động tại hiện trường thi công. Trong đó Max Bogl là công ty đã có công nghệ ứng dụng tại Thái Lan và Trung Quốc. Công ty Acciona được ứng dụng tại Nam Phi, Tây Ban Nha, Mỹ La tinh.

4. Các tính toán sơ bộ cho thấy trụ gió bằng BTCT được thiết kế tính toán theo phương pháp phần tử hữu hạn, dựa trên các thông số đầu vào (tự nhiên, gió, động đất, tĩnh tải và dao động) sử dụng tiêu chuẩn ACI 318 và ACI 307, MC90 để tính kiểm tra các điều kiện theo trạng giới hạn, theo phục vụ và theo chịu môi trên phần mềm NREL. Tính toán cho kết cấu BTCT làm trụ gió với biểu đồ gió tác động trên cánh (tải cánh) do nhà cung cấp turbine cung cấp.

5. Trụ BTCT lắp ghép có thể lựa chọn 2 công nghệ tiền chế. Công nghệ Acciona cho phép thi công lắp ghép nhanh, ít mối nối, tháp cao, tuy nhiên chi phí cophia sẽ nhiều, bên cạnh đó công ty Acciona chưa vào Việt Nam, nên việc chuyển giao công nghệ sẽ khó hơn. Công nghệ Max Bogl là công nghệ đốt nhỏ, cho tháp trung bình, cho phép chế tạo cấu kiện dễ, chi phí cophia thấp hơn, lắp đặt lâu hơn, bên cạnh đó Max Bogl đã xây dựng xong 1 dự án 90 trụ x 2MW=270MW tại Korat, Thái Lan (2018-2019), điều kiện chuyển giao công nghệ thuận lợi hơn.

6. Có thể sử dụng công nghệ bê tông siêu tính năng-UHPC cho thiết kế, xây dựng trụ gió, có hiệu quả cao cả về KHCN và kinh tế, với điều kiện tính giá trị cho vòng đời và phải đầu tư nghiên cứu thử nghiệm. Điều kiện 2021 khá là chín muồi cho ứng dụng công nghệ này vì đã có Bộ 3 Tiêu chuẩn quốc gia Pháp (2016-2018) và sẽ có Bộ 3 TCVN sẽ được Bộ KHCN ban hành đầu năm 2022, bên cạnh đó Việt Nam đã hoàn toàn làm chủ công nghệ UHPC (như đã chế tạo 2000m<sup>3</sup> cho dự án sửa chữa mặt cầu Thăng Long - Hà Nội).

7. Để chế tạo trụ gió BTCT nên lựa chọn nhà máy di động, chế tạo cấu kiện tại khu vực dự án, diện tích khoảng 10ha, lao động khoảng 200 người, thời gian đầu tư nhanh nhất 4 tháng. Mức đầu tư trực tiếp khoảng 50 tỷ VNĐ. Kích cỡ hiệu quả của dự án là khoảng 50 trụ 100m, với công suất khoảng 3 ÷ 4MW. Với nhà máy như thế này, Việt Nam hoàn toàn làm chủ công nghệ sản xuất với các cấu kiện lắp ghép, với bê tông cường độ 70MPa. Duy nhất bộ cophia với độ chính xác cao có thể phải mua của nước ngoài.

8. Hiện nay với các dự án ở sâu trong đất liền, Tây Nguyên, Quảng Trị, trụ gió < 4MW, chiều cao trụ < 135m nên lựa chọn trụ BTCT tiền chế. Nếu công suất từ 5MW trở lên nên chọn trụ hybrid (BTCT + trụ ống thép phần trên). Với cả hai phương án này, nhà



máy chế tạo trụ BTCT tiên chế vẫn phát huy giá trị sử dụng, hay nói cách khác là khả năng tùy biến cao. Chỉ với yêu cầu khẩu hao bộ khuôn đúc cho mỗi dự án là riêng biệt với số lượng trụ 50 trụ. Thời gian chế tạo trước các trụ cho toàn dự án là 6 tháng đến 1 năm. Thời gian lắp đặt trụ từ 4 ngày đến 10 ngày/trụ.

9. Thi công lắp đặt, căng cáp, mối nối trụ BTCT, Việt Nam hoàn toàn làm chủ và thực thi tốt với dụng cụ và thiết bị chuyên dụng và sự hướng dẫn ban đầu của chuyên gia nước ngoài. Thiết bị cấu lắp, tải trọng như đối với trụ thép.

10. Trụ BTCT cho phép tiết kiệm ngoại tệ, nâng cao năng lực và phát huy nguồn lực trong nước, tạo công ăn việc làm trực tiếp cho 200 lao động và gián tiếp là 100 lao động, trong thời gian 1 năm thực hiện dự án cũng như lâu dài. Đây là tác động gián tiếp của dự án tới khoa học, công nghệ và hiệu quả kinh tế xã hội.

11. Bài báo cho thấy rõ nét về trụ gió tại Việt Nam và xu thế trên thế giới với tính khả thi và hiệu quả kinh tế của trụ BTCT tiên chế trong khoảng chiều cao 90 ÷ 135m, công suất 4 ÷ 5MW và trụ lai hybrid (BTCT tiên chế + ống thép) cho các trụ cao trên 135m, công suất trên 5MW. Và đây là cơ hội có một không hai cho việc ứng dụng trụ gió BTCT trong những năm tới (2022-2030) tại Việt Nam cũng như cho Lào, Campuchia và mục tiêu xuất khẩu.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Willem Sternberg van Zyl, (12-2014). *Concrete wind turbine towers in southern Africa*.
- [2] Christoph VonDer Haar & Prof Steffen Marx, (12-2015). *Design aspects of concrete*.
- [3] A.N. Singh, (8-2007). *Concrete construction for wind energy towers*.
- [4] Universidade de Coimbra, (7-2013). *Design of concrete steel transitions in a hybrid wind turbine tower*.
- [5] BergerABAM. *Tall Concrete Wind Turbine Towers*.
- [6] Universidade nova lisboa, (2012). *Precast concrete towers*.
- [7] University of Nebraska – Lincoln, (5-4-2012). *Prestressed concrete wind turbine supporting system*.
- [8] Sri Sritharan - Iowa State University, (11-2015). *Wind turbine towers precast concrete*.
- [9] Grant M. Schmitz - Iowa State University, (2013). *Design and experimental validation 100 m tall wind UHPC*.
- [10] M. Araújo, C. Oliveira, J. Correia, J.F. Silva, V. Ferreira, C. Reis, (2019). *Quality control of concrete tower*.
- [11] Jorge Jimeno, (2-2012). *Concrete towers*.
- [12] ACI. *Concrete wind towers chase*.
- [13] Sri Sritharan-Iowa State University, (11-2015). *Wind turbine towers precast concrete*.
- [14] Francois-Xavier Jammes, (10-7-2009). *Design of wind turbines with UHPC*.
- [15] Zaffar Khan, Ph.D, Atiyah A. Khan, CEM, Avinash Omadath, CEM, (2017). *Using concrete wind tower in caribbean*.
- [16] Miles Zeman Ph.D, (2-2020) *CONCRETE – Ultra High Performance Concrete*.
- [17] ACI, (10-2016). *ITG-9R-16-Report on Design of wind concrete tower*.
- [18] MAX BOGL. *Progress is built on ideas*.
- [19] François-Xavier Jammes, Xavier Cespedes, Jacques Resplendino, (10-2013). *Design of offshore wind turbines with UHPC*.
- [20] ACI, (10-2016). *Report on design of concrete wind turbine towers*.
- [21] BergerABAM. *Adapting offshore wind power*.
- [22] ACCIONA, (10-2011). *Concrete Towers CONCRETEGROWTH*.
- [23] ACI. *Concrete wind towers chase*.
- [24] ESTEYCO, (16-2-2017). *ESTEYCO 20170228 Long*.
- [25] ACCIONA. *Quality Management of Precast CONCRETEGROWTH*.
- [26] ACI, (10-2016). *ITG-9R-16\_preview*.
- [27] United States Department of Energy, (4-2015). *Executive summary overview and key chapter findings final*.
- [28] MAX BOGL, (22-1-2019). *MB\_PR Hybrid Towers erected in Thailand*.
- [29] German wind energy association, (2021). *We 20 bwe industry report*.
- [30] Wilson Bayly Holmes-Ovcon Limited and Subsidiaries. *BEE-Certificate*.
- [31] ACI, (10-2016). *Previews\_1931917\_pre*.
- [32] Marcelo A. Silva-Federal University of ABC, Jasbir Singh Arora-University of Iowa, Reyolando M. L. R. F. Brasil-Universidade Federal do ABC (UFABC), (1-2018). *Formulatio for the optimal design of rc wind turb*.
- [33] WINDEXchange, (28-7-2021). *Small wind guidebook*.
- [34] Liang Shang, Chaoxiang Wu, and Xiaoyong Yin, (2018). *Discussion on mass concrete construction of wind turbine generator foundation*.
- [35] M. Veljkovic, C. Heistermann, W. Husson, M. Limam - Luleå University of Technology, M. Feldmann, J. Naumes, D. Pak - Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH), T. Faber, M. Klose, K-U. Fruhner, L. Krutshinna - Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH, C. Baniotopoulos, I. Lavasas - Aristotle University of Thessaloniki, A. Pontes, E. Ribeiro, M. Hadden, R. Sousa - Martifer Energia — Equipamentos para energia, S.A, L. da Silva, C. Rebelo, R. Simoes, J. Henriques, R. Matos - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, L. da Silva, C. Rebelo, R. Simoes, J. Henriques, R. Matos (6), J. Nuutinen, H. Kinnunen - Rautaruukki Oyj, (2012). *FULLTEXT01*.
- [36] rof. Maciej Taczała - West Pomeranian University of Technology, Prof. Jeom Kee Paik - Pusan National University, (2009). *Selcuk Sahin - Full Thesis 5th Cohort, Feb 2016 (ZUT)*.
- [37] John Corbett Nicholson - University of Iowa, (5-2011). *Design of wind turbine tower and foundation systems\_optimization*.
- [38] DNVGL-ST-0126, (7-2018). *Support structures for wind turbines*.
- [39] A. G. Olabi, Tabbi Wilberforce, Khaled Elsaid, Tareq Salameh, Enas Taha Sayed, Khaled Saleh Husain and Mohammad Ali Abdelkareem, (2-6-2021). *Energies-14-03244*.
- [40] NREL/SR-500-36777, (1-2005). *LWST Phase I Project Conceptual Design Study: Evaluation of Design and Construction Approaches for Economical Hybrid Steel/Concrete Wind Turbine Towers*.
- [41] Li Junfeng, Gao Hu, Shi Pengfei, Shi Jingli, Ma Lingjuan, Qin Haiyan, Song Yanqin, (2007). *China Wind Power Report*.
- [42] Yixin Dai, Yuan Zhou, Di Xia, Mengyu Ding, Lan Xue, (2014). *DP\_32.2014\_neu*.
- [43] Hanjie Wang, Lucy Kitson, Richard Bridle, Phillip Gass, Clement Attwood, (9-2016). *Wind power in china cautionary tale*.
- [44] PNE pure new energy, (29-10-2020), *Eston Wind Energy Project*.
- [45] Sáng kiến chuyển dịch Năng lượng Việt Nam (VIET SE), Agora Energiewende, (12-2019). *Các kịch bản phát-điện gió tại Việt Nam đến năm 2030*.
- [46] Lazard, (11-2017). *Lazard levelized cost of energy version 110*.
- [47] KTH School of Industrial Engineering and Management, (2015). *Feasibility Study of a 3D CFD Solution for FSI Investigations on NREL 5MW Wind Turbine Blade*.
- [48] IRENA, (2019). *IRENA RE Capacity Statistics 2019*.
- [49] IRENA, (2019). *IRENA Future of wind 2019*
- [50] Max Bogl, <https://max-boegl.de/>.
- [51] Nordex group, <https://www.nordex-online.com/en/>.
- [52] COBOD, <https://cobod.com/>.
- [53] Acciona, <https://www.acciona.com/>.
- [54] Vertuelab, <https://vertuelab.org/>.
- [55] Tindall Corp, <https://tindallcorp.com/>.
- [56] RSB Formwork Technology, <https://www.rsb.info/>.
- [57] Energy Invest Group, <http://energyinvestgroup.pl/>.
- [58] Trung Nam group, <https://trungnamgroup.com.vn/>.
- [59] Equinor, <https://www.equinor.com/>.
- [60] Irena, <https://www.irena.org/>.