

ẢNH HƯỞNG CỦA ĂN MÒN, HÀ BÁM VÀ XÓI ĐẾN KẾT CẤU MONOPILE ĐỠ TURBINE GIÓ Ở VIỆT NAM

Mai Hồng Quân^{a,*}, Lương Cao Linh^a

^a*Khoa Xây dựng Công trình biển & Dầu Khí, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội,
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 01/6/2021, Sửa xong 10/9/2021, Chấp nhận đăng 26/10/2021

Tóm tắt

Điện gió ngoài khơi đang phát triển mạnh mẽ trên toàn thế giới trong đó có Việt Nam. Điện gió trên bờ và điện gió ven biển ở Việt Nam đã đạt được tốc độ phát triển rất nhanh trong một vài năm qua, đóng góp đáng kể vào nguồn năng lượng quốc gia và kỳ vọng sẽ có được những thành quả như vậy đối với điện gió ngoài khơi. Trong lĩnh vực điện gió ngoài khơi nhiều dạng kết cấu đã được phát triển nhưng kết cấu Monopile là kết cấu phổ biến nhất, rất phù hợp để đỡ turbine gió ở những vùng nước vừa và những vùng nước nông như ở các vùng gần bờ biển Việt Nam. Monopile là loại kết cấu một cột đơn nhay với các tác động trực tiếp của tải trọng động do sóng và gió, cũng như các tác động của môi trường như: ăn mòn, tăng kích thước do hà bám, xói chân cọc. Các tác động của môi trường làm thay đổi khả năng chịu lực của kết cấu và ảnh hưởng đến an toàn của công trình. Bài báo thực hiện các phân tích và tính toán các bài toán cụ thể, để đánh giá mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố nêu trên đến sự làm việc của kết cấu và đưa ra các kiến nghị cho quá trình tính toán thiết kế các công trình Monopile trong thực tế.

Từ khoá: kết cấu đỡ turbine gió; kết cấu monopile; phản ứng động; ảnh hưởng của ăn mòn; ảnh hưởng của hà bám; ảnh hưởng của xói chân cọc.

EFFECT OF CORROSION, MARINE GROWTH AND SCOUR ON MONOPILE SUPPORTED WIND TURBINE IN VIETNAM

Abstract

Offshore wind energy has been strongly developed all around the world, including Vietnam. Onshore and nearshore wind energy has rapidly increased in the last few years, making a significant contribution to the total energy capacity of the nation and the offshore wind energy is expected to achieve the same results. In the field of offshore wind, many types of structures have been developed for supporting offshore wind turbines but Monopile structure is the most popular structure, very suitable for supporting wind turbines in medium water and shallow water areas such as near the coast of Vietnam. Monopile is a single pole structure, which is very sensitive to the direct impact of dynamic wave and wind loads, as well as to environmental influences such as: corrosion, marine growth and pile erosion. The article analyzes specific problems to evaluate the influence of each of the above factors on the structure's performance and makes recommendations for the process of calculating and designing Monopile structures in reality.

Keywords: wind turbine support structure; monopile structure; dynamic response; effect of corrosion; effect of marine growth; effect of scour.

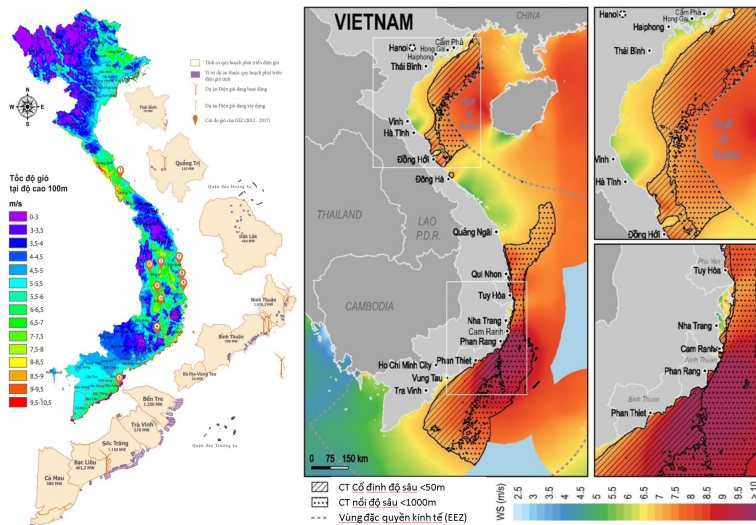
[https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2021-15\(5V\)-15](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2021-15(5V)-15) © 2021 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: quanmh@nuce.edu.vn (Quân, M. H.)

1. Giới thiệu

Điện gió ngoài khơi đang được phát triển mạnh trên toàn thế giới, đặc biệt là các nước khu vực Châu Âu, Trung Quốc và một số nước Châu Á. Ở khu vực Châu Âu công suất lắp đặt điện gió ngoài khơi liên tục tăng nhanh, tính đến năm 2019 tổng công suất lắp đặt đã đạt 20 GW tăng gấp 5 lần so với năm 2012, trong đó Anh, Đức và Hà Lan, Na Uy là những nước có mức tăng trưởng tốt nhất. Năm 2020 công suất lắp đặt điện gió ngoài khơi của Hà Lan đạt xấp xỉ 3 GW [1]. Ở khu vực châu Á, Trung Quốc, Nhật Bản và Hàn Quốc là những nước phát triển điện gió tốt nhất, riêng Trung Quốc công suất lắp đặt năm 2019 đã là 2,4 GW. Theo dự báo [2] công suất lắp đặt điện gió sẽ vẫn liên tục tăng với tốc độ trung bình khoảng 8,2%/năm, đến năm 2030 tổng công suất điện gió ngoài khơi trên toàn thế giới đạt 31,9 GW, trong đó các nước châu Âu và Trung Quốc vẫn chiếm phần lớn với lần lượt là 14,5 và 6,0 GW, tuy nhiên cũng đánh sự phát triển rất mạnh của các nước châu Á khác với tổng công suất lắp đặt đạt 7,0 GW.

Ở Việt Nam, tiềm năng điện gió được đánh giá rất cao, đặc biệt là ở các vùng ven biển và ngoài khơi một số tỉnh phía nam. Điện gió đang được rất nhiều nhà đầu tư quan tâm phát triển ở các tỉnh Bạc Liêu, Trà Vinh, Bến Tre, Cà Mau ... Tốc độ phát triển nhanh đã khai thác quá nhiều quỹ đất ven bờ và có thể nói đã đạt đến giới hạn. Trong khi đó những vùng xa bờ hơn năng lượng gió mạnh và ổn định hơn vẫn chưa được khai thác và đó sẽ là tương lai của năng lượng gió biển ở nước ta trong những năm sắp tới. Hiện đã có một số dự án đề xuất để xây dựng các trang trại gió ở các độ sâu đến 60 m nước (Hình 1).



Hình 1. Phân bố tiềm năng điện gió ven bờ và ngoài khơi Việt Nam [3]

Giải pháp kết cấu phổ biến nhất cho các dự án gần bờ Việt Nam hiện nay là dạng kết cấu móng cọc bê tông cốt thép trên nền đài cao đỡ các trụ turbine. Các dự án điện gió đã được xây dựng ở ven biển Bạc Liêu, Bến Tre, Trà Vinh, Cà Mau đều sử dụng loại móng này cho thấy đây là giải pháp phù hợp nhất đối với các vùng nước gần bờ biển với các lý do sau: phù hợp với các phương tiện thi công nhỏ vì các vùng gần bờ mực nước nông, phương tiện thi công lớn khó tiếp cận, kết cấu sử dụng nhiều vật liệu và nhân công địa phương, chi phí bảo trì, bảo dưỡng thấp. Các yếu tố trên dẫn đến tổng chi phí cho công trình nhỏ nhất và phương án này đang được sử dụng rất rộng rãi ở Việt Nam.

Với các vùng biển ngoài khơi độ sâu nước lớn hơn, việc sử dụng móng cọc bê tông không còn lợi

thể nữa. Các loại kết cấu hiện đang sử dụng trên thế giới, tùy thuộc vào độ sâu nước để sử dụng loại kết cấu cho phù hợp. Kết cấu Monopile (a) thích hợp cho độ sâu $d \leq 30$ m nước. Kết cấu Tripod (b), kết cấu Tripiles (d) và Jacket (c) loại nhỏ thích hợp cho các độ sâu $d \leq 50$ m, ở các độ sâu lớn hơn dành cho các kết cấu nổi có neo (f), (g). Kết cấu móng trọng lực (e) dùng cho vùng nước nông, nước vừa có điều kiện địa chất thích hợp [5–9].

Trên thế giới, kết cấu Monopile là một trong những loại kết cấu được sử dụng nhiều nhất do ưu điểm về cấu tạo đơn giản và khả năng thi công nhanh, công tác khảo sát, bảo trì thuận lợi. Đây là kết cấu phù hợp với điều kiện biển gần bờ ở Việt Nam. Cấu tạo Monopile bao gồm một cọc có đường kính lớn ($D = 4 \text{ m} \div 8 \text{ m}$), một đoạn ống chuyển tiếp để đỡ trụ turbine được chụp lên và liên kết với cọc bằng vữa trám cường độ cao [6–8]. Tùy vào điều kiện địa chất, độ sâu hạ cọc có thể đạt $(4D \div 8D)$.

Cũng như các kết cấu đỡ turbine gió khác, kết cấu Monopile phải đáp ứng các yêu cầu sau:

- Về độ cứng của kết cấu: Độ cứng của kết cấu phải được thiết kế để dao động riêng (DDR) của công trình không rơi vào các vùng cộng hưởng với các rung động của cánh quạt, của Rotor và với tác động của các tải trọng bên ngoài. Dao động riêng của công trình thường được thiết kế trong khoảng tần số giữa 1P và 3P (1P là tần số quay của rotor và 3P là tần số khi cánh quay qua thân trụ, kết cấu có độ cứng như vậy gọi là kết cấu Soft – Stiff), [6, 9, 10].

- Khả năng chịu tải trọng: Ngoài tải trọng bản thân của turbine và kết cấu, tải trọng do gió và do sóng biển là các tải trọng thủy khí chủ đạo tác động lên kết cấu Monopile. Theo [9, 10] phải tính toán kiểm tra nhiều tổ hợp tải trọng khác nhau gây suất cực đại cũng như các tổ hợp gây ra hiệu ứng mỏi cho kết cấu.

Monopile là giải pháp chắc chắn sẽ được sử dụng cho các dự án ngoài khơi ở Việt Nam. Tuy nhiên việc hiểu biết về kết cấu này còn hạn chế, đặc biệt là trong điều kiện biển Việt Nam chưa có một dự án thực tế nào sử dụng. Đặc điểm của Monopile là kết cấu một trụ đơn có độ dự trữ thấp nên khi áp dụng phải xem xét kỹ những tác động của môi trường như ăn mòn, hà bám, xói chân cọc ảnh hưởng đến sự làm việc của kết cấu [11–13]. Điều quan tâm là các tác động này có thể dẫn đến việc kết cấu không còn đáp ứng 02 yêu cầu nêu ở trên, đặc biệt về vấn đề dao động.

Các tác động của ăn mòn, hà bám, xói chân cọc làm thay đổi sơ đồ làm việc của kết cấu, thay đổi độ cứng và thay đổi khối lượng công trình, thay đổi tải trọng sóng tác động lên công trình, và do đó dẫn đến thay đổi dao động riêng của kết cấu, thay đổi phản ứng của kết cấu khi chịu tải trọng. Việc thay đổi dao động của kết cấu phải được kiểm tra để tránh cộng hưởng với các dao động khác như đề cập ở trên.

Bài báo này thể hiện kết quả nghiên cứu các tác động nói trên đến sự làm việc của kết cấu Monopile dùng đỡ turbine gió biển, đánh giá mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố và ảnh hưởng đồng thời của cả ba yếu tố trên.

Các tác động môi trường này lên kết cấu đã được đề cập trong một số nghiên cứu của thế giới [11–14], các nghiên cứu này được dùng để tham khảo khi áp dụng vào điều kiện Việt Nam. Trong phần sau đây, các tác giả trình bày kết quả khảo sát bằng phương pháp số đánh giá riêng lẻ và tổng hợp ảnh hưởng của các yếu tố trên đến sự làm việc của kết cấu Monopile. Ví dụ minh họa được tính với một công trình xây dựng ở điều kiện Việt Nam.

2. Ảnh hưởng các yếu tố môi trường đến sự làm việc của kết cấu

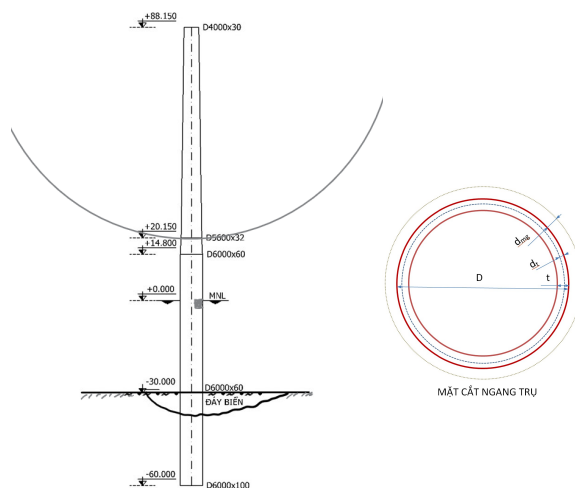
2.1. Ảnh hưởng của ăn mòn đến dao động riêng của kết cấu

Ăn mòn kết cấu trong công trình biển là điều khó tránh khỏi, mặc dù đã có các biện pháp bảo vệ và quá trình sử dụng vẫn tiến hành khảo sát, bảo dưỡng nhưng khi thiết kế vẫn cần dự trù đến việc

giảm độ dày ống thép do ăn mòn. Ăn mòn làm mất vật liệu, giảm chiều dày thành ống và làm giảm yếu kết cấu. Ăn mòn có thể chia làm 2 trường hợp ăn mòn đều và ăn mòn cục bộ. Xét một kết cấu Monopile có đường kính ban đầu là D , độ dày thành ống là t . Trường hợp ăn mòn đều với chiều dày ăn mòn là d_t . Từ mặt cắt ngang hình học Hình 2, sử dụng các công thức hình học tính được các đại lượng như sau:

- Khối lượng bản thân kết cấu sau khi bị ăn mòn

$$M_{tru} = \frac{\pi}{4} (D^2 - (D - 2(t - d_t))^2) \gamma \quad (1)$$



Hình 2. Sơ đồ kết cấu Monopile và Mặt cắt ngang trụ

- Độ cứng chống uốn kết cấu bị giảm yếu sau khi ăn mòn

$$EI = E \frac{\pi}{64} (D^4 - (D - 2(t - d_t))^4) \quad (2)$$

- Chu kỳ, tần số dao động riêng của kết cấu có thể tính bằng công thức đơn giản như sau [14]:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}} \text{ (sec); } \omega_1 = \sqrt{\frac{K}{M}} \text{ (rad/sec)} \quad (3)$$

- Độ cứng K được tính theo công thức sau:

$$K = \frac{3EI}{L^3} \quad (4)$$

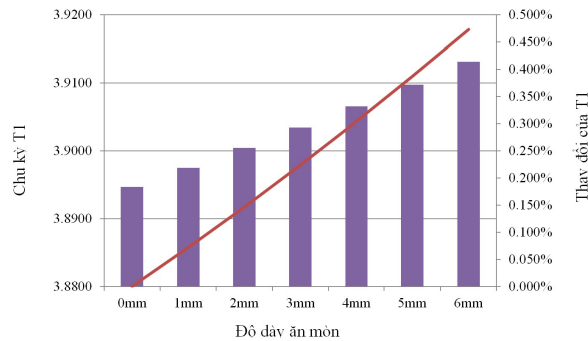
Theo mục 2.1, khối lượng M_{tru} giảm nhưng so với tổng khối lượng M (gồm cả trụ, turbine, ...) thì lượng giảm này không đáng kể. Chiều ngược lại, theo mục 2.2, EI giảm làm độ cứng K giảm theo khiến dao động của kết cấu sẽ tăng lên. Vì vậy, thực hiện khảo sát cho kết cấu Monopile đỡ turbine gió công suất 5 MW giả thiết xây dựng ở vùng biển nam Việt Nam [3]. Các thông số ban đầu như Bảng 1.

Giả thiết kết cấu bị ăn mòn đều. Ăn mòn đều cực đại 6 mm ở vùng nước dao động (từ +5,0 m xuống -4,0 m). Ăn mòn cục bộ xảy ra ở vị trí mực nước tĩnh không xét trong bài toán này. Kết quả tính toán khảo sát dao động riêng của kết cấu với trường hợp ăn mòn đều thể hiện trong Hình 3.

Kết quả tính toán cho thấy mức độ ảnh hưởng của ăn mòn đến dao động của kết cấu Monopile là khá nhỏ. Khi độ dày ăn mòn đạt đến độ dày lớn nhất dự kiến là 6 mm thì dao động riêng mới tăng 0,473%. Lý do là kết cấu có độ dày thành ống lớn vì thế độ suy giảm độ cứng do ăn mòn là ít.

Bảng 1. Thông số Turbine 5 MW [15]

Thành phần	Thông số	Đơn vị
Loại turbine	3 cánh	
Đường kính cánh	126	m
Độ cao Hub	98	m
Đường kính cọc	6,0	m
Độ sâu nước	30,0	m
Khối lượng trụ	347	T
Khối lượng Nacel- Rotor	350	T



Hình 3. Biểu đồ kết quả khảo sát dao động riêng kể đến ăn mòn kết cấu

2.2. Ảnh hưởng của Hà bám đến dao động riêng của kết cấu và tải trọng sóng

Ở những vùng biển ấm như biển phía nam Việt Nam tốc độ sinh vật biển (gọi ngắn gọn là Hà bám) phát triển khá nhanh, độ dày của hà bám ở vùng nước dao động có thể đạt đến hơn 10 cm trong vài năm. Hà bám làm tăng kích thước ống và tăng khối lượng kết cấu và thay đổi tính chất bề mặt kết cấu làm thay đổi hệ số nước kèm, thay đổi tỷ số cản giữa kết cấu và nước. Các thay đổi này sẽ dẫn đến thay đổi về dao động của kết cấu, thay đổi về tải trọng tác động và phản ứng của kết cấu.

Chiều dày hà bám là d_{mg} , mật độ khối lượng là γ_{mg} , xét trên một đơn vị dài

- Khối lượng kết cấu tăng thêm:

$$M_{mg} = \frac{\pi}{4} \left((D + 2d_{mg})^2 - D^2 \right) \gamma_{mg} \quad (5)$$

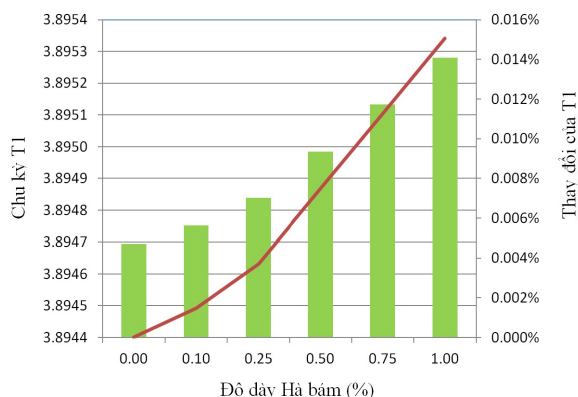
- Khối lượng nước kèm thay đổi:

$$M_{add} = \frac{\pi}{4} (D + 2d_{mg})^2 \gamma_{mg} C_a \quad (6)$$

- Tải trọng sóng tác dụng lên kết cấu được tính theo công thức Morison:

$$q_d = 0,5\varphi C_D D |\vec{v}| \vec{v} + \varphi C_I A \vec{a} \quad (7)$$

Khi có hà bám lượng nước chiếm chỗ tăng lên, đồng thời tính chất bề mặt của kết cấu chuyển nhám hơn. Hệ số cản C_D , và hệ số quán tính C_I thay đổi. Theo API [16] khuyến cáo: Đối với bề mặt nhẵn có thể lấy sơ bộ $C_D = 0,6$, $C_I = 1,6$. Đối với bề mặt nhám có thể lấy sơ bộ $C_D = 1,0$, $C_I = 1,2$.



Hình 4. Biểu đồ kết quả khảo sát dao động riêng kể đến hà bám

Khảo sát sự ảnh hưởng của Hà bám đến dao động riêng của kết cấu Monopile: Số liệu kết cấu như mục 1.1, chiều dày tối đa hà bám 10 cm, trọng lượng hà bám trên khô $1,4 \text{ T/m}^3$. Không xét đến sự thay đổi hệ số cản do có hà bám. Kết quả được thể hiện trong Hình 4.

Kết quả khảo sát cho thấy ảnh hưởng của Hà bám đến chu kỳ dao động riêng của kết cấu Monopile là không đáng kể, khi chiều dày Hà bám đạt đến mức 100% của 10 cm thì chu kỳ dao động riêng của kết cấu mới tăng được 0,015% so với kết cấu ban đầu.

Khảo sát ảnh hưởng của Hà bám đến tải trọng sóng tác động lên kết cấu: Số liệu kết cấu như mục 2.1, số liệu Sóng, mực nước, dòng chảy với các chu kỳ lặp 1 năm, 50 năm được lấy tham khảo theo số liệu hải văn ở biển Việt Nam được tóm tắt trong các Bảng 2-4.

Bảng 2. Số liệu Sóng

Thông số sóng	Chu kỳ lặp 1 năm	Chu kỳ lặp 50 năm
Chiều cao sóng H (m)	5,54	11,76
Chu kỳ sóng T (s)	6,3	9,3

Bảng 3. Số liệu Dòng chảy

Độ sâu từ mực nước tĩnh	Vận tốc dòng chảy - chu kỳ lặp 1 năm (m/s)	Vận tốc dòng chảy - chu kỳ lặp 50 năm (m/s)
0,0 m	1,30	1,75
-15,0 m	0,88	1,23
-30,0 m (đáy biển)	0,70	1,01

Tải trọng lớn nhất do sóng cực hạn chu kỳ lặp 50 năm tác động lên kết cấu khi có hà bám tăng so với chưa có hà bám, mức tăng là đáng để xem xét. Tuy nhiên đối với sóng nhỏ hơn có chu kỳ lặp 1 năm lại ghi nhận sự giảm và mức giảm cũng đáng để xem xét. Điều này có thể giải thích là bề mặt vật cản thay đổi dẫn đến các hệ số thủy động thay đổi, với chiều cao sóng lớn thì lực cản trội hơn lực quán tính vì thế tải trọng tăng và chiều cao sóng nhỏ thì ngược lại. Điều đó cho thấy khi xét bài toán bền (sóng 50 năm) thì phải xét trường hợp đã có hà bám, nhưng các bài toán mỏi (sóng 1 năm) thì cần

Bảng 4. Kết quả thay đổi tải trọng sóng

Trường hợp	Chu kỳ lặp 1 năm		Chu kỳ lặp 50 năm	
	F_X (KN)	M_Y (KNm)	F_X (KN)	M_Y (KNm)
Chưa có hà bám	1222,0	24951,5	2869,3	62685,2
Có hà bám	1074,3	22863,7	2989,0	67226,2
Thay đổi (%)	-12,1	-8,4	4,2	7,2

xét cả trường hợp không có hà bám, hoặc phải tính với giả thiết là bề mặt ống được coi là nhẵn.

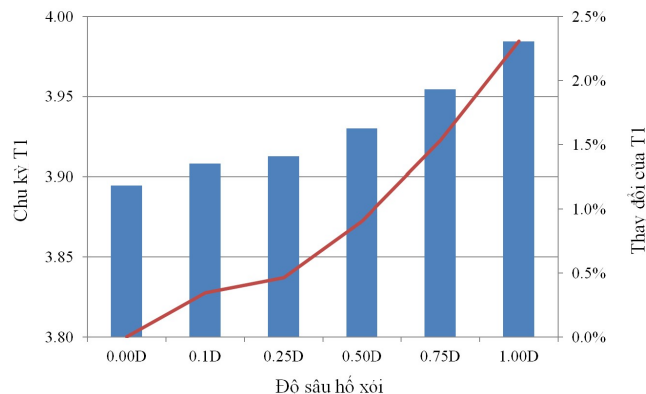
2.3. Ảnh hưởng của xói chân cọc đến dao động riêng của kết cấu

Địa chất ở các vùng ven biển nam Việt Nam phần lớn là có kết cấu mềm, dạng bùn sét hoặc cát xốp, kết cấu này cộng với chế độ dòng chảy mạnh dẫn đến khả năng xói chân cọc khá cao. Hiện nay chưa có nghiên cứu cụ thể về xói chân cọc tương ứng với điều kiện biển Việt Nam, tuy nhiên có thể tham khảo [11], lấy chiều sâu xói chân tối đa cho Monopile là $\Delta = 1,0D \div 1,5D$ (D là đường kính của cọc). Xói chân cọc làm cho chiều cao tính toán của kết cấu đỡ tăng lên, ảnh hưởng đến dao động và các phản ứng khác của kết cấu khi chịu tải trọng.

Chiều cao tính toán của công trình có kể đến độ sâu hố xói d_{sc} như sau:

$$L = L_o + d_{sc} \quad (8)$$

Kết quả khảo sát trên Hình 5 cho thấy với chiều sâu hố xói đạt đến $1D$, dao động riêng của công trình tăng lên đến 2,3%. Đây là ảnh hưởng đáng kể so với hà bám và ăn mòn. Các ảnh hưởng do ăn mòn, hà bám và xói chân cọc đến phản ứng của kết cấu Monopile khi chịu tải trọng được khảo sát ở phần sau.



Hình 5. Biểu đồ khảo sát ảnh hưởng của xói chân cọc đến dao động của kết cấu

3. Đánh giá sự thay đổi phản ứng thông qua hệ số khuếch đại

Tần số dao động riêng của kết cấu thay đổi làm các phản ứng động của kết cấu như chuyển vị đỉnh, ứng suất lớn nhất và kể cả tuổi thọ mỏi cũng thay đổi. Có thể sử dụng sự thay đổi của hệ số

khuyến đại DAF để đánh giá nhanh sự thay đổi này [7, 14, 17].

$$DAF = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)^2\right]^2 + \left[\left(2\frac{\varepsilon}{\omega_1}\right) \times \left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)\right]^2}} \quad (9)$$

trong đó ω là tần số của tải trọng, ω_1 là tần số dao động riêng của kết cấu, ω_1 xác định theo biểu thức: $\omega_1 = \frac{2\pi}{T_1}$; T_1 là chu kỳ dạng dao động thứ nhất, ε là hệ số cản.

Ví dụ ứng suất động trong kết cấu được tính từ ứng suất do bài toán tĩnh như sau: $\sigma = DAF \sigma_0$; trong đó σ_0 là ứng suất tính theo bài toán tĩnh [14, 17].

Với bài toán mỗi, cũng có thể đánh giá nhanh tổn thất mỗi thay đổi do phản ứng động thay đổi theo cách sau: Tỷ số tổn thất mỗi do một chu trình của số gia ứng suất s gây ra được tính theo công thức của P-M

$$d = \frac{1}{N} \quad (10)$$

trong đó N là số chu trình gây mỗi S-N. Đường cong mỗi S-N được xây dựng từ thực nghiệm được biểu diễn theo công thức sau [17]:

$$N = A s^{-m} = A (DAF s_0)^{-m} = A DAF^{-m} s_0^{-m} \quad (11)$$

Số gia ứng suất gây mỗi: $s = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} = DAF \sigma_{0\max} - DAF \sigma_{0\min} = DAF s_0$, trong đó s_0 là số gia ứng suất tính theo phương pháp tựa tĩnh, m là tham số đường cong mỗi.

Thay (11) vào (10) được tỷ số tổn thất mỗi:

$$d = \frac{1}{N} = \frac{1}{A} s^m = DAF^m \frac{1}{A} s_0^m \quad (12)$$

Theo (12) ảnh hưởng động của tải trọng động đến tổn thất mỗi của kết cấu có thể đánh giá thông qua hệ số DAF^m .

Riêng với tải trọng sóng, xét trường hợp ảnh hưởng tổng hợp của các yếu tố ăn mòn, hà bám và xói chân cọc đến dao động của kết cấu cho thấy, chu kỳ dao động của kết cấu có thể tăng đến 3%, khi đó theo (1.9) phản ứng động của tải trọng sóng sẽ tăng tương ứng là 0,6% ứng với sóng 50 năm và với sóng trung bình 1 năm để tính toán mỗi, hiệu ứng động có thể tăng đến 2%.

4. Ví dụ khảo sát thay đổi phản ứng động của kết cấu Monopile có kể đến các yếu tố môi trường

Sử dụng số liệu đầu vào là công trình Monopile đỡ turbine gió 5 MW xây dựng dựng ở ngoài khơi phía nam Việt Nam với các số liệu đầu vào như Bảng 1. Khảo sát ảnh hưởng của các yếu tố Ăn mòn, Hà bám, Xói chân khay đến phản ứng của kết cấu bằng mô hình đầy đủ sử dụng phần mềm SACS. Cọc được mô hình bằng mô hình tương tác cọc nền làm việc đồng thời với các mô hình p-y và T-z. Thực hiện khảo sát với 02 mô hình tính. Mô hình 1 là kết cấu chưa bị ăn mòn, chưa có hà bám và chưa bị xói chân cọc, mô hình 2 là mô hình có kể đến hà bám, kết cấu đã bị ăn mòn và kết cấu bị xói chân. Phản ứng động của kết cấu dưới tác dụng của tải trọng sóng được tính toán bằng phương pháp tiền định.

Kết quả so sánh hệ số động DAF, lực ngang F_x , Momen M_y , chuyển vị đỉnh D_x và ứng suất lớn nhất tại đáy biển σ được tổng kết trong các Bảng 5–9.

Bảng 5. Kết quả phản ứng do sóng tác dụng lên Mô hình 1

	ω (rad/s)	ω_1 (rad/s)	DAF	F_x (KN)	M_y (KNm)	D_x (cm)	σ (N/mm ²)
Chu kỳ lặp 1 năm	0,997	1,613	1,617	1222,0	24951,5	18,1	24,50
Chu kỳ lặp 50 năm	0,676	1,613	1,212	2869,3	62685,2	34,9	46,15

Bảng 6. Kết quả phản ứng do sóng tác dụng lên Mô hình 2

	ω (rad/s)	ω_1 (rad/s)	DAF	F_x (KN)	M_y (KNm)	D_x (cm)	σ (N/mm ²)
Chu kỳ lặp 1 năm	0,997	1,570	1,676	1311,8	24783,1	18,7	25,72
Chu kỳ lặp 50 năm	0,676	1,570	1,227	3418,0	70450,0	40,3	52,84

Bảng 7. So sánh kết quả phản ứng do sóng tác dụng lên Mô hình 1 và Mô hình 2

Mô hình	Chu kỳ lặp 1 năm			Chu kỳ lặp 50 năm		
	DAF	D_x (cm)	σ (N/mm ²)	DAF	D_x (cm)	σ (N/mm ²)
Mô hình 1	1,617	18,1	24,50	1,212	34,9	46,15
Mô hình 2	1,676	18,7	25,72	1,227	40,3	52,84
Thay đổi (%)	3,6	3,3	5,0	1,2	15,5	14,5

Bảng 8. Tải trọng gió lên thân trụ

Z (m)	D (m)	V_z (m/s)	q_z (N/m)
14,800	6,000	20,5	770,3
20,150	5,600	21,2	770,9
88,150	4,800	25,0	922,4

Bảng 9. Kết quả tính so sánh phản ứng do gió cho hai mô hình

Mô hình	F_x (KN)	M_y (KNm)	D_x (cm)	σ (N/mm ²)
Mô hình 1	974,3	112478,9	102,4	43,49
Mô hình 2	975,1	118329,3	105,7	44,46
Thay đổi (%)	0,1	5,2	3,2	2,2

Các ảnh hưởng của ăn mòn và hà bám có ảnh hưởng rất ít đến phản ứng của kết cấu do gió. Chỉ hiện tượng xói chân cọc là có ảnh hưởng đáng kể đến phản ứng của kết cấu khi chịu tải gió. Thực hiện khảo sát với trường hợp turbine chịu vận tốc gió cut out, $V = 25$ (m/s).

Tải trọng gió lên tháp:

$$q_z = 0,5\rho_a C_s D V_z^2 \text{ (N/m)}$$

trong đó ρ_a là khối lượng riêng không khí, $\rho_a = 1,255$ (kg/m³); C_s là hệ số hình dạng vật chắn, $C_s = 0,5$; D là đường kính trụ tháp; V_z là vận tốc gió.

Tải trọng gió lên roto:

$$F_{Thrust} = 0,5\rho_a A V^2 4a(1 - a)$$

trong đó A là diện tích roto; a là hệ số cảm ứng; V là vận tốc gió, $V = 25$ (m/s);

$$F_{Thrust} = 906,924 \text{ (KN)}$$

Kết quả tính toán các mô hình chịu các tải trọng sóng và gió cho thấy các tác động ăn mòn, hà bám, xói chân cọc làm tăng phản ứng động của kết cấu theo các mức khác nhau, dù không lớn những cũng cần được xem xét để phòng tránh, khắc phục.

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày một số kết quả nghiên cứu khảo sát ảnh hưởng của các tác động điển hình của môi trường đến kết cấu Monopile đỡ turbin gió. Kết quả nghiên cứu cho thấy hiện tượng ăn mòn, hiện tượng hà bám và xói chân cọc có ảnh hưởng đến sự làm việc của kết cấu nhưng mức độ không quá lớn. Xói chân cọc là yếu tố có ảnh hưởng nhiều nhất đến phản ứng của kết cấu. Hà bám làm tăng tải trọng sóng, tăng khối lượng kết cấu, cần phải kể đến khi thiết kế.

Để giảm thiểu các ảnh hưởng tiêu cực của các yếu tố môi trường nêu trên đến sự làm việc của kết cấu thì cần thiết phải áp dụng các biện pháp bảo vệ kết cấu cần thiết. Kiểm soát độ dày của hà bám thường xuyên và áp dụng biện pháp cần thiết nếu hà bám phát triển nhanh hơn dự trù trong thiết kế. Sử dụng các biện pháp bảo vệ chống ăn mòn phù hợp cho kết cấu. Sử dụng biện pháp bảo vệ khu vực nền đất đáy biển xung quanh chân cọc. Đồng thời với đó là phải có quy trình kiểm tra khảo sát để kịp thời phát hiện các hậu quả quá mức của các yếu tố trên và có quy trình khắc phục.

Bài báo giới hạn ở đối tượng khảo sát là kết cấu Monopile và các bài toán tiền định cơ bản, chưa đề cập đến các loại kết cấu khác cũng như chưa đi sâu vào các bài toán động lực học, động lực học ngẫu nhiên, bài toán mỏi chi tiết. Các vấn đề này cũng rất cần được nghiên cứu và khảo sát chuyên sâu hơn.

Tài liệu tham khảo

- [1] Windeurope (2020). *Offshore wind in Europe - key trends and statistics*.
- [2] Global Offshore Wind Report (2020). <https://gwec.net/global-offshore-wind-report-2020>.
- [3] ESMAP (2019). *Going Global: Expanding Offshore Wind to Emerging Markets*. World Bank, Washington DC.
- [4] CTE-Wind. *Nhà máy điện gió nearshore*.
- [5] de Vries, W. (2011). *Support Structure Concepts for Deep Water Sites*. Delft University of Technology.
- [6] Sparrevik, P. (2019). Offshore Wind Turbine Foundations State of the Art. *From Research to Applied Geotechnics*, IOS Press, 216–238.
- [7] Van Der Tempel, J. (2010). *Design of support structures for offshore wind turbines*. Delft University of Technology, The Netherlands.
- [8] DNVGL-ST-0126 (2018). *Support structures for wind turbines*. DNVGL.
- [9] Leite, O. B. (2015). *Review of design procedures for monopile offshore wind structures*. University of Porto, Portugal.
- [10] Garcés García, C. (2012). *Design and calculus of the foundation structure of an offshore monopile wind turbine*. The Polytechnic University of Catalonia, Spain.
- [11] Tseng, W.-C., Kuo, Y.-S., Chen, J.-W. (2017). *An Investigation into the Effect of Scour on the Loading and Deformation Responses of Monopile Foundations*. *Energies*, 10(8):1190.
- [12] DNVGL-RP-0416 (2018). *Corrosion protection for wind turbines*. DNVGL.
- [13] Jahjouh, M. (2020). *The effect of marine growth and damage severity on the modal parameters of offshore wind turbine supporting structures: an experimental study*. *Journal of Vibroengineering*, 23(2):407–418.
- [14] Barltrop, N. D. P., Adams, A. J. (1991). *Dynamics of fixed marine structures*, volume 91. Atkins Oil & Gas Engineering Limited, Epsom, UK.
- [15] Jonkman, J., Butterfield, S., Musial, W., Scott, G. (2009). *Definition of a 5-MW reference wind turbine for offshore system development*. National Renewable Energy Laboratory, US.
- [16] RP 2A-WSD (2014). *Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design*. 22nd edition, API.
- [17] Anh, B. T. (2019). *Nghiên cứu đánh giá hiệu ứng động của tải trọng sóng trong tính toán kết cấu công trình biển cố định bằng thép khi chuyển từ vùng nước nông đến nước sâu- áp dụng vào điều kiện Việt Nam*. Luận án Tiến sĩ, Đại học Xây dựng Hà Nội.