

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG HỆ DÂY NEO PHI TUYẾN PHÙ HỢP ĐỂ NEO GIỮ TUABIN GIÓ NỔI

Phạm Hiền Hậu^{a,*}, Phạm Hồng Đức^a

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

Nhận ngày 03/12/2018, Sửa xong 07/01/2019, Chấp nhận đăng 29/03/2019

Tóm tắt

Việc phát triển các trang trại gió nổi ở phạm vi cách xa thềm lục địa đang là một trong những vấn đề được quan tâm hàng đầu trên thế giới với các lợi thế về việc giảm thiểu ảnh hưởng lên cảnh quan khu vực ven bờ biển, tăng hệ số sản xuất điện, v.v... Trên thực tế, nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng các giải pháp sử dụng kết cấu nổi đỡ tuabin gió được xem như một lựa chọn khả thi mặc dù còn nhiều vấn đề kỹ thuật cần được nghiên cứu như giảm thiểu dao động của kết cấu nổi, việc lựa chọn vật liệu làm dây neo. Trong nghiên cứu này, các tác giả sẽ tập trung phân tích hệ dây neo nửa căng, có kể đến các tính chất làm việc phi tuyến của vật liệu, sử dụng vật liệu dây xích truyền thống kết hợp với vật liệu sợi tổng hợp như polyester, nylon đối với một kết cấu nổi dạng bán chìm đỡ tuabin gió. Các tính toán trong miền thời gian được áp dụng theo các điều kiện bền (ULS) và mỏi (FLS) nhằm phân tích phản ứng động của hệ dây neo và dịch chuyển của kết cấu nổi. Kết quả tính toán được sử dụng để lựa chọn vật liệu dây neo sợi tổng hợp, cũng như để làm nổi bật một số phương pháp mô hình hóa hiện hành và các yêu cầu kỹ thuật cần thiết đối với hệ dây neo.

Từ khóa: tuabin gió nổi; dây neo nửa căng; nylon; polyester.

STUDY ON APPLICATION OF APPROPRIATE NONLINEAR MOORING LINES FOR FLOATING WIND TURBINES

Abstract

The development of floating wind farms that are far from the mainland is currently of great interest all over the world in order to reduce impacts on the coastal landscape and to increase the electricity producing factor, etc. In fact, several studies have shown that the application of floating structures to support the wind turbines seems to be a feasible solution except for some technical issues such as how to reduce the floating structure motions and to choose appropriate materials for mooring line components, etc. This study focuses two on semi-taut mooring systems (i.e. with the application of conventional chain plus synthetic ropes such as polyester and nylon) for a semi-submersible type floating wind turbine. Time domain analyses are performed in Ultimate Limit State (ULS) and Fatigue Limit State (FLS) in order to study the dynamic responses of mooring lines and the floating structure motions. The outcomes of this study can be used as a basis for selecting synthetic mooring components and also for highlighting some current modeling approaches and technical criteria for such mooring systems.

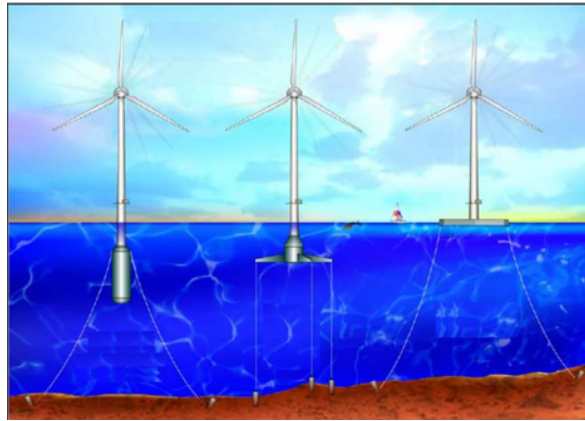
Keywords: floating wind turbine; semi-taut mooring; nylon; polyester.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(1V\)-04](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(1V)-04) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: hauph@nuce.edu.vn (Hậu, P. H.)

1. Giới thiệu về tuabin gió nổi

Nằm trong khu vực cận nhiệt đới gió mùa với bờ biển dài, Việt Nam có một thuận lợi cơ bản để phát triển năng lượng gió. Số liệu điều tra cho thấy các vùng biển và ven biển miền Trung, Nam Bộ và các vùng hải đảo nước ta là những vùng có tiềm năng điện gió nổi trội bậc nhất Đông Nam Á [1]. Những trạm phát điện sức gió được xây dựng trên đất liền ít nhiều có những ảnh hưởng nhất định đến môi trường và cảnh quan ven biển. Vì thế tuabin gió ngoài biển là một hướng đang được các nước trên thế giới phát triển nhằm tận dụng vận tốc gió lớn và ổn định ngoài biển, hơn nữa giải pháp này hạn chế ô nhiễm tiếng ồn và không chiếm đất dành cho canh tác. Đây cũng là hướng phát triển tất yếu của Việt Nam trong tương lai gần. Hình 1 là một số mô hình tuabin gió nổi trên thế giới dạng một trụ, dạng neo đứng và dạng xà lan cùng các dạng hệ dây neo giữ.



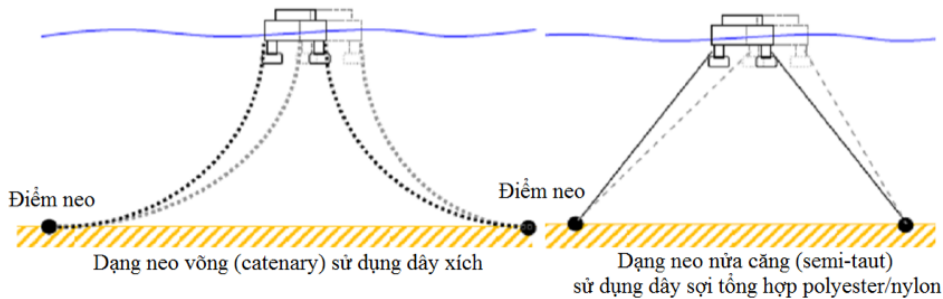
Hình 1. Hình ảnh minh họa một số dạng tuabin gió nổi [2]

Các đặc điểm thể hiện sự khác biệt giữa tuabin gió nổi với các dạng công trình nổi khác phục vụ khai thác dầu khí là tuabin gió nổi có tải trọng công nghệ nhỏ hơn nhiều, do đó kết cấu đỡ tuabin gió nổi cũng có kích thước nhỏ và khối lượng nhẹ hơn, dẫn đến dao động lớn hơn của kết cấu nổi. Hơn nữa trạm phong điện nổi thường không hoạt động đơn lẻ mà được thiết kế để hoạt động theo quy mô cả trang trại điện gió. Vậy vấn đề đặt ra là cần nghiên cứu lựa chọn dạng neo giữ tuabin gió nổi để giảm chiều dài dây, hạn chế dao động, nhưng đồng thời cần nghiên cứu ứng dụng mô hình vật liệu phi tuyến để giảm lực căng trong dây, đảm bảo thỏa mãn điều kiện an toàn khi khai thác.

2. Nghiên cứu ứng dụng dạng neo và vật liệu dây neo phi tuyến cho tuabin gió nổi

Đối với các kết cấu nổi như giàn khoan bán chìm, FPSOs, v.v... để khai thác và dự trữ dầu khí, hệ thống neo giữ công trình ở vùng nước nông thường bao gồm những đường dây neo dạng xích dài với đường kính lớn theo dạng neo vồng (catenary) để đảm bảo các điều kiện an toàn về bền và mỏi. Tuy nhiên với các công trình nổi sử dụng năng lượng tái tạo (điện gió, điện sóng), nhiều nghiên cứu trên thế giới đã chỉ ra rằng việc sử dụng kết hợp xích với vật liệu sợi tổng hợp (polyester, nylon, v.v...) theo dạng neo nửa căng (semi-taut) là hiệu quả hơn về mặt kinh tế và kỹ thuật, do dạng neo này giúp hạn chế dao động cho kết cấu nổi và vật liệu phi tuyến có độ giãn dài lớn làm giảm lực căng trong dây neo [3, 4]. Hình 2 thể hiện sơ đồ hai dạng neo vồng và nửa căng này.

Vật liệu sợi tổng hợp như polyester, nylon, v.v... sở hữu các tính chất làm việc phi tuyến và phụ thuộc vào thời gian chịu tải rất đặc trưng. Thông thường các đặc trưng làm việc này sẽ được xác định



Hình 2. Hệ neo vồng và neo nửa căng [4]

dựa trên các thí nghiệm trước khi áp dụng vào thực tế. Các thí nghiệm như vậy cần phải mô phỏng được và tính đến các đặc trưng làm việc phi tuyến và độ giãn dài trễ (hysteresis) của vật liệu sợi tổng hợp cũng như các điều kiện chịu tải động trong quá trình vận hành. Khái niệm “độ giãn dài trễ” ở vật liệu sợi tổng hợp là hiện tượng khi vật liệu chịu tải trọng lặp nhiều lần, đường cong lực tác dụng – độ giãn dài theo chu trình lên xuống sẽ khác nhau (có độ trễ), cần làm thí nghiệm cho nhiều chu trình (từ 30-40 chu trình) thì các đường cong đó sẽ gần giống nhau. Các phương pháp thí nghiệm và mô hình hóa dây cáp dạng sợi tổng hợp nói chung, đặc biệt là polyester và các công thức thực nghiệm để xác định độ cứng động của dây đã được nghiên cứu từ nhiều năm và kết quả của các nghiên cứu đã được đưa vào các tiêu chuẩn quốc tế như API [5], DNVGL [6], ABS [7], BV [8].

Các đặc trưng về vật liệu phi tuyến sợi tổng hợp polyester và nylon khác với xích là vật liệu tuyến tính truyền thống, cần nghiên cứu chi tiết về đặc tính làm việc, đưa ra các phân tích về quy trình mô phỏng theo lý thuyết của các quy phạm và cả các thí nghiệm thực hành sự làm việc của hai loại vật liệu đàn hồi này, từ đó mới lựa chọn được cách mô phỏng gần đúng hợp lý để áp dụng vào phần mềm tính toán. Về độ cứng tựa tính chỉ áp dụng cho quy trình tính tĩnh để xác định vị trí cân bằng ban đầu cho hệ dây dưới tác dụng của tải trọng trung bình. Sau đó, giai đoạn tính động theo miền thời gian phải dùng độ cứng động theo công thức thực nghiệm, từ đó cần cập nhật lại chiều dài dây tương ứng (chiều dài ảo) để có được độ cứng động đó.

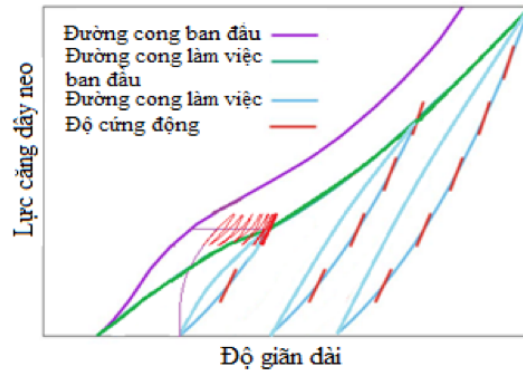
Trong nghiên cứu này, các tác giả sẽ tìm hiểu áp dụng công thức thực nghiệm đưa ra bởi François và cs. [9] và quy trình tính toán đối với dây neo dạng sợi tổng hợp giới thiệu bởi DNVGL [6] để mô phỏng độ cứng động của dây cáp dạng polyester. Độ cứng động của dây nylon được lấy gần đúng theo nghiên cứu của Huntley [10]. Nghiên cứu dây neo đặt ra trong bài báo là hệ dây neo nửa căng với hai mô hình vật liệu xích-nylon-xích và xích-polyester-xích nhằm so sánh phản ứng dưới dạng chuyển vị của kết cấu nổi và lực căng dây trong hai mô hình dây dựa trên các tính toán mô phỏng số trong miền thời gian sử dụng phần mềm tính toán dây neo Orcaflex [11]. Kết quả so sánh thu được sẽ được sử dụng để lựa chọn loại vật liệu và cấu hình dây neo phù hợp với các yêu cầu thiết kế đặt ra để neo giữ cho tuabin gió nổi.

3. Nghiên cứu phương pháp mô hình hóa vật liệu dây cáp dạng sợi tổng hợp

Quy phạm DNVGL [6] và Falkenberg và cs. [12, 13] khuyến nghị mô hình Syrope với những định nghĩa dưới đây về đường cong lực căng – độ giãn dài (Hình 3):

- Đường cong ban đầu: khi dây cáp chịu tải lần đầu tiên với tải trọng tác động rất nhanh và khi đó chỉ có độ giãn dài đàn hồi trong dây (độ giãn dài trễ chưa xuất hiện).

- Đường cong làm việc ban đầu: khi dây cáp chịu tải tác động rất chậm để độ giãn dài trở có thể xuất hiện hoàn toàn.
- Đường cong làm việc: đường cong quan hệ làm việc có kể đến lực căng lớn nhất mà dây cáp đã trải qua trong quá khứ.
- Độ cứng đàn hồi tức thời (độ cứng động): độ cứng khi đạt trạng thái ổn định về biến dạng làm việc dưới tác động của lực căng biến thiên động. Độ cứng động là kết quả của biến dạng đàn hồi tức thời. Thông thường với polyester sẽ mất khoảng 10 đến 20 chu trình biến thiên của lực căng để độ cứng động tiến đến một giá trị hằng số.



Hình 3. Mô hình Syrope [12, 13]

Trong giai đoạn tính toán tĩnh để xác định vị trí cân bằng của hệ dưới tác dụng của lực trung bình của môi trường, Falkenberg và cs. [12] khuyến cáo sử dụng đường cong làm việc, kể đến lực căng lớn nhất mà dây cáp đã trải qua trong quá khứ. Trong giai đoạn tính toán lực căng động trong hệ dây neo, DNVGL [6] yêu cầu sử dụng độ cứng động để tính toán, từ đó cần xác định lại chiều dài của dây cho phù hợp. Theo nghiên cứu của Bitting [14] độ cứng động của dây nylon thông thường lớn gấp khoảng từ 3 đến 4 lần độ cứng tựa tĩnh. Điều này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc sử dụng các mô hình độ cứng khác nhau để xác định vị trí cân bằng của hệ và phản ứng lực căng trong dây neo.

Một cách tổng quát, độ cứng động của dây cáp dạng sợi tổng hợp phụ thuộc vào lực căng trung bình trong dây, biên độ của lực căng và tần số của tải trọng, theo Bitting [14] và Vecchio [15].

Độ cứng không thứ nguyên của dây cáp có thể được viết dưới dạng:

$$K_r = (L_a l) / (\Delta l MBL) \quad (1)$$

trong đó MBL (Minimum Breaking Load) là lực kéo đứt tối thiểu (kN); L_a là biên độ biến thiên lực căng (kN); l là chiều dài ban đầu của dây cáp (m); Δl là độ giãn dài (m).

Vecchio [15] giới thiệu công thức thực nghiệm về độ cứng động đối với polyester:

$$K_{rd} = aL_m - bL_a - c \log(T) \quad (2)$$

trong đó L_m là lực căng trung bình (%MBL); L_a là biên độ biến thiên lực căng (%MBL); a, b, c là các hằng số xác định từ thực nghiệm; T là chu kỳ biến thiên của lực căng (s).

Tuy nhiên, để đơn giản hóa việc mô phỏng trong thực tiễn, các thí nghiệm của François và cs. [9] cho thấy ảnh hưởng của biên độ lực căng và tần số của tải trọng được xem như không đáng kể đối với polyester, từ đó đưa ra công thức thực nghiệm về độ cứng tựa tĩnh và độ cứng động đối với polyester

phụ thuộc tuyến tính với lực căng trung bình trong dây neo. Nghiên cứu này đã được tích hợp trong tiêu chuẩn BV [8], trong đó:

$$\begin{aligned} \text{Độ cứng tựa tĩnh: } K_{rs} &= 13 \text{ đến } 15 \\ \text{Độ cứng động: } K_{rd} &= 18,5 + 0,33L_m \end{aligned} \quad (3)$$

đối với các dây cáp polyester với độ cứng thông thường.

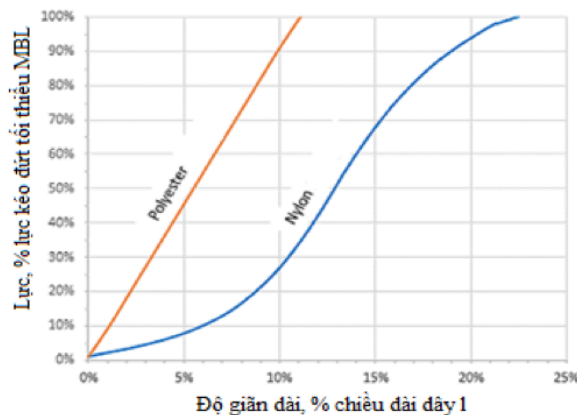
Còn đối với dây cáp dạng vật liệu nylon, mặc dù tính chất làm việc khá tương tự như polyester, thí nghiệm cho thấy những đặc trưng phi tuyến đáng kể hơn nhiều so với polyester đặc biệt trong các điều kiện lực căng trung bình nhỏ, François [16].

DNVGL [6], Falkenberg và cs. [12, 13] đưa ra quy trình mô phỏng và tính toán đối với hệ dây neo sử dụng vật liệu dạng cáp tổng hợp theo các bước sau đây:

- Bước 1: Thực hiện bài toán tĩnh để xác định vị trí cân bằng của hệ dựa vào đường cong làm việc phù hợp của vật liệu dưới tác động của các lực trung bình của môi trường. Nếu lực căng trung bình trong bất cứ một dây nào của hệ lớn hơn lực căng lớn nhất mà dây đó đã trải qua trong quá khứ, đường cong làm việc của dây đó cần được cập nhật kể đến lực căng lớn nhất đó.

- Bước 2: Xác định lực căng trung bình, L_m ở đầu trên của phần dây cáp và một độ cứng động phụ thuộc vào lực căng đó (theo công thức (3)). Từ độ cứng động này xác định lại chiều dài không tải của dây cáp và khối lượng phân bố theo chiều dài dây.

- Bước 3: Tính toán tĩnh và động với các đặc trưng của dây cáp được cập nhật. Độ giãn dài của dây neo polyester và nylon (theo % chiều dài dây) phụ thuộc vào lực căng dây (theo % lực kéo đứt tối thiểu) theo biểu đồ Hình 4 [4].

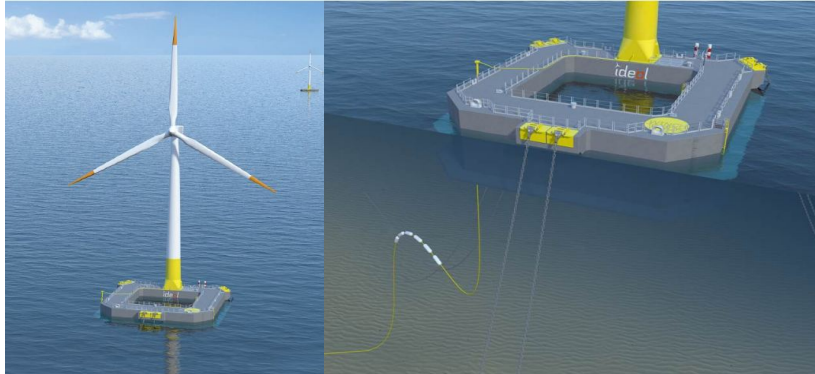


Hình 4. Độ giãn dài của dây neo polyester và nylon phụ thuộc vào lực căng dây [4]

4. Phân tích hệ dây neo áp dụng vật liệu dạng sợi tổng hợp, sử dụng tính toán động trong miền thời gian

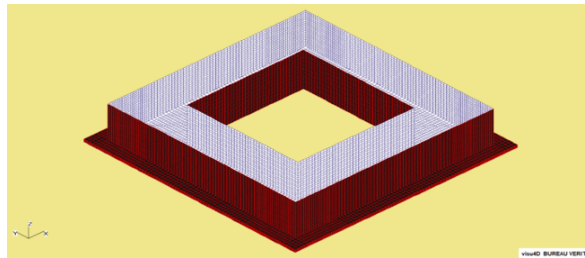
Hệ dây neo sử dụng trong nghiên cứu này dựa trên một mô hình tuabin gió nổi với công suất 2 MW đang được neo đậu tại khu thí nghiệm biển SEM-REV, Trường Đại học trung tâm Nantes, Pháp từ năm 2017 trong khuôn khổ dự án nghiên cứu FLOATGEN [17]. Độ sâu nước trung bình tại khu thí nghiệm là 36 m. Tuy nhiên, kích thước kết cấu nổi và các đặc trưng dây neo được sử dụng ở đây hoàn toàn với mục đích nghiên cứu và không phản ánh hệ thống neo giữ trên thực tế của dự án. Dựa

trên các số liệu đã được công bố, kết cấu đỡ tuabin gió có khối lượng khoảng 5000 tấn với môn nước khoảng 7 m. Kết cấu nổi có dạng mặt bằng hình vuông với kích thước mỗi cạnh là 36 m, chiều cao 10m và phần lõi giữa rộng 21 m (Hình 5).

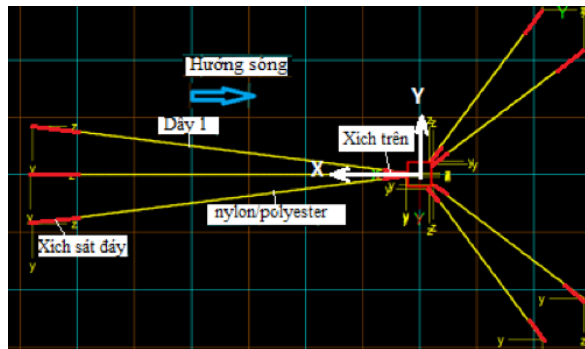


Hình 5. Hình ảnh trạm phong điện nổi 2MW [17]

Kết cấu nổi được mô hình hóa bằng phần mềm HydroStar để tính lực thủy động (Hình 6). Mặt bằng hệ dây neo liên kết với kết cấu nổi được mô hình hóa bằng phần mềm Orcaflex (Hình 7). Hệ dây neo tương tự đã được giới thiệu bởi Spraul, Pham và cs. [18].



Hình 6. Mô hình hóa kết cấu nổi bằng phần mềm HydroStar



Hình 7. Mặt bằng hệ dây neo và kết cấu nổi

Hai mô hình dây neo kiểu neo nửa căng đã được nhóm tác giả nghiên cứu:

Mô hình 1: Xích-polyester-xích và mô hình 2: Xích-nylon-xích: bao gồm 20 m xích đầu dây liên kết với kết cấu nổi tại fairlead và 50 m xích cuối dây tiếp xúc với đáy, phần giữa dây nằm trong nước

làm bằng vật liệu phi tuyến polyester hoặc nylon.

Lí do sử dụng đoạn cuối dây tiếp xúc với đáy biển bằng xích do vật liệu xích chịu mài mòn tốt hơn polyester/nylon. Còn đoạn đầu dây trên không khí và vùng dao động mực nước, xích được sử dụng thay cho polyester hay nylon vì vật liệu phi tuyến bị giảm khả năng chịu lực tại vùng này do tác dụng nhiệt và cơ chế ướt/khô thay đổi. Các đặc trưng của dây neo được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Các đặc trưng của hệ dây neo

Vật liệu	Đường kính (m)	Độ cứng tựa tĩnh (kN)	Lực kéo đứt tối thiểu T_{Br} (kN)
Nylon	0,216	Đường cong phi tuyến lực căng biến dạng	10,000E+3
Polyester	0,188	150E+3	10,000E+3
Xích/R4	0,095	1,10E+6	9,864E+3

Hai hệ dây neo nửa căng dạng xích-polyester-xích và xích-nylon-xích được phân tích và so sánh nhằm đánh giá ảnh hưởng của độ cứng của hai loại vật liệu đối với phản ứng lực căng trong dây neo và chuyển vị của kết cấu. Phân tích phản ứng động của hệ dây neo được thực hiện trong cả điều kiện biển cực hạn và điều kiện biển dài hạn để đánh giá ảnh hưởng của việc sử dụng hai loại vật liệu sợi tổng hợp này lên các điều kiện thiết kế về bền và mỏi. Lực căng trung bình (gây ra bởi các lực trung bình) được lựa chọn như nhau trong hai hệ dây neo để đánh giá ảnh hưởng của việc lựa chọn loại vật liệu làm dây (polyester và nylon) lên chiều dài yêu cầu của dây và phản ứng lực căng tương ứng trong hệ. Chiều dài không tải của phần dây polyester/nylon được lựa chọn tương ứng với lực căng trung bình trong mỗi trạng thái biến tính toán. Theo đó, độ cứng tựa tĩnh (phương trình (3)) được sử dụng trong tính toán tĩnh với hệ dây xích-polyester-xích và đường cong phi tuyến lực căng - độ giãn dài cho dây nylon theo Varney [19]. Mô phỏng vật liệu xích cho 20 m đầu dây và 50 m cuối dây tiếp xúc với đáy. Các đặc trưng xích lấy theo catalog của hãng Bridon. Các mối nối giữa xích và nylon hay polyester là các ma ní và khi mô phỏng trong phần mềm chọn loại ma ní có lực kéo đứt tối thiểu T_{Br} lớn hơn hoặc bằng T_{Br} dây neo.

Các lực thủy động tác dụng lên kết cấu nổi được tính toán bằng phần mềm HydroStar [20]. Tính toán động của hệ dây neo, các chuyển vị tần số sóng và chuyển vị tần số thấp được thực hiện bằng phần mềm Orcaflex [11] với thời gian mô phỏng trong một cơn bão 3h cho tính tựa động và 30' cho tính động dây neo. Do mục đích nghiên cứu là so sánh phản ứng lực căng trong dây neo giữa 2 loại vật liệu nên tải trọng gió và dòng chảy coi là đóng góp trong thành phần lực căng trung bình, bỏ qua ảnh hưởng động. Các điều kiện biển cực hạn (tần suất 100 năm) và dài hạn (điều kiện làm việc bình thường) xem trong Bảng 2.

Bảng 2. Các trạng thái biển sử dụng trong tính toán

Trạng thái biển	Dạng phổ	Hs (m)	Tp (s)	Gamma
Cực hạn – Chu kỳ lặp 100 năm	Jonswap	10	15,7	3,3
Dài hạn – Tính toán mỏi	Jonswap	2,61	13,8	3,3

MBL (Minimum Breaking Load, T_{Br}): Lực kéo đứt tối thiểu (tra theo catalog của vật liệu). Các đặc tính của hệ dây neo và đặc trưng thống kê về chuyển vị của kết cấu nổi xem trong Bảng 3 và 4. Có thể thấy rằng ở cùng một lực căng trung bình độ cứng của polyester là rất lớn so với nylon. Điều

này dẫn đến chiều dài yêu cầu của dây neo trường hợp vật liệu polyester lớn hơn và gây ra phản ứng lực căng lớn hơn so với nylon.

Các thể hiện theo thời gian của các chuyển vị của kết cấu nổi được thể hiện trên Bảng 4 và Hình 8. Các chuyển vị dọc X và dọc Z của kết cấu nổi của hệ xích-nylon-xích là xấp xỉ so với hệ xích-polyester-xích và đáng kể do các phương chuyển vị này chịu ảnh hưởng nhiều bởi độ giãn dài của hệ dây neo. Các chuyển vị theo các phương còn lại là không đáng kể chủ yếu do tác động của hướng sóng nghiêng cứu và thiết kế đối xứng của kết cấu nổi cũng như hệ dây neo. Các chuyển vị này trong phạm vi cho phép.

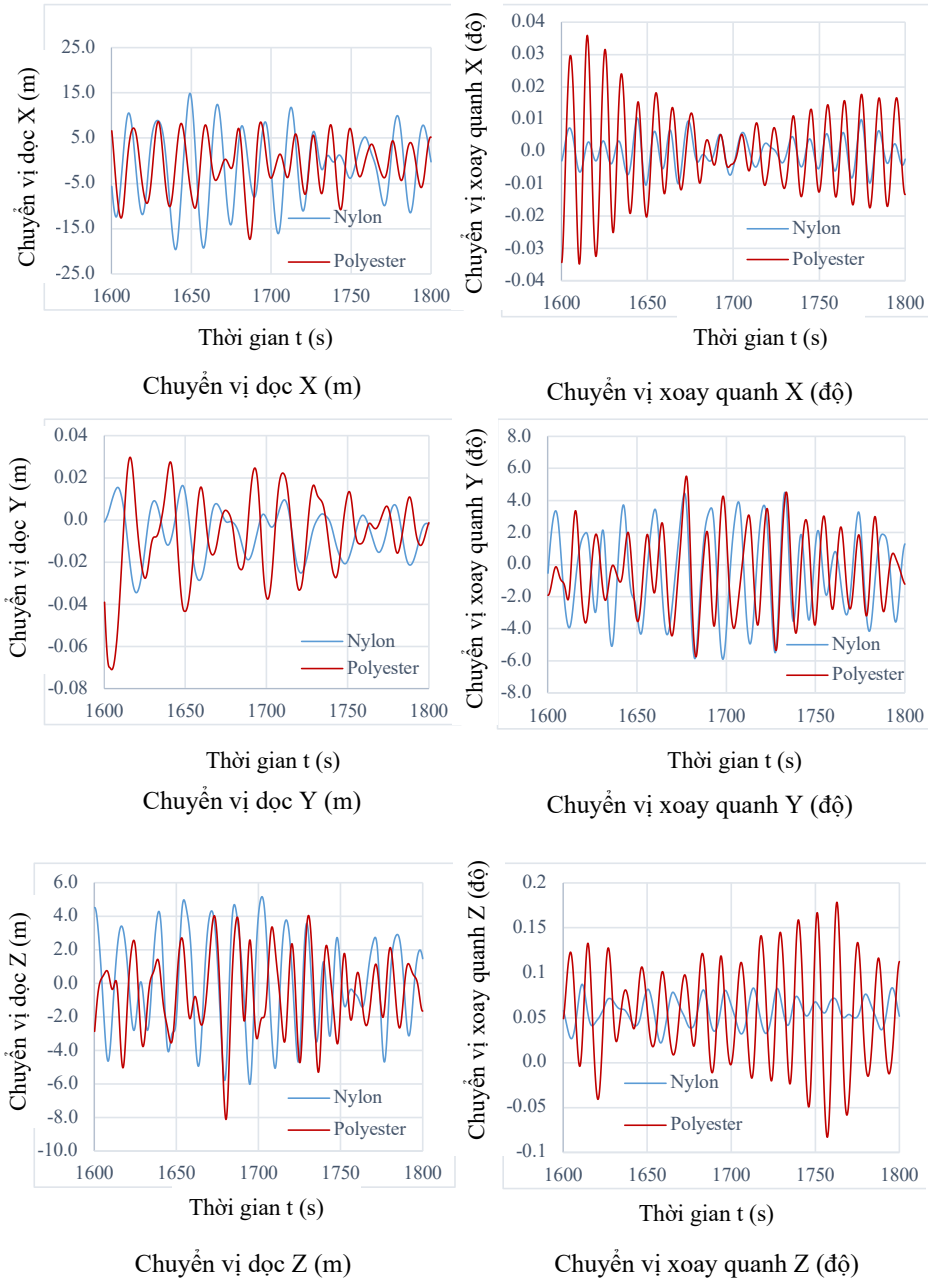
Bảng 3. Các đặc trưng của dây neo (đoạn giữa nằm trong nước)

Vật liệu	Trạng thái biến	Lực căng trung bình	EA_động (kN)	Chiều dài không tải (m)
Nylon	Cực hạn	30% MBL	97,7E+3	652,650
Polyester	Cực hạn	30% MBL	284E+3	722,693
Nylon	Dài hạn	10% MBL	57,91E+3	673,989
Polyester	Dài hạn	10% MBL	218E+3	732,459

Bảng 4. Các kết quả đặc trưng thống kê về chuyển vị

Vật liệu /Chuyển vị		Dọc X (m)	Dọc Y (m)	Dọc Z (m)	Xoay quanh X (độ)	Xoay quanh Y (độ)	Xoay quanh Z (độ)
Nylon 30% MBL	Trung bình	-0,81	-0,01	0,04	0,00	-0,53	0,06
	Độ lệch chuẩn	6,98	0,02	2,54	0,01	2,51	0,01
	Min	-30,30	-0,16	-9,96	-0,02	-8,81	0,01
	Max	15,40	0,16	8,23	0,03	6,68	0,11
Polyester 30% MBL	Trung bình	-1,35	0,00	-0,40	0,00	-0,56	0,06
	Độ lệch chuẩn	6,98	1,11	2,55	0,18	2,16	0,47
	Min	-27,80	-5,83	-9,31	-1,06	-6,95	-3,39
	Max	16,31	4,82	7,17	1,18	6,54	2,35
Nylon 10% MBL	Trung bình	-0,04	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00
	Độ lệch chuẩn	0,98	0,00	0,77	0,00	1,43	0,00
	Min	-4,03	-0,01	-2,50	-0,01	-4,09	0,00
	Max	2,65	0,01	2,30	0,01	4,13	0,00
Polyester 10% MBL	Trung bình	-0,30	0,00	-0,08	0,00	-0,14	0,06
	Độ lệch chuẩn	2,07	0,01	0,72	0,00	1,37	0,02
	Min	-6,23	-0,04	-2,24	-0,01	-3,55	0,01
	Max	4,84	0,03	1,87	0,01	3,18	0,13

Phản ứng lực căng trong dây neo trong các điều kiện cực hạn và dài hạn được giới thiệu trong Hình 9 và 10. Qua đó, có thể thấy lực căng trong dây neo đối với trường hợp hệ dây neo xích-polyester-xích là đáng kể hơn rất nhiều (về cả về cực trị đỉnh và đáy) so với hệ dây neo xích-nylon-xích. Điều này là bất lợi đối với cả hai bài toán thiết kế bền và mỏi.



Hình 8. So sánh các chuyển vị của kết cấu nổi đối với hai hệ dây neo xích-nylon-xích và xích-polyester-xích

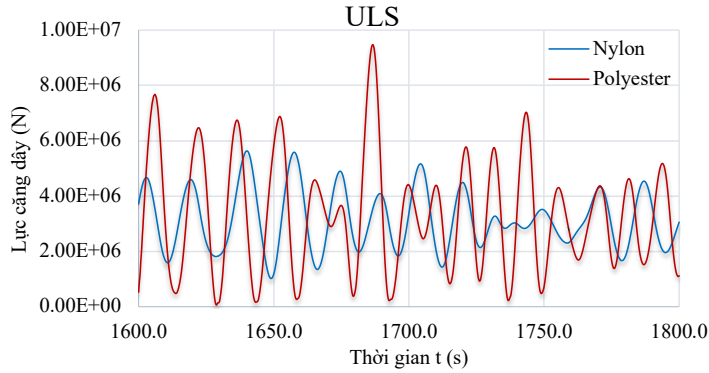
Nếu áp dụng hệ số an toàn bền cho phép 1,67 theo API RP 2SK [21] thì lực căng T đối với hệ xích-polyester/nylon-xích được xác định qua hệ số an toàn SF như sau:

- Polyester: $SF = T_{Br}/T_{\max} = 10000/9450 = 1,058 < [SF] = 1,67$ (không thỏa mãn)

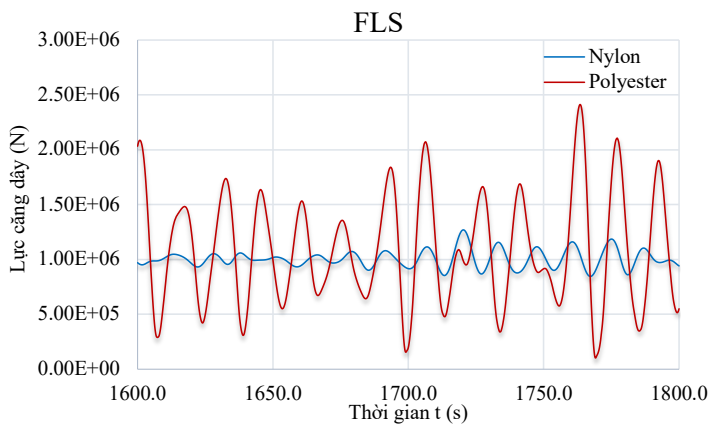
- Nylon: $SF = T_{Br}/T_{\max} = 10000/5540 = 1,8 > [SF] = 1,67$ (thỏa mãn)

Như vậy dây neo hệ xích-polyester-xích không đạt yêu cầu thiết kế về bền.

Kết quả so sánh cho thấy lợi thế về mặt kỹ thuật của việc sử dụng vật liệu nylon trong hệ dây neo tuabin gió nổi đối với cả hai bài toán thiết kế bền và mỏi.



Hình 9. Lực căng tại điểm đầu dây trong dây 1, trạng thái biến cực hạn



Hình 10. Lực căng tại điểm đầu dây trong dây 1, trạng thái biến dài hạn

5. Kết luận, kiến nghị

Từ sự khác biệt đặt ra với hệ dây neo tuabin gió nổi, nghiên cứu này tập trung vào việc tìm hiểu các đặc tính của vật liệu phi tuyến để áp dụng mô phỏng vật liệu cáp dạng sợi tổng hợp sử dụng trong hệ dây neo nửa căng đối với tuabin gió nổi. Hai hệ dây neo dạng xích-polyester-xích và xích-nylon-xích được áp dụng trong nghiên cứu để so sánh phản ứng lực căng trong hệ dây neo và dịch chuyển công trình tuabin gió nổi dưới tác dụng động của môi trường trong các điều kiện biến cực hạn và dài hạn. Kết quả so sánh cho thấy lựa chọn vật liệu nylon (đoạn nằm trong nước) đạt được lợi thế hơn dây polyester về mặt kinh tế (chiều dài dây ngắn hơn) và kỹ thuật (thỏa mãn hệ số an toàn bền về lực căng dây và dịch chuyển cho phép). Về vấn đề môi, theo hiểu biết của các tác giả các thí nghiệm môi hiện nay trên dây nylon trên thực tế chỉ được thực hiện đối với các cấp lực căng rất lớn nhằm giảm thời gian thí nghiệm. Việc này dẫn đến sự thay đổi về cơ chế phá hủy môi, do đó câu hỏi đặt ra là liệu có thể ngoại suy tuyến tính các thí nghiệm môi trên dây nylon tới những thang lực căng nhỏ hơn? Vấn đề về môi sẽ được các tác giả tập trung nghiên cứu trong tương lai.

Tài liệu tham khảo

- [1] Đạo, B. V. (2014). *Năng lượng gió ngoài khơi*. Tập đoàn Floating Windfarms.

- [2] National Renewable Energy Laboratory - Lives Sciences. [Floating ocean windmills designed to generate more power.](#)
- [3] Ridge, I. M. L., Banfield, S. J., Mackay, J. (2010). [Nylon fibre rope moorings for wave energy converters.](#) In *OCEANS 2010 MTS/IEEE Seattle*, IEEE, 1–10.
- [4] Flory, J. F., Banfield, S. J., Ridge, I. M. L., Yeats, B., Mackay, T., Wang, P., Hunter, T., Johannning, L., Herduin, M., Foxton, P. (2016). [Mooring systems for marine energy converters.](#) In *OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey*, IEEE, 1–13.
- [5] API RP 2SM (2014). *Manufacture, installation, and maintenance of synthetic fibre ropes for offshore mooring.* American Petroleum Institute.
- [6] DNVGL-RP-E305 (2015). *Design, testing and analysis of offshore fibre ropes.* Det Norske Veritas (Norway) and Germanischer Lloyd (Germany).
- [7] ABS (2014). *Guidance note on the application of fiber rope for offshore mooring.* American Bureau of Shipping.
- [8] BV NI 432 (2007). *Cerfication of fiber ropes deepwater offshore services.* Bureau Veritas.
- [9] Francois, M., Davies, P. (2000). [Fibre rope deep water mooring: a practical model for the analysis of polyester mooring systems.](#) In *Proceedings of Rio Oil and Gas Conference*, volume 16.
- [10] Huntley, M. B. (2016). [Fatigue and modulus characteristics of wire-lay nylon rope.](#) In *OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey*, IEEE, 1–6.
- [11] Orcina. [OrcaFlex user manual online.](#)
- [12] Falkenberg, E., Åhjem, V., Yang, L. (2017). [Best practice for analysis of polyester rope mooring systems.](#) In *Offshore Technology Conference*, Offshore Technology Conference.
- [13] Falkenberg, E., Yang, L., Åhjem, V. (2018). [The syrope method for stiffness testing of polyester ropes.](#) In *37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, American Society of Mechanical Engineers.
- [14] Bitting, K. R. (1980). *The dynamic behavior of nylon and polyester line.* Report of the US Coast Guard Development Center.
- [15] Del Vecchio, C. J. M. (1992). *Light weight material for deepwater mooring.* PhD thesis, University of Reading, UK.
- [16] Francois, M., Davies, P., Grosjean, F., Legerstee, F. et al. (2010). [Modelling fiber rope load-elongation properties-Polyester and other fibers.](#) In *Offshore Technology Conference*, Offshore Technology Conference.
- [17] LHEEA Centrale Nantes. [First floating-wind turbine installed off the French coast.](#)
- [18] Spraul, C., Pham, H., Arnal, V., Reynaud, M. (2017). [Effect of marine growth on floating wind turbines mooring lines responses.](#) In *Congrès français de mécanique*, AFM, Association Française de Mécanique.
- [19] Varney, A., Taylor, R., Seelig, W. (2013). [Evaluation of wire-lay nylon mooring lines in a wave energy device field trial.](#) In *2013 OCEANS-San Diego*, IEEE, 1–5.
- [20] BV (2016). *HydroStar for expert user manual.* Bureau Veritas.
- [21] API RP 2SK (2015). *Design and analysis of stationkeeping systems for floating structures.* American Petroleum Institute.