

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ TỔN THƯƠNG MỎI TÍCH LŨY KẾT CẤU, ỨNG DỤNG CHO TÀU THỦY VÀ CÔNG TRÌNH NỔI

Lê Tuấn Vũ¹, Đỗ Hùng Chiến²

¹ Công ty TNHH Marine Engineering Bluetech Việt Nam

² Viện Hàng Hải Trường Đại học Giao thông vận tải Tp. Hồ Chí Minh,
Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam

1

TỔNG QUAN

2

CƠ SỞ LÝ THUYẾT

3

KẾT QUẢ VÀ PHÂN TÍCH

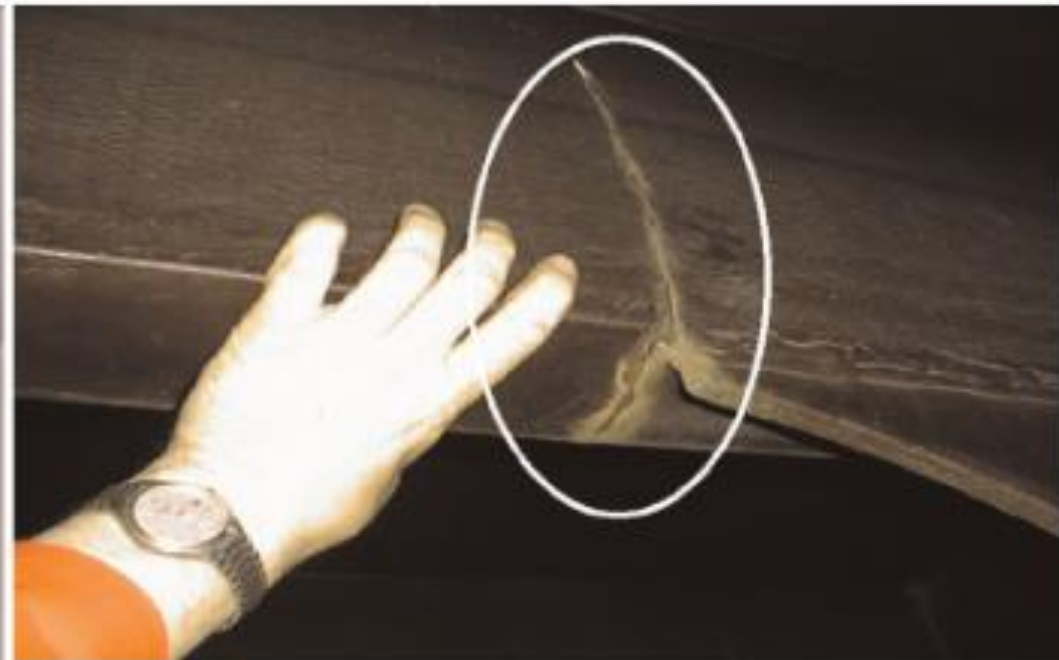
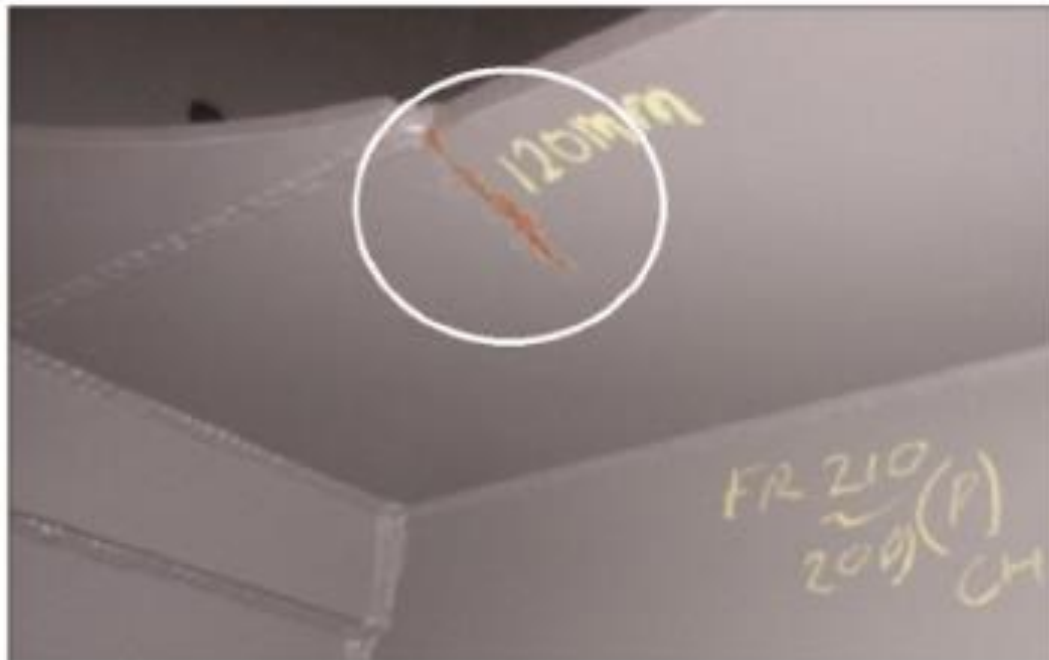
4

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong lĩnh vực hàng hải và công trình biển, độ bền mỏi là một yếu tố cực kỳ quan trọng ảnh hưởng trực tiếp đến tuổi thọ và độ tin cậy của tàu thủy và công trình nổi. Hiện tượng phá hủy mỏi tiềm ẩn nhiều rủi ro, có thể gây ra hậu quả nghiêm trọng về kết cấu, kinh tế và tính mạng con người trên biển.

- **Yếu tố nội tại:** Vật liệu, cấu tạo kết cấu, ứng suất tập trung, khuyết tật.
- **Yếu tố ngoại tại:** Tải trọng tác dụng lên kết cấu, môi trường làm việc (mặn, ẩm, nhiệt độ).



I. TỔNG QUAN

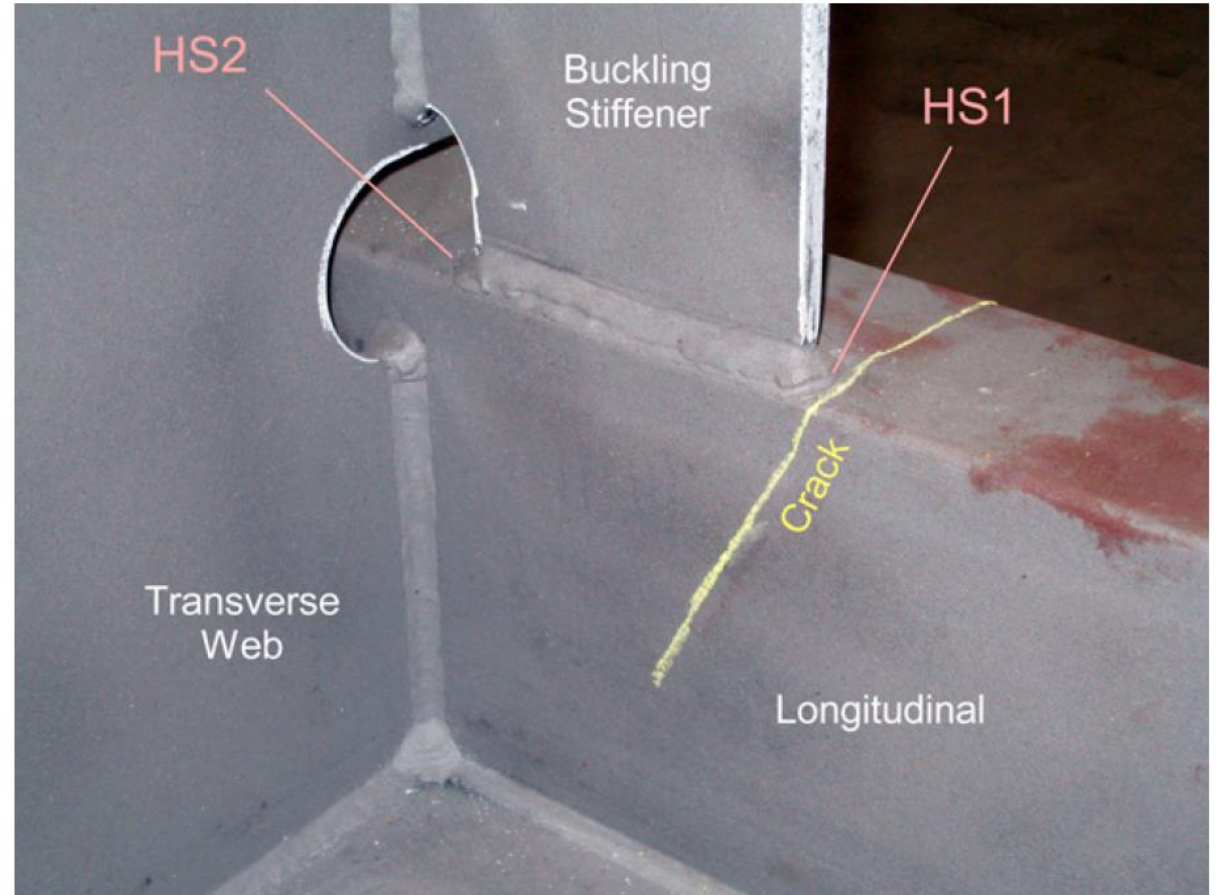
STAIS 2024

Tàu thủy:

- Vùng chuyển tiếp giữa thân tàu và cấu trúc thượng tầng.
- Vùng quanh các lỗ mở (cửa sổ, cửa ra vào).
- Góc cạnh, mối hàn, các vị trí tập trung ứng suất.
- ...

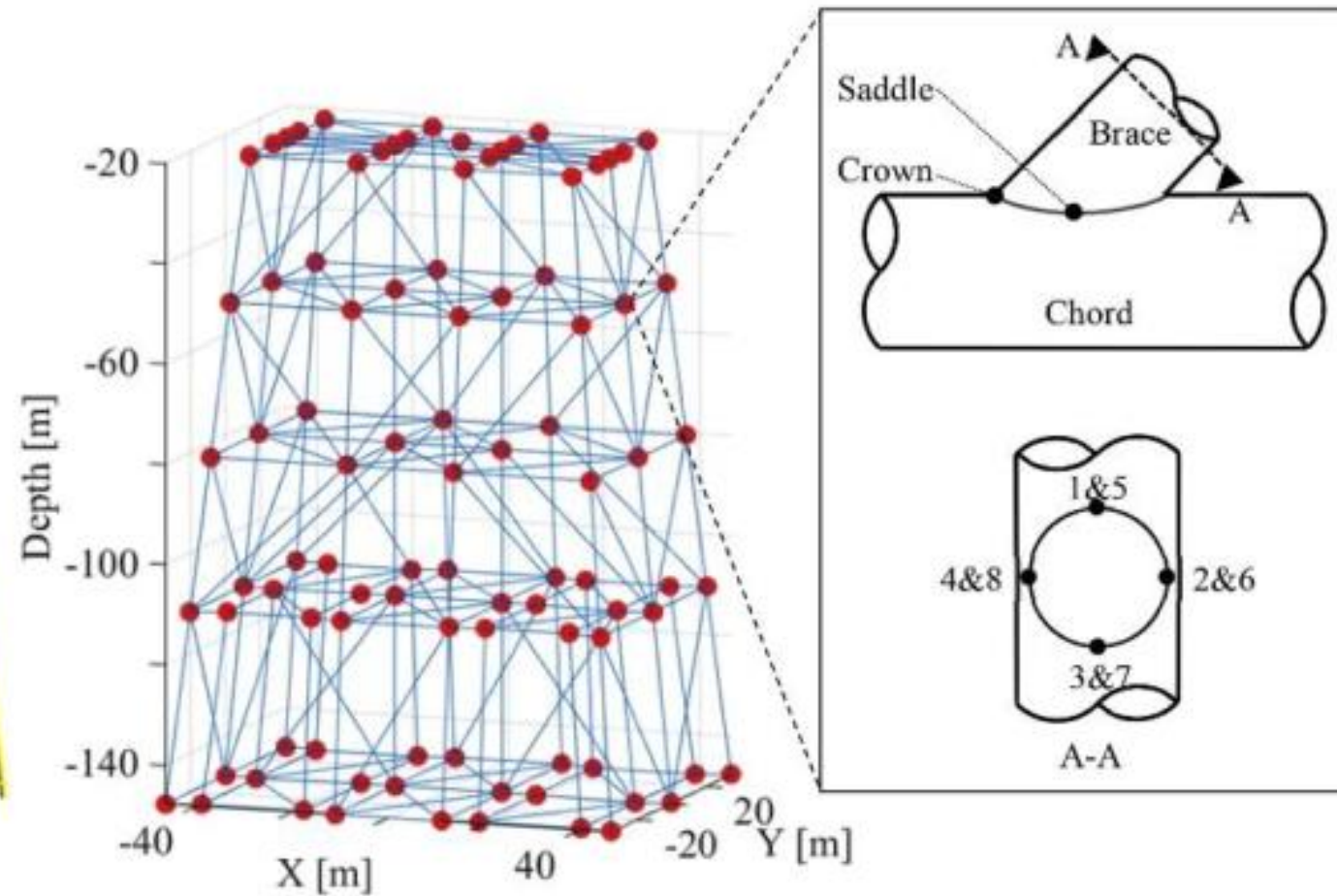
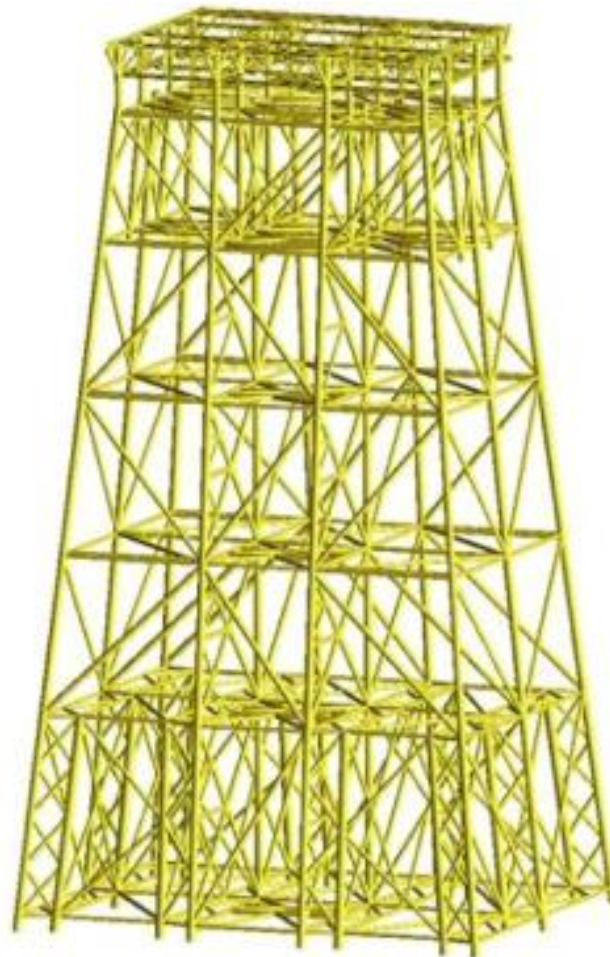
Công trình nổi:

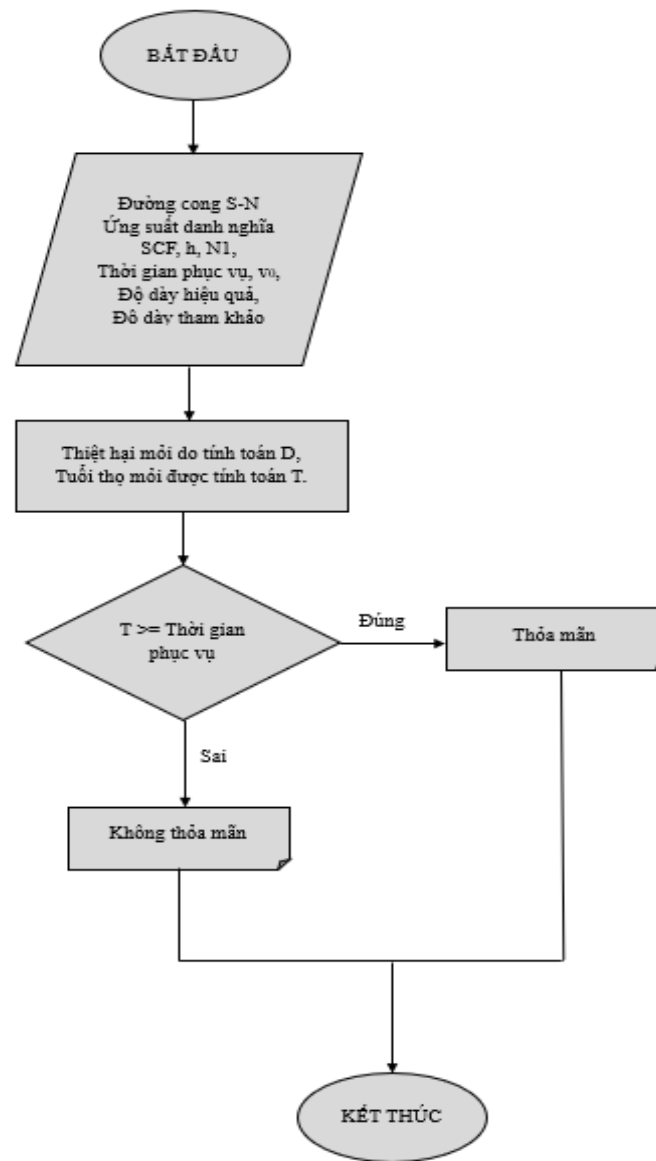
- Chân đế neo đậu.
- Vùng tiếp xúc giữa các thành phần cấu trúc.
- Các vị trí chịu tác động trực tiếp của sóng, gió.
- ...



I. TỔNG QUAN

STAIS 2024





FATIGUE CALCULATION

Đường Cong S-N

B1

Phạm vi ứng suất danh nghĩa (MPa)

90

Hệ số tập trung ứng suất (SCF)

3.1

Hệ số hình dáng weibull

1.1

Chu kỳ tại khớp đường cong S-N

10000000

m1 (N=<N1 chu kỳ)

4

logad1 (N=<N1 chu kỳ)

15.117

m2 (N>N1 chu kỳ)

5

logad2 (N>N1 chu kỳ)

17.146

Thời gian phục vụ (năm)

20

Tần số: v0

0.159

Độ dày hiệu quả (mm)

20

Độ dày tham khảo (mm)

25

Số mũ độ dày k

0

Td = Thời gian phục vụ

Số chu kỳ được tính toán: n0

Hệ số tỉ lệ weibull: q

Độ dày hoặc kích thước được chỉnh sửa

Gamma (1+m1/h)

Gamma (1+m2/h)

Ứng suất tại khớp của đường cong S-N: S1

(S1/q)^h

Phân phối Gamma P((1+m1/h),(S1/q)^h)

Phân phối Gamma P((1+m2/h),(S1/q)^h)

Nhiệt hại mỗi do tính toán: D

Tuổi thọ được tính toán T (years)

1

2

3

4

5

Tính toán

Xuất

	SN	SN5	SN6	SN7	SN8
►	B1	1449.3	1092.2	861.2	704.7
	B2	1268.1	955.7	753.6	616.6
	C	1319.3	919.6	688.1	542.8
	C1	1182	824	616.5	486.2
	C2	1055.3	735.6	550.3	434.1
	D	949.9	662.1	495.4	390.7
	E	843.9	588.3	440.2	347.2
	F	749.2	522.3	390.8	308.2
	F1	664.8	463.4	346.7	273.5
	F3	591.1	412	308.3	243.2
	G	527.6	367.8	275.2	217.1
	W1	475	331	247.8	195.4
	W2	422.1	294.1	220.1	173.6

	SN	SN5	SN6	SN7	SN8
▶	B1	1449.3	1092.2	861.2	704.7
	B2	1268.1	955.7	753.6	616.6
	C	1319.3	919.6	688.1	542.8
	C1	1182	824	616.5	486.2
	C2	1055.3	735.6	550.3	434.1
	D	949.9	662.1	495.4	390.7
	E	843.9	588.3	440.2	347.2
	F	749.2	522.3	390.8	308.2
	F1	664.8	463.4	346.7	273.5
	F3	591.1	412	308.3	243.2
	G	527.6	367.8	275.2	217.1
	W1	475	331	247.8	195.4
	W2	422.1	294.1	220.1	173.6

STT			
1	STT điểm nóng kết cấu	1	2
2	Đường cong S-N	B2	F1
3	Phạm vi ứng suất danh nghĩa (MPa)	131.61	136.75
4	Hệ số tập trung ứng suất	3	1.15
5	Hệ số Weibull: h	1.1	1.1
6	Chu kỳ tại vị trí khớp của đường cong S-N (N _i)	1e7	1e7
7	$m_1 (N \leq N_i)$	4	3
8	$\log a_{i1} (N \leq N_i)$	14.885	11.699
9	$m_2 (N > N_i)$	5	5
10	$\log a_{i2} (N > N_i)$	16.856	14.832
11	Thời gian phục vụ (năm)	20	20
12	Tần số: v ₀	0.159	0.159
13	Độ dày hiệu quả [mm]	30	30
14	Độ dày tham khảo	25	25
15	Số mũ độ dày: k	0	0.25
16	Td = Thời gian phục vụ (năm)	6.31e8	6.31e8
17	Số chu kỳ được tính toán: n ₀	1e8	1e8
18	Hệ số tỉ lệ Weibull được tính toán: q	27.932	11.126
19	Độ dày hoặc kích thước được chỉnh sửa	1	1.047
20	$\Gamma\left(1 + \frac{m_1}{h}\right)$	14.089	4.306
21	$\Gamma\left(1 + \frac{m_2}{h}\right)$	56.331	56.331
22	Ứng suất tại vị trí khớp của đường cong S-N: S ₁	93.594	36.841
23	$(S_i / q)^h$	3.781	3.733
24	Phân phối Gamma $P\left((1 + m_1 / h), (S_i / q)^h\right)$	0.395	0.57
25	Phân phối gamma $P\left((1 + m_2 / h), (S_i / q)^h\right)$	0.242	0.233
26	Thiệt hại môi do tính toán: D	1	1
27	Tuổi thọ được tính toán T [years]	20.006	20.002

BẢNG TÍNH TOÁN THIẾT HẠI MÔI

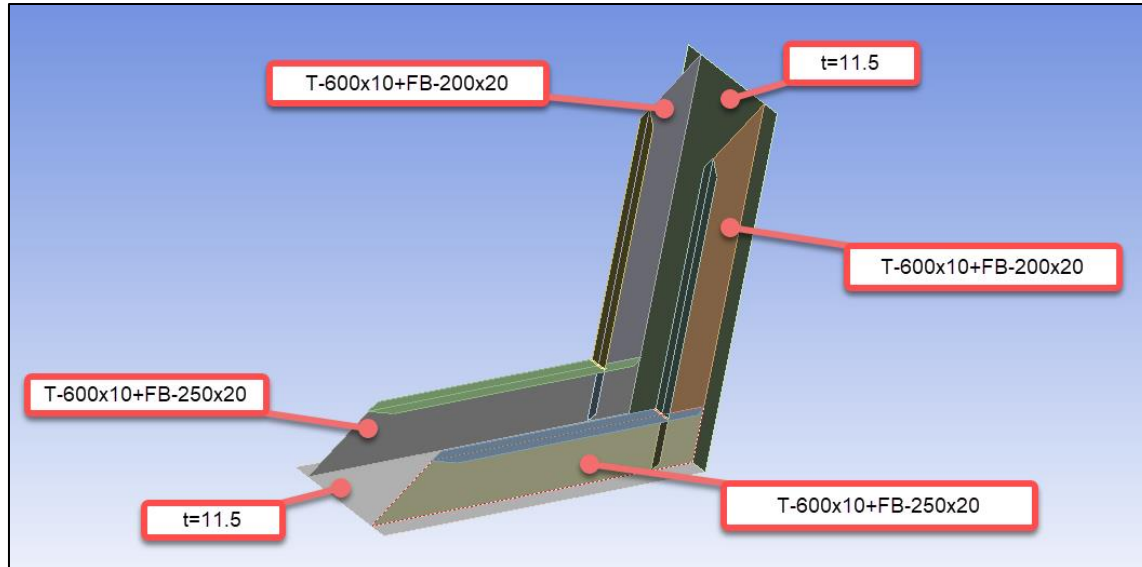
STT	Thông số cần so sánh	Ví dụ	Chương trình	Chênh lệch
1	$m_1 (N \leq N_i)$	4	4	0.00%
2	$\log a_{i1} (N \leq N_i)$	14.885	14.885	0.00%
3	$m_2 (N > N_i)$	5	5	0.00%
4	$\log a_{i2} (N > N_i)$	16.856	16.856	0.00%
5	Số mũ độ dày: k	0	0	0.00%
6	T _d = Thời gian phục vụ (năm)	6.31e8	630720000	0.04%
7	Số chu kỳ được tính toán: n ₀	1e8	100284480	0.28%
8	Hệ số tỉ lệ Weibull được tính toán: q	27.932	27.93	0.01%
9	Độ dày hoặc kích thước được chỉnh sửa	1	1	0.00%
10	$\Gamma\left(1 + \frac{m_1}{h}\right)$	14.089	14.089	0.00%
11	$\Gamma\left(1 + \frac{m_2}{h}\right)$	56.331	56.331	0.00%
12	Ứng suất tại vị trí khớp của đường cong S-N: S ₁	93.594	93.594	0.00%
13	$(S_i / q)^h$	3.781	3.782	0.03%
14	Phân phối Gamma $P\left((1 + m_1 / h), (S_i / q)^h\right)$	0.395	0.395	0.00%
15	Phân phối gamma $P\left((1 + m_2 / h), (S_i / q)^h\right)$	0.242	0.242	0.00%
16	Thiệt hại môi do tính toán: D	1	1.001	0.10%
17	Tuổi thọ được tính toán T [years]	20.006	19.979	0.14%

BẢNG SO SÁNH ĐIỂM NÓNG 1

STT	Thông số cần so sánh	Ví dụ	Chương trình	Chênh lệch
1	$m_1 (N \leq N_i)$	3	3	0.00%
2	$\log a_{i1} (N \leq N_i)$	11.699	11.699	0.00%
3	$m_2 (N > N_i)$	5	5	0.00%
4	$\log a_{i2} (N > N_i)$	14.832	14.832	0.00%
5	Số mũ độ dày: k	0.25	0.25	0.00%
6	T _d = Thời gian phục vụ (năm)	6.31e8	6.31E+08	0.04%
7	Số chu kỳ được tính toán: n ₀	1e8	1E+08	0.28%
8	Hệ số tỉ lệ Weibull được tính toán: q	11.126	11.125	0.01%
9	Độ dày hoặc kích thước được chỉnh sửa	1.047	1.047	0.00%
10	$\Gamma\left(1 + \frac{m_1}{h}\right)$	4.306	4.306	0.00%
11	$\Gamma\left(1 + \frac{m_2}{h}\right)$	56.331	56.331	0.00%
12	Ứng suất tại vị trí khớp của đường cong S-N: S ₁	36.841	36.841	0.00%
13	$(S_i / q)^h$	3.733	3.733	0.00%
14	Phân phối Gamma $P\left((1 + m_1 / h), (S_i / q)^h\right)$	0.57	0.57	0.00%
15	Phân phối gamma $P\left((1 + m_2 / h), (S_i / q)^h\right)$	0.233	0.233	0.00%
16	Thiệt hại môi do tính toán: D	1	1.003	0.30%
17	Tuổi thọ được tính toán T [years]	20.002	19.947	0.28%

BẢNG SO SÁNH ĐIỂM NÓNG 2

MÔ HÌNH TÍNH TOÁN



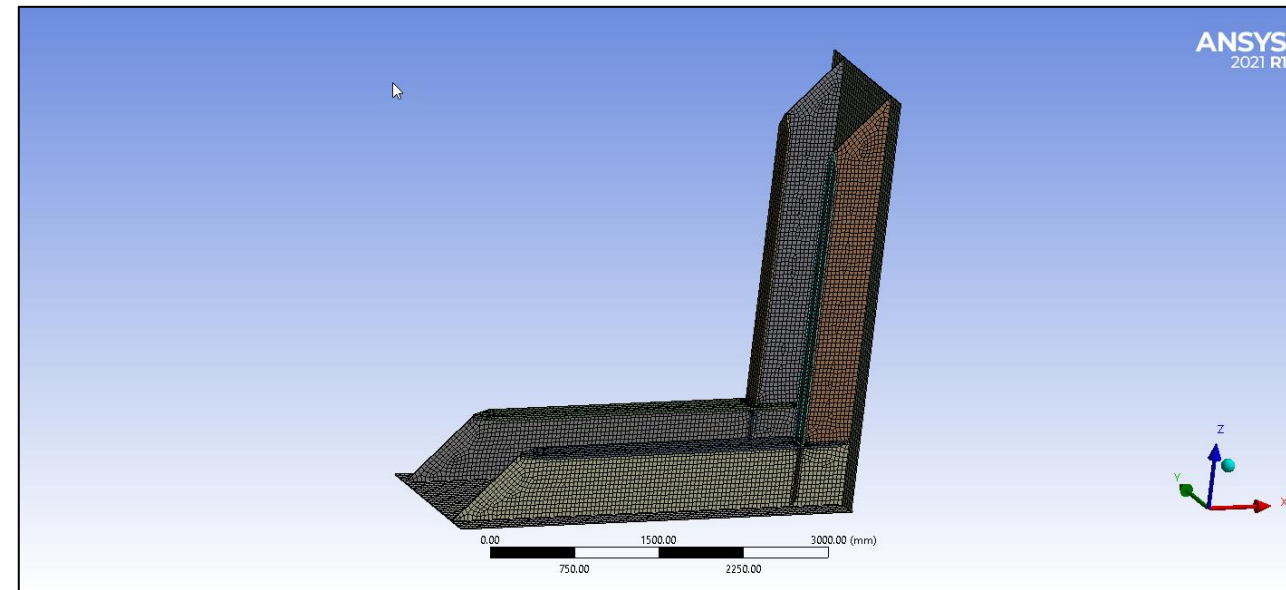
- Ứng suất danh nghĩa (nominal stress):

$$\sigma_{nom} = 29.5 MPa$$

- Ứng suất lớn nhất: $\sigma_{max} = 90 MPa$

- Hệ số tập trung ứng suất:

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nom}} = \frac{90}{29.5} = 3.1$$



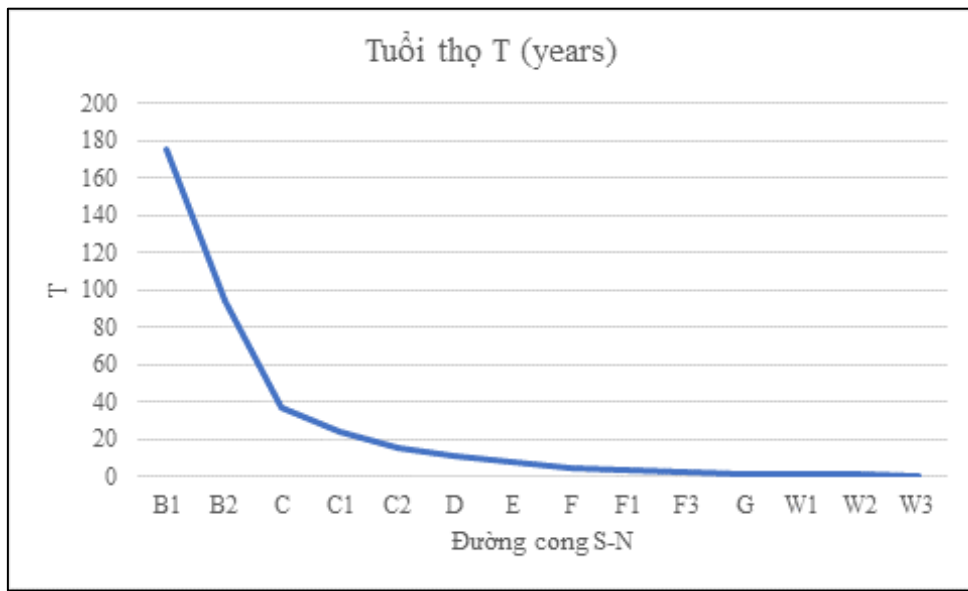
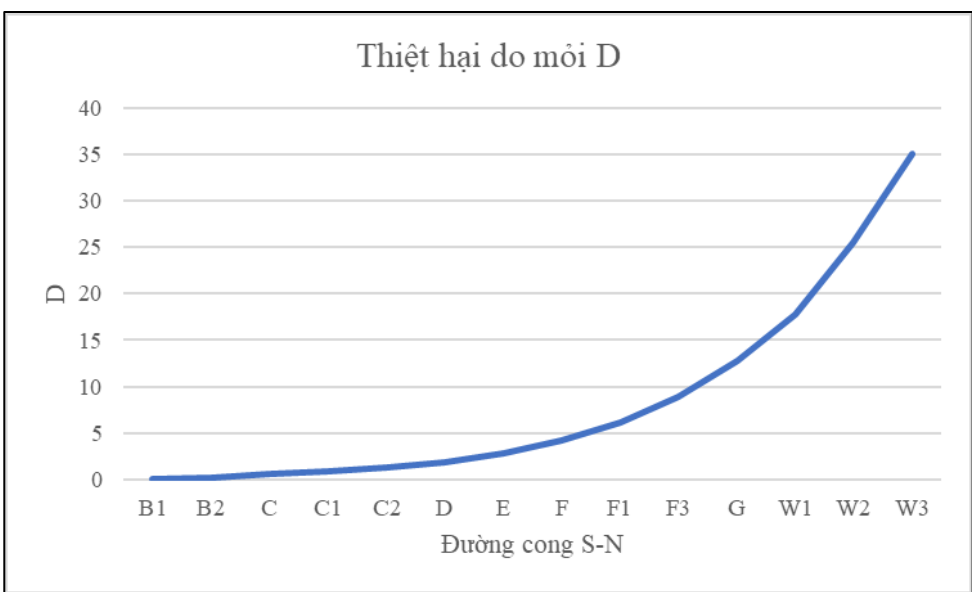
Kết quả tính toán được tính toán theo 2 trường hợp:

- Trường hợp 1: Giữ nguyên hệ số hình dạng Weibull là 1.1, thay đổi các giá trị của đường cong S-N.
- Trường hợp 2: Giữ nguyên đường cong S-N là B1, thay đổi các giá trị của hệ số hình dạng Weibull.

TRƯỜNG HỢP 1

STAIS 2024

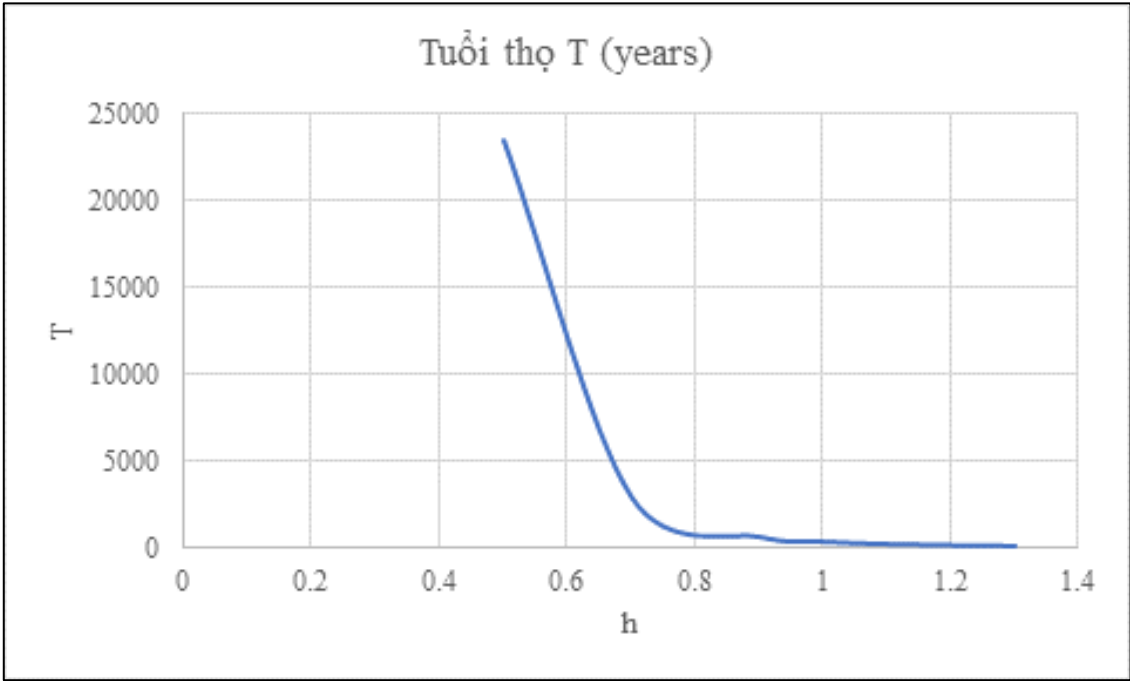
Điểm nóng kết cấu	Đường cong S-N	Hệ số Weibull	Thiệt hại môi do tính toán	Tuổi thọ được tính toán	Đánh giá
1	B1	1.1	0.114	175.755	Thỏa mãn
2	B2	1.1	0.212	94.144	Thỏa mãn
3	C	1.1	0.546	36.637	Thỏa mãn
4	C1	1.1	0.835	23.95	Thỏa mãn
5	C2	1.1	1.272	15.718	Không thỏa mãn
6	D	1.1	1.854	10.786	Không thỏa mãn
7	E	1.1	2.789	7.17	Không thỏa mãn
8	F	1.1	4.157	4.812	Không thỏa mãn
9	F1	1.1	6.142	3.256	Không thỏa mãn
10	F3	1.1	8.939	2.237	Không thỏa mãn
11	G	1.1	12.772	1.566	Không thỏa mãn
12	W1	1.1	17.703	1.13	Không thỏa mãn
13	W2	1.1	25.461	0.786	Không thỏa mãn
14	W3	1.1	35.1	0.57	Không thỏa mãn



TRƯỜNG HỢP 2

STAIS 2024

Đường cong S-N	Hệ số Weibull	Số năm phục vụ	Tổn thương mỗi D	Tuổi thọ mỗi T	Đánh giá
B1	0.5	20	0.001	23465	Thỏa mãn
B1	0.7	20	0.007	2875	Thỏa mãn
B1	0.9	20	0.034	589.27	Thỏa mãn
B1	1	20	0.065	309.54	Thỏa mãn
B1	1.1	20	0.114	175.755	Thỏa mãn
B1	1.2	20	0.188	106.526	Thỏa mãn
B1	1.3	20	0.293	68.223	Thỏa mãn



- Xây dựng được chương trình hỗ trợ tính toán, dựa trên ngôn ngữ C# với sự hỗ trợ của Visual Studio phiên bản Community 2022. Chương trình tính toán được xây dựng có sự chênh lệch với ví dụ từ tính toán thực tế không quá 0.3%. Điều này chứng minh được rằng, chương trình đủ độ tin cậy để thực hiện các tính toán nhằm phân tích độ bền mỗi kết cấu.

- Bài báo cũng đã có những đánh giá về các yếu tố tác động đến độ bền mỗi của kết cấu, tuổi thọ của kết cấu cụ thể qua 2 trường hợp tính toán.

- Trường hợp 1 giữ nguyên hệ số hình dạng Weibull là 1.1, thay đổi các giá trị của đường cong S-N. Với cùng điều kiện số năm phục vụ của kết cấu là 20 năm, trường hợp 1 cho thấy giá trị của tuổi thọ mỗi chịu ảnh hưởng bởi việc lựa chọn đường cong S-N, khi chọn đường cong C2 hoặc lớn hơn, tuổi thọ mỗi giảm xuống dưới 20 năm, điều này chứng minh được sự quan trọng trong việc lựa chọn đúng đường cong S-N trong việc phân tích và xác định tuổi thọ mỗi kết cấu.
- Trường hợp 2 giữ nguyên đường cong S-N là B1, thay đổi các giá trị của hệ số hình dạng Weibull. Tương tự với cùng điều kiện số năm phục vụ là 20 năm, trường hợp 2 cũng cho thấy sự ảnh hưởng bởi việc lựa chọn hệ số hình dạng Weibull trong việc phân tích và xác định tuổi thọ mỗi kết cấu. Trường hợp này tuy không có giá trị tuổi thọ mỗi tính toán dưới 20 năm, tuy nhiên kết quả cho thấy giá trị của tuổi thọ mỗi kết cấu giảm dần từ 23465 năm khi chọn hệ số Weibull 0.5 về 68.223 năm khi chọn hệ số Weibull 1.3.

Chương trình hỗ trợ tính toán đang được xây dựng một cách đơn giản, tiếp tục phát triển xây dựng theo hướng đa nhiệm hơn:

- Có thể xuất ra được đồ thị để hạn chế các bước tính toán dựa trên những phần mềm khác.
- Có thể mở rộng tính toán thêm các thông số trong từng sự thay đổi để có được phổ thay đổi rộng hơn và có cái nhìn tổng thể hơn trong việc xác định sự ảnh hưởng của các yếu tố đến độ bền mỗi kết cấu.
 - Ví dụ trong trường hợp 2, chỉ tính toán trong điều kiện lựa chọn đường cong S-N là B1, có thể mở rộng tính toán cho các giá trị đường cong S-N khác để có nhiều hơn các kết quả để so sánh và phân tích.
 - Xây dựng thêm các trường hợp phân tích khác như giữ nguyên một đường cong S-N và hệ số Weibull, đồng thời thay đổi hệ số tập trung ứng suất để xác định ảnh hưởng của hệ số này trong việc phân tích mỏi.

THANK YOU FOR WATCHING

Mail :

vu.le@bluetechfinland.com

chien.do@ut.edu.vn

2 Structural modelling

2.1 General

2.1.1 The fine mesh analysis may be carried out by means of a separate local finite element model with fine mesh zones, in conjunction with the boundary conditions obtained from the partial ship FE model or global FE model. Alternatively, fine mesh zones may be incorporated into the partial ship model.

2.1.2 Model extent

The extent of the local finite element models shall be such that the calculated stresses at the areas of interest are not significantly affected by the imposed boundary conditions and application of loads.

2.1.3 Fine mesh zone

The fine mesh zone shall represent the localized area of high stress. The finite element mesh size within the fine mesh zones shall be not greater than 50 mm × 50 mm. In general, the extent of the fine mesh zone shall not be less than 10 elements in all directions from the area under investigation.

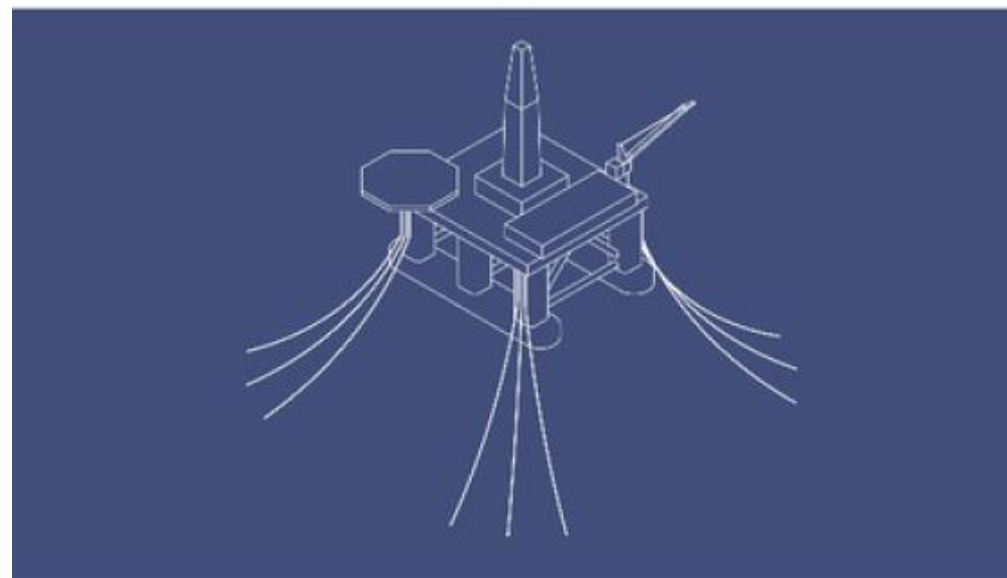
S-N curve	$N \leq 10^7$ cycles		$N > 10^7$ cycles $\log \bar{a}_2$ $m_2 = 5.0$	Fatigue limit at 10^7 cycles [MPa] *)	Thickness exponent k	Structural stress concentration embedded in the detail (S-N class), see also equation (2.3.2)
	m_1	$\log \bar{a}_1$				
B1	4.0	15.117	17.146	106.97	0	
B2	4.0	14.885	16.856	93.59	0	
C	3.0	12.592	16.320	73.10	0.05	
C1	3.0	12.449	16.081	65.50	0.10	
C2	3.0	12.301	15.835	58.48	0.15	
D	3.0	12.164	15.606	52.63	0.20	1.00
E	3.0	12.010	15.350	46.78	0.20	1.13
F	3.0	11.855	15.091	41.52	0.25	1.27
F1	3.0	11.699	14.832	36.84	0.25	1.43
F3	3.0	11.546	14.576	32.75	0.25	1.61
G	3.0	11.398	14.330	29.24	0.25	1.80
W1	3.0	11.261	14.101	26.32	0.25	2.00
W2	3.0	11.107	13.845	23.39	0.25	2.25
W3	3.0	10.970	13.617	21.05	0.25	2.50

Table 10.1. Calculation sheet for fatigue damage with bilinear S-N curves

Cell		D	E	Comments
3	Hot Spot no.	1	2	Input in cells no. 4-17
4	S-N curve	B2	F1	Reference is made to DNVGL-RP-C203
5	Nominal stress range [MPa]	131.61	136.75	Maximum allowable stress range during n_0 cycles
6	Hot spot stress factor	3.00	1.15	Additional SCF
7	Weibull: h	1.10	1.10	Weibull shape parameter
8	Cycles at knee in S-N curve N_1	1.E+07	1.E+07	Number of cycles at knee in S-N curve N_1
9	m_1 ($N = <N_1$ cycles)	4.0	3.0	Input design S-N data from DNVGL-RP-C203
10	\log_{a1} ($N = <N_1$ cycles)	14.885	11.699	
11	m_2 ($N > N_1$ cycles)	5.0	5.0	
12	\log_{a2} ($N > N_1$ cycles)	16.856	14.832	
13	Years in service	20.0	20.0	
14	Zero up-crossing frequency: v_0	0.159	0.159	Inverse of the mean load response period
15	Effective thickness [mm]	30.0	30.0	Effective plate thickness for calculation of size effect
16	Reference thickness	25.0	25.0	
17	Thickness exponent k	0.00	0.25	
18	T_d = Time in service (in years) · 60 · 60 · 24 · 365	6.31E+08	6.31E+08	Service life in seconds
19	Calculated number of cycles: n_0	1.00E+08	1.00E+08	Based on service life and the mean load response
20	Calculated Weibull scale parameter: q	27932	11.126	
21	Thickness or size correction	1.000	1.047	Calculated size correction
22	$\Gamma(1+m_1/h)$	14.089	4.306	
23	$\Gamma(1+m_2/h)$	56.331	56.331	
24	Stress at knee in S-N curve: S_1	93.594	36.841	
25	$(S_1/q)^h$	3.781	3.733	
26	Gamma distribution $P((1+m_1/h) \cdot (S_1/q)^h)$	0.395	0.570	
27	Gamma distribution $P((1+m_2/h) \cdot (S_1/q)^h)$	0.242	0.233	
28	Calculated fatigue damage: D	1.000	1.000	
29	Calculated life time T [years]	20.006	20.002	

FATIGUE DESIGN

of MARINE STRUCTURES



Inge Lotsberg