

PHÂN TÍCH CÁC MÔ HÌNH ĐÁNH GIÁ ĐỘ BỀN PHẦN TỬ KẾT CẤU ỐNG TRONG CÔNG TRÌNH BIỂN CỐ ĐỊNH BẰNG THÉP

Vũ Đan Chính^{a,*}, Văn Minh Khánh^b

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

^b*Công ty TNHH Kết cấu xây dựng Việt Pháp, 36 phố Lưu Hữu Phước,
Khu đô thị mới Mỹ Đình 1, Phường Cầu Diễn, Quận Nam Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 09/11/2021, Sửa xong 09/4/2022, Chấp nhận đăng 16/5/2022

Tóm tắt

Độ bền phần tử kết cấu công trình biển cố định bằng thép thường được đánh giá thông qua các tiêu chuẩn phổ biến như API RP 2A (ASD) hay EC3 (Eurocode), DnV OS C101... (LRFD). Trong bài báo này các phương pháp đánh giá theo API, EC3 và đánh giá trực tiếp thông qua mô phỏng số kể đến sự làm việc phi tuyến của ống được phân tích, so sánh. Theo API, độ bền kết cấu ống được phân tích dựa trên phần tử thanh. Theo EC3, độ bền được phân tích dựa trên phần tử vỏ trụ tròn. Theo mô hình số, thanh ống được mô phỏng riêng bằng các phần tử tấm vỏ. Ống được kiểm tra bền trực tiếp dựa trên so sánh giữa ứng suất thực tế theo phân tích phi tuyến và giới hạn chảy của vật liệu. Cả ba phương pháp được áp dụng để đánh giá điều kiện bền cho một kết cấu công trình biển cố định bằng thép đang khai thác trong vùng biển Việt Nam. Kết quả tính toán theo ba phương pháp này tương đồng nhau. Từ đó cũng khẳng định sự phù hợp và khả năng ứng dụng của phương pháp đánh giá dựa trên mô hình số.

Từ khoá: độ bền; ứng suất cho phép; phân tích kết cấu phi tuyến; mô hình số; công trình biển cố định bằng thép.

ANALYSIS ON APPROACHES IN EVALUATING THE STRENGTH OF TUBULAR MEMBERS OF FIXED STEEL OFFSHORE PLATFORMS

Abstract

The strength of tubular members of the fixed steel offshore structures is usually evaluated through common guidelines such as API RP 2A (ASD), or EC3 (Eurocode) and DnV OS C101... (LRFD). In the paper, the method of strength assessment in accordance with API, EC3 is compared with a direct method based on non-linear numerical models. According to API, strength of the tubular is checked based on frame elements. According to EC3, the strength is checked by cylindrical shell elements. According to numerical method, the pipe is modeled by shell elements. The tubular strength is checked by the comparison of the actual stress based on non-linear analysis and yield strength limit of material. The three methods mentioned are used to evaluate the strength of an existing fixed steel platform at Vietnam sea. The three methods give similar results for assessing tubular strength. Along with that, it also confirmed the suitability and applicability of the evaluation method through numerical models.

Keywords: strength; allowable stress; nonlinear structural analysis; numerical models; fixed steel offshore platforms.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2022-16\(2V\)-10](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2022-16(2V)-10) © 2022 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: chinhvd@huce.edu.vn (Chính, V. Đ.)

1. Giới thiệu

Tất cả các tiêu chuẩn tính toán thiết kế kết cấu công trình biển cố định bằng thép hiện hành [2–4] đều quy định đánh giá độ bền phần tử ống theo ứng suất cho phép hoặc cường độ thiết kế, đảm bảo kết cấu làm việc trong giai đoạn đàn hồi. Nội lực, chuyển vị kết cấu được phân tích theo bài toán tuyến tính với giả thiết biến dạng bé. Tuy nhiên trên thực tế cho thấy khi kết cấu chịu lực, biến dạng có làm thay đổi trạng thái của kết cấu do đó làm gia tăng thêm nội lực. Hiện tượng này đã được nghiên cứu rộng rãi trong lĩnh vực ổn định kết cấu [5, 6]. Đối với phần tử thanh, có hai dạng đặc thù là mất ổn định tổng thể theo trục thanh và mất ổn định cục bộ trên tiết diện thanh. Phần tử thanh ống với đặc trưng có chiều dài khá lớn và chiều dày nhỏ thì đều có khả năng mất ổn định theo cả hai dạng này.

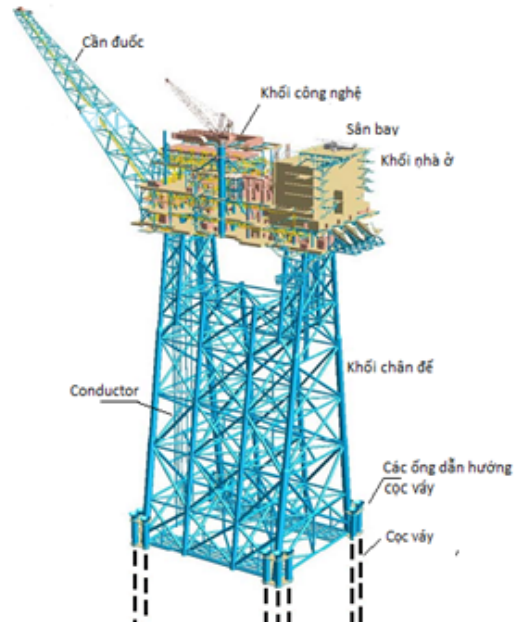
Tùy theo biến dạng trên thanh mà ảnh hưởng tăng thêm nội lực là đáng kể hay không. Để khắc phục sự sai khác của mô hình tính toán, thay vì quy định dùng phương pháp xác định sự gia tăng nội lực kết cấu sát thực hơn, trong bài toán kiểm tra bền kết cấu các tiêu chuẩn hiện hành đã áp dụng các công thức để giảm ứng suất cho phép hay độ bền thiết kế theo một tỷ lệ tương ứng kể đến các ảnh hưởng này. Ảnh hưởng của biến dạng trục thanh phụ thuộc độ mảnh, ảnh hưởng của biến dạng trên tiết diện ống phụ thuộc tỷ số đường kính và chiều dày ống. Đã có một số nghiên cứu so sánh giữa các phương pháp kiểm tra bền ống như [7, 8]. Bài báo này phân tích thêm một cách tiếp cận khác dựa trên mô phỏng số chi tiết của ống theo các phần tử tấm vỏ với mô hình biến dạng lớn và vật liệu được làm việc đến giai đoạn chảy dẻo, sử dụng chương trình ABAQUS. Mô hình này cho phép mô phỏng các hiệu ứng phi tuyến nêu trên và xác định được ứng suất thực tế phân bố trên tiết diện ống. Dựa trên kết quả phân tích so sánh giữa các phương pháp tính toán kiểm tra bền theo API, theo Eurocode và theo kết quả của mô hình ABAQUS nhằm làm rõ một số vấn đề:

- Sự sai khác của phân bố ứng suất trên tiết diện thanh giữa các mô hình tính;
 - Sự phù hợp, thống nhất của các kết quả kiểm tra bền;
 - Khả năng ứng dụng mô phỏng số để kiểm tra trực tiếp độ bền của kết cấu ống;
- Nội dung chi tiết được trình bày trong các mục sau đây.

2. Phân tích phương pháp đánh giá độ bền ống theo tiêu chuẩn hiện hành

2.1. Đánh giá theo tiêu chuẩn API dựa trên ứng suất cho phép [2, 9]

Điều kiện bền của phần tử thanh ống kết cấu công trình biển cố định bằng thép được kiểm tra qua hệ số UC theo tiêu chuẩn API, phụ thuộc trạng thái chịu lực của thanh. Đối với thanh chịu nén uốn



Hình 1. Kết cấu một công trình biển cố định bằng thép [1]

điều kiện bền biểu diễn theo (1).

$$UC_1 = \frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m \sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{e'}}\right) F_b} \leq 1,0$$

$$UC_2 = \frac{f_a}{0,6F_y} + \frac{\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{F_b} \leq 1,0$$
(1)

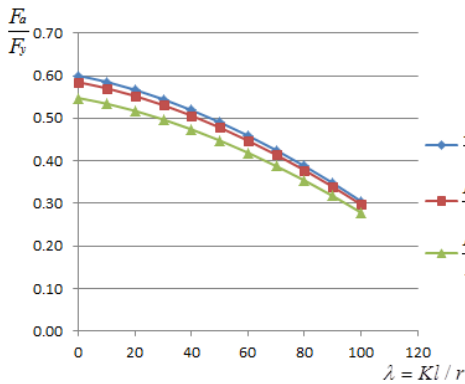
Tương tự, điều kiện bền cho thanh chịu kéo uốn là:

$$UC = \frac{f_a}{0,6F_y} + \frac{\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{F_b} \leq 1,0$$
(2)

trong đó f_a là ứng suất dọc trục; f_{bx} , f_{by} lần lượt là ứng suất uốn theo phương x và y ;

- F_a là ứng suất cho phép trong thanh chịu nén dọc trục, với các ống đường kính D , chiều dày t có tỷ số $D/t \leq 60$ thì F_a chỉ phụ thuộc vào giới hạn chảy F_y và độ mảnh. Trong trường hợp $D/t > 60$ thì F_a còn phụ thuộc thêm tỷ số D/t kể đến khả năng mất ổn định tổng thể. Theo công thức trong API, với vật liệu thép ống cho kết cấu chính công trình biển thông thường $F_y = 345 \text{ MPa} \div 355 \text{ MPa}$, $E = 2,1 \times 10^5 \text{ MPa}$. Các tác giả bài báo đã phân tích sự suy giảm giảm độ bền tính toán của ống chịu nén dọc trục theo độ mảnh và tỷ số D/t , kết quả được thể hiện trong Hình 2.

- F_b là ứng suất cho phép của thanh chịu uốn phụ thuộc vào tỷ số D/t . Các tác giả bài báo thực hiện khảo sát F_b trong giới hạn D/t từ 60 đến 120, kết quả cho thấy sự thay đổi của F_b so với giới hạn chảy F_y như trong Hình 3.



$$F_{a1} = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2}\right]}{5/3 + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8C_c^3}} F_y; \quad \frac{D}{t} \leq 60$$

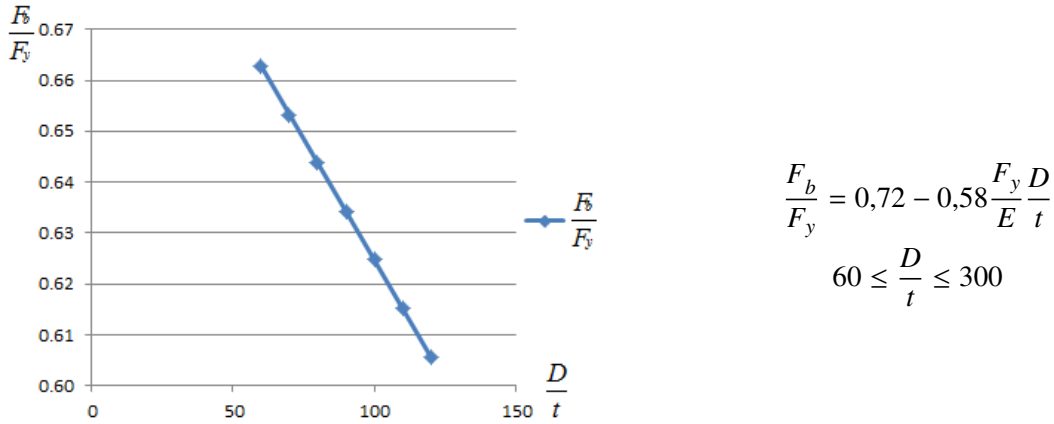
$$F_{a2} = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2}\right]}{5/3 + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8C_c^3}} F_{xc}; \quad \frac{D}{t} = 70$$

$$F_{a3} = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2}\right]}{5/3 + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8C_c^3}} F_{xc}; \quad \frac{D}{t} = 100$$

$$F_{xc} = F_y \left[1,64 - 0,23(D/t)^{0,25}\right]$$

Hình 2. Biểu đồ giảm ứng suất cho phép trong thanh chịu nén F_a theo độ mảnh

Nhận xét: Ứng suất cho phép trong thanh được tính bắt đầu từ khoảng $(0,6 \div 0,7)F_y$ và giảm dần phụ thuộc vào tính chất mất ổn định của phần tử kết cấu.



Hình 3. Biểu đồ giảm ứng suất cho phép trong thanh chịu uốn F_b theo tỷ số D/t

2.2. Đánh giá theo tiêu chuẩn EC3 1993 dựa trên hệ số cường độ, tải trọng [10]

Theo tiêu chuẩn EC3, ống được đánh giá điều kiện bền theo dạng kết cấu vỏ trụ tròn. Đối với trụ tròn chịu lực dọc và mô men uốn điều kiện bền của trụ được kiểm tra theo công thức:

$$f_{\max} \leq f_{Rd} \quad (3)$$

trong đó f_{\max} là ứng suất lớn nhất do tổ hợp lực dọc và mô men gây ra, được xác định theo công thức của sức bền vật liệu.

Với các thành phần nội lực được xác định dựa trên tổ hợp tải trọng với hệ số vượt tải từ 1 đến 1,5 tùy tính chất tải trọng. Trong đó các tải trọng dài hạn lấy hệ số 1, hoạt tải và tải trọng môi trường lấy hệ số 1,5 [11].

Đối với thanh chịu nén uốn f_{Rd} được xác định phụ thuộc vào giới hạn chảy F_y , chiều dài, đường kính và chiều dày ống trụ tròn:

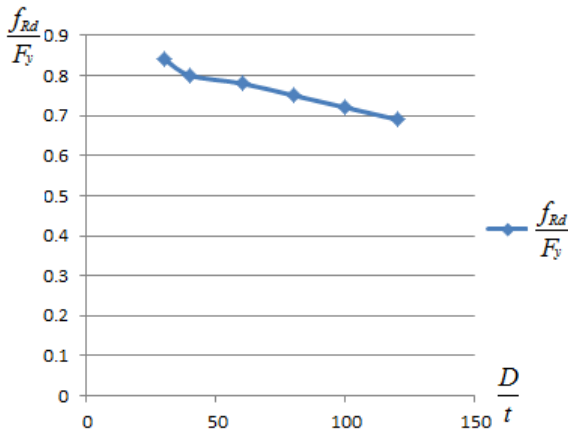
$$f_{Rd} = \frac{f_{Rk}}{\gamma_M}; \quad f_{Rk} = \chi F_y \quad (4)$$

trong đó γ_M là hệ số điều kiện làm việc của vật liệu, lấy từ 1,1 đến 1,15; χ là hệ số phụ thuộc λ , λ phụ thuộc giới hạn chảy F_y và ứng suất tối hạn gây mất ổn định tiết diện trụ tròn σ_{Rd} .

$$\lambda = \sqrt{F_y / \sigma_{Rd}}; \quad \sigma_{Rd} = 0,605 E C_x \frac{t}{R} \quad (5)$$

trong đó R là bán kính trụ tròn $= 0,5D$, C_x là hệ số xác định phụ thuộc thông số $\omega = \frac{l}{\sqrt{Rt}}$. Với trụ tròn có chiều dài và kích thước lớn với $\omega > 0,5 \frac{R}{t}$, $C_x \geq 0,6$. Các tác giả bài báo thực hiện khảo sát trong giới hạn $R/t = 15$ đến 60 hay $D/t = 30$ đến 120, tỷ lệ f_{Rd} so với giới hạn chảy được thể hiện trên đồ thị ở Hình 4.

Nhận xét: Theo tiêu chuẩn EC3, độ bền giới hạn của ống có thể cho phép lên đến khoảng 0,8 ÷ 0,9 lần giới hạn chảy, tức là có thể vượt khoảng 1,1 đến 1,5 lần ứng suất cho phép theo API. Tuy nhiên do tải trọng cũng được tăng hệ số từ 1 đến 1,5 nên về cơ bản có thể đánh giá định tính điều kiện kiểm tra bền giữa API và EC3 là không chênh nhau quá nhiều.



$$f_{Rd} = \frac{f_{Rk}}{\gamma_M}; \quad f_{Rk} = \chi F_y$$

$$\chi = 1 \quad \lambda \leq \lambda_o$$

$$\chi = 1 - \beta \left(\frac{\lambda - \lambda_o}{\lambda_p - \lambda} \right)^\eta \quad \lambda_o \leq \lambda \leq \lambda_p$$

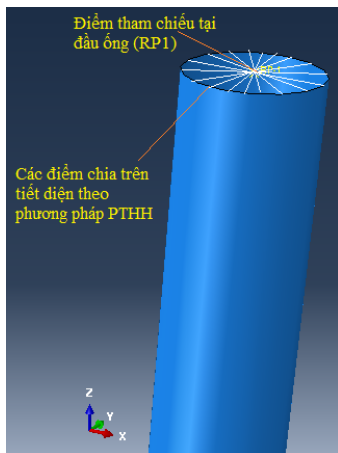
$$\chi = \frac{\alpha}{\lambda^2} \quad \lambda \geq \lambda_p$$

Hình 4. Biểu đồ giảm cường độ thiết kế cho trụ tròn chịu nén uốn theo EC3

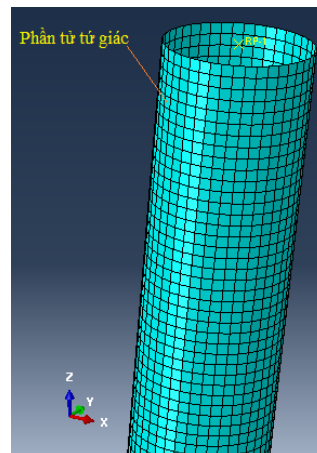
3. Mô phỏng số để đánh giá độ bền ống theo ABAQUS

Ống cần đánh giá độ bền được mô phỏng riêng trong chương trình ABAQUS [12] với một số lưu ý như sau:

- Điều kiện biên: Tạo 2 điểm tham chiếu tại 2 đầu ống lần lượt ký hiệu là RP1 và RP2. Mỗi điểm tham chiếu này được gán tương tác động lực với các điểm trên tiết diện đã chia ở các đầu ống, đảm bảo phân phối phản ứng tại điểm tham chiếu về tiết diện đầu ống tương đương với phản ứng thực tế trên tiết diện đó theo cả 6 bậc tự do (Hình 5). Các điểm tham chiếu được gán 3 chuyển vị thẳng và 3 chuyển vị xoay theo đúng kết quả chuyển vị lấy từ mô hình phân tích tổng thể kết cấu. Theo nguyên tắc của phương pháp PTHH, khi biết đủ các thành phần chuyển vị ở 2 đầu ống là có thể xác định được chuyển vị, nội lực và ứng suất trên ống.



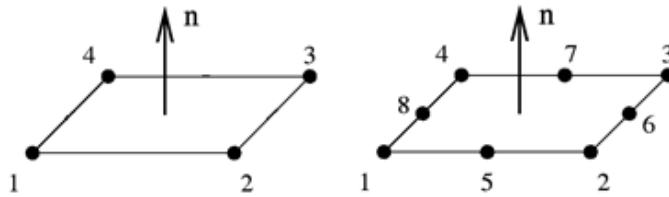
Hình 5. Kết nối giữa điểm tham chiếu và các điểm chia trên tiết diện đầu ống



Hình 6. Chia phần tử với tỷ lệ chiều rộng phần tử/đường kính ống = 0,05

- Do ống trụ tròn không có các vị trí hình học đặc biệt nên lựa chọn sử dụng loại phần tử tấm tứ giác là phù hợp. Có thể lựa chọn loại phần tử 4 nút (S4R) hoặc 8 nút (S8R) tùy theo bài toán cần phân tích (Hình 7). Đối với bài toán có xét đến chuyển vị lớn của tấm vỏ, phần tử 8 nút phù hợp hơn vì có

xét đến sự đối dấu của trường chuyển vị trên phần tử. Dựa trên hàm hình dáng của loại phần tử tam để xác định ma trận độ cứng và trường chuyển vị, ứng suất trên phần tử.



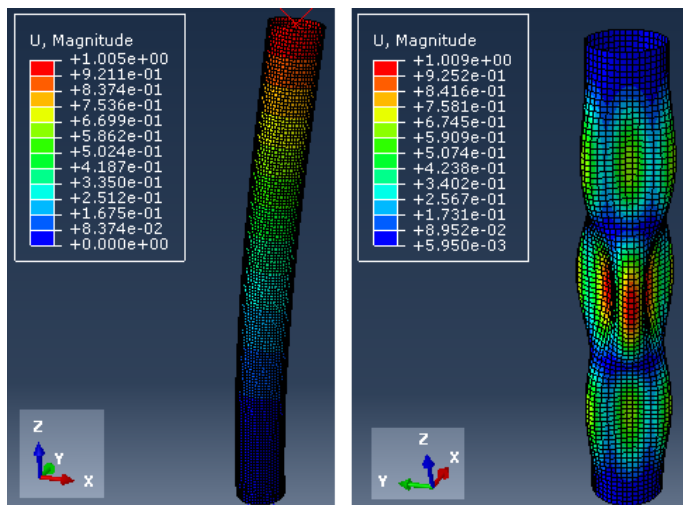
Hình 7. Dạng phần tử tam tứ giác 4 nút và 8 nút trong ABAQUS

- Kích thước chia phần tử được lựa chọn để đảm bảo ứng suất trên tấm sát với ứng suất tính toán theo các công thức sức bền vật liệu cùng xét với mô hình đàn hồi tuyến tính (Hình 6).

Để xác định ứng suất phân bố trên tiết diện ống khi xét đến ảnh hưởng của biến dạng trục thanh và biến dạng trên tiết diện thanh cần thực hiện theo hai bước sau đây:

- Bước 1: Phân tích dạng mất ổn định của phần tử ống (Hình 8). Đối với các ống dài thì thường xảy ra mất ổn định tổng thể theo trục thanh trước. Đối với các ống đường kính và tỷ lệ đường kính/chiều dày lớn thì dạng mất ổn định cục bộ trên tiết diện ống thường xảy ra trước. Đặc biệt đối với những ống có khuyết tật thì dễ xảy ra dạng mất ổn định tại vị trí khuyết tật đó. Đã có nhiều nghiên cứu cho thấy sự phù hợp giữa các dạng mất ổn định theo mô hình số và mô hình vật lý.

- Bước 2: Dựa trên dạng mất ổn định của phần tử ống thực hiện phân tích ứng suất của ống chịu lực thực tế. Trong đó, ống được gán trước một độ lệch hình học để tạo điều kiện ban đầu cho các chuyển vị lệch trục, lệch tâm có thể xảy ra theo các dạng mất ổn định đã xác định.

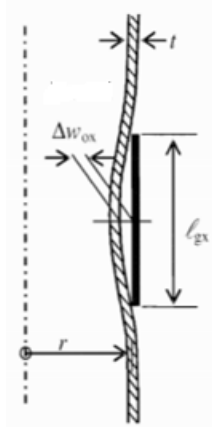


Hình 8. Dạng mất ổn định tổng thể và mất ổn định cục bộ của ống
(Minh họa kết quả trong 1 tính toán của nhóm tác giả)

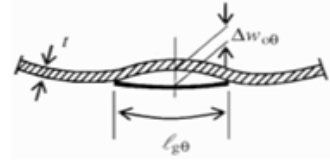
Độ lệch hình học đó có thể là tỷ lệ độ võng so với chiều dài thanh hoặc độ móp bẹp tiết diện so với chiều dày ống (Hình 9, 10). Giá trị của độ lệch này có thể tham khảo trong theo tiêu chuẩn Eurocode [10] tương ứng với các sai số chế tạo trên thực tế. Còn trên lý thuyết, giá trị độ lệch hợp lý sẽ được

xác định thông qua thực nghiệm trên mô hình vật lý. Việc đánh giá chi tiết sự phụ thuộc của kết quả tính vào độ lệch hình học sẽ được quan tâm trong những nghiên cứu tiếp theo.

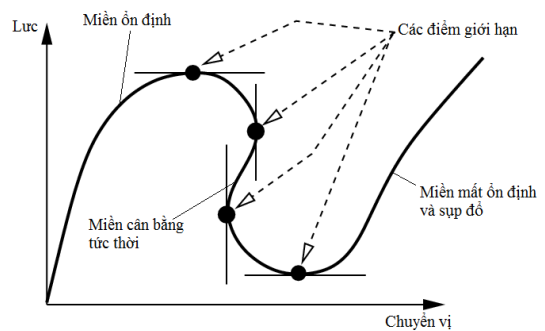
Phương pháp phân tích được lựa chọn là phương pháp Riks [12] để nhận dạng mất ổn định và điều kiện phá hủy ống do mất ổn định khi chịu lực (Hình 11).



Hình 9. Mô hình độ lệch hình học theo trục dọc ống trong tiêu chuẩn EC3 [10]



Hình 10. Mô hình độ lệch hình học trên tiết diện ống trong tiêu chuẩn EC3 [10]



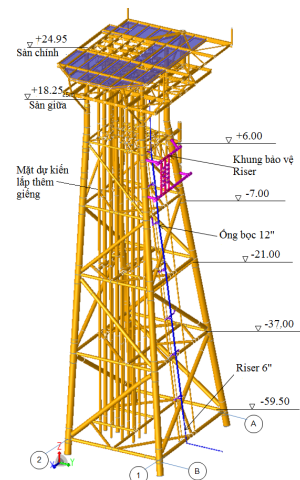
Hình 11. Biểu diễn quan hệ lực chuyển vị khi phân tích theo Riks

4. Đánh giá độ bền của giàn đầu giếng JVPC WHP-C1

4.1. Số liệu giàn JVPC WHP-C1 hiện trạng [13]

Bảng 1. Đặc trưng kết cấu giàn hiện trạng

Thông số (Đơn vị)	Giá trị
Chiều cao công trình (m)	86
Bề rộng đỉnh (m×m)	9,8 × 12,2
Bề rộng đáy (m×m)	25,6 × 21
Tiết diện cọc $D \times t$ (cm×cm)	121,9 × 5,4
Tiết diện ống chính $D \times t$ (cm×cm)	134,5 × 2,5
Tiết diện ống nhánh điển hình $D \times t$ (cm×cm)	91,4 × 2,2; 83 × 2; 71,1 × 1,27
Số lượng đầu giếng hiện trạng	12
Tổng trọng lượng công trình (T)	2155



Hình 12. Cấu tạo kết cấu giàn hiện trạng

Số liệu môi trường thiết kế mỏ Rạng Đông được tóm tắt trong Bảng 2 [13]:

- Chiều dày hà bám lớn nhất là 50 mm tính trong 25 năm;
- Chiều dày ăn mòn lớn nhất khu vực dao động mặt nước -4 m đến +5 m: 6 mm/25 năm.

Bảng 2. Tóm tắt số liệu môi trường thiết kế điển hình

Độ sâu nước tính toán (m)	Biên độ triều cao/thấp (m)	Chiều cao sóng 100 năm (m)	Chu kỳ sóng 100 năm (s)	Vận tốc gió thiết kế 100 năm (m/s)	Vận tốc dòng chảy mặt/đáy (m/s)
57,2	+1,29/-1,55	15,8	10,9	29,6	1,38/0,78

4.2. Phân tích nội lực chuyển vị của kết cấu giàn

Kết cấu giàn được mô hình hóa theo phương pháp Phần tử hữu hạn bằng phần mềm chuyên dụng SACS Ver.5.8. Sơ đồ tính các phương án được thể hiện trong Hình 11. Theo kết quả tính toán, phần tử thanh R504-582L có nội lực lớn nhất sẽ được trích ra để phân tích kiểm tra bền. Nội lực thanh tương ứng với tổ hợp tải trọng không xét hệ số vượt tải theo API và có xét đến hệ số vượt tải theo EC3 được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Tóm tắt kết quả nội lực phần tử R504-582L

Tổ hợp tải trọng	Hệ số vượt tải	Lực dọc N (kN)	Mô men M_x (kNm)	Mô men M_y (kNm)
648	Không xét	-14907,5	553,2	392
658	Theo EC3	-21786,2	856,75	558,38

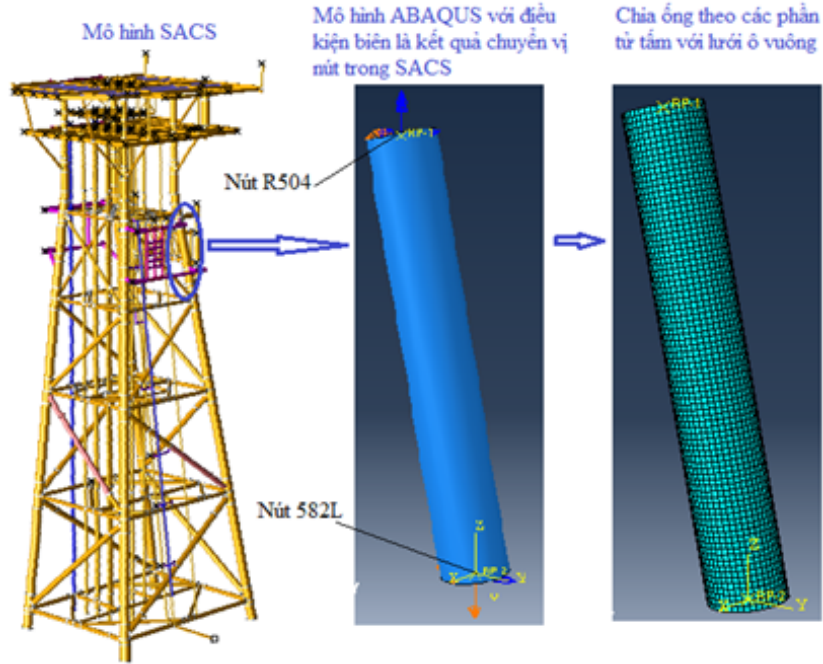
Chuyển vị 2 đầu nút của thanh tương ứng với tổ hợp 658 được cho trong Bảng 4.

Bảng 4. Tóm tắt kết quả chuyển vị nút thanh R504-582L

Chuyển vị	U_x (cm)	U_y (cm)	U_z (cm)	R_x (cm)	R_y (cm)	R_z (cm)
R504	32,6325	-62,9316	-4,1822	0,0034	0,0020	0,0014
582L	30,9216	-59,8796	-2,4449	0,0049	0,0023	0,0007

4.3. Mô phỏng thanh ống trong ABAQUS

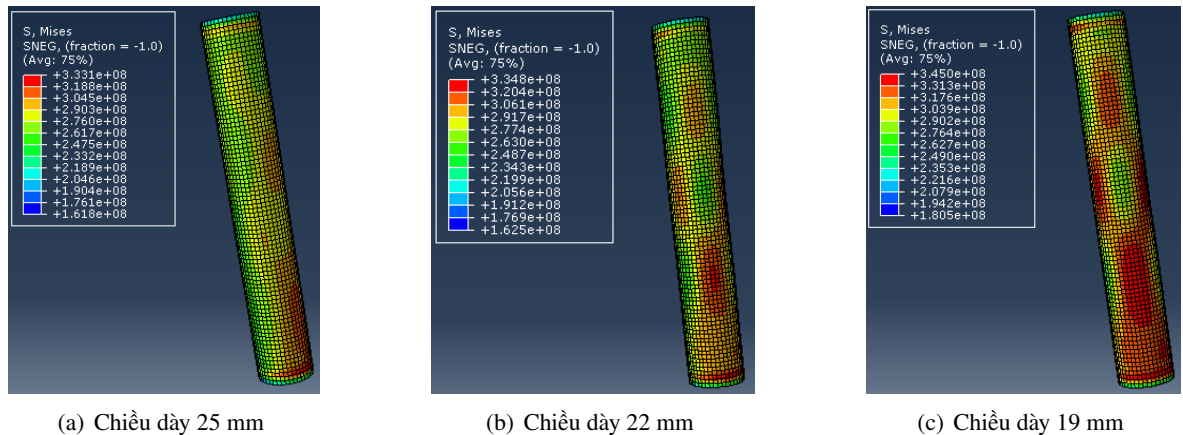
Ống được mô phỏng độc lập trong ABAQUS với kích thước tiết diện ống, chiều dài ống và vật liệu theo đúng thông số trong sơ đồ SACS: $D \times t = 1,33 \times 0,025$ m, $l = 8,6$ m, giới hạn chảy $F_y = 345$ Mpa. Ống được gán điều kiện biên tại các điểm tham chiếu ở hai đầu theo đúng số liệu trong Bảng 4 khi xét với điều kiện có hệ số vượt tải. Ống được chia với lưới ô vuông với tỷ lệ cạnh phần tử/đường kính ống xấp xỉ 1/75. Chi tiết được minh họa trong Hình 13.



Hình 13. Mô phỏng ống bằng chương trình ABAQUS

4.4. Kiểm tra bền theo tiêu chuẩn API, EC3 và ABAQUS

Thanh ống R504-582L có tiết diện $D \times t = 1,33 \times 0,025$ mm. Giả định nội lực trên thanh thay đổi nhỏ khi chiều dày thay đổi. Để khảo sát rõ hơn tương quan giữa kết quả đánh giá theo các tiêu chuẩn và theo ABAQUS ta thực hiện phân tích ứng suất và kiểm tra bền thêm với trường hợp ống có chiều dày 0,022 mm, 0,019 mm. Ứng suất phân tích theo ABAQUS được phân tích theo cả 2 mô hình: Mô hình tuyến tính và mô hình phi tuyến. Trong đó mô hình phi tuyến có kể đến ảnh hưởng của biến dạng trục và tiết diện thanh. Kết quả phân tích ứng suất trên tiết diện ống được thể hiện trên Hình 14 và tóm tắt trong Bảng 5.



Hình 14. Kết quả phân tích ứng suất theo mô hình phi tuyến trong ABAQUS

Bảng 5. Kết quả ứng suất lớn nhất trên thanh ống

D (m)	t (m)	Ứng suất lớn nhất (MPa)			
		Không hệ số vượt tải	Có hệ số vượt tải theo EC3	ABAQUS mô hình tuyến tính	ABAQUS mô hình phi tuyến
1,33	0,025	163,72	242,83	242,9	311,5
1,33	0,022	185,57	275,16	275,4	327
1,33	0,019	214,23	296,89	298	345

Lưu ý: trường hợp a) với ống chiều dày 25 mm, ứng suất lớn nhất là cục bộ tại vị trí đầu nút nên không xét. Do đó giá trị ứng suất lớn nhất được xác định theo dải màu thứ 2. Trường hợp c) với ống chiều dày 19 mm, do khu vực ứng suất đạt đến giới hạn chảy khá lớn nên giá trị ứng suất lớn nhất được lấy bằng giới hạn chảy. Kết quả kiểm tra bền được tóm tắt trong Bảng 6.

Bảng 6. Kết quả kiểm tra bền theo API, EC3 và ABAQUS

Chiều dày ống (mm)	Phương pháp kiểm tra	Ứng suất (MPa)	Ứng suất cho phép (MPa)	Hệ số kiểm tra độ bền UC
t = 25	Theo API (Chịu nén/Chịu uốn)	143,9/19,82	188,6/234,5	0,84
	Theo EC3	242,83	273,2	0,89
	Theo ABAQUS	311,5	345	0,90
t = 22	Theo API (Chịu nén/Chịu uốn)	163,2/22,37	188,3/227,5	0,96
	Theo EC3	275,16	268,86	1,02
	Theo ABAQUS	327	345	0,95
t = 19	Theo API (Chịu nén/Chịu uốn)	188,5/25,73	184,1/224,2	1,14
	Theo EC3	296,89	263,46	1,13
	Theo ABAQUS	345	345	1,00

Nhận xét:

- Kết quả kiểm tra bền theo 3 phương pháp rất tương đồng, độ chênh lệch lớn nhất xấp xỉ 7%. Riêng ở trường hợp cuối cùng, khi phân tích phi tuyến bằng ABAQUS, một phần tử đạt đến giới hạn chảy thì ứng suất không tăng nữa mà ảnh hưởng lan sang các phần tử khác nên ứng suất lớn nhất chỉ đạt bằng giới hạn chảy.

- Kết quả phân tích theo mô hình phi tuyến trong ABAQUS đã phản ánh được sự phân bố ứng suất thực tế khi kể đến biến dạng lớn trên trục thanh và tiết diện thanh, khác với ứng suất tính theo mô hình tuyến tính và theo các tiêu chuẩn. Độ chênh lệch lớn nhất giữa mô hình phi tuyến và tuyến tính xấp xỉ 30%.

- Tỷ lệ gia tăng ứng suất theo mô hình phi tuyến so với mô hình tuyến tính xấp xỉ tỷ lệ độ giảm ứng suất cho phép theo API và cường độ thiết kế theo EC3 so với giới hạn chảy của vật liệu.

- Nếu kết quả kiểm tra theo ABAQUS có kể thêm hệ số an toàn vật liệu = 1,1 đến 1,15 theo EC3 thì sẽ cho kết quả UC lớn nhất, tức là thiên về an toàn.

5. Kết luận

Bài báo đã đạt được một số kết quả như sau:

- Lý giải được sự thống nhất của ba mô hình kiểm tra bền thanh ống khác nhau theo API, EC3 và theo phân tích mô hình phi tuyến bằng chương trình ABAQUS.

- Nghiên cứu cho thấy ứng suất được phân tích theo mô hình phi tuyến cao hơn khá nhiều so với mô hình tuyến tính, trong ví dụ trên là từ 20% đến 30%. Phân tích theo mô hình phi tuyến phản ánh chính xác hơn sự làm việc của kết cấu nên khi sử dụng mô hình này để kiểm tra bền thì không cần giảm ứng suất cho phép theo độ mảnh hay tỷ số đường kính/ chiều dày ống như các tiêu chuẩn đang làm hiện nay.

- Nghiên cứu cho thấy có thể sử dụng trực tiếp mô phỏng số theo mô hình phi tuyến để đánh giá độ bền của kết cấu, không cần qua các công thức trung gian mà vẫn cho kết quả tương đồng.

Kiến nghị một số vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu trong thời gian tới:

- Nghiên cứu sự ảnh hưởng của điều kiện biên, lưới chia phần tử, độ lệch hình học, ... đến sự chính xác của phân bố ứng suất trong mô hình số chi tiết để ứng dụng được trong thực tế.

- Nghiên cứu ứng dụng mô phỏng số theo mô hình phi tuyến để đánh giá độ bền kết cấu trong những trường hợp phức tạp, chưa được quy định trong tiêu chuẩn, ví dụ như cho các ống bị ăn mòn không đều, có lỗ thủng, ... dọc theo tiết diện thanh.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo trong đề tài mã số B2021-XDA-04.

Tài liệu tham khảo

- [1] Chỉnh, V. Đ. (2019). Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Xây dựng.
- [2] API (2007). *Recommended practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms*. American Petroleum Institute Publication RP-2A, Dallas, Texas, USA.
- [3] DnV OS-C101 (2011). *Design of offshore steel structures, general (LRFD method)*. Det Norske Veritas, Norway.
- [4] NORSOK Standard N-004 (2004). *Design of Steel Structures, The Norwegian Oil Industry Association (OLF) and Federation of Norwegian Manufacturing Industries (TBL)*.
- [5] Trình, L. T., Bình, Đ. V. (2005). *Ổn định công trình*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [6] Galambos, T. V., Surovek, A. E. (2008). *Structural Stability of Steel*. John Wiley & Sons, Inc.
- [7] DnV (2012). *Technical Report on Comparison of API, ISO, and Norsok Offshore Structural Standards*. Report No. EP034373-2011-01.
- [8] Manco, T., Martins, J., da Silva, L., Rigueiro, M. (2015). *Comparative assessment of the design of tubular elements according to offshore design standards and Eurocode 3*. 15th International Symposium on Tubular Structures, Rio de Janeiro, Brazil, CRC Press, 245–252.
- [9] Chỉnh, V. Đ. (2020). *Đánh giá ảnh hưởng của các phương án bổ sung thêm giếng khoan đến độ bền của kết cấu giàn đầu giếng hiện hữu*. Tạp chí Khoa học Công Nghệ Xây Dựng (KHCNXD) - ĐHXDHN, 14 (3V):108–117.
- [10] EC 3 (2007). *Design of Steel Structures - Part 1-6: Strength and Stability of Shell Structures*. European Standards.
- [11] EN 1990:2002 (2005). *Eurocode - Basic of Structural Design*. European Standards.
- [12] Dassault Systèmes Simulia Corp (2011). *Abaqus/CAE User's Manual*. USA.
- [13] JVPC (2004). *Jacket In-Place Analysis*. Report No. WHP-C1-S-R-0002 Rev.2.