

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG**

**ĐỀ TÀI KH&CN CẤP BỘ XÂY DỰNG:
NGHIÊN CỨU LỰA CHỌN GIẢI PHÁP VÀ XÂY DỰNG CHỈ
DẪN THIẾT KẾ, THI CÔNG KẾT CẤU TUABINE PHÁT ĐIỆN
SỨC GIÓ ĐƯỢC XÂY DỰNG Ở VIỆT NAM**

MÃ SỐ: RD 56-19

**SẢN PHẨM 5: CHỈ DẪN THIẾT KẾ, THI CÔNG,
NGHIỆM THU CÁC KẾT CẤU CÔNG TRÌNH TRỤ ĐỠ
BẰNG THÉP XÂY DỰNG NGOÀI BIỂN**

Cơ quan thực hiện: Trường Đại học Xây dựng

Địa điểm: 55 đường Giải Phóng, Hà Nội

Chủ nhiệm đề tài: TS. Mai Hồng Quân

Hà Nội, năm 2021

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG**

**ĐỀ TÀI KH&CN CẤP BỘ XÂY DỰNG:
NGHIÊN CỨU LỰA CHỌN GIẢI PHÁP VÀ XÂY DỰNG CHỈ
DẪN THIẾT KẾ, THI CÔNG KẾT CẤU TUABINE PHÁT ĐIỆN
SỨC GIÓ ĐƯỢC XÂY DỰNG Ở VIỆT NAM**

MÃ SỐ: RD 56-19

**SẢN PHẨM 5: CHỈ DẪN THIẾT KẾ, THI CÔNG,
NGHIỆM THU CÁC KẾT CẤU CÔNG TRÌNH TRỤ ĐỠ
BẰNG THÉP XÂY DỰNG NGOÀI BIÊN**

Cơ quan thực hiện: Trường Đại học Xây dựng

Địa điểm: 55 đường Giải Phóng, Hà Nội

Chủ nhiệm đề tài: TS. Mai Hồng Quân

Chủ nhiệm đề tài

Cơ quan chủ trì

Hà Nội, năm 2021

Mục lục

Chương 1: Lựa chọn tiêu chuẩn và biên soạn chỉ dẫn thiết kế, thi công nghiệm thu kết cấu các công trình turbine gió xây dựng ở Việt Nam	6
1.1. Lựa chọn tiêu chuẩn cho công trình điện gió.....	6
1.1.1. Các tiêu chuẩn quốc tế dùng cho công trình điện gió	6
1.1.2. Lựa chọn các tiêu chuẩn thiết kế công trình điện gió.....	9
2.1. Chỉ dẫn thiết kế các công trình điện gió	10
2.1.1. Phương pháp thiết kế cho kết cấu điện gió	10
2.1.2. Phân loại an toàn của kết cấu đỡ turbine gió.....	11
2.1.3. Các trạng thái giới hạn dùng trong thiết kế kết cấu.....	11
2.1.4. Thiết kế theo phương pháp hệ số an toàn từng phần.....	12
2.1.5. Thiết kế bằng cách mô phỏng trực tiếp tác dụng tổ hợp của các quá trình tải trọng xảy ra đồng thời 18	
2.1.6. Thiết kế bằng thử nghiệm	20
2.1.7. Thiết kế dựa trên xác suất	20
2.2. Tải trọng tác động lên Turbin và kết cấu đỡ.....	21
2.2.1. Tình huống thiết kế và các trường hợp tải trọng	21
2.2.1.1. Tình huống thiết kế.....	21
2.2.1.2. Các điều kiện tác động của gió.....	22
2.2.2. Các mô hình Gió và các trường hợp tải trọng cho kết cấu trên bờ.....	22
2.2.3. Các trường hợp tải trọng thiết kế điện gió trên bờ.....	26
2.2.4. Các thành phần tải trọng tác động lên turbine.....	30
2.2.5. Các trường hợp tải trọng thiết kế turbine gió trên bờ.....	34
2.2.6. Tính toán tải trọng gió	36
2.2.6.1. Mô hình tác động của gió	37
2.2.6.2. Mô hình khí động học gió lên cánh turbine.....	40
2.2.7. Quy trình tính toán bằng phương pháp phần tử cánh.....	44
2.3. Thiết kế kết cấu trụ tháp điện gió trên bờ	48
2.3.1. Trường hợp tải trọng thiết kế tháp.....	49
2.3.1.1. Tải trọng thiết kế	50
2.3.2. Các bài toán chính kiểm tra trụ tháp.....	50
2.3.2.1. Hiệu ứng động và sự cộng hưởng.....	50
2.3.2.2. Tính toán chuyển vị cực hạn của cánh.....	52
2.3.3. Tháp hình ống.....	53
2.3.3.1. Tải trọng và hiệu ứng tải trọng	53

2.3.3.2. Tải trọng cực hạn.....	55
2.3.3.3. Tải trọng môi.....	55
2.3.3.4. Sự rung động do dòng xoáy.....	55
2.3.3.5. Mối nối hàn.....	56
2.3.3.6. Tập trung ứng suất gần cửa sập và cửa ra vào.....	59
2.3.3.7. Phân tích ổn định.....	59
2.3.3.8. Kết nối mặt bích.....	61
Chương 4: Chỉ dẫn thiết kế nền móng.....	64
4.1. Kết cấu Móng.....	64
4.1.1. Khảo sát địa chất.....	65
4.1.2. Khuyến cáo cho móng trọng lực.....	66
4.1.3. Khuyến cáo cho kết cấu móng cọc.....	67
4.2. Kết cấu móng trọng lực.....	67
4.2.1. Công thức tính khả năng chịu lực.....	68
4.3. Kết cấu Móng cọc.....	74
4.3.1.1. Sức kháng của nền đất trường hợp đài cọc chìm trong đất.....	84
4.3.2. Độ cứng của móng.....	85
4.4. Đặc tính kỹ thuật của bê tông cốt thép.....	91
4.4.1. Bài toán môi.....	92
Chương 5: Chỉ dẫn thiết kế kết cấu điện gió biển.....	96
5.1. Tải trọng và tác động.....	96
5.2. Chế độ gió, mô hình gió.....	97
5.3. Điều kiện hải văn biển.....	98
5.4. Đánh giá cộng hưởng.....	106
5.5. Cao độ sàn công tác.....	108
5.6. Yêu cầu về chuyển vị.....	109
5.7. Tổ hợp tải trọng thiết kế.....	110
5.8. Thiết kế kết cấu.....	111
5.9. Trạng thái giới hạn cực hạn - phần tử ống, liên kết ống và chuyển tiếp hình nón.....	119
5.10. Các mối nối ống.....	122
5.11. Trạng thái giới hạn cực hạn - dầm, cột và khung không phải hình ống.....	124
5.12. Trạng thái giới hạn cực hạn - kết cấu tấm.....	125
5.13. Trạng thái giới hạn cực hạn - kết cấu tháp giàn, giàn và khớp nối.....	126
5.14. Mối nối.....	128

Các khớp nối hình ống	138
5.15. Thiết kế trạng thái giới hạn môi - quy định chung.....	138
5.16. Trạng thái giới hạn môi - Liên kết Bu lông.....	151
5.17. Thiết kế theo trạng thái giới hạn sự cố.....	158
5.18. Bảo vệ chống ăn mòn.....	161
Chương 6: Thi công chế tạo các công trình điện gió.....	162
6.1. Quy trình thi công các công trình điện gió	162
6.2. Chỉ dẫn công tác chế tạo.....	162
6.2.1. Công tác Hàn.....	162
6.2.2. Chế tạo kết cấu thép	162
6.3. Công tác lắp đặt kết cấu trên biển.....	166
6.4. Công tác Hạ thủy	174
6.5. Vận chuyển trên biển.....	175
6.6. Công tác lai dặt	176
6.7. Lắp đặt nền móng	177

Chương 1: Lựa chọn tiêu chuẩn và biên soạn chỉ dẫn thiết kế, thi công nghiệm thu kết cấu các công trình turbine gió xây dựng ở Việt Nam

1.1. Lựa chọn tiêu chuẩn cho công trình điện gió

1.1.1. Các tiêu chuẩn quốc tế dùng cho công trình điện gió

Các tiêu chuẩn của DNV GL

DNV Classification Notes 30.6 Structural Reliability Analysis of Marine Structures :

Phân tích độ tin cậy cho kết cấu công trình biển

DNV-RP-C201 Buckling Strength of Plated Structures: Khả năng chống mất ổn định của kết cấu tấm

DNVGL-CG-0051 Non-destructive testing : Thí nghiệm kiểm tra không phá hủy

DNVGL-OS-B101 Metallic materials: Vật liệu kim loại

DNVGL-OS-C101 Design of offshore steel structures, general - LRFD method: Quy định chung thiết kế kết cấu công trình biển bằng thép- Phương pháp hệ số tải trọng và khả năng chịu lực

DNVGL-OS-C401 Fabrication and testing of offshore structures: Chế tạo và thí nghiệm kết cấu công trình biển

DNVGL-RP-0360 Subsea power cables in shallow water: Cáp điện ngầm trong vùng biển nông

DNVGL-RP-0416 Corrosion protection for wind turbines: Bảo vệ ăn mòn cho turbine gió biển

DNVGL-RP-0419 Analysis of grouted connections using the finite element method: Phân tích kết cấu bơm trám bằng phần tử hữu hạn

DNVGL-RP-C202 Buckling strength of shells: Mất ổn định của kết cấu vỏ

DNVGL-RP-C203 Fatigue design of offshore steel structures: Thiết kế mỏi cho kết cấu thép ngoài biển

DNVGL-RP-C204 Design against accidental loads: Thiết kế chống tải trọng sự cố

DNVGL-RP-C205 Environmental conditions and environmental loads: Điều kiện và tải trọng môi trường

DNVGL-RP-C207 Statistical representation of soil data: Trình bày thống kê số liệu nền đất

DNVGL-RP-C208 Determination of structural capacity by non-linear finite element analysis methods: Xác định khả năng chịu lực của kết cấu bằng phân tích phi tuyến

DNVGL-RP-C210 Probabilistic methods for planning of inspection for fatigue cracks in offshore structures: Phương pháp xác suất lập kế hoạch khảo sát vết nứt kết cấu ngoài khơi

DNVGL-RP-C212 Offshore soil mechanics and geotechnical engineering: Cơ đất và địa kỹ thuật kết cấu công trình biển

DNV-OS-J103 Design of Floating Wind Turbine Structures – Thiết kế kết cấu tuabine phong điện nổi

DNVGL-RP-0363 Extreme temperature conditions for wind turbines – Kết cấu tuabine gió trong điều kiện nhiệt độ cao

DNVGL-ST-0126 Support structures for wind turbine – Kết cấu đỡ tuabine gió

DNVGL-ST-0262 Lifetime extension of wind turbines : Kéo dài tuổi thọ cho tuabine gió

DNVGL-ST-0361 Machinery for wind turbines: Hệ thống máy tuabine gió

DNVGL-ST-0376 Rotor blades for wind turbines: Cánh tuabine gió

DNVGL-ST-0438 Control and protection systems for wind turbine: Hệ thống Kiểm soát và bảo vệ tuabine gió

DNVGL-ST-0054 Transport and installation of wind power plants: Vận chuyển và lắp đặt nhà máy điện gió

DNVGL-ST-0119 Floating wind turbine structures; Kết cấu điện gió nổi

DNVGL-ST-0145 Offshore substations: Trạm biến áp biển

DNVGL-ST-0359 Subsea power cables for wind power plants: Hệ thống cáp điện ngầm dưới biển

DNVGL-ST-0437 Loads and site conditions for wind turbines: Các loại tải trọng và điều kiện môi trường tác dụng lên tuabine gió

DNVGL-ST-C502 Offshore concrete structures: Kết cấu công trình biển bằng BTCT

DNVGL-ST-N001 Marine operations and marine warranty: Hoạt động và đảm bảo hàng hải

Các tiêu chuẩn của IEC

IEC 61400-1 Wind Turbines – Part 1: Design requirements : Tuabine gió - Phần 1: các yêu cầu thiết kế

IEC 61400-3 Wind Turbines – Part 3: Design requirements for offshore wind turbines : Tuabine gió – Phần 3: Các yêu cầu đối với tuabine gió biển

Các tiêu chuẩn của ISO và API

ISO 19906 Petroleum and natural gas industries. Arctic offshore structures

Table 1-4 Other documents

EN 1991-1-4 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions : Tải trọng gió tác dụng lên kết cấu

EN 1998-1 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings: Thiết kế kết cấu trong vùng có động đất – Phần 2: Các quy tắc chung, tác động của động đất và yêu cầu thiết kế cho công trình

API RP 2A-LRFD - Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms, Load and Resistance Factor Design,

API RP 2A-LRFD-S1 - Recommended Practice for Supplement 1 to Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms-Load and Resistance Factor Design,

API RP 2A-WSD - Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design,

API RP 2A-WSD-S2 - Recommended Practice for Errata/Supplement 2 to Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design,

API Spec 2B - Specification for Fabrication of Structural Steel Pipe,

API RP 2FB - Recommended Practice for Design of Offshore Facilities Against Fire and Blast Loading,

API RP 2FPS - Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Floating Production Systems,

API RP 2N - Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Structures and Pipelines for Arctic Conditions,

API RP 2RD - Recommended Practice for Design of Risers for Floating Production Systems (FPSs) and Tension-leg Platforms (TLPs),

API RP 2SK - Recommended Practice for Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures,

API RP 2T - Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Tension-leg Platforms,

API Bull 2V - Bulletin for Design of Flat Plate Structures,

Các tiêu chuẩn cho công trình biển ở Việt Nam

- TCVN 6170-1 : 2017 Giàn cố định trên biển - Phần 1: Quy định chung;
- TCVN 6170-2 : 2017 Giàn cố định trên biển - Phần 2: Điều kiện và tải trọng môi trường;
- TCVN 6170-4 : 2017 Giàn cố định trên biển - Phần 4: Thiết kế kết cấu thép;
- TCVN 6170-5 : 1999 Công trình biển cố định - Kết cấu - Phần 5: Thiết kế kết cấu hợp kim nhôm;
- TCVN 6170-6 : 2019 Giàn cố định trên biển - Phần 6: Thiết kế kết cấu bê tông cốt thép;
- TCVN 6170-7 : 2019 Giàn cố định trên biển - Phần 7: Thiết kế móng;
- TCVN 6170-8 : 2020 Giàn cố định trên biển - Phần 8: Hệ thống chống ăn mòn;
- TCVN 6170-9 : 2019 Giàn cố định trên biển - Phần 9: Giàn thép kiểu Jacket;
- TCVN 6170-10 : 2019 Giàn cố định trên biển - Phần 10: Giàn trọng lực bê tông;
- TCVN 6170-11 : 2020 Giàn cố định trên biển - Phần 11: Chế tạo;
- TCVN 6170-12 : 2020 Giàn cố định trên biển - Phần 12: Vận chuyển và Dựng lắp.

1.1.2. Lựa chọn các tiêu chuẩn thiết kế công trình điện gió

Trên thế giới thì các hệ thống tiêu chuẩn của DnV trước đây và bây giờ là DnV- GL và hệ thống tiêu chuẩn API, ISO được sử dụng rộng rãi nhất đối với các công trình xây dựng biển. Đối với các công trình điện gió trên bờ và Điện gió xây dựng ngoài khơi thì hệ thống DnV GL kết hợp với các tiêu chuẩn của IEC được sử dụng nhiều nhất và cũng được lựa chọn để triển khai cho các công trình điện gió ở Việt Nam. Đối với các kết cấu móng bê tông cốt thép trên bờ thì có thể sử dụng các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu BTCT hiện hành. Với các kết cấu trụ điện gió gần bờ trên bệ cọc thì sử dụng các tiêu chuẩn của chuyên ngành công trình thủy.

Chương 2: Chỉ dẫn chung công tác thiết kế

2.1. Chỉ dẫn thiết kế các công trình điện gió

2.1.1. Phương pháp thiết kế cho kết cấu điện gió

Các nguyên tắc thiết kế và phương pháp thiết kế để thiết kế kết cấu tuabin gió, tương tự như đối với các loại kết cấu công trình hiện hành, bao gồm các phương pháp:

- Thiết kế theo phương pháp hệ số an toàn từng phần
- Thiết kế được hỗ trợ bởi thử nghiệm
- Thiết kế dựa trên xác suất.

Các tiêu chuẩn hiện hành như DNV GL về thiết kế tuabin gió dựa trên phương pháp hệ số an toàn từng phần, dựa trên việc tính toán phản ứng riêng biệt do từng quá trình tải trọng tác dụng gây ra. Các tiêu chuẩn cũng đưa ra phương pháp thiết kế theo cách mô phỏng trực tiếp hiệu ứng tổng hợp của các tải trọng tác dụng đồng thời, phương pháp này hữu ích trong trường hợp không thể thực hiện các đánh giá riêng biệt về các hiệu ứng của từng tác động.

Để thay thế hoặc bổ sung cho các tính toán theo lý thuyết trong một số trường hợp có thể dựa trên thử nghiệm hoặc dựa trên sự quan trắc kết cấu mô hình tỷ lệ thực.

Các phương pháp tính toán xác định độ tin cậy của kết cấu trong phương pháp thiết kế dựa trên xác suất trực tiếp chủ yếu được áp dụng cho các trường hợp đặc biệt, để hiệu chỉnh các hệ số tải trọng và hệ số vật liệu sử dụng trong phương pháp hệ riêng phần hoặc để thiết kế cho các trường hợp thiếu kinh nghiệm thực tế.

Yêu cầu của công tác thiết kế

Kết cấu và các phần tử kết cấu phải được thiết kế để:

- Chịu được các tải trọng có thể xảy ra trong trường hợp tạm thời khi thi công, trong thời gian vận hành và khi gặp các sự cố có thể xảy ra.
- Đảm bảo mức an toàn chấp nhận trong suốt vòng đời của kết cấu
- Duy trì sự mức an toàn chấp nhận cho con người và môi trường xung quanh
- Có đủ độ bền thích hợp để chống lại sự lão hóa trong suốt tuổi thọ thiết kế của kết cấu.

Việc thiết kế một hệ kết cấu và các bộ phận, chi tiết của nó, trong chừng mực có thể, phải thỏa mãn các yêu cầu sau:

- Có khả năng chịu được tác động cơ học, vật lý và suy giảm hóa học liên quan

- Có thể được thi công chế tạo và lắp đặt tương ứng với trình độ kỹ thuật hiện hành và khả năng kiểm tra, khảo sát và bảo dưỡng.
- Kết cấu và các bộ phận kết cấu phải có khả năng chịu đẻo trừ khi có yêu cầu riêng biệt khác.
- Các mối nối liên kết được thiết kế với mục đích giảm thiểu sự tập trung ứng suất và giảm sự phức tạp trong việc truyền ứng suất.

2.1.2. Phân loại an toàn của kết cấu đỡ turbine gió

Kết cấu đỡ tuabin gió phải được thiết kế theo một trong hai cấp an toàn sau:

- Cấp độ an toàn thông thường áp dụng khi sự cố có khả năng gây thương vong về người và / hậu quả về hoặc kinh tế, môi trường hoặc xã hội
- Cấp độ an toàn đặc biệt áp dụng khi các yêu cầu an toàn được xác định theo quy định của địa phương và / hoặc các yêu cầu an toàn được thỏa thuận giữa nhà thiết kế và chủ đầu tư.

Các hệ số an toàn từng phần đối với tải tác động lên kết cấu đỡ tuabin gió thuộc loại an toàn thông thường cùng với các hệ số an toàn về vật liệu được quy định trong các tiêu chuẩn sử dụng.

Các hệ số an toàn từng phần đối với kết cấu đỡ tuabin gió thuộc cấp an toàn đặc biệt được yêu cầu theo thỏa thuận với chủ đầu tư. Tuabin gió được thiết kế theo cấp độ an toàn đặc biệt là tuabin được gọi là "cấp S".

Table 1 – Basic parameters for wind turbine classes¹

Wind turbine class	I	II	III	S
V_{ref} (m/s)	50	42,5	37,5	Values specified by the designer
A I_{ref} (-)	0,16			
B I_{ref} (-)	0,14			
C I_{ref} (-)	0,12			

Loại I,II,III và loại đặc biệt S phân loại áp dụng tùy thuộc vào vận tốc gió và mức độ nhiễu động tại nơi xây dựng. Loại S là loại được sử dụng theo yêu cầu riêng, thông thường loại S dùng cho các vùng có nhiều bão và ngoài khơi

2.1.3. Các trạng thái giới hạn dùng trong thiết kế kết cấu

Trạng thái giới hạn là một điều kiện mà vượt quá chúng kết cấu hoặc thành phần kết cấu sẽ không còn thỏa mãn các yêu cầu thiết kế nữa

Các trạng thái giới hạn sau được xem xét trong tiêu chuẩn này:

- Trạng thái giới hạn cực hạn (ULS) tương ứng với khả năng chịu tải tối đa
- Trạng thái giới hạn môi (FLS) tương ứng với phá hủy do tác động của tải trọng động
- Trạng thái giới hạn sự cố (ALS) tương ứng với (1) khả năng chịu tải tối đa (hiếm xảy ra) do sự cố hoặc (2) khả năng đứng vững của kết cấu đã hư hại sau sự cố đối
- Các trạng thái giới hạn khả năng sử dụng (SLS) tương ứng với tiêu chí dung sai áp dụng cho việc sử dụng bình thường..

Ví dụ về các trạng thái giới hạn trong mỗi loại:

Trạng thái giới hạn ULS:

- Mất sức khả năng chịu lực của kết cấu (do chảy dẻo và mất ổn định)
- Hư hỏng các bộ phận kết cấu do phá hủy giòn
- Mất trạng thái cân bằng tĩnh của kết cấu, hoặc của một phần của kết cấu được coi như toàn khối cứng, ví dụ do mất ổn định lật hoặc bị chìm
- Hư hỏng của các bộ phận quan trọng của kết cấu do vượt quá khả năng chịu lực cực hạn (trong một số trường hợp khả năng chịu lực bị giảm do tải lặp lại) hoặc do biến dạng cực hạn của các thành phần quá lớn
- biến hệ kết cấu thành cơ chế phá hủy (sụp đổ hoặc biến dạng quá mức).

Trạng thái giới hạn FLS:

- Hư hỏng mỏi tích lũy do tải trọng lặp nhiều lần.

Trạng thái giới hạn ALS:

- Hư hỏng kết cấu do tải trọng sự cố (ALS loại 1)
- Khả năng chịu lực cực hạn của kết cấu đã bị hư hỏng (ALS loại 2)
- Mất khả năng chịu lực của kết cấu sau khi bị hư hỏng cục bộ (ALS loại 2).

Trạng thái giới hạn SLS:

- Chuyển vị có thể làm thay đổi tác dụng của các lực tác động
- Dao động quá mức gây khó chịu hoặc ảnh hưởng đến các thành phần phi Kết cấu
- Dao động quá mức ảnh hưởng đến hoạt động của tuabin và sản xuất năng lượng
- Biến dạng hoặc chuyển động vượt quá giới hạn của thiết bị
- Lún lệch của nền gây ra độ nghiêng vượt cho phép của tuabin gió

2.1.4. Thiết kế theo phương pháp hệ số an toàn từng phần

Phương pháp hệ số an toàn từng phần là phương pháp thiết kế theo đó mức an toàn mục tiêu đạt được bằng cách áp dụng các hệ số vào các giá trị đặc trưng của tải trọng và khả năng chịu lực để thỏa mãn một yêu cầu thiết kế cụ thể được thể hiện dưới dạng hàm của các hệ số này và các giá trị đặc trưng. Các biến chi phối bao gồm:

- Tải trọng tác dụng lên kết cấu hoặc tải trọng ảnh hưởng đến kết cấu
- Khả năng chịu lực của kết cấu hoặc độ bền của vật liệu làm kết cấu.

Các giá trị đặc trưng của tải trọng và khả năng chịu lực, hoặc tác dụng của tải trọng và cường độ vật liệu, được chọn theo một mức cụ thể trong các phân bố xác suất tương ứng của chúng. Yêu cầu đối với các hệ số tải trọng và khả năng chịu lực là với các tình huống bất kỳ bất lợi có thể có của các yếu tố, cũng như khả năng xuất hiện đồng thời của chúng, được tính đến với mức an toàn thỏa đáng.

Hệ số an toàn từng phần

Mức độ an toàn của kết cấu hoặc bộ phận kết cấu được coi là đạt yêu cầu khi tải trọng thiết kế tác dụng S_d không vượt quá sức kháng thiết kế R_d :

$$S_d \leq R_d$$

Đây là tiêu chuẩn thiết kế. Tiêu chuẩn thiết kế là bất phương trình thiết kế. Tương ứng phương trình $S_d = R_d$ tạo thành phương trình thiết kế.

Lưu ý hướng dẫn:

Tác dụng tải trọng S có thể là bất kỳ tác dụng tải trọng nào như ngoại lực hoặc nội lực, ứng suất bên trong mặt cắt ngang hoặc biến dạng và sức kháng R so với S là sức kháng tương ứng như khả năng chịu lực, ứng suất chảy hoặc là biến dạng lớn nhất.

Có hai cách tiếp cận để xác định hiệu ứng do tải thiết kế S_{di} liên tùy theo từng loại tải trọng cụ thể F_i :

(1) Hiệu ứng tải trọng thiết kế S_{di} nhận được bằng cách nhân tác dụng tải trọng đặc trưng S_{ki} với một hệ số tải xác định γ_{fi} :

$$S_{di} = \gamma_{fi} S_{ki}$$

trong đó tác dụng tải trọng đặc trưng S_{ki} được xác định trong phân tích kết cấu đối với tải trọng đặc trưng F_{ki} .

(2) Hiệu ứng tải trọng thiết kế S_{di} thu được từ phân tích kết cấu đối với tải trọng thiết kế F_{di} , trong đó thiết kế tải F_{di} nhận được bằng cách nhân tải đặc trưng F_{ki} với hệ số tải

xác định γ_{fi} :

$$F_{di} = \gamma_{fi} F_{ki}$$

Phương pháp tiếp cận (1) sẽ được sử dụng để xác định ảnh hưởng của tải trọng thiết kế khi phản ứng động là mối quan tâm chính, trong khi cách tiếp cận (2) sẽ được sử dụng trong trường hợp bài toán phi tuyến vật liệu hoặc phi tuyến hình học hoặc cả hai là mối quan tâm chính. Phương pháp tiếp cận (1) thường được áp dụng để xác định ảnh hưởng của tải trọng gió trên tuabin lên kết cấu trụ, trong khi cách tiếp cận (2) thường áp dụng cho việc thiết kế kết cấu đỡ với việc coi các tác động tải trọng trong tháp như là một điều kiện biên.

Lưu ý hướng dẫn:

Đối với thiết kế kết cấu móng bê tông trọng lực cho turbine trên bờ, phương pháp tiếp cận (2) có thể được sử dụng để tính toán đúng ảnh hưởng từ các vấn đề phi tuyến của nền đất. Trường hợp điển hình với móng bê tông trọng lực trên bờ, tải trọng chính là tải trọng gió và tải trọng cố định. Phản lực của tải trọng gió được đặt ở cao độ thích hợp, chẳng hạn như ở mặt bích đáy tháp, có thể được xác định từ phân tích kết cấu theo phương pháp (1) bao gồm lực cắt, mômen uốn và mômen xoắn. Sau đó, các tác động này được coi như tải trọng bên ngoài đặt ở cao độ đó, phản ứng trong móng do tải trọng thiết kế này gây ra được xác định bằng cách phân tích kết cấu theo phương pháp tiếp cận (2).

Hiệu ứng tải trọng thiết kế S_d là hiệu ứng tổng hợp bất lợi nhất do sự xuất hiện đồng thời của n tải F_i , $i = 1, \dots, n$. Nó có thể được diễn đạt như sau:

$$S_d = f(F_{d1}, \dots, F_{dn})$$

trong đó f biểu thị là một hàm của các tác động.

Theo định dạng của phương pháp hệ số an toàn từng phần, tổ hợp tải trọng thiết kế S_d của n tải độc lập F_i , $i = 1, \dots, n$, có thể được tính như sau

$$S_d = \sum_{i=1}^n S_{di}(F_{ki})$$

trong đó $S_{di}(F_{ki})$ biểu thị tác dụng của tải trọng thiết kế tương ứng với các tải đặc trưng F_{ki} . Khi quan hệ giữa F_i và S_i là tuyến tính thì hiệu ứng tổng hợp tải thiết kế S_d

do sự xuất hiện đồng thời của n tải trọng F_i , $i = 1, \dots, n$, có thể diễn đạt như sau:

$$S_d = \sum_{i=1}^n \gamma_{fi} S_{ki}$$

Lưu ý hướng dẫn:

Ví dụ, tác động tổ hợp của tải trọng có thể là ứng suất uốn trong cọc móng thẳng đứng, do tải trọng gió và tải trọng sóng tác động đồng thời lên kết cấu.

Khi quan hệ giữa tải trọng F_i và hiệu ứng của tải trọng S_i là tuyến tính thì, Hiệu ứng tải tổng hợp S_k do sự xuất hiện đồng thời của n tải F_i , $i = 1, \dots, n$, có xác định được như sau:

$$S_k = \sum_{i=1}^n S_{ki}$$

Giá trị đặc trưng S_{ki} với mức vượt cụ thể trong các phân phối của hiệu ứng tải S_i . Tương tự như vậy, các giá trị tải đặc trưng F_{ki} nhận giá trị định lượng cụ thể trong phân phối của các tải tương ứng F_i .

Lưu ý hướng dẫn:

Mức vượt để xác định giá trị đặc trưng có thể phụ thuộc vào trạng thái giới hạn nào được xem xét và thay đổi theo các tổ hợp tải trọng khác.

Trong các tiêu chuẩn thiết kế theo ULS của DnV có thể dựa trên hiệu ứng tải tổ hợp đặc trưng S_k được xác định đạt 98% trong phân phối của hiệu ứng tải tổ hợp lớn nhất hàng năm, hoặc dựa trên tải đặc trưng F_k đạt 98% trong phân phối theo năm của tổng tải trọng. Dẫn đến thiết kế theo tải trọng tổng hợp hoặc theo một hiệu ứng tải trọng tổng hợp có thời gian lặp là 50 năm.

Khi kết cấu phải chịu tác động đồng thời của n quá trình tải và ứng xử của nó, chẳng hạn như vấn đề giảm chấn, bị ảnh hưởng bởi đặc tính của ít nhất một trong những quá trình tải trọng đó thì không phải lúc nào cũng có thể xác định được hiệu ứng tải trọng thiết kế S_d , do sự xuất hiện đồng thời của n tải trọng, bằng sự kết hợp tuyến tính của các tác động tải trọng riêng lẻ được xác định riêng biệt như đã đề cập trong [2.5.2.3].

Theo quy định của phương pháp hệ số an toàn từng phần, hiệu ứng tổ hợp tải trọng thiết kế S_d , do sự xuất hiện đồng thời của n tải trọng, có thể được xác định từ hiệu ứng tổ hợp đặc trưng S_k nhân với hệ số tải trọng chung γ_f . Hiệu ứng tải trọng tổ hợp đặc trưng S_k sẽ trong trường hợp này cần được xác định như một lượng tử ở phần đuôi

phía trên của phân phối hiệu ứng tải tổng hợp do sự xuất hiện đồng thời của n tải tác động lên kết cấu. Về nguyên tắc, có thể tìm được phân phối hiệu ứng của tải trọng tổng hợp này bằng cách phân tích kết cấu trong đó n quá trình tải trọng tương ứng được áp dụng đồng thời.

Các hệ số tải trọng là tính đến các vấn đề:

- Sai lệch bất lợi có thể có của tải trọng so với các giá trị đặc trưng của chúng
- Xác suất mà các tải trọng khác nhau đồng thời vượt quá các giá trị đặc tính tương ứng của chúng
- Độ sai lệch ngẫu nhiên trong mô hình và phân tích được sử dụng để xác định hiệu ứng của tải.

Khả năng chịu lực của Vật liệu R

Sức kháng R chống lại tác động tải trọng cụ thể S nào đó là một hàm của các tham số như hình học, đặc tính vật liệu, môi trường và của bản thân hiệu ứng của tải trọng, thông số sau cùng là sự tác động tương tác chẳng hạn như sự lão hóa.

Có hai cách tiếp cận để xác định sức kháng thiết kế R_d của kết cấu hoặc bộ phận kết cấu:

1) Sức kháng thiết kế R_d tính được bằng cách chia sức kháng đặc trưng R_k cho hệ số vật liệu γ_m :

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_m}$$

2) Sức kháng thiết kế R_d tính theo cường độ vật liệu thiết kế σ_d bằng cách phân tích khả năng chịu lực:

$$R_d = R(\sigma_d)$$

trong đó R biểu thị mối quan hệ hàm số giữa cường độ và sức kháng của vật liệu và trong đó cường độ của vật liệu thiết kế σ_d tính từ cường độ đặc trưng σ_k chia cho hệ số vật liệu γ_m :

$$\sigma_d = \frac{\sigma_k}{\gamma_m}$$

Chọn cách tiếp cận nào trong hai cách phụ thuộc vào tình huống thiết kế. Trong tiêu chuẩn sẽ tùy từng trường hợp mà quy định cách tiếp cận cụ thể.

Sức kháng đặc trưng R_k được lấy với một xác suất cụ thể trong phân phối của sức

kháng. Nó có thể thu được bằng thử nghiệm, hoặc nó có thể được tính toán từ các giá trị đặc trưng của các thông số chi phối sức kháng. Trường hợp thứ hai, sử dụng hàm quan hệ giữa sức kháng và các tham số điều chỉnh. Tương tự như vậy, độ bền đặc trưng của vật liệu σ_k tính với xác suất cụ thể trong phân bố xác suất của độ bền vật liệu và có thể thu được bằng thử nghiệm.

Hệ số vật liệu để kể đến các vấn đề:

- Sai lệch bất lợi có thể có trong sức kháng của vật liệu so với giá trị đặc trưng
- Sai lệch ngẫu nhiên trong mô hình và phân tích được sử dụng để xác định sức kháng
- Sức kháng đặc trưng thực tế của các vật liệu trong kết cấu thấp hơn so với các giá trị đặc trưng được diễn giải từ các mẫu thử nghiệm.

Hiệu ứng của tải trọng đặc trưng

Đối với các điều kiện thiết kế vận hành, giá trị đặc trưng S_k của hiệu ứng tải trọng do tổ hợp tải trọng tác dụng được xác định như sau, tùy thuộc vào trạng thái giới hạn:

- Đối với các tổ hợp tải trọng theo thiết kế theo trạng thái tới hạn ULS, giá trị đặc trưng của hiệu ứng tải trọng được định nghĩa là hiệu ứng tải với xác suất vượt tính theo hàng năm bằng hoặc nhỏ hơn 0,02, tức là hiệu ứng tải có chu kỳ xuất hiện ít nhất là 50 năm.
- Đối với các tổ hợp tải trọng liên quan đến thiết kế theo trạng thái tới hạn FLS, lịch sử của hiệu ứng tải trọng đặc trưng được xác định như lịch sử của hiệu ứng tải dự kiến.
- Đối với các tổ hợp tải trọng theo thiết kế trạng thái giới hạn SLS, hiệu ứng của tải trọng đặc trưng là một giá trị xác định, phụ thuộc vào các yêu cầu vận hành. Các tổ hợp tải trọng để đạt đến giá trị đặc trưng S_k được đưa ra trong DNVGL ST-0437.

Đối với các điều kiện thiết kế tạm thời, giá trị đặc trưng S_k của hiệu ứng tải trọng do tổ hợp tải trọng tác dụng là một giá trị xác định, giá trị này sẽ được lựa chọn phụ thuộc vào các biện pháp đánh giá mức an toàn cần thiết. Giá trị được xác định phù hợp với vị trí thực tế, mùa thi công trong năm, thời gian của tình trạng tạm thời, dự báo thời tiết và hậu quả của sự cố.

Sức kháng đặc trưng là giá trị sức kháng không nhỏ hơn 5% trong phân bố của sức kháng, trừ khi có quy định khác. Các hệ số tổ hợp của tải do tuabin gió và tải trọng cố định được quy định theo các quy phạm sử dụng.

2.1.5. Thiết kế bằng cách mô phỏng trực tiếp tác dụng tổ hợp của các quá trình tải trọng xảy ra đồng thời

Thiết kế bằng cách mô phỏng trực tiếp tác dụng tổ hợp của các quá trình tải xuất hiện đồng thời là một ví dụ về cách tiếp cận (1) được nêu ở trên. Nó dựa trên sự mô phỏng trực tiếp tổ hợp tải trọng đặc trưng từ các quá trình tải tác dụng đồng thời thay vì dựa vào nguyên lý cộng tác dụng các trường hợp tải riêng lẻ.

Đối với thiết kế kết cấu tuabin gió chịu hai hoặc nhiều quá trình tải tác động đồng thời, thiết kế bằng cách mô phỏng trực tiếp tác dụng của tải trọng tổng hợp là chính xác hơn thiết kế theo mô hình tổ hợp tải trọng tuyến tính của phương pháp hệ số an toàn từng phần. Mô hình kết hợp tuyến tính của phương pháp hệ số an toàn từng phần có thể không phù hợp trong trường hợp tác dụng của tải trọng liên quan đến một trong các quá trình tải trọng tác dụng phụ thuộc vào các đặc tính kết cấu nhạy cảm với các đặc tính của một hoặc nhiều quá trình tải trọng khác.

Lưu ý hướng dẫn:

Sự giảm chấn khí động học của tuabin gió phụ thuộc vào việc có gió hay không, tuabin có phát điện hay không ở trạng thái dừng và gió có thổi hàng hay lệch với các tải trọng khác như tải trọng sóng đối với các công trình ngoài khơi hay không. Trừ khi có thể đưa ra các giả thiết chính xác về giảm chấn khí động học của tuabin gió phù hợp với tình trạng thực tế của chế độ tải gió, việc xác định riêng ảnh hưởng của tải trọng do riêng tải trọng sóng sẽ được sử dụng với hệ số an toàn riêng phần. định dạng có thể không khả thi. Trong phân tích miền thời gian kết cấu của tuabin chịu đồng thời cả tải trọng gió và sóng, cản khí động học của tuabin sẽ xuất hiện ngay khi có tải trọng gió và kết quả là hiệu ứng tải tổng hợp, thường thu được bằng các mô phỏng trong miền thời gian. , tạo cơ sở cho việc giải thích tác dụng tải trọng tổng hợp đặc trưng.

Đối với thiết kế kết cấu tuabin gió chịu hai hoặc nhiều quá trình tải tác động đồng thời, bất đẳng thức trong thiết kế sẽ là:

$$S_d \leq R_d$$

áp dụng. Hiệu ứng tải trọng tổng hợp thiết kế S_d nhận được bằng cách nhân tác dụng tải trọng tổng hợp đặc trưng S_k với hệ số tải xác định γ_f :

$$S_d = \gamma_f S_k$$

Hiệu ứng tổ hợp tải trọng đặc trưng S_k có thể được thiết lập trực tiếp từ sự phân bố của hiệu ứng tải trọng tổ hợp lớn nhất hàng năm có được khi phân tích kết cấu, dựa trên việc áp dụng đồng thời hai hoặc nhiều quá trình tải trọng. Trong trường hợp thiết kế theo ULS, hiệu ứng tổ hợp tải trọng đặc trưng S_k phải được lấy với mức 98% trong phân phối của hiệu ứng tải trọng tổ hợp lớn nhất hàng năm, tức là hiệu ứng của tổ hợp tải trọng có chu kỳ lặp lại là 50 năm.

Lưu ý hướng dẫn:

Có thể có một số cách để xác định lượng 98% trong phân bố của hiệu ứng tải tổ hợp lớn nhất hàng năm. Bất kể cách tiếp cận nào cũng phải dựa trên một mô hình phân tích kết cấu tổng thể, ví dụ: dưới dạng mô hình khung dựa trên các phần tử dầm, chịu tác động của một số quá trình tải tác động đồng thời.

Phân tích kết cấu trong miền thời gian thường được thực hiện trong một trạng thái môi trường xác định độ dài thường là 10 phút hoặc một hoặc 3 giờ, trong khoảng thời gian đó các quá trình tải liên quan được giả định là dừng và cường độ không đổi. Đầu vào bao gồm chuỗi thời gian đồng thời của các quá trình tải tương ứng, ví dụ: tải trọng gió và tải trọng sóng, với các hướng xác định. Đầu ra bao gồm chuỗi thời gian của các hiệu ứng tải tại các điểm xác định trong kết cấu.

Về nguyên tắc, việc xác định lượng 98% trong phân bố của hiệu ứng tải lớn nhất hàng năm đòi hỏi phải thực hiện các phân tích kết cấu đối với một số lượng lớn các trạng thái môi trường, vì tất cả các trạng thái đó góp phần vào phần đuôi phía trên của phân bố hiệu ứng tải tối đa hàng năm. Khi phần đuôi phía trên của phân phối này đã được xác định bằng cách xử lý kết quả cho các trạng thái môi trường khác nhau, trọng số được tính theo tần số xuất hiện của chúng, lượng 98% trong phân bố có thể được xác định được.

Có thể giảm đáng kể khối lượng tính toán khi giả định rằng lượng 98% trong phân phối của hiệu ứng tải lớn nhất hàng năm có thể được ước tính bằng giá trị kỳ vọng của hiệu ứng tải lớn nhất trong trạng thái môi trường có chu kỳ lặp lại là 50 năm.

Sức kháng đặc trưng phải được tính toán như đã nêu ở phần trên.

2.1.6. Thiết kế bằng thử nghiệm

Thiết kế bằng thử nghiệm hoặc quan sát sự làm việc nói chung vẫn phải được hỗ trợ bởi các phương pháp thiết kế phân tích lý thuyết. Các tác động của tải trọng, khả năng chống chịu của kết cấu và khả năng chống lại sự xuống cấp của vật liệu có thể được thiết lập bằng cách thử nghiệm hoặc quan sát hoạt động tại hiện trường của kết cấu thực tế.

Trong phạm vi mà thử nghiệm được sử dụng cho thiết kế, thử nghiệm phải có thể kiểm tra được.

Có thể thực hiện việc kiểm tra toàn diện và quan trắc hoạt động của các Kết cấu hiện có

Các thử nghiệm tỷ lệ thực hoặc việc quan trắc các kết cấu đã có để cung cấp thông tin về hiệu ứng của tải trọng tác động lên kết cấu được sử dụng trong việc hiệu chỉnh và cập nhật mức độ an toàn của kết cấu.

2.1.7. Thiết kế dựa trên xác suất

Định nghĩa: Độ tin cậy của kết cấu, hoặc độ an toàn của kết cấu, được định nghĩa là xác suất không xảy ra hư hỏng hoặc không đạt đến tiêu chí hư hỏng cụ thể trong một khoảng thời gian xác định.

Các phân tích độ tin cậy phải dựa trên các phương pháp độ tin cậy mức 3. Các phương pháp này sử dụng xác suất hư hỏng như một thước đo an toàn và yêu cầu kiến thức về phân phối xác suất của tất cả các biến tải trọng chính và sức kháng.

Trong tiêu chuẩn hiện nay các phương pháp độ tin cậy mức 3 chủ yếu được dùng cho:

- Hiệu chuẩn phương pháp mức 1 để kể đến những tiến bộ mới (phương pháp mức 1 là phương pháp phân tích tiên định chỉ sử dụng một giá trị đặc trưng để mô tả từng biến ngẫu nhiên, tức là phương pháp hệ số an toàn từng phần được áp dụng trong tiêu chuẩn này)
- Thiết kế cho trường hợp đặc biệt
- Các thiết kế mới mà không có hoặc hạn chế về kinh nghiệm trước đó.

Phân tích độ tin cậy phải được cập nhật bằng cách sử dụng thông tin mới. Nếu nhận thấy các giả định đã dùng cho phân tích là không còn phù hợp và nếu kết quả của việc phân tích theo các giả định ban đầu đó ảnh hưởng đến sự an toàn, thì phải xác định lại.

Độ tin cậy mục tiêu phải tương ứng với hậu quả của sự cố. Phương pháp xác định độ

tin cậy mục tiêu đó và giá trị của chính độ tin cậy mục tiêu phải xét trong từng trường hợp riêng biệt. Trong phạm vi có thể, độ tin cậy mục tiêu tối thiểu phải dựa trên các trường hợp thực tế đã được biết là có đủ độ an toàn.

Trường hợp không có sẵn các trường hợp được xây dựng an toàn, ví dụ: trong trường hợp các giải pháp thiết kế mới lạ và độc đáo; các giá trị độ tin cậy mục tiêu tối thiểu phải dựa trên một hoặc kết hợp các tiêu chí sau:

- độ tin cậy mục tiêu có thể truyền dẫn của các giải pháp thiết kế hiện có tương tự
- các quy phạm và tiêu chuẩn được quốc tế công nhận
- Theo Phân loại DNV số 30.6.

2.2. Tải trọng tác động lên Turbin và kết cấu đỡ

2.2.1. Tình huống thiết kế và các trường hợp tải trọng

Kết cấu được tính toán kiểm tra an toàn với nhiều tải trọng khác nhau có thể xảy ra để đảm bảo hệ số an toàn theo quy định. Các trường hợp tải trọng tính toán theo quy định trong tiêu chuẩn. Trường hợp tải trọng là tải trọng được xét với tình huống thiết kế xảy ra với các điều kiện tác động bên ngoài khác nhau. Các tình huống thiết kế chủ yếu liên quan đến các điều kiện hoạt động khác nhau của tuabin. Các điều kiện bên ngoài nói ở trên phần lớn là chỉ các chế độ hoạt động của gió, sóng hoặc động đất.

Danh mục các tình huống thiết kế sẽ được trình bày trong phần sau đây với mục đích để hỗ trợ quá trình thiết kế. Trong thiết kế tuabin gió, điều quan trọng là phải xác định được hết các trường hợp tải có ảnh hưởng đến tuabin gió. Phân tích hiệu ứng và cơ chế phá hủy để đánh giá trường hợp tải nào là cần xét và trường hợp nào không cần xét.

2.2.1.1. Tình huống thiết kế

Các tình huống thiết kế cần được liệt kê để xét được hết các tình huống quan trọng mà tuabin gió có thể gặp phải. Tình huống thiết kế có thể được phân loại thành các tình huống thiết kế trong điều kiện hoạt động và các tình huống thiết kế trong điều kiện tạm thời.

Các tình huống trong điều kiện turbine hoạt động bao gồm:

- Hoạt động bình thường và sản xuất điện
- Cắt điện, đóng điện, chạy không tải và ngừng hoạt động

Các điều kiện tạm thời bao gồm:

- Vận chuyển

- Thi công, lắp ráp
- Lỗi, chẳng hạn như lỗi hệ thống điều khiển
- Bảo trì và sửa chữa
- Chạy thử

Danh mục các điều kiện trên được sử dụng để xác định các tình huống thiết kế, các tình huống có khả năng xảy ra, và dùng để đánh giá danh mục các trường hợp tải có liên quan hoặc xác định các trường hợp tải có liên quan tránh bị bỏ qua trong quá trình thiết kế.

2.2.1.2. Các điều kiện tác động của gió

Điều kiện gió có thể được chia thành điều kiện bình thường và điều kiện cực hạn. Chẳng hạn trong tiêu chuẩn IEC- 61400-1 về tải trọng tác động lên turbine có trình bày chi tiết các điều kiện của gió:

- Điều kiện gió thường
- Nhiễu loạn gió thường
- Gió giật cực hạn
- Thay đổi hướng của gió cực hạn
- Gió giật cực hạn khi vận hành
- Vận tốc gió cực hạn
- Lực cắt gió cực hạn

2.2.2. Các mô hình Gió và các trường hợp tải trọng cho kết cấu trên bờ.

Các điều kiện gió bình thường là điều kiện gió xảy ra trong thời gian turbine hoạt động bình thường và các Điều kiện gió cực hạn là các điều kiện gió cực hạn xảy ra với tần suất lặp là 1 năm hay 50 năm

Điều kiện gió thường bao gồm vận tốc gió trung bình không đổi với, hoặc, giá trị gió giật, hoặc đặc trưng nhiễu động gió. Nhiễu động gió thể hiện sự thay đổi ngẫu nhiên của vận tốc gió quanh giá trị trung bình, được thể hiện bằng độ lệch chuẩn và cường độ nhiễu động. Có các thành phần nhiễu động theo phương gió thổi, theo phương vuông góc gió thổi và theo phương đứng, với các giá trị của độ lệch chuẩn tương ứng

Điều kiện gió bình thường (Normal Wind Conditions)

- Phân phối vận tốc gió

Phân phối vận tốc gió có ý nghĩa đối với thiết kế tuabin gió vì nó xác định tần suất xuất hiện của các điều kiện tải trong điều kiện gió thiết kế bình thường. Giá trị trung bình của tốc độ gió trong khoảng thời gian 10 min được giả định tuân theo phân bố Rayleigh ở độ cao của tâm hub cho bởi công thức:

$$P_R(V_{hub}) = 1 - \exp\left[-\pi(V_{hub}/2V_{ave})^2\right]$$

Trong đó, với turbine gió loại tiêu chuẩn V_{ave} được tính như sau

$$V_{ave} = 0,2 V_{ref}$$

- Mô hình profile gió bình thường (NWP)

Cấu hình gió, $V(z)$, biểu thị tốc độ gió trung bình như một hàm của độ cao, z , so với mặt đất. Trong trường hợp của các cấp tuabin gió tiêu chuẩn, cấu hình vận tốc gió bình thường sẽ được biểu diễn bởi luật số mũ như sau:

$$V(z) = V_{hub} (z/z_{hub})^\alpha$$

Trong đó với turbine tiêu chuẩn α có thể lấy bằng 0.2

Luật vận tốc gió nêu trên được dùng để tính vận tốc gió trung bình tại các điểm trên khắp vùng quét của turbine

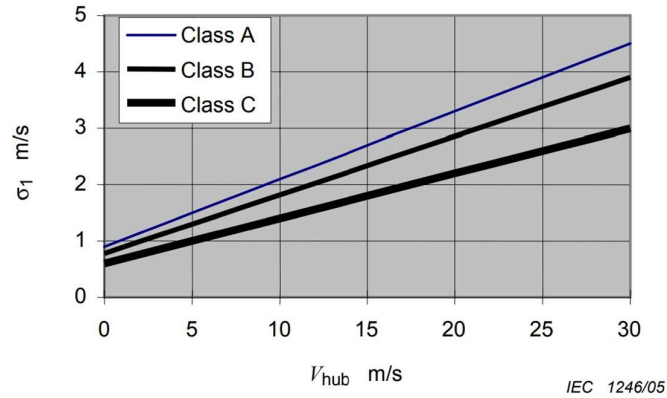
- Mô hình nhiễu động gió thông thường

Đối với mô hình nhiễu loạn thông thường, giá trị đại diện của độ lệch chuẩn nhiễu loạn, σ_1 , phải có mức đảm bảo 90% đối với tốc độ gió ở độ cao tâm hub. Giá trị này đối với các cấp tuabin gió tiêu chuẩn được biểu diễn như sau:

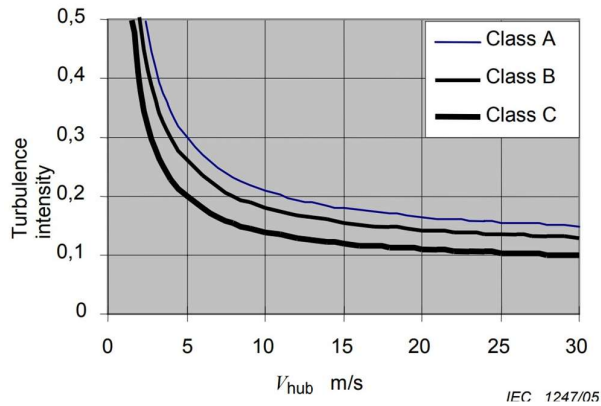
$$\sigma_1 = I_{ref}(0,75V_{hub} + b); \quad b = 5,6 \text{ m/s}$$

Các giá trị của độ lệch chuẩn nhiễu loạn, σ_1 , và cường độ nhiễu loạn σ_1/V_{hub} được thể hiện trong Hình 1a và 1b.

Giá trị của I_{ref} được đưa ra trong Bảng 1.



Hình 1a –Độ lệch chuẩn nhiễu loạn cho mô hình nhiễu loạn thông thường (NTM)



Hình 1b - Cường độ nhiễu loạn đối với mô hình nhiễu loạn thông thường (NTM)

Hình 1 - Mô hình nhiễu loạn thông thường (NTM)

Điều kiện gió cực hạn

Các điều kiện gió cực hạn bao gồm các thông tin áp lực gió, cũng như tốc độ gió cực đại gây ra do bão và do sự thay đổi đột ngột về tốc độ và hướng gió.

- Mô hình vận tốc gió cực đại (EWM)

EWM có thể là một mô hình tĩnh hoặc nhiễu động gió. Các mô hình gió này dựa trên tốc độ gió tham chiếu, V_{ref} , và độ lệch chuẩn nhiễu loạn cố định, σ_1 .

Đối với mô hình gió cực hạn tĩnh, tốc độ gió cực đại, V_{e50} , với chu kỳ lặp lại là 50 năm và tốc độ gió cực hạn, V_{e1} , với chu kỳ lặp lại là 1 năm, sẽ được tính dưới dạng hàm của chiều cao, z , sử dụng các phương trình sau:

$$V_{e50}(z) = 1,4 V_{\text{ref}} \left(\frac{z}{z_{\text{hub}}} \right)^{0,11}$$

$$V_{e1}(z) = 0,8 V_{e50}(z)$$

Trong mô hình gió cực hạn tĩnh, cho phép biến động ngắn hạn so với hướng gió trung bình với giả định là độ lệch của trục turbine không đổi trong phạm vi $\pm 15^\circ$.

Trong mô hình vận tốc gió nhiễu động cực hạn, tốc độ gió trung bình 10 phút là hàm của z với chu kỳ lặp tương ứng là 50 năm và 1 năm, được tính theo

$$V_{50}(z) = V_{\text{ref}} \left(\frac{z}{z_{\text{hub}}} \right)^{0,11}$$

$$V_1(z) = 0,8 V_{50}(z)$$

Độ lệch chuẩn theo phương gió thổi

$$\sigma_1 = 0,11 V_{\text{hub}}$$

- Gió vận hành giạt cực hạn (EOG)

Cường độ gió giạt ở chiều tâm hub V_{gust} dùng cho tuabin gió loại tiêu chuẩn được tính theo mối quan hệ sau:

$$V_{\text{gust}} = \text{Min} \left\{ 1,35(V_{e1} - V_{\text{hub}}); 3,3 \left(\frac{\sigma_1}{1 + 0,1 \left(\frac{D}{\Lambda_1} \right)} \right) \right\}$$

ở đây

σ_1 được cho trong phương trình (11);

Λ_1 là tham số thang nhiễu loạn, theo phương trình (5);

D là đường kính rôto.

Tốc độ gió phải được xác định theo phương trình:

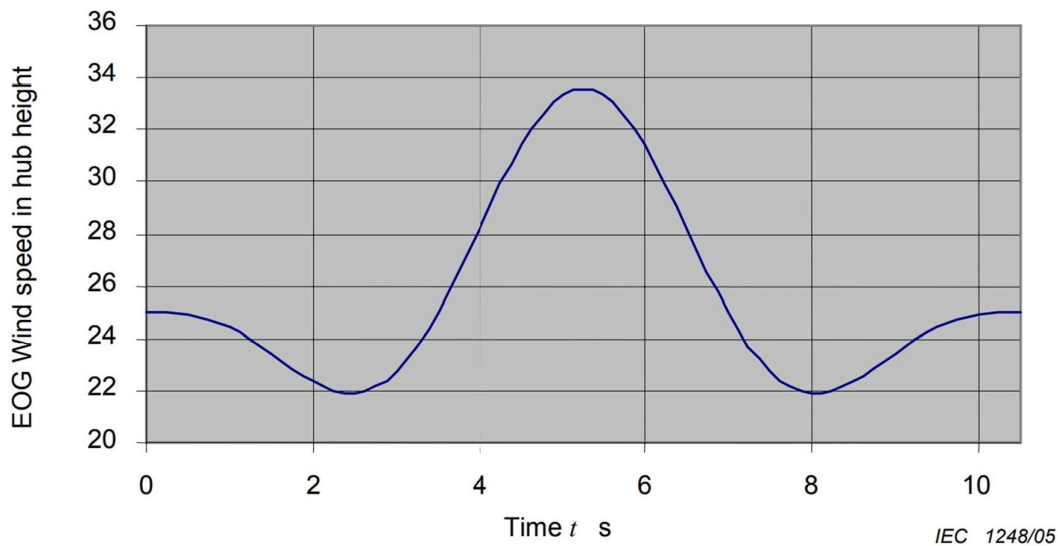
$$V(z,t) = \begin{cases} V(z) - 0,37V_{\text{gust}} \sin(3\pi t/T)(1 - \cos(2\pi t/T)) & 0 \leq t \leq T \\ V(z) & \text{Nếu không} \end{cases}$$

ở đây

$V(z)$ được xác định trong phương trình (10)

$T = 10,5$ s.

Một ví dụ về gió giật mạnh khi vận hành ($V_{\text{hub}} = 25$ m / s, Class IA, $D = 42$ m) được thể hiện trong Hình 2:



Hình 4.1: Ví dụ về mô hình gió vận hành giật cực hạn

- Mô hình nhiễu loạn cực hạn (ETM): Mô hình nhiễu động cực hạn sử dụng mô hình profile gió bình thường trong 6.3.1.2 và thành phần dọc có độ lệch chuẩn được tính theo công thức sau:

$$\sigma_1 = c \cdot I_{\text{ref}} \left(0,072 \left(\frac{V_{\text{ave}}}{c} + 3 \right) \left(\frac{V_{\text{hub}}}{c} - 4 \right) + 10 \right); c = 2 \text{ m/s.}$$

Ngoài ra còn có các mô hình gió khác được quy định theo các tiêu chuẩn thiết kế

2.2.3. Các trường hợp tải trọng thiết kế điện gió trên bờ

Các trường hợp tải thiết kế cần phân tích trong quá trình thiết kế tuabin gió được xây dựng bằng cách kết hợp các tình huống thiết kế với các điều kiện bên ngoài liên quan. Sau đây là các cách kết hợp để đưa ra một số lượng tối thiểu các tổ hợp tải trọng cần xét:

- Hoạt động bình thường và điều kiện bên ngoài bình thường
- Hoạt động bình thường và điều kiện bên ngoài cực hạn
- Sự cố và các điều kiện bên ngoài tương ứng, có thể bao gồm cả các điều kiện bên ngoài cực hạn. Ví dụ về các tình huống sự cố là ngắn mạch máy phát hoặc lỗi mạng và lỗi trong hệ thống phanh.
- Quá trình vận chuyển, lắp đặt và bảo trì và các điều kiện bên ngoài thích hợp

Bảng 4-1 liệt kê một số trường hợp tải thiết kế cần xem xét theo tiêu chuẩn DS472. Bảng 4-2 trình bày một danh mục tương tự được trích từ IEC 61400-1. Các danh mục này chỉ đóng vai trò là các ví dụ. Khi tính toán tải trọng của công trình turbin gió, cần phải xem xét một số yếu tố có thể ảnh hưởng đến chế độ gió và độ lớn của tải trọng:

- Bóng tháp và thân tháp, tức là sự xáo trộn của luồng gió do sự hiện diện của tháp
- Hiệu ứng giảm khi đặt tuabin gió phía sau các tuabin khác, ví dụ. trong trang trại gió
- Độ lệch luồng gió so với trục rôto, ví dụ: do lỗi góc xoay

Lưu ý rằng một số trường hợp tải được liệt kê trong **Bảng 4-1 và Bảng 4-2** là các trường hợp tải chỉ đề cập đến các tuabin gió tại địa điểm cụ thể.

Bảng 4-1. Các trường hợp tải trọng thiết kế, theo DS472.					
Loại tải trọng	Tình huống thiết kế	Điều kiện gió	Trạng thái tới hạn		
			Mỗi	Cực hạn	Sự cố
Bình thường	Phát điện	Bình thường	x	x	
	Khởi động	Bình thường	x	x	
	Dừng và chuyển qua trạng thái đứng	Bình thường	x	x	
	Đứng	Bình thường	x		

Bất thường	Phát điện	Gió cực hạn, dừng với $U_{10} = v_{10min,50yr}$	(x)	x	
	Phát điện	Điều kiện gió trung gian, gió đổi hướng 0-90° và thay đổi tốc độ 10-25 m / giây trong 30 giây.	(x)	x	
	Vận chuyển, lắp ráp và lắp đặt	U_{10} lớn nhất được quy định		x	
	Tua bin vận hành thủ công	Được xác định theo quy định	x	x	
	Dừng khẩn cấp	1.3 lần vận tốc gió cắt	x	x	
	Kích hoạt phanh	1.3 lần vận tốc gió cắt	x	x	
	Chạy không tải do lỗi Yaw	$0.5v_{10min,50yr}$	x	x	
	Điều kiện sự cố	Tốc độ gió thường	x	x	
Sự cố	Sự cố lớn	Tốc độ gió cắt	(x)		x

x được kể đến

(x) được kể đến trừ khi chứng minh là không cần thiết đối với thiết kế hiện tại của tuabin gió

Bảng 4-2. Các trường hợp tải trọng thiết kế, theo IEC 61400-1.			
Tình huống thiết kế	Điều kiện gió	Các điều kiện khác	Bài toán phân tích
Phát điện	Gió vận hành		Bền
	Gió vận hành		Mỏi
	Gió giật kết hợp đổi hướng		Bền
	Profile gió vận hành	Sự cố điện bên ngoài	Bền
	Gió giật cực hạn tần	Mất kết nối điện	Bền

	suất 1 năm		
	Gió giạt cực hạn tần suất 50 năm		Bền
	Lực cắt gió giạt cực hạn		Bền
	Gió đổi hướng cực hạn tần suất 50 năm		Bền
	Gió giạt cực hạn		Bền
Phát điện kết hợp với có sự cố	Profile gió vận hành	Hồng hệ thống điều khiển	Bền
	Profile gió vận hành	Hồng hệ thống bảo vệ	Bền
	Gió nhiễu động vận hành	Hồng hệ thống điều khiển và bảo vệ	Mọi
Khởi động	Profile gió vận hành		Mọi
	Gió giạt cực hạn tần suất 1 năm		Bền
	Gió cực hạn đổi hướng tần suất 1 năm		Bền
Dừng đúng quy trình	Profile gió vận hành		Mọi
	Gió giạt cực hạn tần suất 1 năm		Bền
Dừng khẩn cấp	Normal wind profile		Bền
Phanh (Đứng hoặc kg phát điện)	Gió cực hạn tần suất 50 năm	Khả năng mất điện hệ thống	Bền
	Nhiều động vận hành		Mọi
Phanh và bị sự cố	Gió cực hạn tần suất 50 năm		Bền

Vận chuyển, lắp đặt, bảo dưỡng	Xác định theo nhà sản xuất		Bền
--------------------------------	----------------------------	--	-----

2.2.4. Các thành phần tải trọng tác động lên turbine

Tải trọng bên ngoài tác dụng lên tuabin gió chủ yếu là tải trọng gió và tải trọng sóng. Vì một tuabin gió bao gồm các phần tử mảnh như cánh và tháp, tải quán tính sẽ được tạo ra cùng với tải trọng lực tác động lên các phần tử này. Các tải do hoạt động như lực ly tâm, lực Coriolis và lực con quay cũng phải được xem xét.

Trong hầu hết các trường hợp, tải trên tuabin gió có thể được phân loại như sau:

- Tải trọng khí động học của cánh
- Trọng lực của các cánh rôto
- Lực ly tâm và lực Coriolis do quay
- Tải con quay do lệch hướng
- Lực cản khí động học lên tháp và trụ
- Tải trọng trọng lực lên tháp và trụ

Tải trọng trọng lực lên các cánh rôto gây ra mômen uốn trong các cánh theo hướng dọc. Đối với tuabin điều khiển góc xoay, tải trọng trọng lực cũng sẽ gây ra mômen uốn theo hướng cánh quạt. Do sự quay của các cánh, tác động của tải trọng trọng lực trong các cánh sẽ biến đổi theo chu kỳ các mômen uốn. Đường kính rôto càng lớn thì tác dụng của tải trọng trọng lực càng lớn. Thông thường, mômen uốn tại gốc cánh sẽ theo luật lũy thừa bậc 4 của đường kính rôto. Trong khi diện tích rôto tuân theo luật hàm bậc hai của đường kính rôto, điều này là một trong những thách thức trong việc chế tạo các tuabin gió lớn.

Phản ứng của cánh rôto chịu tải phụ thuộc rất nhiều vào độ cản. Độ cản tổng cộng là tổng độ cản khí động học và độ cản của kết cấu. Cản khí động học phụ thuộc vào:

- Cấu hình khí động học của cánh kết hợp với độ xoắn của cánh
- Điều kiện hoạt động
- Tốc độ gió
- Tần số rôto
- Chuyển động của cánh so với dòng khí

Cản của kết cấu phụ thuộc nhiều vào vật liệu cánh. Phản ứng của lực khí động học là kết quả tác động của lực nâng và lực cản phụ thuộc vào các đặc tính hình học của cánh và độ cản và cả chuyển động của kết cấu rôto.

Các phần sau đây trình bày tóm lược về các loại tải trọng quan trọng nhất gặp phải đối với tuabin gió. Chi tiết hơn về tải và phương pháp xác định chúng được nêu trong Phần 4.3 đến 4.5.

- Lực quán tính và trọng lực lên cánh turbine

Tải quán tính và trọng lực lên rôto là tải phụ thuộc khối lượng. Lực ly tâm tại mặt cắt ngang F_c phụ thuộc vào vận tốc góc của rôto, vị trí hướng tâm và khối lượng của mỗi phần tử cánh. Tại gốc cánh, lực này là:

$$F_c = \sum_{i=1}^n m_i r_i \omega^2$$

trong đó m_i [kg] là khối lượng của phần tử cánh thứ i , ω [rad/ s] là tốc độ góc của rôto và r_i [m] là vị trí quay của phần tử thứ i khi cánh được chia thành n phần tử.

Trọng lực của phần tử thứ i

$$F_{g_i} = \sum_{i=1}^n m_i g \quad \text{or} \quad F_g = m_{\text{blade}} g$$

$g = 9,82 \text{ m/s}^2$ gia tốc trọng trường

m_i của phần tử cánh thứ i

m_{blade} tổng khối lượng cánh

Tải trọng quay hồi chuyển ở rôto phát sinh với bất kỳ kết cấu đỡ rôto có độ dẻo nào. Đặc biệt, tải quay hồi chuyển xảy ra khi tua bin xoay trong khi vận hành. Điều này làm phát sinh mô men M_K xoay quanh trục đứng trụ và M_G xoay quanh trục ngang.

Đối với rôto ba cánh, không phát sinh mô men M_K , $M_K = 0$ nhưng vẫn có mô men gây nghiêng M_G , $M_G = 3M_0 / 2$

$$M_0 = 2\omega_k \omega \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$$

trong đó ω là vận tốc góc của rôto, ω_k là vận tốc góc nghiêng và m_i là khối lượng thứ i có bán kính r_i khi chia cánh rôto thành n khối lượng rời rạc.

Đối với rôto hai cánh, tác động của tải con quay dẫn đến mômen quay và mômen nghiêng biến thiên tuần hoàn

$$M_K = 2 M_0 \cos(\omega t) \sin(\omega t)$$

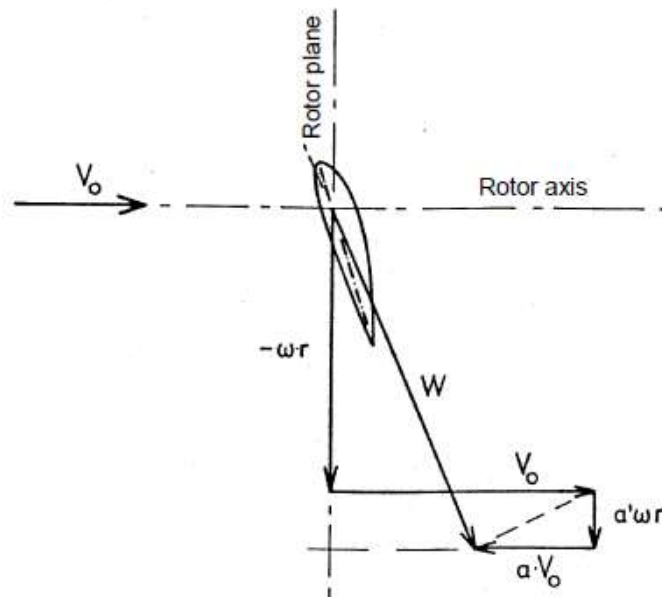
$$M_G = 2 M_0 \cos^2(\omega t),$$

Trong nhiều trường hợp có thể bỏ qua hiệu ứng con quay hồi chuyển, vì vận tốc góc của hệ thống bị trệch hướng thường khá nhỏ. Tuy nhiên, ổ trục rôto mềm có thể dẫn đến lực con quay hồi chuyển đáng kể lực (xoắn rôto) và lực con quay hồi chuyển không bao giờ được bỏ qua đối với các tua bin lớn như hiện tại.

Lưu ý rằng các công thức được trích dẫn cho M_K và M_G cần được điều chỉnh để có mômen nghiêng của rôto một cách hợp lý.

- Tải trọng khí động học lên cánh turbine

Dòng gió thực tế xung quanh rôto tuabin khá phức tạp, vì rôto tạo ra vận tốc. Do đó, trong thực tế thiết kế thường sử dụng phương pháp đơn giản để tính toán tải lên rôto. Vận tốc gió tại mặt cắt ngang của cánh được minh họa trong Hình 4-1.



Hình 4-1. Sơ đồ vận tốc gió tại mặt cắt ngang của cánh.

Vận tốc gió tới vuông góc với mặt phẳng rôto là V_0 . Đây là vận tốc gió thổi vào. Khi gió đi qua mặt phẳng rôto, vận tốc giảm đi một lượng aV_0 . Rôto quay với tốc độ góc của rôto ω . Do đó, một phần tử cánh ở khoảng cách r so với trục rôto sẽ chuyển động

với tốc độ ωr trong mặt phẳng rôto. Khi gió đi qua mặt phẳng rôto và tương tác với rôto đang chuyển động, tạo ra vận tốc gió theo phương tiếp tuyến $a'\omega r$. Vận tốc gió tương đối đầu vào mà cánh rôto sẽ chịu là W như thể hiện trong Hình 4-1. Vận tốc gió tương đối này làm phát sinh các lực khí động học trên cánh, đó là một lực nâng

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho c W^2$$

và một lực cản

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho c W^2$$

Hệ số nâng C_L

Hệ số cản C_D

ρ mật độ của không khí

c kích thước của cánh

- Tải trọng gió tác dụng lên trụ và vỏ turbine

Lực cản khí động học, F_d trên tháp và vỏ máy có thể được tính toán trên cơ sở diện tích hình chiếu vuông góc với dòng khí

$$F_d = 0.5 \rho A V_0^2 C_D$$

Hệ số cản C_D

Diện tích hình chiếu vuông góc với dòng khí

- Tải trọng công năng

Các tải công năng trên tuabin gió phát sinh ra khi tuabin chuyển chế độ hoạt động như là khi phanh, khi quay, khi đấu lưới... Ngoài ra, còn có các lực từ hệ thống điều hướng. Các tải công năng quan trọng nhất có thể được phân loại như sau:

- Tải do phanh từ phanh cơ khí và phanh khí động học
- Tải tạm thời trong hệ thống truyền dẫn
- Tải do xoay, tức là tải được tạo ra trực tiếp khi xoay quanh trụ
- Tải do xoay cánh quạt hoặc do tác dụng của hệ hãm khí do hệ thống điều khiển kích hoạt.

- Các tải trọng khác

Các tải trọng khác hoặc các hiệu ứng khác của tải trọng cần xem xét ở đây là: hiệu ứng tải trọng gây ra bởi hiệu ứng khuếch của tháp, dòng xoáy ở thân tháp, cản nhót, và mất ổn định rung động của cánh. Cánh dao động theo chiều ngang và theo chiều dọc. Ngay cả các mode dao động (và có thể những thứ khác) có thể bị kích thích do cản nhót âm. Đối với các tuabin gió được xây dựng ngoài khơi thì cần phải xét đến các tải do môi trường biển như tải trọng sóng, tải dòng chảy và tải băng trôi.

Tham khảo chung được thực hiện cho Andersen et al. (1980).

2.2.5. Các trường hợp tải trọng thiết kế turbine gió trên bờ

Trường hợp tải trọng khi turbine Sản xuất điện (DLC 1.1 - 1.5): Trong tình huống thiết kế này, một tuabin gió đang chạy và được kết nối với tải điện. Cấu hình tuabin gió giả định phải tính đến sự mất cân bằng của rôto. Khối lượng lớn nhất và sự mất cân bằng khí động học (ví dụ như bước dao và độ lệch xoắn) được chỉ định cho chế tạo rôto phải được sử dụng trong tính toán thiết kế.

Trường hợp tải trọng khi turbine sản xuất điện cộng với sự cố hoặc mất kết nối mạng điện (DLC 2.1 - 2.4): Tình huống thiết kế này liên quan đến một sự kiện thoáng qua do sự cố hoặc mất kết nối mạng điện trong khi tuabin đang sản xuất điện. Bất kỳ lỗi nào trong hệ thống điều khiển và bảo vệ, hoặc lỗi bên trong hệ thống điện, có ý nghĩa đối với tải tuabin gió (chẳng hạn như ngắn mạch máy phát) phải được xem xét.

Trường hợp tải trọng khi turbine khởi động (DLC 3.1 - 3.3): Tình huống thiết kế này bao gồm tất cả các sự kiện dẫn đến tải trên tuabin gió trong thời gian chuyển tiếp từ mọi tình huống ngừng hoạt động hoặc chạy không tải sang sản xuất điện. Số lần xuất hiện phải được ước tính dựa trên hành vi của hệ thống điều khiển.

Trường hợp tải trọng khi turbine tắt bình thường (DLC 4.1 - 4.2): Tình huống thiết kế này bao gồm tất cả các sự kiện dẫn đến tải trên tuabin gió trong các tình huống chuyển bình thường từ tình trạng sản xuất điện đến tình trạng ngừng hoạt động hoặc chạy không tải. Số lần xuất hiện phải được ước tính dựa trên hành vi của hệ thống điều khiển

Trường hợp tải trọng khi Turbine dừng khẩn cấp (DLC 5.1): Tải trọng phát sinh do ngừng hoạt động khẩn cấp sẽ được xem xét.

Trường hợp tải trọng khi turbine Đỡ (dừng hoặc chạy không tải) (DLC 6.1 - 6.4): Trong tình huống thiết kế này, rôto của tuabin gió đang đỡ ở trạng thái dừng hoặc chạy

không tải. Trong DLC 6.1, 6.2 và 6.3, tình huống này sẽ được xem xét với mô hình tốc độ gió cực đại (EWM). Đối với DLC 6.4, mô hình nhiễu loạn thông thường (NTM) sẽ được xem xét.

Trường hợp phanh khi có lỗi (DLC 7.1): Các sai lệch so với hoạt động bình thường của tuabin gió đang đỗ, do lỗi trên mạng điện hoặc trong tuabin gió, phải được phân tích. Nếu bất kỳ lỗi nào khác ngoài sự cố mất mạng lưới điện tạo ra sai lệch so với hoạt động bình thường của tuabin gió trong các tình huống đỗ, thì các hậu quả có thể xảy ra sẽ là chủ đề của phân tích. Tình trạng lỗi sẽ được kết hợp với EWM trong khoảng thời gian lặp lại một năm. Các điều kiện đó phải hỗn loạn hoặc gần như ổn định với sự hiệu chỉnh đối với gió giật và phản ứng động.

Table 2 – Design load cases

Design situation	DL C	Wind condition	Other conditions	Type of analysis	Partial safety factors
1) Power production	1.1	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	For extrapolation of extreme events	U	N
	1.2	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F	*
	1.3	ETM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		U	N
	1.4	ECD $V_{hub} = V_r - 2 \text{ m/s}, V_r, V_r + 2 \text{ m/s}$		U	N
	1.5	EWS $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		U	N
2) Power production plus occurrence of fault	2.1	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	Control system fault or loss of electrical network	U	N
	2.2	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	Protection system or preceding internal electrical fault	U	A
	2.3	EOG $V_{hub} = V_r \pm 2 \text{ m/s}$ and V_{out}	External or internal electrical fault including loss of electrical network	U	A
	2.4	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	Control, protection, or electrical system faults including loss of electrical network	F	*
3) Start up	3.1	NWP $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F	*
	3.2	EOG $V_{hub} = V_{in}, V_r \pm 2 \text{ m/s}$ and V_{out}		U	N
	3.3	EDC $V_{hub} = V_{in}, V_r \pm 2 \text{ m/s}$ and V_{out}		U	N
4) Normal shut down	4.1	NWP $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F	*
	4.2	EOG $V_{hub} = V_r \pm 2 \text{ m/s}$ and V_{out}		U	N
5) Emergency shut down	5.1	NTM $V_{hub} = V_r \pm 2 \text{ m/s}$ and V_{out}		U	N
6) Parked (standing still or idling)	6.1	EWM 50-year recurrence period		U	N
	6.2	EWM 50-year recurrence period	Loss of electrical network connection	U	A
	6.3	EWM 1-year recurrence period	Extreme yaw misalignment	U	N
	6.4	NTM $V_{hub} < 0,7 V_{ref}$		F	*
7) Parked and fault conditions	7.1	EWM 1-year recurrence period		U	A
8) Transport, assembly, maintenance and repair	8.1	NTM V_{maint} to be stated by the manufacturer		U	T
	8.2	EWM 1-year recurrence period		U	A

2.2.6. Tính toán tải trọng gió

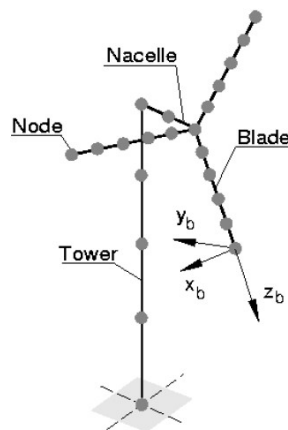
Tính toán tải trọng tác động lên các kết cấu tuabine gió thường được thực hiện bằng chương trình máy tính dựa trên quy trình tính toán thủy khí. Mục đích phân tích bài toán khí đàn hồi là để giải các phương trình chuyển động dưới tác dụng của tập hợp tải trọng nhất định tác dụng lên kết cấu và tải trọng do chính kết cấu tạo ra. Thông thường, sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn phi tuyến tính hoặc phương pháp phân tích mode cải tiến. Tham khảo Hình 4-2.

Trong mọi trường hợp, yêu cầu phương pháp giải có khả năng đơn giản hóa bài toán cơ học phức tạp của kết cấu tuabin gió cũng như có thể mô hình hóa các tác động tiền định hoặc ngẫu nhiên và xác định tùy ý tác động lên tuabin. Phương trình tổng quát vi phân của chuyển động là

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = F$$

- Ma trận khối lượng M
- Ma trận cản C
- Ma trận độ cứng K

Véc tơ lực F tác dụng lên kết cấu thường thay đổi theo thời gian. x và các đạo hàm của x là các vectơ chưa biết là các chuyển động tịnh tiến và / hoặc chuyển vị quay và đạo hàm của chúng



Hình 4-2. Ví dụ minh họa kết cấu tuabin gió bằng mô hình phần tử hữu hạn. Các tải trọng có tính từ mô hình đàn hồi được sử dụng để thiết kế các bộ phận khác nhau cấu thành cấu trúc tuabin gió. Hầu hết các cấu kiện phải được tính toán kiểm tra chịu tải trọng cực hạn và tải trọng môi.

Không tránh khỏi một số điều chỉnh kết quả khi tính toán tải trọng đàn hồi. Do đó, điều quan trọng là mô hình hóa được hỗ trợ bởi dữ liệu đo lường càng nhiều càng tốt, hoặc sử dụng số liệu có sẵn từ nhiều nguồn khác nhau. Bao gồm kết quả thử nghiệm vật lý của các cánh rôto và thử nghiệm nguyên mẫu của một tuabin thực tế.

2.2.6.1. Mô hình tác động của gió

Trường gió chứa ba thành phần vận tốc gió:

- Vận tốc gió dọc

- Vận tốc gió ngang
- Vận tốc gió đứng

Trường gió thường được chia thành:

- Trường gió trung bình với áp lực ngang và có độ dốc
- Trường gió động, tức là nhiễu loạn

Mô phỏng trường gió là một phần quan trọng của phân tích kết cấu tuabin gió. Đối với tuabin gió, phải xem xét các thay đổi nhiễu loạn trong không gian và cần phải mô phỏng gió ba chiều. Mục đích chính của mô phỏng trường gió là dự đoán tốc độ gió theo thời gian tại một số điểm trong không gian, ví dụ: một số điểm trên đĩa rôto của tuabin gió. Vận tốc gió theo thời gian thành đầu vào hữu ích cho các mô hình phân tích kết cấu cho tuabin gió.

Các thông số được sử dụng để mô tả trường gió trung bình thường là các thông số mô tả mặt cắt gió và thành phần thẳng đứng của vector gió. Đối với địa hình đồng nhất bằng phẳng, thành phần thẳng đứng của vector gió thường có thể được lấy bằng không. Trường gió trung bình được chồng lên bởi một trường gió dao động, còn được gọi là trường nhiễu động, với các thành phần vận tốc gió theo ba hướng, tức là các thành phần nhiễu loạn dọc, ngang và đứng, tương ứng. Các tham số được sử dụng để mô tả phần dao động của trường gió phụ thuộc vào mô hình nào được sử dụng để biểu diễn nó.

Để dự đoán trường gió tại một số điểm trong không gian, tính tương quan không gian của trường gió phải được tính đến một cách phù hợp. Có hai mô hình có sẵn để tạo ra trường gió tổng hợp qua đĩa rôto:

- Mô hình Veers của Sandia (Veers, 1988)
- Mô hình Mann của Risø (Mann, 1994)

Mô hình Veers sử dụng lưới hình tròn trong mặt phẳng rôto, trong khi mô hình Mann áp dụng lưới vuông. Cả hai mô hình thu được thành phần nhiễu loạn theo thời gian bằng phép biến đổi Fourier ngược kết hợp với hàm hiệu chỉnh “biến đổi”.

Mô hình Veers dựa trên phương pháp do Shinozuka phát triển. Nó biểu diễn phổ tại điểm duy nhất trong không gian kết hợp với hàm hiệu chỉnh. Phổ được biểu diễn bằng công thức Kaimal

$$S_i(f) = \sigma_i^2 \frac{6.8 \frac{L_i}{U}}{(1 + 10.2 \frac{fL_i}{U})^{5/3}}$$

và một mô hình hiệu chỉnh hàm mũ của Davenport được sử dụng

$$Coh_i(r, f) = \exp(-c_i f \frac{r}{U})$$

f Tần số

R Khoảng cách hoặc phân tách không gian

L Thang độ dài

σ Độ lệch chuẩn của tốc độ gió

c Hệ số hiệu chỉnh

Mô hình Veers ban đầu được mở rộng từ mô hình nhiễu loạn dọc một thành phần sang mô hình ba chiều và ba thành phần đầy đủ, không có sự tương quan chéo giữa các thành phần. Các tham số được sử dụng trong mô hình Veers là:

- Tốc độ gió trung bình U
- Độ lệch chuẩn của các thành phần tốc độ gió $\sigma_u, \sigma_v, \sigma_w$
- Thang đo chiều dài tích phân L_u, L_v, L_w của các thành phần nhiễu loạn
- Các hệ số hiệu chỉnh c_u, c_v, c_w

Trong đó các chỉ số u, v và w lần lượt là các thành phần dọc, ngang và đứng.

Mô hình Mann dựa trên công thức phổ sức căng của nhiễu loạn lớp bề mặt khí quyển.

Mô hình được phát triển cho địa hình đồng nhất và các thông số được sử dụng là:

- Tốc độ gió trung bình U
- Độ cao trên địa hình z
- Độ dài nhám z_0

Mô hình Mann có khả năng biểu diễn mối tương quan chéo giữa ba thành phần vận tốc gió. Các tham số sử dụng trong các mô hình thường được thiết lập bằng số liệu đo thực tế. Cường độ nhiễu loạn, được xác định từ độ lệch chuẩn của vận tốc gió theo công thức $I_T = \sigma_u / U$, thường được đo bằng máy đo gió. Phép đo này tương ứng với tổng vectơ của các thành phần vận tốc gió dọc và ngang. Do đó, cường độ nhiễu loạn được tính toán trên cơ sở này thường cao hơn một chút so với cường độ nhiễu loạn

cho riêng thành phần dọc. Tuy nhiên, nó thường được sử dụng để biểu thị cường độ nhiễu loạn gió dọc khi không có cách tính nào khác.

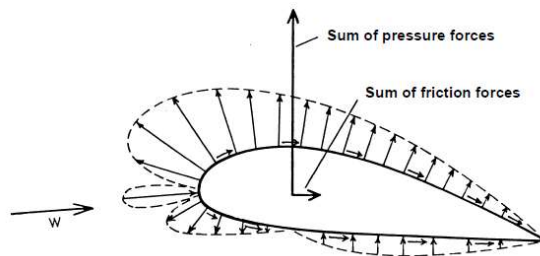
Cả mô hình Veers và mô hình Mann đều có thể được sử dụng để mô phỏng vận tốc gió theo thời gian trong một dãy các điểm trên mặt phẳng vuông góc với hướng chính của gió, ví dụ: một mặt phẳng rôto. Để biết chi tiết về các mô hình, tham khảo Veers (1988) và Mann (1994, 1998).

2.2.6.2. Mô hình khí động học gió lên cánh turbine

Khí động học liên quan đến chuyển động của không khí và các lực tác dụng lên các vật thể chuyển động so với không khí. Lý thuyết khí động học cho phép thực hiện các tính toán định lượng của các lực do dòng không khí tác động lên rôto.

Trên các tuabin gió loại cân gió, xuất hiện các vùng lớn dòng khí bị tách khi hoạt động ở tốc độ gió cao. Tua bin kiểm soát sản lượng điện bằng cách giảm lực nâng ở các cánh và do đó hạn chế sản lượng điện và giảm tải. Dòng khí ba chiều qua rôto là dòng chuyển động không ổn định, rất phức tạp phụ thuộc vào một số biến, bao gồm:

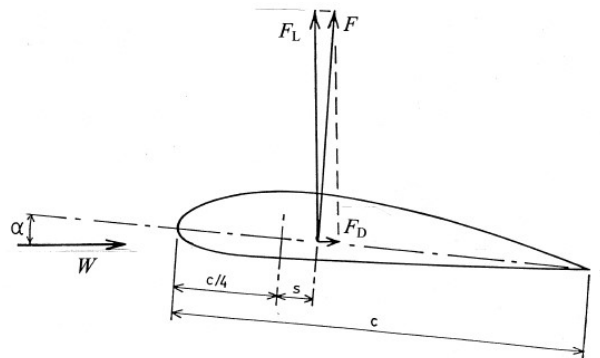
- Tốc độ gió
- Áp lực gió
- Nhiễu loạn khí quyển
- Góc nghiêng
- Tốc độ quay
- Bán kính rôto
- Đặc tính của cánh quạt: Góc xoắn, Độ vát, Phân bố độ dày
- Đặc tính mặt cắt cánh: Độ dày, Độ khum, Độ nhẵn của bề mặt, Độ dày đầu cánh



Hình 4-3. Sự phân bố của các lực khí động học trên cánh .

Dưới đây giới thiệu ngắn gọn về mô hình khí động học ứng dụng riêng cho cánh quạt. Giới thiệu các khái niệm chính và lý thuyết momen động lượng được dùng để tính toán các lực khí động học trên cánh rôto. Theo phương pháp này, cân bằng động lượng được sử dụng để tính toán các lực tác dụng lên các phân tử cánh. Như với bất kỳ phương pháp nào khác, phương pháp này có sử dụng một số đơn giản hóa và lý tưởng hóa để sử dụng trong thực tế. Ngoài ra vẫn có các phương pháp khác, nhưng chúng tốn thời gian và không cho kết quả tốt hơn.

Trước tiên, hãy xét bài toán dòng khí hai chiều qua cánh. Dòng khí hai chiều được giới hạn chuyển động trong mặt phẳng. Do đó, vận tốc theo phương ngoài mặt phẳng sẽ bằng không. Để có được bài toán dòng hai chiều thì cần phải kéo dài mặt cắt thành một cánh có nhíp vô hạn. Trong thực tế mặt cắt cánh thay đổi theo chiều dài của cánh, và từ cuống cánh đến đầu cánh. Tuy nhiên, với cách được coi là mảnh, vận tốc theo chiều dọc thân cánh thường nhỏ so với thành phần ngang, như vậy bài toán khí động hai chiều phù hợp với cánh tua bin gió. Kết quả lực F trên cánh của lực ép và lực ma sát, xem Hình 4-3. Kết quả lực F là tổng của áp lực và lực ma sát, thành phần F_L vuông góc với hướng của vận tốc gió tương đối W và thành phần F_D song song với hướng này. F_L là lực nâng và F_D là lực cản, xem Hình 4-4. Cả lực nâng F_L và lực cản F_D đều phụ thuộc vào góc thổi tới α .



Hình 4-4. Định nghĩa lực nâng và lực cản trên cánh gió bài toán 2-D.

$c/4$ trong Hình 4-4 được gọi là điểm $1/4$ của thân cánh.

Hiện tượng ngừng là một hiện tượng phi tuyến dẫn đến sự mất tiếp xúc của dòng khí và lực nâng của cánh gió khi góc tới đạt đến một giới hạn gọi là α_{stall} . α_{stall} gọi là góc dừng.

Hệ số nâng và hệ số cản C_L và C_D định nghĩa là

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho W^2 c}$$

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho W^2 c}$$

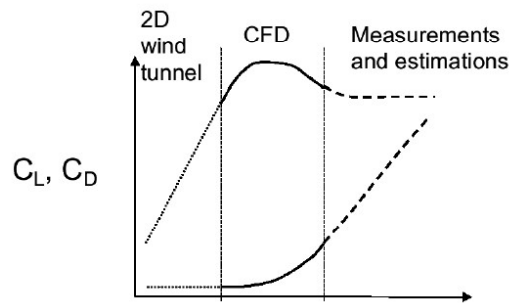
ρ khối lượng riêng của không khí

c Chiều dài mặt cắt cánh

F_L lực nâng trên một đơn vị chiều dài

F_D Lực cản trên một đơn vị chiều dài

Hệ số nâng và hệ số cản là hàm của góc dòng vào α , như trong Hình 4-5, của hình dạng cánh quạt và của số Reynolds $Re = cW / \nu$, trong đó ν là độ nhớt động học. C_L tăng tuyến tính với α lên đến góc dừng, α_{stall} , nơi biên dạng dừng. Đối với các giá trị lớn hơn của α , C_L đạt giá trị lớn nhất và giảm khi α tăng thêm. Đối với α nhỏ, C_D gần như không đổi, nhưng tăng nhanh sau khi dừng. Hiện tượng stall có liên quan mật thiết đến sự tách lớp ở biên trên của cánh. Giá trị của các hệ số C_L và C_D có thể được tra cứu trong bảng, xem Abbott và von Doenhoff (1959).



Hình 4-5. Đường cong hệ số lực nâng và cản của cánh (Bak et al., 1999a).

Ví dụ về sự biến thiên của C_L và C_D theo góc tới α được cho trong Hình 4-5. Sử dụng đo đạc trong hầm gió hai chiều để xác định các giá trị hệ số C_L , C_D trước khi xảy ra stall. Tính toán động lực học chất lỏng có hiệu chỉnh cho hiệu ứng ba chiều được sử dụng để xác định các hệ số này khi stall. Ở khoảng sau stall, sử dụng các phép đo để xác định giá trị của các hệ số. Nếu không, có thể dùng phương pháp tính của Viterna và Corrigan (1981) để tính toán. Phương pháp này giả định rôto có góc xoắn bằng không, và do đó kết quả của phương pháp này cần được hiệu chỉnh khi giả thiết này không được thỏa mãn. Theo phương pháp này, hệ số cản lớn nhất ở góc thổi $\alpha = 90^\circ$ là

$$C_{D,max} = 1.11 + 0.018 \cdot AR$$

trong đó AR hệ số tỷ lệ. AR được định nghĩa bằng tỷ lệ giữa chiều dài của cánh và bề rộng sống cánh. Hệ số cản trong miền sau stall được cho bởi

$$C_D = B_1 \sin^2(\alpha) + B_2 \cos(\alpha), 15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$$

$$B_1 = C_{D,max}$$

$$B_2 = (1 / \cos(\alpha_s)) \cdot (C_{D_s} - C_{D,max} \sin^2(\alpha_s))$$

hệ số lực nâng được cho bởi

$$C_L = A_1 \sin^2(\alpha) + A_2 (\cos^2(\alpha) / \sin(\alpha)),$$

$$15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$$

$$A_1 = B_1 / 2$$

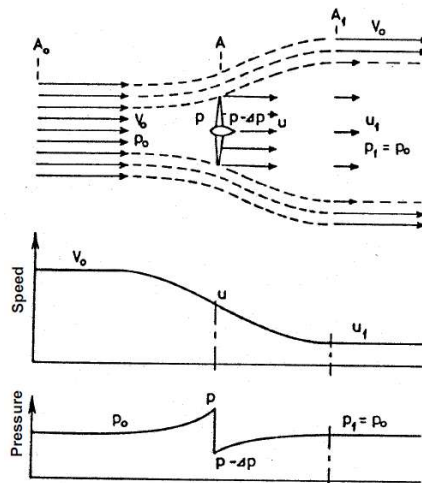
$$A_2 = (C_{L_s} - C_{D,max} \sin(\alpha_s) \cos(\alpha_s)) \cdot (\sin(\alpha_s) / \cos^2(\alpha_s))$$

Góc dòng khí α_s khi bắt đầu stall (thường là 15°)

Hệ số cản đĩa C_D khi bắt đầu stall

Hệ số nâng C_{L_s} khi bắt đầu stall

Để mô tả quá trình vật lý bằng toán học, rôto tuabin gió được coi như một cái đĩa có thể hấp thụ năng lượng từ gió bằng cách làm giảm tốc độ gió. Tốc độ gió và các điều kiện áp suất xung quanh đĩa được minh họa trong Hình 4-6.



Hình 4-6. Ảnh hưởng của tuabin gió đến tốc độ gió và áp suất không khí.

Mô hình dòng ba chiều sẽ cho thấy chuyển động của dòng khí sau cánh quạt, được minh họa trong Hình 4-7.



Hình 4-7. Đường rẽ nước được minh họa bằng khói.

2.2.7. Quy trình tính toán bằng phương pháp phần tử cánh

Theo phương pháp động lượng phần tử cánh, vùng dòng khí do rôto quét được chia thành một số phần tử đồng tâm. Các phần tử này được xem là độc lập với giả định rằng không có sự phụ thuộc xuyên tâm giữa chúng, tức là những gì xảy ra ở một phần tử không thể được ảnh hưởng bởi bất kỳ phần tử nào khác. Thông thường, mỗi phần tử vòng được chia thành một số ống, chúng cũng được giả định là độc lập. Cách tiếp cận này cho phép cảm ứng không đối xứng. Tốc độ gió được giả định là phân bố đồng đều trên mỗi phần tử vòng. Các lực từ các cánh trên dòng chảy qua mỗi phần tử vòng được giả định là không đổi. Giả định này tương ứng với rôto có vô số cánh quạt. Giả định này được hiệu chỉnh sau này.

Bây giờ hãy xem xét phần tử vòng có bán kính r và độ dày dr . Lực đẩy lên phần tử này từ đĩa được xác định bởi rôto là

$$dT = 2\pi r \rho u (V_0 - u_1) dr$$

V_0 tốc độ gió trước rôto

u_1 tốc độ gió phía sau cánh quạt

$u = \frac{1}{2} (V_0 + u_1)$ là tốc độ gió qua mặt phẳng rôto.

Mômen xoắn trên phần tử vòng là

$$dQ = 2\pi r^2 \rho u C_\theta dr$$

khi tốc độ gió tiếp tuyến tại bán kính r bằng 0 phía trước của rôto và là u_w ở phía sau. Bằng cách đưa vào hệ số cảm ứng dọc trục $a = 1 - u/V_0$ và hệ số cảm ứng tiếp tuyến $a' = \frac{1}{2} u_w / (\omega r)$, trong đó ω biểu thị vận tốc góc của rôto, các biểu thức cho lực đẩy và mômen quay có thể được viết lại như

$$dT = 4\pi r \rho V_0^2 a(1-a)dr$$

$$dQ = 4\pi r^3 \rho V_0 \omega(1-a)a' dr$$

Tại thời điểm này, cần phải đưa ra lựa chọn ban đầu cho a và a' . Nên giả sử $a = a' = 0$ như một phỏng đoán ban đầu.

Góc dòng khí ϕ là góc giữa mặt phẳng rôto và hướng của vận tốc gió tương đối V_{rel} trên cánh quay. Góc dòng khí có thể được tính toán từ

$$\tan \phi = \frac{(1-a)V_0}{(1+a')\omega r}$$

Góc gió tới là $\alpha = \phi - \theta$, trong đó θ là góc của mỗi bước rang so với mặt phẳng rôto. Xem Hình 4-8.

Xác định hệ số nâng và cản C_L và C_D cho cánh từ các bảng. Chúng là các hàm của α và của tỷ số độ dày với độ dài cánh. Biến đổi các hệ số này thành bình thường và V_0 tốc độ gió trước rôto

u_1 tốc độ gió ở thức sau cánh quạt $u = \frac{1}{2}(V_0 + u_1)$ là tốc độ gió qua mặt phẳng cánh quạt. Hệ số tiếp tuyến C_N và C_T bằng

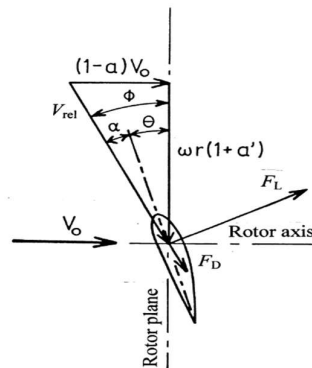
$$C_N = C_L \cos \phi + C_D \sin \phi$$

$$C_T = C_L \sin \phi - C_D \cos \phi$$

Độ đặc σ được định nghĩa là phần của diện tích mặt cắt ngang của hình khuyên phần tử được bao phủ bởi các cánh. Độ đặc phụ thuộc vào bán kính r của phần tử hình khuyên và có thể được tính như sau:

$$\sigma(r) = \frac{c(r)B}{2\pi r}$$

trong đó B là số cánh.



Hình 4-8. Các thành phần vận tốc.

Tính các hệ số ảnh hưởng a và a' tính theo

$$a = \frac{1}{\left(\frac{4F \sin^2 \phi}{\sigma C_N} + 1\right)}$$

$$a' = \frac{1}{\left(\frac{4F \sin \phi \cos \phi}{\sigma C_T} - 1\right)}$$

$$F = \frac{2}{\pi} \arccos\left(\exp\left(-\frac{B}{2} \frac{R-r}{r \sin \phi}\right)\right)$$

với R là bán kính rôto. Ở đây F được gọi là hệ số tổn thất đầu cánh Prandtl, là một hệ số giảm, do chiều dài mỗi cánh là hữu hạn và ở đầu cánh sẽ không còn chênh lệch áp suất giữa mặt trên và mặt dưới. Trong tính toán đã giả thiết về số cánh quét trong khu vực rôto là vô hạn, hệ số tổn thất đầu cánh của Prandtl cũng là để hiệu chỉnh cho số lượng hữu hạn thực tế của số cánh.

Kiểm tra các giá trị của a và a' , nếu sai lệch đáng kể so với các giá trị của a và a' được giả định ban đầu thì sử dụng giá trị mới của a và a' để tính toán lại góc ϕ . Thực hiện việc tính lặp để có được tập hợp a và a' mới đến khi một bộ giá trị hội tụ cho kết quả a và a' . Lưu ý rằng lý thuyết động lượng không còn áp dụng được khi a lớn hơn khoảng 0,3. Khi nào $a > a_c$, trong đó $a_c \approx 0,2$ thì có thể sử dụng công thức của Glauert, a được thay thế bằng

$$a = \frac{1}{2} (2 + K(1 - 2a_c) - \sqrt{(K(1 - 2a_c) + 2)^2 + 4(Ka_c^2 - 1)})$$

$$K = \frac{4F \sin^2 \phi}{\sigma C_N}$$

Hiệu chỉnh của Glauert rất quan trọng để tính các vận tốc cảm ứng một cách chính xác đối với tốc độ gió nhỏ. Sau khi xác định được tập hợp hội tụ của a và a' sẽ sử dụng để tính các lực cục bộ lên cánh rôto. Lực pháp tuyến trên một đơn vị chiều dài của cánh

$$F_N = \frac{1}{2} \rho \frac{V_0^2 (1-a)^2}{\sin^2 \phi} c C_N$$

và lực tiếp tuyến trên một đơn vị chiều dài của cánh là

$$F_T = \frac{1}{2} \rho \frac{V_0^2 (1-a) \cos \phi (1+a')}{\sin \phi \cos \phi} c C_T$$

Quy trình được lặp lại cho tất cả phần tử vòng, tức là cho tất cả các giá trị bán kính r. Kết quả bao gồm các lực pháp tuyến và tiếp tuyến phân phối dọc theo cánh. Những lực phân phối này làm cơ sở cho việc tính toán ứng suất, lực và chuyển vị tại mặt cắt bất kỳ của cánh. Đặc biệt, rFT có thể được tổ hợp dọc theo cánh để thành lực và mô men xoắn tổng của cánh.

Các cánh rôto cầu tạo mảnh vì vậy có thể xem như là kết cấu dạng thanh và sử dụng được các lý thuyết tính toán cho thanh. Mômen quán tính thể hiện trong Hình 4-9 có thể được tính bằng các công thức chuẩn trong các tài liệu kết cấu. Góc α giữa trục tham chiếu X' và trục chính X được tính là

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan \frac{2[ED_{x'y'}]}{[EI_{y'}] - [EI_{x'}]}$$

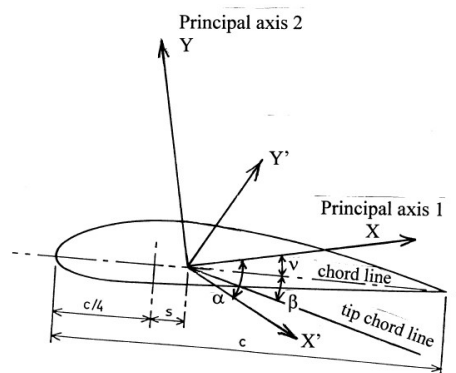
$$[ED_{x'y'}] = \int_A EX'Y' dA$$

$$[EI_{x'}] = \int_A EX'^2 dA \quad \text{and} \quad [EI_{y'}] = \int_A EY'^2 dA$$

Các độ cứng uốn về các trục chính bây giờ có thể được tính là

$$[EI_x] = [EI_{x'}] - [ED_{x'y'}] \tan \alpha$$

$$[EI_y] = [EI_{y'}] - [ED_{x'y'}] \tan \alpha$$



Hình 4-9. Thể hiện các trục chính mặt cắt cánh.

Cần của kết cấu: Thông thường, các phép đo về độ giảm chấn của cấu trúc chỉ được thực hiện đối với một số hình dạng chế độ hạn chế, nếu có sẵn.

Mode	Freq.	Damp.	[% log.]
shape	[Hz]	Mean	Std.dev.
1 st flap	1.636	1.782	0.080

2 nd flap	4.914	2.021	0.011
3 rd flap	9.734	2.468	0.026
4 th flap	16.22	3.227	0.033
1 st edge	2.943	3.603	0.011
2 nd edge	10.62	5.571	0.041
1 st torsion	23.16	5.807	0.062

Bảng 4-3. Giảm chấn theo phương thức giảm dần theo lôgarit cho cánh 19m.

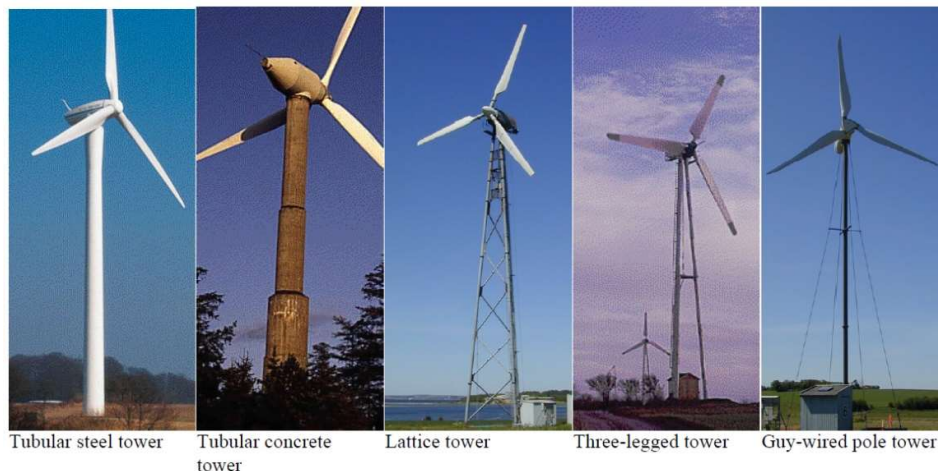
Kinh nghiệm cho thấy rằng độ giảm chấn của cơ cấu theo độ cản thường theo thứ tự là 3% đối với cánh quạt và 5% đối với trục và tháp. Ví dụ về hệ số cản được tìm thấy đối với cánh rôto 19m được trình bày trong Bảng 4-3. (Baumgart và cộng sự, 2000).

2.3. Thiết kế kết cấu trụ tháp điện gió trên bờ

Các loại kết cấu tháp điện gió

Trụ tháp của tuabin cỡ máy phát và rôto, đồng thời treo rô to ở độ cao cần thiết khỏi mặt đất và ở mức có nguồn gió tốt. Trụ tháp cho tuabin gió lớn thường được làm bằng thép, nhưng tháp bê tông đôi khi cũng được sử dụng. Ngày nay, hầu hết các tháp là tháp thép ống, tuy nhiên, dạng tháp thép hệ thanh đôi khi cũng được sử dụng. Tháp dây néo chỉ được sử dụng cho các tuabin gió tương đối nhỏ. Tháp thường được liên kết nối với móng bằng kết nối mặt bích bắt bu lông hoặc mối hàn.

Với trường hợp của các tuabin gió, trụ tháp là một bộ phận công nghệ thấp dễ thiết kế tối ưu hóa, và do đó - trong quá trình thiết kế - là một đối tượng để có thể giảm chi phí. Điều này có lợi ích vì chi phí của một tháp thường chiếm một phần đáng kể trong tổng chi phí của một tuabin gió.



Tubular steel tower

Tubular concrete tower

Lattice tower

Three-legged tower

Guy-wired pole tower

Hình 7-1. Các kết cấu tháp khác nhau. Từ www.windpower.org,

© Hiệp hội các nhà sản xuất tuabin gió Đan Mạch.

Hình 7-1 thể hiện các kết cấu trụ tháp phổ biến nhất. Các tính năng chính của các loại tháp khác nhau được trình bày ngắn gọn dưới đây

Tháp hình ống

Hầu hết các tuabin gió lớn sử dụng các tháp thép hình ống, được sản xuất theo các đoạn dài 20-30 m với các mặt bích ở hai đầu. Các phân đoạn được bắt vít với nhau tại hiện trường. Các tháp có hình nón, tức là đường kính của chúng tăng dần về phía chân đế, để tăng khả năng chịu lực của chúng ở chân tháp. Vì độ dày cần thiết của vỏ giảm đi khi đường kính tăng lên, hình dạng hình nón cho phép tiết kiệm tiêu thụ vật liệu.

Chiều dài tối đa cũng như đường kính ngoài của các phân đoạn tháp thường phụ thuộc vào điều kiện vận chuyển. Một ưu điểm của tháp hình ống so với các tháp khác là chúng an toàn và tiện lợi hơn cho các nhân công vận hành và những người khác phải vào và leo lên tháp.

Tháp hệ thanh

Tháp hệ thanh được sản xuất bằng cách sử dụng các cấu thép hình tổ hợp hoặc thép hình chữ L. Vì tháp mạng tinh thể chỉ yêu cầu lượng vật liệu bằng một nửa so với tháp hình ống tự đứng với độ cứng tương tự, nên ưu điểm cơ bản của tháp mạng là giảm chi phí. Nó cũng che gió ít hơn trụ đặc. Nhược điểm chính của tháp lưới là hình dáng trực quan của chúng, mặc dù đây là một vấn đề gây tranh cãi. Tuy nhiên, vì lý do thẩm mỹ, các tháp hệ thanh hầu như không còn được sử dụng cho các tuabin gió lớn, hiện đại.

Tháp dây néo

Nhiều tuabin gió nhỏ được xây dựng với các tháp cột hẹp được hỗ trợ bởi dây thép. Ưu điểm là tiết kiệm trọng lượng và do đó giảm chi phí. Những bất lợi bao gồm việc khó tiếp cận xung quanh tháp, khiến chúng ít phù hợp hơn trong các khu vực nông trại. Cuối cùng, loại tháp này dễ bị phá hoại hơn, do đó ảnh hưởng đến sự an toàn chung.

2.3.1. Trường hợp tải trọng thiết kế tháp

Các trường hợp tải trọng cần khảo sát để thiết kế tháp đã được mô tả trong phần 4.1. Tuy nhiên, một số trường hợp tải trọng đặc biệt có thể áp dụng riêng cho tháp, ví dụ như những trường hợp cần được xem xét khi vận chuyển một tháp dài. Ngoài ra, việc

lắp dựng tháp tại chỗ có thể liên quan đến tải trọng. Những trường hợp đặc biệt như vậy cần được khảo sát khi thích hợp.

2.3.1.1. Tải trọng thiết kế

Như được mô tả trong Phần 4.3, tải trọng thiết kế thường được xác định trên cơ sở phân tích đàn hồi hoặc - ít thường xuyên hơn - bằng một tính toán đơn giản, xem Phần 4.5. Bất kể phương pháp phân tích nào được sử dụng cho các tính toán này, tải trọng phải được tính toán từ một mô hình, trong đó các đặc tính của tháp (hình học, vật liệu, độ cứng) phù hợp với các đặc tính được sử dụng trong thiết kế cuối cùng. Do đó, việc thiết kế tháp có thể yêu cầu một quy trình lặp đi lặp lại để từ thiết kế ban đầu đến thiết kế cuối cùng với độ cứng chính xác.

Tải trọng thiết kế gây mỗi phải được xác định bằng tính toán, được bổ sung và xác nhận bằng các phép đo thực tế từ tuabin nguyên mẫu. Vì không thể thực hiện các phép đo tải cho đến khi tuabin được thiết kế và chế tạo, nên áp dụng hệ số an toàn bộ phận bổ sung đối với tải trọng mỗi cho đến khi các phép đo được thực hiện và có sẵn. Việc sử dụng một hệ số an toàn bổ sung là một biện pháp phòng ngừa nhằm phải mất nhiều công thiết kế lại trong trường hợp tải trọng thiết kế tăng lên.

Tải trọng thiết kế cực hạn chỉ có thể được xác định bằng tính toán, vì không thể đo được các tải trọng này do khoảng thời gian lặp lại dài giữa các sự kiện.

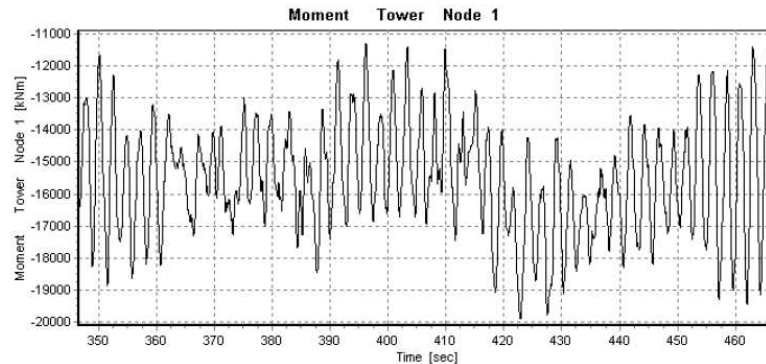
Khi thiết kế tuabin với tốc độ cố định, tần số của vòng quay rôto là quan trọng hàng đầu. Tần số này, thường được gọi là '1P', có thể làm tăng tải động, ví dụ: do mất cân bằng rôto, cắt gió và khuất bóng tháp. Ngoài ra, 'P's' càng cao càng có tầm quan trọng, ví dụ: '2P' và '3P', lần lượt là tần số của các cánh đi qua tháp trên tuabin hai và ba cánh.

2.3.2. Các bài toán chính kiểm tra trụ tháp

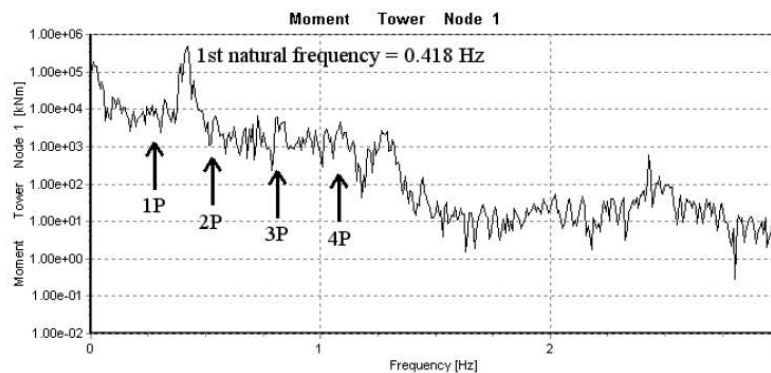
2.3.2.1. Hiệu ứng động và sự cộng hưởng

Tần số dao động riêng thứ nhất của tháp phải luôn được đo đạc khi lắp dựng một tuabin nguyên mẫu. Phải đảm bảo để tần số dao động riêng thứ nhất của tháp không trùng với tần số rôto và tần số quay của cánh quạt, tức là tần số 1P và 3P, tương ứng. Nếu giữ được tần số dao động của tháp ngoài phạm vi xác định là tần số rôto $\pm 10\%$ và tần số quay của cánh quạt $\pm 10\%$, thì thường sẽ không có bất kỳ sự khuếch đại nào phát sinh từ các rung động tại hoặc gần tần số tự nhiên.

Đối với tuabin có hai máy phát hoặc hai tốc độ máy phát, việc khảo sát này phải được thực hiện đối với cả hai tần số truyền qua cánh tương ứng. Cần chú ý đặc biệt đến các tuabin có tốc độ thay đổi, trong trường hợp này tuabin không được phép hoạt động trong khoảng tần số được xác định là tần số riêng của tháp $\pm 10\%$.



Hình 4-3: Chuỗi thời gian: phản hồi ở đáy tháp



Hình 4-4: Phổ công suất: đáp ứng ở đáy tháp

Khi tuabin hoạt động ở chế độ không đồng bộ, tức là khi tần số 1P lớn hơn tần số tự nhiên thứ nhất của tháp, thì phải tích toán cẩn thận trình tự khởi động và trình tự dừng. Điều này phải được thực hiện để tính đến việc tăng tải động xảy ra khi tần số rôto đi qua tần số tự nhiên đầu tiên của tháp.

Ví dụ về tuabin 1,8 MW được thể hiện trong Hình 4-3 và Hình 4-4. Từ phổ công suất, cho thấy phần năng lượng chính thể hiện ở xung quanh tần số tự nhiên của tháp là 0,418 Hz. Các tần số 1P đến 4P không gần với tần số tự nhiên đầu tiên. Hơn nữa, chỉ một lượng nhỏ năng lượng được tìm thấy trên các tần số đi qua trong phổ phản ứng.

Cần lưu ý rằng tần số tự nhiên của tháp phụ thuộc rất nhiều vào "hiệu quả" của độ cứng móng. Nếu mô hình tính toán giả định rằng tháp được cố định hoàn toàn, thì sai số tần số tự nhiên của tháp có thể lên đến 20%. Hướng dẫn để lựa chọn lò xo đàn hồi

cho liên kết móng tháp có nền không cứng có thể tham khảo ở Chương 8. Lưu ý rằng việc sử dụng bộ giảm chấn trên tháp để bù cho khả năng giảm chấn theo vuông góc với hướng gió đang trở nên phổ biến.

Khi có sự khác nhau lớn về độ cứng của móng trong một dự án cụ thể nào đó, chẳng hạn như việc phát triển một trang trại gió, thì phải tiến hành đánh giá tần số dao động uốn tự nhiên của tất cả các tháp riêng lẻ.

2.3.2.2. Tính toán chuyển vị cực hạn của cánh

Khoảng cách giữa tháp và đầu cánh phải tuân thủ điều kiện sau

$$d_0 - \gamma \cdot u_{\max} > F$$

d_0 khoảng cách giữa tháp và đầu cánh trong điều kiện không tải / không bị lệch

u_{\max} chuyển vị tối đa của cánh tính đến tất cả các trường hợp tải liên quan

γ hệ số an toàn thành phần khi tính chuyển vị tối đa của cánh, được chọn theo trường hợp tải liên quan

F Khoảng cách dự trữ yêu cầu giữa thân tháp và đầu cánh, thường là 0,0

Hệ số an toàn γ phụ thuộc vào bộ tiêu chuẩn nào được sử dụng để phân tích chuyển vị của cánh.

Theo IEC61400-1, hệ số an toàn về chuyển vị lớn nhất được lấy bằng hệ số an toàn riêng phần tương ứng đối với từng tải trọng γ_f nhân với hệ số an toàn của vật liệu γ_m . Giá trị của γ_m được sử dụng cho mục đích này phụ thuộc vào hệ số biến thiên của cường độ vật liệu và giá trị cường độ đặc trưng của vật liệu. Ví dụ, khi hệ số biến thiên là 10% và cường độ đặc trưng được xác định sai số 5% với độ tin cậy 95%, thì $\gamma_m = 1,1$. Giá trị của γ_f được sử dụng phụ thuộc vào trường hợp tải nào chi phối thiết kế.

Khi xem xét khoảng cách từ cánh quạt đến tháp, cần lưu ý rằng không chỉ các cánh quạt mà cả tháp sẽ bị lệch khi tiếp xúc với tải trọng gió, và độ lệch của tháp có thể lệch pha với độ lệch của các cánh.

Lưu ý rằng khe hở giữa cánh và tháp không chỉ bị chi phối bởi độ lệch của kết cấu mà còn do trượt có thể xảy ra ở khớp quay (Yaw), bởi độ vuông góc của mặt bích tháp, và dung sai về độ nghiêng và mặt phẳng rôto.

Độ lệch của cánh lớn thường xảy ra khi gặp phải các tình huống gió cực mạnh, nhưng cũng có thể trong điều kiện hoạt động khi lệch góc lớn hoặc khi địa hình dốc. Các chế

độ gió bất thường cũng có thể làm phát sinh độ lệch lớn. Chính vì thế phải đặc biệt chú ý khi thiết kế tuabin gió thiết kế nhạy cảm với một số tải trọng đặc biệt chẳng hạn như cắt gió ngược trong địa hình phức tạp.

Thực tiễn ở Đan Mạch hiện nay sử dụng dữ liệu độ cứng có sẵn trong bài toán khí lực đàn hồi để phân tích độ lệch của cánh. Độ cứng có sẵn này chính là độ cứng của cánh đã được thử nghiệm từ thí nghiệm tĩnh. Điều này nghĩa là có thể phải lập hai sơ đồ tính toán. Một sơ đồ để tính tải trọng, mô hình này để tính đúng tần số dao động riêng và độ cản của kết cấu. Mô hình thứ hai là một mô hình chuyên để tính độ lệch được điều chỉnh để phù hợp với các thí nghiệm tĩnh. Lý tưởng nhất là hai các mô hình sẽ giống nhau, nhưng trong thực tế không phải luôn như vậy.

2.3.3. Tháp hình ống

2.3.3.1. Tải trọng và hiệu ứng tải trọng

Với mục đích tính toán tải trọng trên tiết diện trong tháp, tháp có thể được xem như một con sọc như hình 7-4. Tải trọng bên ngoài, được ký hiệu bằng chỉ số T trong hình này, được đặt ở đỉnh tháp, nằm ở độ cao H so với chân tháp. Lưu ý rằng chiều cao này có thể lệch một chút so với chiều cao hub

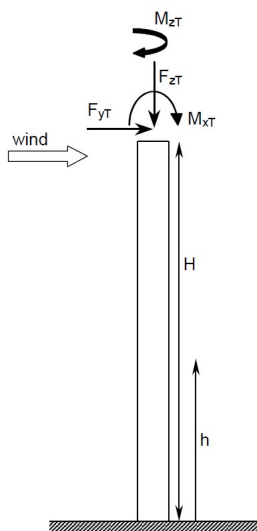
Tải trọng phân trong tháp ở độ cao h có thể được tính toán từ các tải trọng tác dụng lên đỉnh tháp:

$$F_z(h) = F_{zT} + \rho_t \int_h^H A(z) dz$$

$$M_z(h) = M_{zT}$$

$$F_y(h) = F_{yT} + F_w(h)$$

$$M_x(h) = M_{xT} + F_{yT} \cdot (H - h) + M_w(h) + F_{zT} \cdot (\delta(H) - \delta(h))$$



Hình 4-5. Mô hình dầm côn sơn của một tháp hình ống chịu tải ở giữa.

F_y Lực đẩy từ tải trọng gió

M_x mômen uốn do tải trọng gió

F_z Lực hấp dẫn

M_z Momen xoắn

ρ_t mật độ của tháp bao gồm sự xuất hiện

$A(z)$ Diện tích mặt cắt ngang là một hàm của chiều cao z

δ độ lệch của tháp do lực đẩy từ gió

Tải trọng bên ngoài, ở đây được ký hiệu bằng chỉ số T, được giả định bao gồm hiệu ứng động hoặc hệ số gió giật (khi nói đến phương pháp tựa tĩnh).

Trong M_{xT} , phải chú ý là phải đã bao gồm ảnh hưởng của lệch tâm

Lực tiết diện $F_w(h)$ và mômen $M_w(h)$ từ tải trọng gió lên tháp có thể được tính như

$$F_w(h) = \frac{1}{2} \rho \int_h^H V(z)^2 \varphi D(z) C(z) dz$$

$$M_w(h) = \frac{1}{2} \rho \int_h^H (H-h-z) V(z)^2 \varphi D(z) C(z) dz$$

ρ mật độ không khí

$V(z)$ tốc độ gió

$D(z)$ đường kính tháp ngoài

$C(z)$ Hệ số dạng

φ yếu tố gió

$C(z)$ phụ thuộc vào số Reynold, $Re = VD/v$, trong đó v biểu thị vận tốc động học của không khí. Ở 20°C , $v = 15,09 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{giây}$. Đối với tháp thép sơn, $C(z)$ có thể lấy là 0,6.

2.3.3.2. Tải trọng cực hạn

Để xác định tải trọng chi phối thiết kế, phải tìm ra tổ hợp tải trọng cụ thể gây ứng suất cao nhất trong tháp. Đây là một nhiệm vụ khá khó khăn vì số lượng mô phỏng các trường hợp tải trọng trong chuỗi thời gian 10 phút là khá lớn. Hơn nữa, việc xác định trường hợp tải nào thực sự chi phối thiết kế rất có thể sẽ khác với các phần khác nhau của tháp.

Ngoài ra, các tải phải được tổ hợp theo cách lấy giá trị lớn nhất của từng tải thành trong trường hợp tải đang xét, trong đó tải trọng chi phối phải có giá trị lớn nhất, hoặc một cách thận trọng hơn chúng có thể được tổ hợp bằng cách cộng tất cả các giá trị lớn nhất của các thành phần tải khác nhau bất kể chúng thuộc trường hợp tải nào.

2.3.3.3. Tải trọng mỗi

Tổ hợp tải trọng tính mỗi là một nhiệm vụ còn phức tạp hơn. Khi sử dụng phương pháp đếm dòng mưa như được mô tả trong Phần 4.4.1, phổ của các tải khác nhau thường không tổ hợp trực tiếp được.

Do đó có thể dùng cách tổ hợp chuỗi thời gian của các thành phần tải khác nhau khi mô phỏng. Ví dụ, kết quả của mômen uốn theo hướng θ so với trục y có thể được tính như

$$M_{res} = M_x \sin \theta + M_y \cos \theta$$

trong đó M_x và M_y là uốn các mômen liên quan đến tải các thành phần theo hướng x và y , tương ứng.

Điều này có thể được phát triển xa hơn để tính toán ứng suất tại mặt cắt trong tháp ở mọi bước trong quá trình mô phỏng và sau đó dùng để đếm dòng mưa.

2.3.3.4. Sự rung động do dòng xoáy

Tuabin phải được kiểm tra về rung động do dòng xoáy. Hiện tượng dòng xoáy có thể xảy ra trong quá trình lắp đặt tuabin, tức là trong tình huống mà rôto và máy phát chưa được gắn trên tháp. Quy trình tính toán vấn đề này có thể được tìm thấy trong

Eurocode 1, Mục 2.4, Phụ lục C hoặc cách khác trong DS410 của Đan Mạch, theo đó tốc độ gió tới hạn v_r có thể được tính như

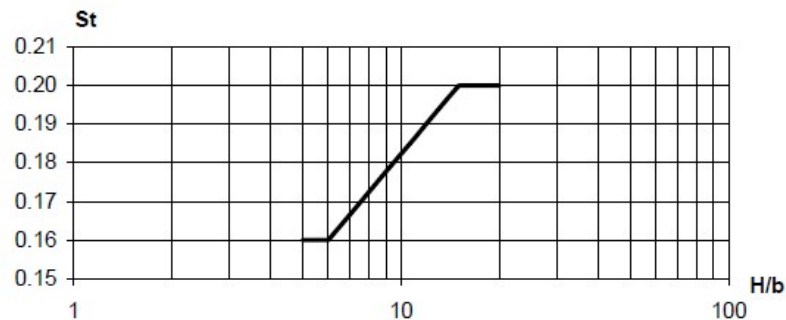
$$v_r = \frac{n \cdot D}{S_t}$$

n Tần số tự nhiên của tháp

D Đường kính tháp

S_t Số Strouhal

Đối với tháp hình nón, D phải được đặt bằng đường kính đỉnh.



Hình 7-5. Số Strouhal so với tỷ số giữa chiều cao tháp H và đường kính tháp b .

Tính toán chứng minh rằng vận tốc gió như vậy cần tránh trong khi lắp dựng tháp. Tuy nhiên, độ nhạy với hiện tượng xoáy có thể bị thay đổi tạm thời bằng các bó dây hoặc bằng cách lắp thêm khối lượng tạm thời gần đỉnh tháp.

Thông thường, rung động do xoáy không là vấn đề sau khi lắp đặt tháp và tuabin gió. Sau khi động cơ được lắp đặt, trọng lượng của nó sẽ làm giảm vận tốc gió giới hạn rung động xoáy đến mức thấp - thường dưới 10 m/s - trong khoảng vận tốc phát điện. Khi các cánh quay và đi qua tháp, chúng làm giảm tốc độ gió và tạo ra nhiễu động phía, điều này có tác dụng cản trở hiện tượng xoáy.

Một vấn đề khác, góp phần làm giảm ảnh hưởng của dao động do xoáy, là cản khí động học của các cánh và động cơ.

2.3.3.5. Mối nối hàn

Nói chung, các mối nối hàn được xem xét tương tự như các phân khúc của kết cấu khi sử dụng các hệ số giảm thích hợp cho chất lượng mối hàn cũng như các vật liệu cơ bản.

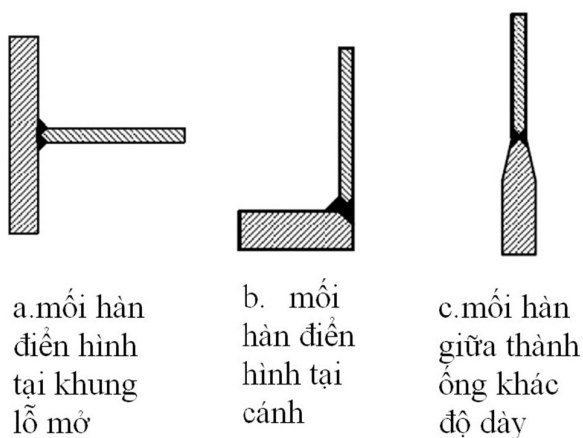
Bảng 7-1 trình bày chi tiết các loại bu lông có ren cuộn sau khi xử lý nhiệt và các mối hàn thông dụng trong tháp hình ống theo tiêu chuẩn Eurocode 3 và DS412. Các phân

loại chi tiết này với giả định là các mối hàn đối đầu ngẫu toàn bộ được kiểm soát 100% có chất lượng cấp B theo DS / ISO 25817.

Mối hàn	Phân loại
Tấm với tấm	80
Tấm với cánh	71
Tấm với xương lỗ mở	80
Bulon dọc trục	71

Bảng 7-1. Phân loại chi tiết cho bu lông và các mối hàn thông dụng trong tháp hình ống.

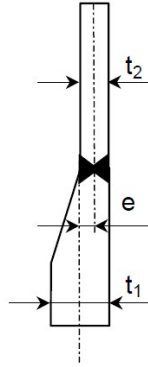
Hình 7-6 thể hiện các mối hàn điển hình trong một hình ống tòa tháp.



Hình 7-6. Các chi tiết mối hàn điển hình trong tháp hình ống

Lưu ý rằng đối với mối hàn giữa vỏ tháp và mặt bích trong Hình 7-6b, đã giả định độ dày vỏ nhỏ hơn so với độ dày mặt bích. Cũng lưu ý rằng mối hàn giữa hai lớp vỏ có độ dày khác nhau như trong Hình 7-6c được làm vát một cách đối xứng để tránh tập trung ứng suất. Độ vát của phần côn không được lớn hơn 1: 4.

Trong trường hợp côn một mặt, như thể hiện trong Hình 7-7, tập trung ứng suất phải được tính đến.



Hình 7-7. Tầm vát một mặt trong liên kế thép hình ống

Theo DNV (1987), hệ số tập trung ứng suất đối với việc vát tầm một mặt có thể được tính như

$$SCF_{taper} = 1 + 6 \frac{e}{t_2 \left(1 + \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{2.5} \right)}$$

trong đó \$t_1\$ và \$t_2\$ lần lượt là chiều dày tầm của phần dưới và phần trên của vỏ thép và độ lệch tâm \$e\$ được cho bởi

$$e = \frac{1}{2}(t_1 - t_2)$$

Khi sử dụng vật liệu chất lượng kém hơn loại B theo DS/ISO 25817 thì nên áp dụng các loại chi tiết thấp hơn cấp tương ứng. Tổn thất mỗi có thể được tính bằng quy tắc Palmgren-Miner's như được mô tả trong Phụ lục C. Khi mối hàn vuông góc với hướng của tải trọng và chiều dày vật liệu \$t\$ lớn hơn 25 mm, thì độ bền mỗi \$\sigma_{fatd}\$ phải được giảm theo công thức sau

$$\sigma_{red,fatd} = \sigma_{fatd} \cdot (25/t)^{0.25}$$

Trong trường hợp khi tính toán tuổi thọ thiết kế của chi tiết không đạt mà đã áp dụng các hệ số an toàn riêng phần thì yêu cầu phải thực hiện việc khảo sát các chi tiết đó. Nhưng nó vẫn phải đáp ứng yêu cầu về tuổi thọ danh nghĩa khi tính toán không kể đến các hệ số an toàn riêng phần. Lưu ý rằng phương pháp này chỉ được phép trong tiêu chuẩn Đan Mạch.

Khoảng thời gian cho lần khảo sát đầu tiên được thực hiện nhiều nhất nên được đặt bằng tuổi thọ theo thiết kế đã được tính toán có kể đến hệ số an toàn riêng phần. Khi

một hoặc một vài đợt khảo sát đã được thực hiện thì thời gian để khảo sát đợt tiếp theo phải sẽ được quyết định tùy thuộc vào kết quả của những đợt khảo sát trước.

2.3.3.6. Tập trung ứng suất gần cửa sập và cửa ra vào

Cửa và cửa sập gây ra tập trung ứng suất gần lỗ mở. Ứng suất tập trung này theo cách vẫn làm là được đại diện bởi một hệ số tập trung ứng suất (SCF), biểu thị tỷ lệ ứng suất giữa một mẫu có và một mẫu không có lỗ mở. Các SCF có thể được xác định từ các phương trình tham số, từ một phân tích phần tử hữu hạn hoặc bằng các thí nghiệm mô hình. Nghiên cứu của Jørgensen (1990) cho kết quả SCF khoảng 1,8 với lỗ cửa. Tuy nhiên, khuyến khích nên tự tính toán SCF cho từng chi tiết đang xét.

Việc xét đến tập trung ứng suất tại cửa tháp là rất quan trọng, chúng phụ thuộc nhiều vào cấu tạo, vị trí của cửa.

Hơn nữa, phải xem xét vấn đề cửa làm mất một phần thành ống ảnh hưởng đến khả năng chịu lực của tiết diện tháp qua cửa.

Đối với các lỗ tròn không có gia cường, như lỗ kiểm tra và lỗ thông khí, hệ số ứng suất tập trung thường là khoảng 3.

Đối với các lỗ nhỏ như lỗ bu lông, trong các tiêu chuẩn kết cấu thép đã quy định

Ngày nay, vấn đề mỗi thường chi phối thiết kế khu vực lỗ mở. Trong trường hợp này, phải lựa chọn một đường cong độ bền mỗi cho phù hợp. Điều này nên được thực hiện tuân theo Mục 9.6.3 của Eurocode 3, chỉ định việc sử dụng “Đường cong loại 71” cho mối hàn đủ ngẫu và các khuyết tật mối hàn thỏa mãn trong phạm vi cho phép. Tổng tất mỗi được tính toán bằng phương pháp Palmgren-Miner.

2.3.3.7. Phân tích ổn định

Độ bền về ổn định của trụ thường là điều kiện chi phối khi thiết kế kết cấu tháp nó liên quan đến độ dày của than trụ. Độ bền ổn định của trụ có thể được phân tích bằng cách sử dụng phương pháp được mô tả trong Phụ lục D của DS449 kết hợp với DS412, DIN 18800 hoặc các tiêu chuẩn được công nhận khác.

Sau đây, phương pháp đề xuất trong tiêu chuẩn Đan Mạch được trình bày.

Ứng suất do lực dọc trục, σ_{ad} , và do mômen uốn, σ_{bd} , được tính theo:

$$\sigma_{ad} = \frac{N_d}{2\pi R t}$$

$$\sigma_{bd} = \frac{M_d}{\pi R^2 t}$$

Hệ số giảm ε được tính như

$$\varepsilon_a = \frac{0.83}{\sqrt{1 + 0.01 \frac{R}{t}}}$$

$$\varepsilon_b = 0.1887 + 0.8113 \varepsilon_a$$

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_a \sigma_{ad} + \varepsilon_b \sigma_{bd}}{\sigma_{ad} + \sigma_{bd}}$$

Theo lý thuyết đàn hồi, ứng suất nén là

$$\sigma_{ei} = \frac{E_d}{\frac{R}{t} \sqrt{3(1-\nu^2)}}$$

Độ mảnh tương đối cho bài toán mất ổn định cục bộ là

$$\lambda_a = \sqrt{\frac{f_{yd}}{\varepsilon \sigma_{ei}}}$$

Nếu $\lambda_a \leq 0,3$, ứng suất nén tới hạn σ_{cr} tính theo

$$\sigma_{cr} = f_{yd}$$

Nếu $0,3 < \lambda_a \leq 1$, ứng suất nén tới hạn σ_{cr} tính theo

$$\sigma_{cr} = (1.5 - 0.913 \sqrt{\lambda_a}) f_{yd}$$

Tuy nhiên, nếu chiều cao tháp H thì không vượt quá $1,42 R \cdot \text{SQRT}(R/t)$, thì

$$\sigma_{cr} = f_{yd}$$

Từ lý thuyết đàn hồi, lực Euler đối với một dầm công xôn được đưa ra bởi

$$N_{ei} = \frac{\frac{1}{4} \pi^2 E_d \pi R^3 t}{H^2}$$

Độ mảnh tương đối cho ổn định tổng thể là

$$\lambda_r = \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{\left(\frac{N_{ei}}{2\pi R t}\right)}}$$

Bán kính lõi k của một ống được cho bởi

$$k = \frac{R}{2}$$

Đối với tháp bằng thép giáp nguội hàn, độ méo được tính là

$$e = 0.49(\lambda_r - 0.2)k$$

Đối với tháp thép hàn, nó có thể được tính như

$$e = 0.34(\lambda_r - 0.2)k$$

Tuy nhiên, nếu $\lambda_r \leq 0,2$ thì $e = 0$.

$$e > \frac{2}{1000}H$$

sau đó tăng thêm là $\Delta e = (e - \frac{2}{1000}H)$, được thêm vào e.

Cuối cùng, bất đẳng thức sau phải thỏa mãn

$$\frac{N_d}{2\pi R t} + \frac{N_{el}}{N_{el} - N_d} \cdot \frac{M_d + N_d e}{\pi R^2 t} < \sigma_{cr}$$

N_d Lực dọc trục thiết kế

M_d Mômen uốn thiết kế

R Bán kính tháp

T độ dày vỏ tháp

H Chiều cao tháp H

E_d thiết kế mô đun đàn hồi

ν Hệ số Poisson

f_{yd} ứng suất năng suất thiết kế

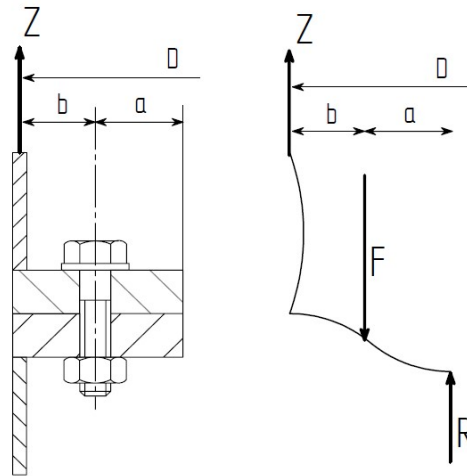
2.3.3.8. Kết nối mặt bích

Mối nối các phân đoạn của tháp và tháp với móng thường sử dụng mặt bích dạng L hoặc T

Hình 7-8 thể hiện một kết nối mặt bích L và hình dạng biến dạng của mặt trên của liên kết. Sử dụng mô hình trong Hình 7-8, lực căng Z trong thành trụ và lực bu lông F được tính từ

$$Z = \frac{4 \cdot M}{D \cdot n}$$

$$F = Z + R = Z \frac{a+b}{a}$$



Hình 7-8. Kết nối mặt bích chữ L.

Ứng suất trong bu lông, bỏ qua phần ứng suất có trước, trong kết nối mặt bích chữ L được tính theo:

$$\sigma_L = \frac{F}{A_{st}}$$

M_d Mômen uốn thiết kế

D Đường kính của vỏ tháp

n số lượng bu lông

A_{st} Diện tích mặt cắt bu lông

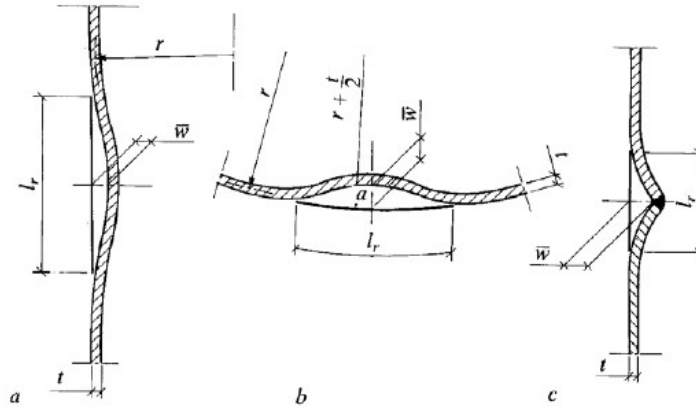
Vì mặt bích thép thường có độ dày đáng kể, nguy cơ phá hủy cần được xem xét. Điều này có thể là thực hiện theo Eurocode 3, Phụ lục C hoặc DS412, Phụ lục A.

2.3.3.9. Chống ăn mòn

Việc bảo vệ chống ăn mòn của thép phải phù hợp với DS / R 454 và đối với tuabin ngoài khơi theo DS / R 464 hoặc các tiêu chuẩn được công nhận tương tự. Loại chống ăn mòn phổ biến nhất được sử dụng cho tháp hình ống là sơn.

2.3.3.10. Dung sai và thông số kỹ thuật

Dù sử dụng tiêu chuẩn nào để phân tích độ ổn định thì đều cần giả định độ méo tối đa của tiết diện. Các dung sai này liên quan đến độ sai lệch lớn nhất về kích thước theo chiều dọc và kích thước chu vi danh nghĩa và phải được xem xét. Ngược lại, khi vượt quá dung sai, phần vượt quá đó phải được đưa vào hệ số e trong tính toán độ ổn định.



Hình 7-9. Dung sai vết lõm vỏ thép.

Khi sử dụng phương pháp phân tích ổn định, như được mô tả trong Phần 7.4.7, dung sai vết lõm tối đa theo như Hình 7-9 giả định như sau:

Giữa các mối nối ngang

- được đo theo chiều dọc vị trí bất kỳ bằng một thanh thẳng có chiều dài $l_r = 4.\sqrt{rt}$, tuy nhiên, không dài hơn 95% khoảng cách giữa các đường nối theo chu vi liền kề, độ lệch lớn nhất so với w phải thỏa mãn: $w/l_r < 0,01$ (Hình 7-9 a).

- được đo dọc theo một chu vi tùy ý với hình dạng có độ cong bằng bán kính ngoài danh nghĩa của hình trụ và chiều dài $l_r = 4.\sqrt{rt}$, độ lệch lớn nhất so với w phải đáp ứng $w/l_r < 0,01$ (Hình 7-9 b).

Tại các đường nối ngang

- được đo theo chiều dọc bằng một thanh thẳng có chiều dài $l_r = 25t$, độ lệch lớn nhất w phải thỏa mãn $w/l_r < 0,01$ (Hình 7-9 c).

Các bộ phận có độ dày lớn, chẳng hạn như các mặt bích, cần được kiểm tra để phân tầng. Hơn nữa, các mặt bích phải đáp ứng các dung sai nhất định về độ thẳng và độ tròn để có thể kết nối chính xác. Các ứng suất trong mặt bích phải tính tại điểm độ dày mặt bích nhỏ nhất, nghĩa là có kể đến dung sai

Chương 4: Chỉ dẫn thiết kế nền móng

4.1. Kết cấu Móng

Các tuabin gió trên bờ thường dùng giải pháp móng bè hoặc móng cọc. Điều kiện địa chất tại địa điểm cụ thể chi phối việc chọn giải pháp móng bè hay móng cọc. Móng bè được ưu tiên khi lớp đất trên cùng đủ tốt, đủ dày để chịu tải từ tuabin gió, dùng móng cọc khi các lớp đất trên cùng yếu để truyền tải xuống sâu. Khi đánh giá xem lớp đất trên mặt có đủ khả năng để chịu tải hay không, thì phải xét đến cả vấn đề mực nước ngầm dưới đáy móng.

Đối với tuabin gió ngoài khơi, công trình này là một kết cấu phức hợp hơn, gồm có bộ phận kết cấu đặc biệt truyền tải từ chân tháp tuabin gió qua nước đến các lớp đất chịu lực. Ngoài tải trọng từ tuabin gió, kết cấu phải chịu thêm các tải trọng môi trường như sóng, dòng chảy và băng trôi. Ba loại hình kết cấu móng cho các tuabin gió ngoài khơi:

- Kết cấu cọc đơn
- Kết cấu móng trọng lực
- Kết cấu chân đế ba chân

Monopile là kết cấu một cọc ống thẳng đứng, được đóng hoặc khoan vào đất giống như các loại cọc khác. Kết cấu móng trọng lực giữ ổn định bằng trọng lượng của chính nó và thường được xây dựng bằng bê tông cốt thép. Kết cấu trọng lực cũng có thể được xây dựng từ kết cấu thép, trong trường hợp đó, trọng lượng cần thiết để giữ ổn định có thể đạt được bằng cách dẫn vật liệu nặng như olivin nghiền nhỏ bên trong các khoang của kết cấu thép. Kết cấu khung thép ba chân là kết cấu có phần đế là ba chân, mỗi chân được đỡ bởi một cọc đóng hoặc móng giếng (suction pile).

Việc lựa chọn loại móng phụ thuộc nhiều vào điều kiện địa chất tại vị trí dự kiến xây dựng. Khi đã chọn được phương án móng và quá trình thiết kế cần giải quyết các vấn đề địa kỹ thuật sau đây:

- Khả năng chịu lực và ổn định
- Suy giảm khả năng chịu lực của nền khi bị gia tải theo chu kỳ
- Lún cố kết
- Lún lệch
- Xói mòn và xâm thực

4.1.1. Khảo sát địa chất

Khảo sát địa chất phải cung cấp đủ các dữ liệu địa chất cần thiết để thiết kế chi tiết kết cấu nền móng cụ thể tại một vị trí cụ thể. Khảo sát địa chất có thể được chia thành các phần sau:

- nghiên cứu điều kiện địa chất
- khảo sát địa vật lý
- khảo sát địa kỹ thuật

Các vấn đề này được nêu ngắn gọn trong phần sau.

Công tác nghiên cứu địa chất là dựa vào thông tin có sẵn về lịch sử địa chất của khu vực xây dựng. Mục đích của nghiên cứu là làm cơ sở để lựa chọn các phương pháp và phạm vi khảo sát hiện trường kỹ hơn.

Khảo sát địa vật lý được sử dụng để phát triển các thông tin cục bộ từ các hố khoan đơn lẻ và các thử nghiệm tại chỗ để có thông tin về sự phân tầng địa chất và địa hình đáy biển. Công tác khảo sát này cung cấp thông tin để lựa chọn vị trí móng phù hợp trong khu vực. Khảo sát địa vật lý thường được thực hiện bằng phương pháp địa chấn.

Khảo sát địa kỹ thuật bao gồm:

- lấy mẫu đất để thí nghiệm trong phòng
- Thí nghiệm đất tại hiện trường

Công tác khảo sát địa chất phải được thực hiện phù hợp với các phương pháp thiết kế địa kỹ thuật được sử dụng. Công tác khảo sát tại hiện trường và công tác thí nghiệm trong phòng phải tìm ra các địa tầng toàn bộ khu vực, do đó cung cấp đầy đủ số liệu địa kỹ thuật như sau cho tất cả các lớp đất quan trọng:

- dữ liệu để phân loại và mô tả các lớp đất, chẳng hạn như
- trọng lượng đơn vị của mẫu
- trọng lượng đơn vị của hạt
- hàm lượng nước
- giới hạn chảy và giới hạn dẻo
- phân phối hạt
- các thông số cần thiết để thiết kế chi tiết và hoàn chỉnh nền móng, chẳng

hạn như

- thí nghiệm tính thấm

- thí nghiệm cô kết
- thí nghiệm tĩnh để xác định các thông số về cường độ cắt như góc ma sát ϕ đối với cát và cường độ cắt không thoát nước C_u đối với đất sét (thí nghiệm ba trục và thí nghiệm cắt trực tiếp)
- thí nghiệm có chu kỳ để xác định các thông số về độ bền và độ cứng (thí nghiệm ba trục, thí nghiệm cắt trực tiếp và thí nghiệm cột cộng hưởng)

Công tác lấy mẫu có thể là khoan hoặc không khoan. Thí nghiệm xuyên tĩnh (CPT) và các thí nghiệm cắt là các phương pháp thí nghiệm hiện trường được sử dụng phổ biến nhất. Các thí nghiệm hiện trường đó được triển khai để thu được các thông số trung gian chẳng hạn như cường độ cắt không thoát nước của đất sét. Ngoài các thí nghiệm đó thì có thể phải tiến hành thêm các thí nghiệm khác tùy thuộc vào mức độ yêu cầu của của các loại kết cấu móng được dùng, ví dụ, móng cọc hay móng trọng lực.

Một số nước, điển hình như Đan Mạch yêu cầu để phê duyệt thì cần phải có báo cáo địa kỹ thuật từ các kết quả khảo sát địa hình, địa chất. Báo cáo địa kỹ thuật này phải chứa đầy đủ thông tin về địa điểm và các loại đất của nó, ví dụ: về đặc tính cường độ và biến dạng của đất, cho phép thiết kế nền đối với:

- khả năng chịu lực
- ổn định chống trượt
- độ lún
- độ cứng của nền móng
- yêu cầu và khả năng thoát nước
- hệ số tĩnh và động của khả năng nén
- tính nhạy cảm với tải trọng động

4.1.2. Khuyến cáo cho móng trọng lực

Như đã đề cập từ phần trước với móng trọng lực cần tiến hành khảo sát chuyên sâu về các lớp trầm tích trên mặt. Việc khảo sát này phải đủ sâu, sâu hơn độ sâu của bất kỳ vị trí nào mà có thể phát sinh ứng suất cắt nguy hiểm. Ngoài ra, tất cả các lớp đất chịu ảnh hưởng của kết cấu về lún phải được khảo sát. Điều này cũng đúng đối với tất cả các lớp đất góp phần vào độ cứng của móng. Độ cứng của móng có tầm quan trọng đối với việc thiết kế kết cấu phần trên. Chiều sâu khảo sát ít nhất phải bằng kích thước cơ bản lớn nhất của kết cấu móng.

Việc tang số lượng các lỗ khoan nông có lấy mẫu phải được xác định trên cơ sở loại và kích thước móng cũng như hiểu biết chung về điều kiện đất ở khu vực được xem xét để lấp đặt. Cần chú ý đến các lớp mặt và các lớp đất yếu hơn ở phía dưới. Khuyến cáo rằng khoảng cách lấy mẫu không vượt quá 1,0-1,5 m. Cần lấy một số mẫu đất ở đáy biển và phân bố đều trên khu vực để đánh giá khả năng xảy ra hiện tượng xói.

Thí nghiệm CPT nông rải đều trên khu vực xây dựng nên được thực hiện để bổ sung cho các hố khoan. Số lượng các CPT phụ thuộc vào điều kiện đất và kiểu và kích thước của kết cấu. Nếu điều kiện đất trên địa điểm xây dựng mà biến đổi lớn, số lượng CPT sẽ phải tăng lên. Các thí nghiệm CPT nông nên cung cấp đồ thị liên tục từ bề mặt đất đến độ sâu quan tâm tối đa.

Các thí nghiệm chuyên ngành như thử tải tấm, thử áp kế và đo vận tốc sóng cắt phải được xem xét khi cần thiết.

4.1.3. Khuyến cáo cho kết cấu móng cọc

Đối với phân tích cọc bên, các xuyên tĩnh nông nên được thực hiện từ bề mặt đến độ sâu 20-30m. Ngoài ra, cần tiến hành khoan nông có lấy mẫu để xác định rõ hơn đặc tính của từng lớp đất đã được xác định bằng các thí nghiệm xuyên tĩnh. Khuyến cáo rằng khoảng cách lấy mẫu không vượt quá 1,0-1,5m.

Liên quan đến bài toán phân tích cọc dọc trục, cần thực hiện CPT dọc 1 chiều sâu hố khoan để có được biểu đồ CPT liên tục. Ngoài ra, ít nhất một mũi khoan gần đó là để lấy mẫu để phục vụ phân tích sức chịu tải cọc dọc trục. Độ sâu tối thiểu phải bằng độ hạ cọc dự kiến cộng với vùng ảnh hưởng đủ để đánh giá nguy cơ chọc thủng ủa mũi cọc. Khoảng cách lấy mẫu phải được xác định từ kết quả thí nghiệm CPT, nhưng không được vượt quá 3 m.

Đối với các công trình lấp đặt ngoài khơi, cần lấy một số lượng mẫu đất đáy biển phân bố đều trên khu vực xây dựng để đánh giá khả năng xói chân cọc.

Cần đặc biệt chú ý đến các lớp đất có thể đặt được mũi cọc hoặc các lớp đất cứng khác. Khi đó, bổ sung các thí nghiệm CPT và lấy mẫu để xác định chiều dày và phạm vi phân bố của các lớp đó trong khu vực.

4.2. Kết cấu móng trọng lực

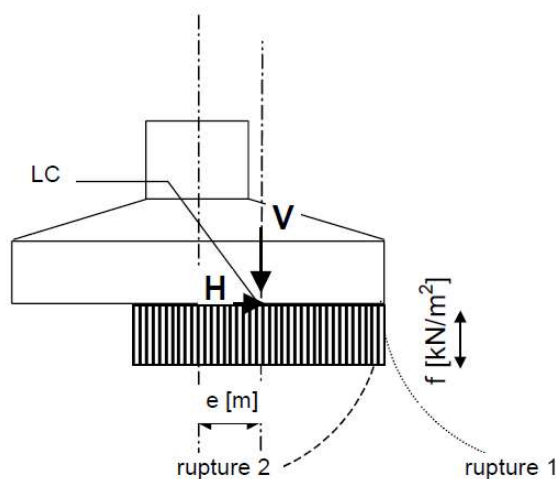
Yêu cầu về độ ổn định của móng thường là yếu tố quyết định nhất liên quan đến việc xác định diện tích móng, độ sâu chôn móng và trọng lượng cần thiết. Do đó, quá trình thiết kế tối ưu phải chú trọng nhiều đến bài toán ổn định.

Bài toán ổn định của nền móng thường được giải quyết bằng phương pháp cân bằng giới hạn, tức là phải đảm bảo cân bằng giữa lực chống mất ổn định và lực gây mất ổn định. Trong phương pháp cân bằng giới hạn, phải tính thử một số mặt phá hủy để tìm ra mặt phá hủy nguy hiểm nhất liên quan đến ổn định.

Tuy nhiên, vì móng của tuabin gió thường có diện tích tương đối nhỏ, nên các công thức về khả năng chịu lực cho các điều kiện lý tưởng thường đủ và được chấp nhận cho thiết kế. Công thức khả năng chịu lực được đưa ra như sau.

4.2.1. Công thức tính khả năng chịu lực

Tất cả các lực tác động lên kết cấu, bao gồm cả lực truyền từ tuabin gió, được truyền đến bộ móng và kết hợp thành lực H và V theo phương ngang và phương thẳng đứng, tương ứng tại mặt tiếp xúc nền - đất.



Hình 8-1. Tải trọng trong điều kiện lý tưởng hóa.

Trong phần sau, giả thiết rằng H và V là các lực thiết kế, tức là chúng là các lực đặc trưng đã được nhân với hệ số tải từng phần liên quan của chúng γ_f . Điều này được biểu thị bằng chỉ số d trong công thức khả năng chịu lực, do đó là H_d và V_d . Tâm tải trọng, ký hiệu là LC , là điệ đặt lực H và V , độ lệch tâm e của lực dọc V so với đường tâm của móng.

Xem Hình 8-1, độ lệch tâm được tính như sau:

$$e = \frac{M_d}{V_d}$$

trong đó M_d biểu thị mômen lật thiết kế tại mặt tiếp xúc móng – nền đất.

Hiệu chỉnh do mô-men xoắn

Khi có một mômen xoắn M_z tác dụng vào móng bên cạnh các lực H và V , sự tương tác giữa mômen xoắn và những lực có thể được tính đến bằng cách thay thế H và M_z với một lực ngang tương đương H' . Khả năng chịu lực của móng là sau đó được đánh giá cho tập hợp lực (H' , V) thay cho tập hợp lực (H , V). Theo Hansen (1978), lực ngang tương đương có thể được tính như

$$H' = \frac{2 \cdot M_z}{l_{eff}} + \sqrt{H^2 + \left(\frac{2 \cdot M_z}{l_{eff}} \right)^2}$$

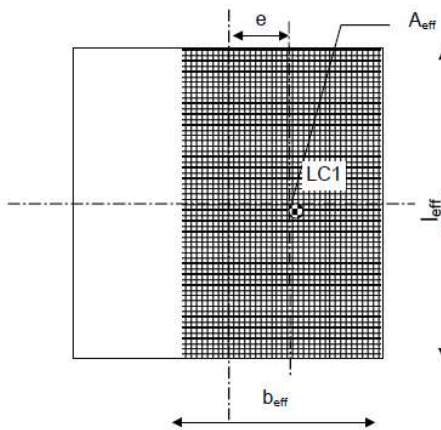
trong đó l_{eff} là chiều dài diện tích móng hiệu dụng như được xác định sau đây.

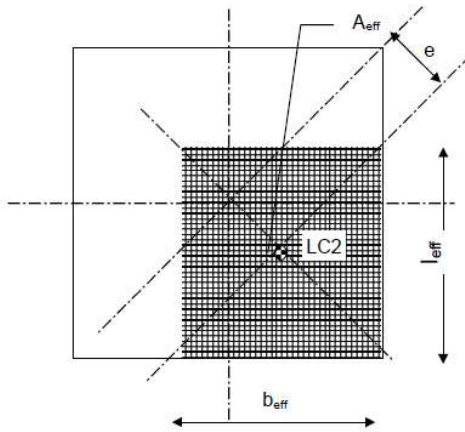
Diện tích móng hiệu quả

Để tính khả năng chịu lực của móng thì cần biết diện tích nền hiệu dụng A_{eff} . Diện tích móng hiệu dụng được tạo ra với tâm hình học của nó trùng với tâm tải trọng. Với móng hình chữ nhật có chiều rộng b , diện tích hiệu dụng A_{eff} có thể được định nghĩa là

$$A_{eff} = b_{eff} \cdot l_{eff}$$

trong đó các kích thước hiệu dụng b_{eff} và l_{eff} có giá trị phụ thuộc vào tình huống nào trong hai tình huống tải lý tưởng dưới đây nguy hiểm nhất cho móng.





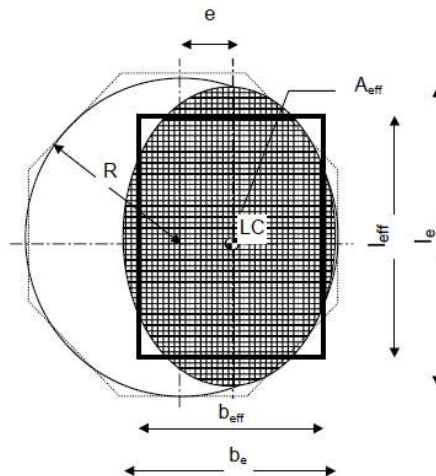
Hình 8-2. Móng chữ nhật với hai cách tiếp cận cách tạo vùng nền hiệu quả.
 Kích bản 1 tương ứng với độ lệch tâm của tải trọng đối với một trong hai trục đối xứng của móng. Theo kích bản này, các thứ nguyên hiệu quả sau được sử dụng:

$$b_{eff} = b - 2 \cdot e, l_{eff} = b$$

Kích bản 2 tương ứng với độ lệch tâm của tải trọng đối với cả hai trục đối xứng của móng. Theo kích bản này, các thứ nguyên hiệu quả sau được sử dụng:

$$b_{eff} = l_{eff} = b - e\sqrt{2}$$

Xem Hình 8-2. Diện tích hiệu dụng nào cho khả năng chịu lực nhỏ nhất thì được chọn.



Hình 8-3. Móng tròn và hình tam giác với vùng nền hiệu quả được đánh dấu.
 Đối với móng hình tròn có bán kính R , diện tích hiệu quả hình elip A_{eff} có thể được định nghĩa là

$$A_{\text{eff}} = 2 \left[R^2 \arccos\left(\frac{e}{R}\right) - e\sqrt{R^2 - e^2} \right]$$

$$b_e = 2(R - e)$$

$$l_e = 2R \sqrt{1 - \left(1 - \frac{b_e}{2R}\right)^2}$$

Diện tích nền hiệu dụng A_{eff} bây giờ có thể được biểu diễn bằng một hình chữ nhật với các kích thước sau

$$l_{\text{eff}} = \sqrt{A_{\text{eff}} \frac{l_e}{b_e}} \quad b_{\text{eff}} = \frac{l_{\text{eff}}}{l_e} b_e$$

Đối với diện tích hiệu dụng có hình dạng đa giác đối xứng 2 trục (bát giác trở lên), công thức cho hình tròn ở trên có thể được sử dụng với điều kiện bán kính bằng bán kính của đường tròn nội tiếp của đa giác.

Khả năng chịu lực

Đối với nền thoát nước hoàn toàn và phá hoại theo Rupture 1 như được thể hiện trong Hình 8-1, khả năng chịu lực của một móng có thể được tính theo công thức tổng quát sau

$$q_d = \frac{1}{2} \gamma' b_{\text{eff}} N_{\gamma} s_{\gamma} i_{\gamma} + p'_0 N_q s_q i_q + c_d N_c s_c i_c$$

Đối với các điều kiện không thoát nước, nghĩa là $\phi = 0$, công thức sau được áp dụng

$$q_d = c_{ud} \cdot N_c^0 \cdot s_c^0 \cdot i_c^0 + p_0$$

q_d sức chịu tải thiết kế [kN/ m²]

γ' trọng lượng đơn vị hiệu dụng (điều kiện tự nhiên) của đất [kN/ m³]

p'_0 áp lực hiệu quả ở cao độ mặt móng [kN / m²]

c_d lực dính thiết kế hoặc cường độ thiết kế không thoát nước được tính dựa trên cường độ thực tế [kN/ m²]

N_{γ}, N_q, N_c hệ số khả năng chịu lực, không thứ nguyên

S_{γ}, s_q, s_c hệ số hình dạng, không thứ nguyên

i_{γ}, i_q, i_c hệ số độ nghiêng, không thứ nguyên

Xem trong DS415 (DS 415, 1998).

Về nguyên tắc, các công thức được trích dẫn áp dụng cho móng đặt nổi. Tuy nhiên, cũng có thể được áp dụng được cho các móng được chôn sâu, sẽ cho kết quả thiên về an toàn. Ngoài ra, ảnh hưởng của độ sâu có thể được tính toán theo công thức được đưa ra trong DNV (1992). Các tính toán phải dựa trên sức kháng cắt của đất:

$$c_{ud} = \frac{c}{\gamma_c}$$

$$\phi_d = \arctan\left(\frac{\tan(\phi)}{\gamma_\phi}\right)$$

Các hệ số γ_f và γ_ϕ được lấy theo quy phạm sử dụng và phụ thuộc vào bài toán tính, tức là có thoát nước hoặc không thoát nước.

Các yếu tố không thứ nguyên N , s và i có thể được xác định bằng các công thức được đưa ra sau đây.

Điều kiện thoát nước:

Hệ số khả năng chịu lực N :

$$N_q = e^{\pi \tan \phi_d} \cdot \frac{1 + \sin \phi_d}{1 - \sin \phi_d}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi_d$$

$$N_\gamma = \frac{1}{4} \cdot ((N_q - 1) \cdot \cos \phi_d)^{\frac{3}{2}}$$

Theo Hansen (1970), N_γ có thể cách khác được tính theo

$$N_\gamma = \frac{3}{2} \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \phi_d$$

Hệ số hình dạng s :

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \frac{b_{eff}}{l_{eff}}$$

$$s_q = s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{b_{eff}}{l_{eff}}$$

Hệ số độ nghiêng i :

$$i_q = i_c = \left(1 - \frac{H_d}{V_d + A_{eff} \cdot c_d \cdot \cot \phi_d}\right)^2$$

$$i_{\gamma} = i_q^2$$

Điều kiện không thoát nước, $\phi = 0$:

$$N_c^0 = \pi + 2$$

$$s_c^0 = s_c$$

$$i_c^0 = 0.5 + 0.5 \cdot \sqrt{1 - \frac{H}{A_{\text{eff}} \cdot c_{ud}}}$$

Tải lệch tâm lớn

Trong trường hợp tải quá lệch tâm, tức là độ lệch tâm vượt quá 0,3 lần chiều rộng móng, $e > 0,3b$, phải bổ sung tính toán khả năng chịu lực của móng, tương ứng với khả năng phá hủy theo Rupture 2 trong Hình 8-1. Dạng phá hủy này liên quan đến phá hủy của phần đất nằm ở phần không chịu tải của móng, tức là dưới gót của móng. Đối với trường hợp này, công thức tính khả năng chịu lực như sau:

$$q_d = \gamma' b_{\text{eff}} N_{\gamma} s_{\gamma} i_{\gamma} + c_d N_c s_c i_c (1.05 + \tan^3 \phi)$$

Hệ số độ nghiêng

$$i_q = i_c = 1 + \frac{H}{V + A_{\text{eff}} \cdot c \cdot \cot \phi}$$

$$i_{\gamma} = i_q^2$$

$$i_c^0 = \sqrt{0.5 + 0.5 \cdot \sqrt{1 + \frac{H}{A_{\text{eff}} \cdot c_{ud}}}}$$

Khả năng chịu lực được chọn là giá trị nhỏ nhất trong số các giá trị của q_d tính theo Rupture 1 và Rupture 2.

Khả năng chống trượt của đất

Móng chịu tải trọng ngang sẽ phải được kiểm tra về khả năng chống trượt. Tiêu chuẩn sau được áp dụng trong điều kiện thoát nước:

$$H < A_{\text{eff}} \cdot c + V \cdot \tan \phi$$

Đối với điều kiện không thoát nước trong đất sét, $\phi = 0$, áp dụng tiêu chí sau:

$$H < A_{\text{eff}} \cdot c_{ud}$$

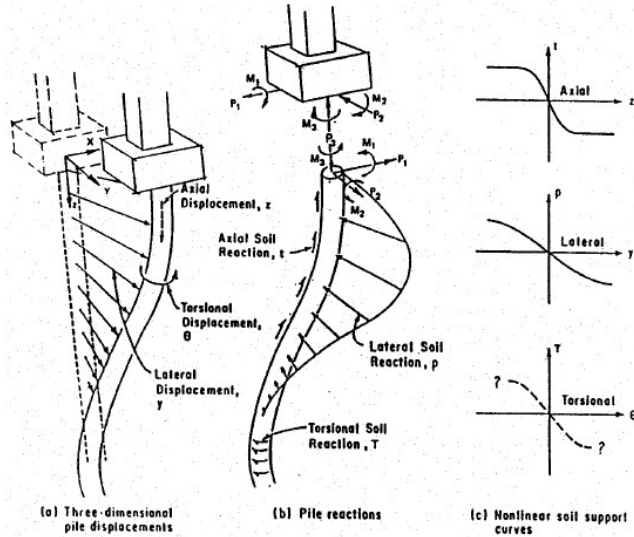
Với điều kiện

$$\frac{H}{V} < 0.4$$

4.3. Kết cấu Móng cọc

Móng cọc có thể là một hoặc nhiều cọc truyền tải từ kết cấu phần trên xuống nền đất. Tải trọng tác dụng lên đỉnh một cọc truyền dần xuống dưới và được các lớp đất hấp thụ thông qua sức kháng dọc trục và sức kháng ngang. Sức kháng dọc trục và sức kháng ngang của cọc là từ lực cản của đất tác động lên cọc khi cọc chuyển dịch dưới tác dụng của tải trọng.

Trong thiết kế cọc, người ta thường bỏ qua sự tương tác có thể có giữa sức kháng dọc trục và sức ngang của cọc và coi hai sức kháng này là độc lập với nhau. Điều này là hợp lý vì phần đất gần bề mặt đất chủ yếu đóng góp vào sức kháng ngang mà không đóng góp nhiều vào sức kháng dọc trục, trong khi phần đất dọc theo cọc về phía mũi cọc chủ yếu đóng góp vào sức kháng dọc trục mà không đóng góp nhiều vào sức kháng ngang. Mô hình phản lực dọc trục và ngang cọc được trình bày dưới đây tuân theo giả định về sự độc lập giữa sức kháng dọc trục và sức kháng ngang cọc.



Hình 8-4. Chuyển vị và phản lực của cọc, từ Reese et al. (1996)

Tuy nhiên, về tổng thể, sức tải bên và sức tải dọc trục có thể tương tác với nhau, vì các tác động phi tuyến làm tải trọng dọc trục ảnh hưởng đến ứng xử ngang của cọc. Khi cọc bị xoắn, lực kháng xoắn sẽ xuất hiện ngoài sức kháng dọc trục và lực cản ngang. Lưu ý rằng sức kháng dọc trục cục bộ và sức kháng xoắn tương ứng phụ thuộc

lẫn nhau, vì cả hai đều phát sinh từ ma sát của đất với bề mặt cọc. Chuyển vị dọc trục, ngang và xoắn của cọc và các phản ứng tương ứng của đất đối với một cọc đơn chịu tải trọng bên ngoài ở đỉnh được minh họa trong Hình 8-4.

Lưu ý khi thiết kế cọc, cần phải xem xét ảnh hưởng của quy trình đóng cọc. Ví dụ, ứng suất trong quá trình đóng cọc góp phần đáng kể vào tải trọng gây môi và cần phải được kể đến khi tính môi của thành cọc.

- Nhóm cọc

Trường hợp móng là nhóm cọc, nghĩa là các cụm của hai hoặc nhiều cọc đặt cách nhau gần nhau, ảnh hưởng của nhóm cọc cần được xem xét khi đánh giá sức kháng dọc trục và ngang của cọc. Có hai loại hiệu ứng nhóm:

- tổng sức kháng của nhóm cọc nhỏ hơn tổng sức kháng của các cọc riêng lẻ trong nhóm cộng lại do có sự chùng giữa các vùng đất chịu lực xung quanh các cọc riêng lẻ. Cận dưới của sức tải dọc trục của nhóm cọc là sức tải dọc trục của “trụ” đất bao bọc tất cả các cọc trong nhóm và đất giữa chúng.

- Khi cùng chịu 1 tải, chuyển vị của một cọc riêng lẻ trong nhóm khi lớn hơn khi là cọc đơn, vì đất xung quanh nó sẽ có chuyển dịch do tải trọng truyền lên đất từ các cọc liền kề trong nhóm. Loại hiệu ứng nhóm này còn được gọi là tương tác giữa cọc - đất - cọc. Trong thực tế, sự tương tác giữa cọc-đất-cọc như vậy có thể được biểu diễn một cách hợp lý bằng phương pháp lực điểm của Mindlin cho bán không gian đàn hồi.

Hiểu biết về sự làm việc từng cọc đơn trong nhóm vẫn còn hạn chế vì vậy để an toàn ta sử dụng sức kháng của nhóm cọc. Khi tính toán công trình có nhóm cọc, ngoài các hiệu ứng nêu trên cần xét đến ảnh hưởng của kết cấu bên trên và kết cấu vác cọc. Sự liên kết của các cọc ảnh hưởng đến việc phân phối tải trọng giữa các cọc trong nhóm. Các cọc thường có thể được giả định là được ngàm cứng vào kết cấu vác cọc, và kết cấu vác cọc được giả định là một kết cấu tuyệt đối cứng hoặc một đài cọc tuyệt đối cứng.

- Sức kháng dọc trục

Sức kháng dọc trục của cọc bao gồm hai thành phần

- Tổng sức kháng ma sát bên
- Sức kháng đầu cọc

Với nền đất gồm N lớp đất, sức kháng của cọc R có thể được biểu thị như

$$R = R_s + R_T = \sum_{i=1}^N f_{Si} A_{Si} + q_T A_T$$

ma sát đơn vị trung bình f_{Si} dọc theo cọc ở lớp i

Diện tích mặt cắt cọc A_{Si} ở lớp i

Sức kháng mũi đơn vị q_T

A_T tổng diện tích mũi cọc

- Đất dính.

Đối với cọc trong lớp đất dính, ma sát da đơn vị trung bình f_s có thể tính theo

(1) phương pháp tổng ứng suất, còn gọi là phương pháp α , công thức

$$f_{Si} = \alpha c_u$$

$$\alpha = \begin{cases} \frac{1}{2\sqrt{c_u/p_0'}} & \text{for } c_u / p_0' \leq 1.0 \\ \frac{1}{2^4\sqrt{c_u/p_0'}} & \text{for } c_u / p_0' > 1.0 \end{cases}$$

trong đó c_u là cường độ cắt không thoát nước của đất, và p_0' là hiệu ứng suất hiệu quả tại điểm xét.

(2) các phương pháp ứng suất hiệu quả, tức là phương pháp β , công thức

$$f_{Si} = \beta p_0'$$

trong đó giá trị β trong khoảng 0,1-0,25 là đề xuất dung cho cọc có chiều dài vượt 15 m.

(3) phương pháp bán thực nghiệm λ , theo đó các lớp đất được coi như một lớp duy nhất, với mà ma sát thành trung bình được tính như

$$f_s = \lambda(p_{0m}' + 2c_{um})$$

p_{0m}' ứng suất hiệu quả trung bình giữa đầu cọc và mũi cọc

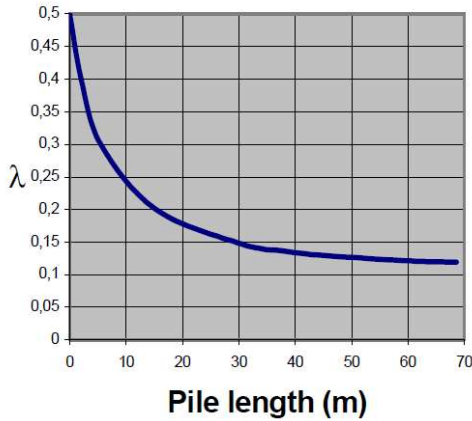
c_{um} cường độ cắt không thoát nước trung bình dọc thân cọc

λ hệ số không thứ nguyên, phụ thuộc vào chiều dài cọc như hình 8-5

Do đó, theo phương pháp này, tổng sức kháng của cọc $R_s = f_s A_s$, trong đó A_s là diện tích tiết diện cọc.

Đối với cọc dài mảnh, phá hủy cọc và đất có thể xảy ra sát đáy biển ngay cả trước khi sức kháng gần mũi cọc được huy động hết. Đây là do cọc mềm và sự khác biệt liên

quan về chuyển vị tương đối của cọc-đất dọc theo chiều dài của cọc. Đây là hiệu ứng chiều dài của cọc, trong trường hợp đất yếu, điều đó có nghĩa là sức kháng của cọc mềm sẽ nhỏ hơn sức chịu đựng của cọc cứng.



Hình 8-5. Hệ số λ so với chiều dài cọc

Để phân tích ứng suất biến dạng của cọc theo phương dọc trục, cọc có thể được mô hình hóa dưới dạng các phần tử thanh liên tiếp có liên kết lò xo phi tuyến đặt tại các điểm nút giữa các phần tử. Các lò xo phi tuyến là đường cong t-z và biểu diễn mối quan hệ lực và chuyển vị của cọc và đất. Ứng suất t là tổng ma sát da dọc trục trên một đơn vị diện tích bề mặt cọc và z là chuyển vị tương đối dọc trục của đất - cần để tạo ra ma sát này.

- Đất cát

Đối với cọc trong đất rời, ma sát đơn vị trung bình có thể được tính theo

$$f_s = K p_0' \tan \delta \leq f_1$$

K=0.8 trường hợp đầu cọc hở

=1.0 trường hợp đầu cọc kín

p_0' Ứng suất hiệu quả

δ góc ma sát của đất trên thành cọc như trong Bảng 8-1

f_1 ma sát da đơn vị, xem Bảng 8-1 để được hướng dẫn

- Sức kháng mũi

Sức kháng mũi đơn vị của cọc bịt đầu trong đất rời được tính như sau

$$q_p = N_q p_0' \leq q_1$$

N_q có thể được lấy từ Bảng 8-1; q_l giới hạn sức kháng mũi, xem Bảng 8-1 để được hướng dẫn

Với đất dính

$$q_p = N_c c_u$$

$$N_c = 9$$

c_u cường độ cắt không thoát nước của đất tại mũi cọc

Trạng thái	Lớp đất	D (degree)	F_i (kPa)	N_q	Q_i (MPa)
Rất yếu	Sét	15	48	8	1.9
Yếu	Á cát ⁽²⁾				
Chặt vừa	Sét				
Rất yếu	Sét	20	67	12	2.9
Yếu	Á cát ⁽²⁾				
Chặt vừa	Sét				
Chặt vừa	Cát	25	81	20	4.8
Chặt	Á cát ⁽²⁾				
Chặt	Cát	30	96	40	12.0
Rất chặt	Á cát ⁽²⁾				
Chặt	Sỏi	35	115	50	12.0
Rất chặt	Cát				
1) Thông số trong bảng chỉ là định hướng, khi có kết quả khảo sát chi tiết, các giá trị có thể khác 2) Á cát là lớp đất tỷ lệ lẫn cả cát và bùn sét, cường độ tăng khi phần cát nhiều hơn, giảm nếu bùn sét nhiều hơn					

Bảng 8-1. Các thông số thiết kế về sức kháng dọc trục của cọc đóng trong đất không dính kết (trích từ API (1987)).

- Đường cong t-z

Các đường cong t-z có thể được thiết lập theo phương pháp của Kraft et al. (1981). Theo phương pháp này, tồn tại quan hệ phi tuyến giữa điểm gốc và điểm đạt tới sức cản tối đa của t_{max} ,

$$z = t \frac{R}{G_0} \ln \frac{z_{IF} - r_f \frac{t}{t_{\max}}}{1 - r_f \frac{t}{t_{\max}}} \text{ for } 0 \leq t \leq t_{\max}$$

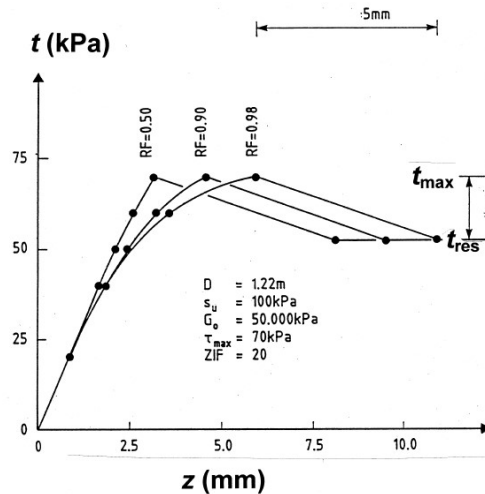
R Bán kính của cọc

G_0 mô đun cắt ban đầu của đất

Z_{IF} Vùng ảnh hưởng không thứ nguyên, được định nghĩa là bán kính của khu vực ảnh hưởng xung quanh cọc chia cho R

r_f hệ số phù hợp đường cong

Khi chuyển vị z vượt quá tới hạn đạt t_{\max} , thì t giảm tuyến tính với z đến t_{res} . Z tiếp tục tăng thì t vẫn không thay đổi. Ví dụ về đường cong t - z được tạo ra theo phương pháp này được đưa ra trong Hình 8-6. Sức kháng tối đa có thể được tính toán theo một trong những các phương pháp dự đoán ma sát đơn vị đã đưa ra ở trên.



Hình 8-6. Ví dụ về đường cong t - z được tạo ra bởi mô hình.

Đối với đất sét, mô đun cắt ban đầu của đất được sử dụng để tạo đường cong t - z có thể lấy như

$$G_0 = 2600 c_u$$

Eide và Andersen (1984) đề nghị một giá trị nhỏ hơn theo công thức

$$G_0 = 600c_u - 170c_u \sqrt{OCR - 1}$$

c_u cường độ cắt không thoát nước của đất sét

Tỷ số quá cố kết OCR

Đối với cát, mô đun cắt ban đầu của đất được sử dụng để tạo đường cong t-z được coi là

$$G_0 = \frac{m\sqrt{\sigma_a\sigma_v}}{2(1+\nu)}$$

với $m = 1000 \cdot \tan\varphi$

$\sigma_a = 100$ kPa, áp suất khí quyển

σ_v ứng suất hiệu quả theo chiều dọc

ν Tỷ lệ Poisson của đất

φ góc ma sát của đất

- Cọc chịu tải trọng ngang

Phương pháp phổ biến nhất để phân tích cọc chịu tải ngang là dựa trên việc sử dụng đường cong p-y. Các đường cong p-y cho ta quan hệ giữa giá trị tổng p của phản lực huy động từ đất xung quanh khi cọc dịch chuyển một khoảng y theo phương ngang. Cọc được mô hình hóa như các phần tử thanh, được đỡ bởi các lò xo phi tuyến đặt tại các điểm nút giữa các phần tử. Các lò xo phi tuyến được đặc trưng bởi một đường cong p-y tại mỗi điểm nút, xem Hình 8-7.

Chuyển vị cọc và ứng suất cọc tại bất kỳ điểm nào dọc theo cọc đối với tải trọng tác dụng lên đầu cọc là kết quả từ nghiệm thành phương trình vi phân của cọc

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + Q_A \frac{d^2 y}{dx^2} - p(y) + q = 0$$

$$EI \frac{d^3 y}{dx^3} + Q_A \frac{dy}{dx} = Q_L \text{ and } EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M$$

x vị trí dọc theo trục cọc

EI Độ cứng uốn của cọc

Q_A Lực dọc trục trong cọc

Q_L lực bên trong cọc

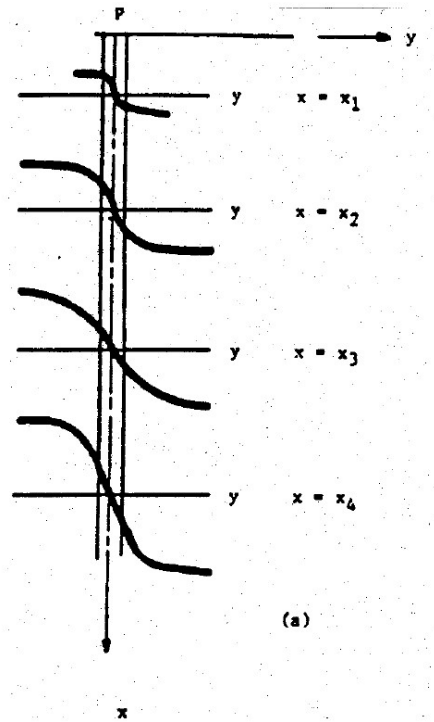
$p(y)$ phản lực bên của đất lên cọc

q tải trọng phân bố dọc theo cọc

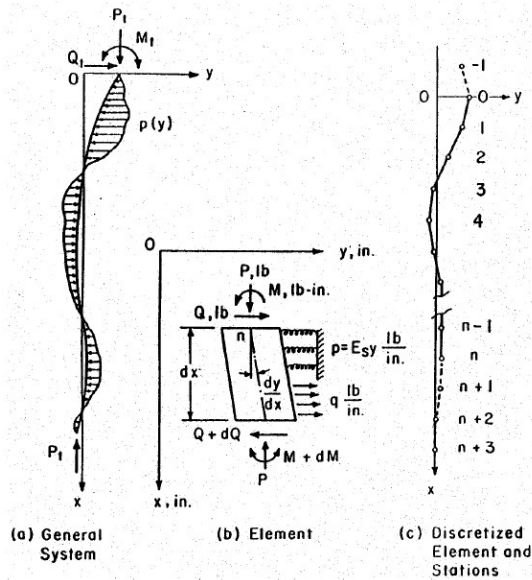
M mô men uốn trong cọc, tại vị trí x.

Phương pháp sai phân hữu hạn là phương pháp khả thi nhất để đạt được nghiệm được mong muốn của phương trình vi phân của cọc. Một số chương trình máy tính thương

mại đã được phát triển cho mục đích này. Các chương trình này cho lời đầy đủ về ứng suất và chuyển vị của cọc do sự kết hợp của lực dọc trục, lực ngang và mômen uốn tại đầu cọc gây ra, tức là cả sự truyền tải lên đất dọc theo cọc theo t-z. Một số chương trình có thể phân tích được cả bài toán nhóm cọc, bao gồm cả khả năng tương tác giữa cọc - đất - cọc và cho phép biểu diễn chính xác kết cấu vẩy cọc, đài cọc độ cứng hữu hạn.



Hình 8-7. Đường cong p-y được áp dụng tại các điểm nút trong phần tử cọc, theo Reese et al. (1996).



Hình 8-8. Mô hình chi tiết cọc, theo Reese et al. (1996).

Có một số phương pháp thiết lập đường cong p-y là dùng trong việc giải phương trình vi phân đối với một cọc chịu tải ngang. Để xây dựng của đường cong p-y, loại đất, loại chất tải, ảnh hưởng đóng cọc và ảnh hưởng của xói phải được xem xét. Được áp dụng phổ biến nhất là quy trình xây dựng đường cong p-y của DNV (1992) và API (1987). Đối với cọc bằng đất sét, quy trình theo DNV được trình bày dưới đây.

Phản lực ngang trên một đơn vị chiều dài của cọc đối với chuyển vị ngang y được ký hiệu là p. Phản lực ngang tới hạn trên mỗi đơn vị chiều dài được ký hiệu là p_u . Đây là mức tối đa giá trị mà p có thể nhận khi cọc dịch chuyển ngang.

Đất sét.

Đối với cọc trong đất dính, phản lực ngang đơn vị tới hạn được khuyến tính theo:

$$p_u = \begin{cases} (3c_u + \gamma' X)D + Jc_u X & \text{for } 0 < X \leq X_R \\ 9c_u D & \text{for } X > X_R \end{cases}$$

trong đó X là độ sâu dưới bề mặt đất và X_R là độ sâu chuyển tiếp, dưới đó giá trị của $(3c_u + \gamma' X) D + Jc_u X$ vượt quá $9c_u D$. Ở đây, D là đường kính cọc, c_u là sức chống cắt không thoát nước của đất, γ' là trọng lượng đơn vị hiệu dụng của đất, và J là hằng số thực nghiệm không thứ nguyên có giá trị nằm trong khoảng 0,25-0,50 với 0,50 khuyến nghị đất sét mềm, cố kết.

Đối với tải tĩnh, đường cong p-y có thể được tạo ra theo

$$p = \begin{cases} \frac{p_u}{2} \left(\frac{y}{y_c}\right)^{1/3} & \text{for } y \leq 8y_c \\ p_u & \text{for } y > 8y_c \end{cases}$$

Đối với tải theo chu kỳ và $X > X_R$, đường cong p-y có thể được tạo ra theo

$$p = \begin{cases} \frac{p_u}{2} \left(\frac{y}{y_c}\right)^{1/3} & \text{for } y \leq 3y_c \\ 0.72p_u & \text{for } y > 3y_c \end{cases}$$

Đối với tải theo chu kỳ và $X \leq X_R$, đường cong p-y có thể được tạo ra theo

$$p = \begin{cases} \frac{p_u}{2} \left(\frac{y}{y_c}\right)^{1/3} & \text{for } y \leq 3y_c \\ 0.72p_u \left(1 - \left(1 - \frac{X}{X_R}\right) \frac{y - 3y_c}{12y_c}\right) & \text{for } 3y_c < y \leq 15y_c \\ 0.72p_u \frac{X}{X_R} & \text{for } y > 15y_c \end{cases}$$

Ở đây, $y_c = 2,5\varepsilon_c D$, trong đó D là cọc đường kính và ε_c là biến dạng xảy ra tại một nửa ứng suất tối đa trong phòng thí nghiệm trong thí nghiệm nén không thoát nước của mẫu nguyên dạng. Để biết thêm chi tiết, tham khảo làm cho DNV (1992).

Cát

Đối với cát, quy trình theo DNV và API là giống hệt nhau.

Đối với cọc trong đất rời, phản lực ngang tới hạn được tính như

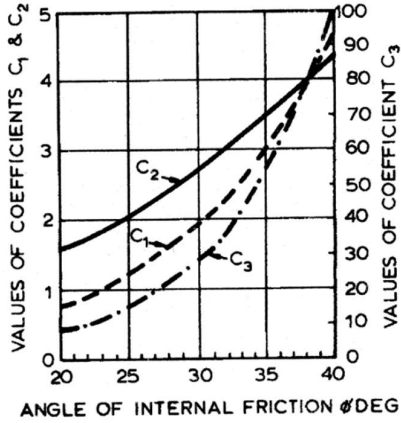
$$p_u = \begin{cases} (C_1 X + C_2 D) \gamma' X & \text{for } 0 < X \leq X_R \\ C_3 D \gamma' X & \text{for } X > X_R \end{cases}$$

trong đó các hệ số C_1 , C_2 và C_3 phụ thuộc vào góc ma sát ϕ như trong Hình 8-9, trong đó X là độ sâu xét và X_R là độ sâu chuyển tiếp, dưới đó giá trị của $(C_1 X + C_2 D) \gamma' X$ vượt quá $C_3 D \gamma' X$.

Đường cong p-y có thể được tạo ra theo

$$p = A p_u \tanh\left(\frac{kX}{A p_u} y\right)$$

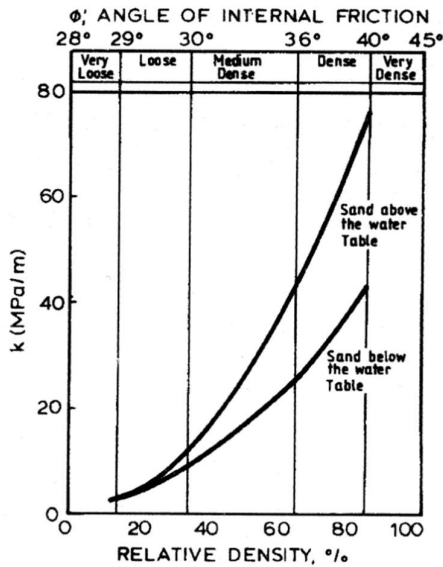
trong đó k là môđun ban đầu của lực ngang và phụ thuộc vào góc ma sát ϕ như cho trên Hình 8-10, và A là hệ số tính đến các điều kiện tải tĩnh hoặc tải lặp như sau



Hình 8-9. Hệ số như hàm của góc ma sát, từ DNV Class. Ghi chú 30.4

$$A = \begin{cases} 0.9 & \text{Với tải lặp} \\ (3 - 0.8 \frac{H}{D}) \geq 0.9 & \text{Với tải tĩnh} \end{cases}$$

Để biết thêm chi tiết, tham khảo DNV (1992).

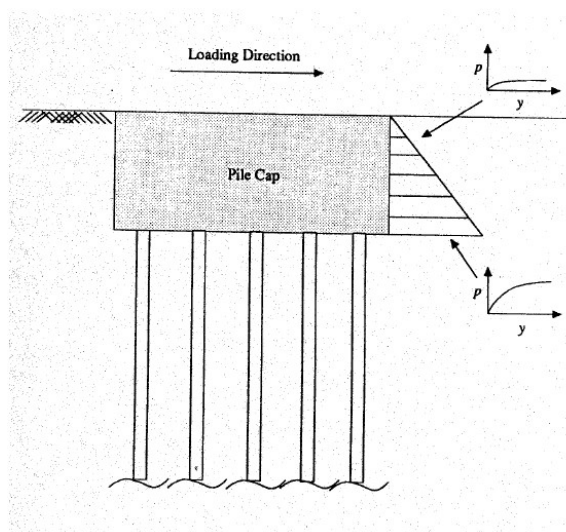


Hình 8-10. Mô đun ban đầu k của phản lực dưới dạng hàm của góc ma sát ϕ , từ DNV Class. Ghi chú 30.4.

4.3.1.1. Sức kháng của nền đất trường hợp đài cọc chìm trong đất

Một số phương án móng có đài cọc chìm như trong Hình 8-11. Trong khi sức kháng quay và độ cứng của đài cọc chủ yếu bị chi phối bởi sức kháng và độ cứng của cọc, thì

phần lực đất lên phần bên của đài ảnh hưởng đến sức kháng chuyển vị ngang. Hiệu ứng này tương tự như sức kháng của đất, được biểu diễn bằng các đường cong p-y, của các cọc bên dưới. Khi kể đến ảnh hưởng của phần này vào tính toán thì phải cần nhắc đến khả năng xói có thể xảy ra..



Hình 8-11. Phân bố sức cản của đất ở mặt trước của mũi cọc, theo Reese và cộng sự (1996).

Đài cọc như được đề cập ở đây được coi kết cấu tuyệt đối cứng. Tuy nhiên, đôi khi, các đài cọc không liên kết với nhau bằng kết cấu cứng như vậy mà là kết cấu có độ cứng hữu hạn, chẳng hạn như dạng khung. Điều này sẽ ảnh hưởng đến sự phân bố lực giữa các cọc so với lực của đài cứng và do đó sẽ ảnh hưởng đến độ cứng chung của móng.

4.3.2. Độ cứng của móng

Độ cứng tổng thể của móng phụ thuộc vào cường độ và độ cứng của đất cũng như độ cứng của kết cấu móng. Độ cứng của móng cần được xác định để làm cơ sở cho việc tính toán phản ứng của kết cấu đặc biệt đối với bài toán chịu tải trọng gió, sóng và động đất. Độ cứng của móng nói chung phụ thuộc vào tần số. Điều này đặc biệt quan trọng khi tính toán bài toán chịu động đất.

Đất đỡ kết cấu móng thường có độ cứng hữu hạn vì vậy không thể mô tả kết cấu móng có liên kết cố định. Trong các tính toán về kết cấu móng hoặc kết cấu phần thân của tuabin gió đều cần phải mô hình hóa các điều kiện biên một cách hợp lý.

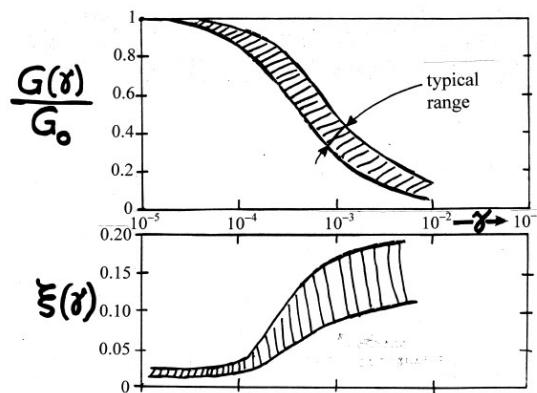
Để biểu diễn độ cứng hữu hạn của đất trong các bài toán như vậy, người ta thường mô hình hóa một tập hợp các lò xo móng được đặt tại một hoặc nhiều điểm đỡ kết cấu. Bộ lò xo móng có thể bao gồm các lò xo theo các thành phần chuyển vị khác nhau:

- độ cứng của lò xo phương đứng
- độ cứng lò xo phương ngang
- độ cứng của lò xo chống uốn
- độ cứng của lò xo xoắn

Đất làm việc một cách phi tuyến tính. Do đó, về bản chất lò xo là hệ phi tuyến. Trong tính toán người ta thường áp dụng độ cứng lò xo tuyến tính, trong trường hợp đó, các độ cứng của lò xo được chọn phụ thuộc vào mức biến dạng mà đất sẽ chịu đối với trường hợp tải trọng đang xét. Người ta tính toán theo mô-đun chống cắt G của đất. Mô-đun cắt tương đương này được tính từ mô-đun cắt ban đầu G_0 và là một hàm của biến dạng ngang γ , như trong Hình 8-12. Hình 8-12 cũng đưa ra hệ số giảm chấn ξ đối với đất phụ thuộc vào biến dạng ngang γ .

Các mức biến dạng ngang sau đây có thể xảy ra đối với ba nguồn tải trọng động quan trọng nhất của đất:

- động đất: biến dạng lớn lên tới 10^{-2} đến 10^{-1}
- máy móc quay: biến dạng nhỏ thường nhỏ hơn 10^{-5}
- gió và sóng biển: biến dạng vừa phải lên đến 10^{-2} , thường là 10^{-3}



Hình 8-12. Mô đun cắt và tỷ số giảm chấn so với mức biến dạng.

Có thể sử dụng quan hệ thực nghiệm sau để thiết lập mô đun cắt ban đầu G_0 của đất

$$G_0 = A \frac{(3-e)^2}{1+e} \sqrt{\sigma'_0} (OCR)^k$$

trong đó σ_0' và G_0 đều có đơn vị là kPa và $A = 3000 \pm 1000$ tùy thuộc vật liệu (kích thước, góc cạnh của hạt, v.v.). OCR là tỷ lệ quá cố kết cho đất sét và lấy bằng 1,0 đối với cát, số mũ k là một hàm của chỉ số độ dẻo I_p như đã cho trong Bảng 8-2 và e là tỷ lệ lỗ rỗng.

Bảng 8-2. Số mũ k .	
Chỉ số độ dẻo I_p	k
0	0
20	0.18
40	0.30
60	0.41
80	0.48
>100	0.50

Ứng suất hiệu quả giới hạn σ_0' được xác định là trung bình của ba ứng suất hiệu quả

$$\sigma_0' = \frac{1}{3} (\sigma_1' + \sigma_2' + \sigma_3')$$

Lưu ý rằng trong địa kỹ thuật, ứng suất hiệu quả được định nghĩa là tổng ứng suất trừ đi áp lực lỗ rỗng.

Một cách khác, đối với cát có thể dùng biểu thức sau:

$$G_0 = 1000K\sqrt{\sigma_0'}$$

trong đó σ_0' và G_0 đều được cho trong đơn vị kPa và K nhận các giá trị theo Bảng 8-3.

Đối với đất sét, người ta có thể sử dụng công thức sau thay cho công thức bên trên

$$G_0 = 2600s_u$$

trong đó s_u là cường độ cắt không thoát nước của đất.

Bảng 8-3. Hệ số K .	
Loại đất	K
Cát chảy	8
Cát chặt	12
Cát rất chặt	16
Cát rất chặt và sỏi sạn	30-40

Các bước thiết lập mô đun cắt và tỷ số cản có thể được liệt kê như sau:

1. Xác định loại tải động (động đất, gió, sóng và máy móc rung động)
2. Xác định mức biến dạng dự kiến γ theo danh sách dưới đây Hình 8-12
3. Tìm tỷ số giảm chấn ξ từ hình 8-12
4. Tìm tỷ số mô đun cắt G/G_0 từ hình 8-12
5. Tính toán G_0 từ một trong các công thức được đưa ra ở trên, được chọn phụ thuộc vào đất
6. Tính G là tích của G_0 và G/G_0

Ví dụ: tải trọng gió trên nền móng đất sét có độ bền cắt không thoát nước $s_u=200$ kPa:

1. nguồn tải trọng động là gió
2. mức biến dạng dự kiến thường là $\gamma = 10^{-3}$
3. tỷ số giảm chấn là khoảng $\xi = 0,10-0,15$
4. tỷ số mô đun cắt là $G/G_0 = 0,35$.
5. mô đun cắt ban đầu là $G_0 = 2600s_u = 520$ MPa
6. mô đun cắt $G = 0,35.520 = 180$ MPa

Bảng 8-4 cung cấp hướng dẫn đánh giá của hệ số Poisson.

Bảng 8-4. Hệ số Poisson ν .	
Loại đất	ν
Cát chặt	0.25-0.30
Sét chảy, Sét cứng	0.35-0.45
Sét bão hòa	≈ 0.50

Khi mô đun cắt tương đương G đã được tính từ G_0 và Hình 8-12, và tỷ lệ Poisson ν đã được xử lý, thì độ cứng của móng có thể được tính toán. Bốn độ cứng sau đây được xem xét:

- độ cứng thẳng đứng, $K_V = V/ \delta_V$, biểu thị tỷ số giữa lực đứng V và chuyển vị đứng δ_V
- độ cứng ngang, $K_H = H/ \delta_H$, biểu thị tỷ số giữa lực ngang H và chuyển vị ngang δ_H
- độ cứng quay, $K_R = M/ \theta$, biểu thị tỷ số giữa mômen lật M và góc quay θ

- độ cứng xoắn, $K_T = M_T / \theta_T$, biểu thị tỷ số giữa mômen xoắn M_T và độ xoắn θ_T

Các công thức về độ cứng của lò xo được đưa ra trong Bảng 8-5 đến Bảng 8-7 cho các loại móng khác nhau bao gồm:

- móng tròn trên nền cứng
- móng tròn trên địa tầng trên bán không gian
- móng tròn chôn vào lớp đất nằm trên nền cứng
- Móng cọc

Đối với móng nông, người ta coi móng là cứng so với nền đất và luôn tiếp xúc hoàn toàn với đất. Các móng cọc được giả định là mềm như được trình bày dưới đây.

Các độ cứng của lò xo cho trong Bảng 8-5 đến Bảng 8-7 đều là độ cứng tĩnh, tức là chúng là độ cứng đối với tần số lặp bằng không. Độ cứng động có thể khác so với độ cứng tĩnh đặc biệt trong trường hợp dao động tần số cao. Tuy nhiên, đối với tải trọng gió và sóng của tác động lên móng tuabin gió, trên bờ cũng như ngoài khơi, với các dao động gây ra sẽ có bản chất như vậy thì độ cứng tĩnh sẽ đại diện cho độ cứng động được yêu cầu trong phân tích kết cấu. Tuy nhiên, đối với tải trọng động đất, phải xét việc độ cứng tĩnh bị giảm do tải trọng lặp để có được các giá trị độ cứng động thích hợp.

Tỷ số độ mảnh của cọc được định nghĩa là L/D trong đó L là chiều dài và D là đường kính của cọc. Đối với $L/D > 10$, hầu hết các cọc này đều mềm, tức là chiều dài làm việc của cọc nhỏ hơn L , và phản ứng tại đỉnh cọc độc lập với chiều dài của cọc. Độ cứng của lò xo ở đỉnh cọc của cọc mềm được cho trong Bảng 8-7 với ba loại đất lý tưởng và các thành phần chuyển động như:

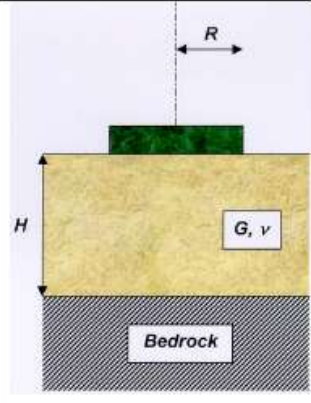
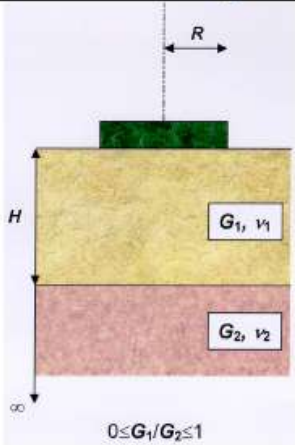
- ngang
- lật
- Vừa ngang vừa xoay lật

Tham chiếu đến mô-đun của đất E , liên quan đến mô-đun cắt G

$$E = 2G(1+\nu)$$

E_s là giá trị của E tại độ sâu z bằng đường kính cọc D , và E_p là mô-đun của vật liệu làm cọc.

Các công thức đưa ra trong các bảng ở mục này có thể được sử dụng để tính toán độ cứng của lò xo đỡ tháp trong các phân tích tuabin gió khí đàn hồi. Theo nguyên tắc chung, tần số tự nhiên của tháp sẽ giảm từ 0% đến 5%, khi giả định nền cứng được thay thế bằng móng có độ cứng hữu hạn. Tuy nhiên, trong các điều kiện đặc biệt, sai số này có thể lên đến 20%.

	On stratum over bedrock	On stratum over half-space
		
Mode of motion	Foundation stiffness	Foundation stiffness
Vertical	$K_v = \frac{4GR}{1-\nu} \left(1 + 1.28 \frac{R}{H}\right)$	$K_v = \frac{4G_1 R}{1-\nu_1} \frac{1 + 1.28 \frac{R}{H}}{1 + 1.28 \frac{R}{H} \frac{G_1}{G_2}}; 1 \leq H/R \leq 5$
Horizontal	$K_H = \frac{4GR}{1-\nu} \left(1 + 1.28 \frac{R}{H}\right)$	$K_H = \frac{8G_1 R}{1-\nu_1} \frac{1 + \frac{R}{2H}}{1 + \frac{R}{2H} \frac{G_1}{G_2}}; 1 \leq H/R \leq 4$
Rocking	$K_R = \frac{8GR^3}{3(1-\nu)} \left(1 + \frac{R}{6H}\right)$	$K_R = \frac{8G_1 R^3}{3(1-\nu_1)} \frac{1 + \frac{R}{6H}}{1 + \frac{R}{6H} \frac{G_1}{G_2}}; 0.75 \leq H/R \leq 2$
Torsion	$K_T = \frac{16GR^3}{3}$	Not given

Bảng 8-5. Móng tròn đặt trên lớp đất nằm trên nền đá hoặc địa tầng trên nửa không gian.

Range of validity:
 $D/R < 2$
 $D/H < 1/2$

Mode of motion	Foundation stiffness
Vertical	$K_v = \frac{4GR}{1-\nu} \left(1 + 1.28 \frac{R}{H}\right) \left(1 + \frac{D}{2R}\right) \left(1 + \left(0.85 - 0.28 \frac{D}{R}\right) \frac{D}{H}\right)$
Horizontal	$K_H = \frac{8GR}{1-\nu} \left(1 + \frac{R}{2H}\right) \left(1 + \frac{2}{3} \frac{D}{R}\right) \left(1 + \frac{5}{4} \frac{D}{H}\right)$
Rocking	$K_R = \frac{8GR^3}{3(1-\nu)} \left(1 + \frac{R}{6H}\right) \left(1 + 2 \frac{D}{R}\right) \left(1 + 0.7 \frac{D}{H}\right)$
Torsion	$K_T = \frac{16GR^3}{3} \left(1 + \frac{8D}{3R}\right)$

Bảng 8-6. Móng tròn nhúng vào tầng trên nền móng

Soil profile	Standardised springs at pile head		
	Horizontal $\frac{K_H}{DE_s}$	Rocking $\frac{K_R}{D^3 E_s}$	Coupled $\frac{K_{H,R}}{D^2 E_s}$
Linear increase with depth $E = E_s z/D$	$0.6 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0.35}$	$0.14 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0.80}$	$-0.17 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0.60}$
Increase with square-root of depth $E = E_s \sqrt{z/D}$	$0.8 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0.28}$	$0.15 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0.77}$	$-0.24 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0.53}$
Homogeneous $E = E_s$	$1.08 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0.21}$	$0.16 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0.73}$	$-0.22 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0.50}$

Bảng 8-7. Cọc mềm.

4.4. Đặc tính kỹ thuật của bê tông cốt thép

Trong phần sau sẽ đề cập đến vấn đề bê tông có cốt thép (RFC), chú trọng đến những điều kiện quan trọng ảnh hưởng đến độ bền. Như được thể hiện trong tiêu chuẩn CEB-FIP Model 1990 (MC 90): “Kết cấu bê tông cốt thép phải được thiết kế, xây dựng và vận hành sao cho dưới tác động môi trường dự kiến kết cấu luôn duy trì sự an toàn, khả năng phục vụ và bề mặt chấp nhận được trong khoảng thời gian xác định mà không yêu cầu chi phí cao bất thường cho bảo trì và sửa chữa”

Độ bền của BTCT phụ thuộc nhiều vào điều kiện môi trường tiếp xúc, thường được phân loại bằng các điều kiện môi trường. Ví dụ như trong DS411 (DS 411, 1999) phân loại ra các điều kiện môi trường, thụ động (P), trung bình (M), hoạt động mạnh (A) và hoạt động rất mạnh (E). Loại P hiếm khi được sử dụng, loại M được sử dụng cho nền móng công trình trên bờ, loại A dùng cho kết cấu ngoài biển trong đó loại E dùng cho vùng nước dao động.

4.4.1. Bài toán môi

Phân tích môi của kết cấu bê tông cốt thép cho tuabin gió là bài toán quan trọng và không được bỏ qua. Phải kiểm tra cho cả bê tông và cốt thép theo các tính toán riêng biệt. Tính tuổi môi của cho kết cấu móng chỉ xét các thành phần nội lực đáy lớn nhất như M_{tt} (mômen uốn) hoặc F_{tn} (lực cắt tại đáy. Đối với bê tông, yêu cầu về môi được tính theo Eurocode 2, Phần 2-2, không thì cần phải tính môi chi tiết hơn. Trường hợp chịu ứng suất nén, kiểm tra theo biểu thức sau

$$\frac{\sigma_{c,max}}{f_{cd}} \leq 0.5 + 0.45 \cdot \frac{\sigma_{c,min}}{f_{cd}} \leq 0.9$$

$$\text{If } \sigma_{c,min} < 0 \text{ (tension) then: } \frac{\sigma_{c,max}}{f_{cd}} \leq 0.5$$

$\sigma_{c,max}$ ứng suất nén lớn nhất tại một thứ ở tổ hợp xét

$\sigma_{c,min}$ ứng suất nén nhỏ nhất tại cùng một thứ có $\sigma_{c,max}$ xảy ra

f_{cd} cường độ nén thiết kế của bê tông, xem Phụ lục E

Với kết cấu không có cốt thép chịu cắt, bê tông được coi là đủ chịu môi dưới tác dụng của lực cắt nếu một trong hai phương trình được thỏa mãn

$$\frac{\tau_{min}}{\tau_{max}} \geq 0 : \left| \frac{\tau_{max}}{\tau_{Rd1}} \right| \leq 0.5 + 0.45 \cdot \left| \frac{\tau_{min}}{\tau_{Rd1}} \right| \leq 0.9$$

$$\frac{\tau_{min}}{\tau_{max}} < 0 : \left| \frac{\tau_{max}}{\tau_{Rd1}} \right| \leq 0.5 - \left| \frac{\tau_{min}}{\tau_{Rd1}} \right|$$

τ_{max} Ứng suất cắt danh nghĩa lớn nhất ở tổ hợp thường xuyên

τ_{min} Ứng suất cắt danh nghĩa nhỏ nhất tại phần mà $\sigma_{c,max}$ xảy ra

$$\tau_{RD1} = \frac{V_{RD1}}{b \cdot h_{ef}}$$

V_{RD1} Khả năng chống cắt thiết kế, theo (4.18) trong EC 2, Phần 1-1b, _{hef} xem Hình 8-13
 Đối với cốt thép không hàn chịu kéo, độ bền mỗi được coi là đủ nếu, dưới tổ hợp tải trọng thường xuyên, số gia ứng suất kéo không vượt quá

$$\Delta\sigma_s < |70| \text{ N/mm}^2$$

Nếu số gia ứng suất không thỏa mãn điều kiện trên thì phải tính toán mỗi chi tiết theo nguyên lý tổn thương mỗi tích lũy Palmgren- Miner. Mỗi quan hệ giữa ứng suất gây mỗi σ_{fat} và giá trị đặc trưng mỗi n_{fat} được cho bởi biểu thức

$$n_{fat} = \frac{k \cdot 10^{12}}{(\sigma_{fat})^m} \Rightarrow \sigma_{fat} = \left(\frac{k \cdot 10^{12}}{n_{fat}} \right)^{\frac{1}{m}}$$

Các đường cong Wöhler là theo các giá trị đặc trưng và nên được giảm bớt bằng các hệ số an toàn riêng phần theo mức độ an toàn đã chọn. Các hằng số Wöhler m và k có thể lấy theo DEA (1998).

- Bề rộng vết nứt

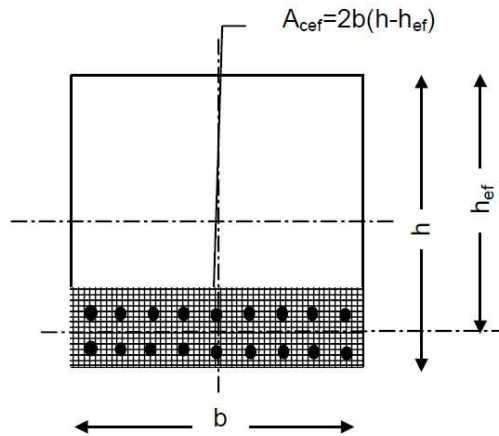
Vết nứt xuất hiện trong kết cấu BTCT là do tác dụng của tải trọng hoặc do nhiệt độ hoặc do co ngót. Kích thước của bề rộng vết nứt w có thể được tính theo DS411 (DS 411, 1999) như một hàm của ứng suất trong cốt thép

$$w = 5 \cdot 10^{-5} \cdot \sigma_s \cdot \sqrt{a_w}, [\text{mm}]$$

Tham số vết nứt a_w [mm] được tính là tỷ lệ giữa diện tích bê tông hiệu dụng A_{cef} và tổng đường kính d_w của các thanh cốt thép trong vùng ứng suất

$$a_w = \frac{A_{cef}}{\Sigma d_w}$$

A_{cef} diện tích tối đa vùng bê tông có trọng tâm COG trùng hợp với COG của cốt thép.



Hình 8-13 Diện tích bê tông hiệu dụng vùng kéo để tính toán bề rộng vết nứt
Tải trọng gây xuất hiện vết nứt thường bằng 60% tải trọng hoạt động lớn nhất của tuabin gió.

Ứng suất trong cốt thép σ_s [N/mm²] do ngoại lực có thể được tính bằng lý thuyết đàn hồi giả sử rằng ứng suất xung quanh bê tông (khi chịu kéo) là 0. Ngoại lực là mômen mặt cắt M chỉ:

$$\sigma_{c \max} = \frac{M}{\varphi_b \cdot b \cdot h_{ef}^2}$$

$$\sigma_{s \max} = \alpha \cdot \gamma \cdot \sigma_{c \max}$$

M Mômen uốn mặt cắt

A_s Là diện tích cốt thép

b và h_{ef} xem Hình 8-13

Các tham số α , φ_b và γ được tính lập theo các công thức dưới đây:

$$\alpha \cdot \varphi = \alpha \cdot \frac{A_s}{b \cdot h_{ef}}$$

$$\beta = \alpha \cdot \varphi \cdot \left(\sqrt{\frac{2}{\alpha \cdot \varphi} + 1} - 1 \right)$$

$$\varphi_b = \frac{1}{6} \cdot \beta \cdot (3 - \beta)$$

$$\gamma = \frac{1 - \beta}{\beta}$$

Kể thêm đóng góp do co ngót chênh lệch nhiệt độ (và từ biến) người ta có thể đánh giá chính xác hơn kích thước bề rộng vết nứt. Ví dụ. Sử dụng mô hình phân tử hữu hạn để xác định ứng suất trong cốt thép tương thích với các biến dạng kể đến các ảnh hưởng trên.

Chiều rộng vết nứt tính toán lớn nhất nói chung phải nằm trong khoảng 0,2-0,3 mm. Cụ thể hơn đối với tuabin gió ngoài khơi trong vùng dao động mực nước, bề rộng vết nứt không chế là 0,1-0,2 mm.

Nứt do co ngót của bê tông được phân bố qua cốt thép. Để giảm thiểu sự phát triển của các vết nứt này, diện tích cốt thép được không chế theo tỷ lệ tối thiểu 0,25-0,50%

$$\varphi = \frac{A_s}{A_b}$$

A_s : Diện tích cốt thép

A_b : Diện tích bê tông

Để giảm thiểu nguy cơ nứt hình thành nhiệt độ trong quá trình đóng rắn của bê tông không được vượt quá 70°C, xem DS 482 (1999). Ngoài ra nên giảm thiểu chênh lệch về nhiệt độ; nhiệt độ chênh lệch ΔT trên các mặt cắt không lớn hơn 12-15°C.

- Triển khai

Khi thi công các yêu cầu tối thiểu sau đây được đáp ứng:

- Tỷ lệ nước/xi măng cho bê tông được xác định dựa trên loại điều kiện môi trường, thường v/c < 0,55 tại mọi thời điểm.
- kích thước cốt liệu tối đa, $d_{\max} < 32\text{mm}$ hoặc khoảng cách tối thiểu giữa các thanh cốt thép
 - khoảng cách tối đa giữa các thanh cốt thép thường là 150-200 mm
 - khuyến khích sử dụng cốt thép với đường kính cốt thép không quá lớn ($D = 12-20\text{ mm}$) khi có thể

Khi lựa chọn vật liệu cho các bộ phận của kết cấu, cốt thép và các phụ gia, phải đảm bảo rằng không sử dụng các loại hợp kim vì sẽ tạo thành cực âm với các kết cấu phụ trợ. Nguy cơ ăn mòn là rõ rệt với kim loại kẽm nhôm và chì không được bọc trong bê. Trong quá trình ăn mòn, phát sinh khí hydro và khi các sản phẩm ăn mòn tăng, có thể xảy ra hiện tượng phá bê tông. Sự tấn công ăn mòn sẽ giảm khi bê tông khô đi. Tuy nhiên, nếu bê tông vẫn còn ướt khi đông cứng, nguy cơ đó vẫn xảy ra.

Chương 5: Chỉ dẫn thiết kế kết cấu điện gió biển

5.1. Tải trọng và tác động

So với turbine gió trên bờ, turbin gió biển phải chịu thêm các tải trọng tác động từ Sóng và dòng chảy biển. Các điều kiện tại hiện trường có liên quan chẳng hạn như; điều kiện khí hậu gió, mật độ không khí, nhiệt độ, băng tuyết, cùng với; mực nước, mực nước biển, khí hậu sóng, dòng chảy và hà bám. Ngoài ra cần có các số liệu về các vấn đề khác như địa chấn và nguy cơ va chạm tàu đối với các công trình ngoài khơi cũng sẽ được xem xét như quy định trong DNVGL-ST-0437.

Một số điều kiện hiện trường bổ sung cho các tuabin gió ngoài khơi

- Độ mặn của nước biển phải được coi là một tham số quan trọng đối với việc thiết kế hệ thống bảo vệ catốt (CP).
- Sự tồn tại của đường ống ngầm, dây cáp, xác tàu hoặc các chướng ngại vật khác trong khu vực lắp đặt các tuabin gió ngoài khơi phải được định vị.

Tải trọng cố định

Tải trọng cố định là tải trọng không thay đổi về độ lớn, vị trí hoặc hướng trong thời gian được xem xét. Ví dụ như:

- Khối lượng của kết cấu
- Khối lượng cố định của dầm và các thiết bị
- Tải trọng do căng trước
- Áp suất thủy tĩnh bên ngoài và bên trong không đổi

Giá trị đặc trưng của tải trọng cố định được xác định là giá trị kỳ vọng dựa trên số liệu thực tế về đơn vị, khối lượng của vật liệu và thể tích được xét đến.

Tải trọng môi trường

Tải trọng môi trường tác động lên kết cấu đỡ tuabin gió phải được xác định theo các quy phạm hiện hành được áp dụng, chẳng hạn như DNVGL-ST-0437.

Để tính toán tải trọng nền kết cấu đỡ tuabin gió, cần phải hiểu rõ về việc tính toán xác định phản ứng của kết cấu đỡ tuabin gió. Một số vấn đề liên quan cần xem xét là độ cứng và cản của kết cấu. Có thể phải xác định tải trọng và thiết kế kết cấu theo quy trình lặp.

Tính toán tải trọng nền kết cấu bê tông và kết cấu thép / bê tông lai, việc giảm độ cứng

phụ thuộc loại tải trọng phải được xem xét.

Với kết cấu móng cọc phản ứng có thể cần xem xét để tính toán với sơ đồ nền đất đàn hồi phi tuyến tính.

Đối với thiết kế tuabin gió biển cần xác định tải trọng xem xét đến các mực nước biển có thể có (mực nước cao và mực nước thấp) và cần xem xét ảnh hưởng của hiện tượng xói có thể xảy ra. Xói là kết quả của sự xói mòn các phần tử đất tại và gần nền móng do sóng và dòng chảy gây ra. Xói có thể tác động đến độ cứng và khả năng chịu lực của nền đất và do đó ảnh hưởng đến phản ứng của kết cấu ảnh hưởng đến độ bền và mỏi trong các bộ phận kết cấu. Tác động do sóng leo cũng cần được kể đến.

Tải trọng biến dạng

Tải trọng biến dạng là tải trọng gây ra bởi các biến dạng gây ra như:

- Tải trọng do nhiệt độ
- Biến dạng của bản thân công trình
- Độ lún của nền móng.

Tải nhiệt độ: Các kết cấu phải được thiết kế cho các chênh lệch nhiệt độ khắc nghiệt nhất mà chúng có thể tiếp xúc. Khoảng biến thiên nhiệt độ cho các điều kiện môi trường bình thường phải được lấy theo quy định trong các quy phạm. Các giá trị cực trị của nhiệt độ cao và thấp phải được biểu thị bằng các giá trị cao nhất và thấp nhất có thể xảy ra tương ứng với chu kỳ xảy ra của chúng. Nhiệt độ nước biển hoặc không khí xung quanh sẽ được tính là giá trị cực hạn có chu kỳ quay trở lại là 50 năm. Các kết cấu trong không khí phải được thiết kế để với cường độ bức xạ mặt trời 1000 W/m².

Đối với các công trình ngoài khơi, cả nhiệt độ không khí và nước biển đều phải được xem xét khi mô tả nhiệt độ môi trường. Tải trọng nhiệt độ phải được coi là tải trọng môi trường.

Dung sai hình học và độ lún: Các ảnh hưởng đến phản ứng của kết cấu từ dung sai hình học trong kết cấu và từ độ lún của đất phải được xem xét trong thiết kế và phân tích kết cấu chịu lực. Một ví dụ về các hiệu ứng như vậy là hiệu ứng liên quan đến độ nghiêng của trụ tháp do lắp đặt monopile như được mô tả trong [3.10.2.2].

Độ lún: Phải xem xét độ lún của kết cấu chịu lực và móng của nó do biến dạng dọc của các lớp đất chịu lực, bao gồm cả vấn đề lún lệch.

5.2. Chế độ gió, mô hình gió

Chế độ gió gây tải trọng và kiểm tra an toàn công trình được chia thành các điều kiện gió bình thường, điều này sẽ xảy ra thường xuyên hơn một lần mỗi năm trong quá trình hoạt động bình thường của tuabin gió, và các điều kiện gió khắc nghiệt được định nghĩa là có chu kỳ lặp 1 năm hoặc 50 năm.

Biểu đồ gió, $V(z)$, biểu thị tốc độ gió trung bình là hàm của chiều cao, z , trên mực nước tĩnh. Trong trường hợp các tuabin gió loại tiêu chuẩn, biểu đồ tốc độ gió bình thường được tuân theo luật số mũ:

$$V(z) = V_{\text{hub}} \left(z / z_{\text{hub}} \right)^{\alpha}$$

Trong đó với turbine tiêu chuẩn α có thể lấy bằng 0.14

Sự xuất hiện của tốc độ gió trung bình cực hạn trong ba giây (V_{e50} , V_{e1}) và chiều cao sóng cực hạn (H_{50} , H_1) được cho là không liên quan và sự kết hợp của chúng là quá an toàn. Sử dụng tốc độ gió cực đại điều chỉnh giảm như sau (RWM) để kết hợp với trường hợp sóng cực hạn:

$$V_{\text{red50}}(z) = 1,1 V_{\text{ref}} \left(z / z_{\text{hub}} \right)^{0,11}$$

Và

$$V_{\text{red1}}(z) = 0,8 V_{\text{red50}}(z)$$

5.3. Điều kiện hải văn biển

Các điều kiện biển được mô tả trong mục này bao gồm sóng, dòng chảy, mực nước, băng biển, hà bám, sỏi đáy và dịch chuyển đáy biển. Các vấn đề khác liên quan đến môi trường biển được xác định trong 6.5.

Kết cấu phải được thiết kế chịu tác động của điều kiện bên ngoài, bao gồm các tác động của hải văn biển

Các điều kiện hải văn gây tải trọng và kiểm tra an toàn công trình được chia thành điều kiện bình thường là các điều kiện sẽ xảy ra thường xuyên hơn một lần mỗi năm trong quá trình hoạt động bình thường của tuabin và các điều kiện biển khác nghiệt được xác định là có thời gian lặp là 1 năm hoặc 50 năm.

Sóng biển

Sóng có hình dạng không đều, khác nhau về chiều cao, chiều dài và tốc độ lan truyền, và có thể tác động đến tuabin gió ngoài khơi từ một hoặc nhiều hướng cùng một lúc. Tính chất của mặt biển thực tế được phản ánh tốt nhất bằng cách mô tả bằng mô hình sóng ngẫu nhiên. Trạng thái biển ngẫu nhiên được coi tổng là bao gồm nhiều con sóng với chu kỳ, chiều cao độ dài sóng, pha sóng khác nhau xuất hiện ngẫu nhiên. Một trạng thái biển thiết kế được đặc trưng bằng phổ sóng S_{η} , chiều cao sóng đáng kể H_s , Chu kỳ đỉnh T_p và hướng truyền sóng θ_{wm} . Trong một số trường hợp phục vụ cho thiết kế thì có thể mô tả một con sóng tiền định đại diện cho trạng thái biển với các thông số chiều cao, chu kỳ và hướng truyền sóng.

Tương quan của điều kiện gió và sóng phải được tính đến khi thiết kế tuabin gió ngoài khơi. Mọi tương quan này sẽ được xem xét trên phương diện phân bố xác suất chung dài hạn của các tham số sau:

- Vận tốc gió trung bình V
- Chiều cao sóng đáng kể H_s
- Chu kỳ đỉnh T_p

Phân phối xác suất tổng của các đại lượng này bị chi phối bởi tính địa phương nơi xây dựng như độ sâu nước, độ dốc đáy biển Và phải được đo đạc dài hạn tại vị trí xây dựng hoặc tính toán bằng các mô hình số thích hợp.

Mô hình trạng thái biển bình thường (NSS)

Chiều cao sóng đáng kể, chu kỳ đỉnh phổ và hướng cho từng trạng thái biển bình thường sẽ được chọn, cùng với tốc độ gió trung bình tương ứng, dựa trên sự phân bố xác suất chung dài hạn của các thông số hải văn phù hợp với vị trí xây dựng dự kiến.

Đối với tính toán mỗi, phải đảm bảo rằng số lượng và độ mịn của các trạng thái biên bình thường được xem xét là đủ để tính tổn thất mỗi liên quan đến sự phân bố lâu dài đầy đủ của các thông số biên

Trong bài toán tải trọng cực hạn của trạng thái biên bình thường, ngoại trừ được mô tả trong 7.4.1, là những trạng thái biên được đặc trưng bởi giá trị dự kiến của chiều cao sóng đáng kể, H_s , được điều kiện hóa theo một giá trị nhất định của tốc độ gió trung bình. Nhà thiết kế phải tính đến phạm vi chu kỳ đỉnh phổ, T_p , phù hợp với từng chiều cao sóng đáng kể. Tính toán thiết kế phải dựa trên các giá trị của chu kỳ đỉnh gây ra tải trọng cao nhất tác động lên tuabin gió ngoài khơi.

Mô hình chiều cao sóng bình thường (NWH)

Chiều cao của sóng thiết kế tiền định thông thường, H_{NWH} , sẽ được giả định bằng giá trị dự kiến của chiều cao sóng đáng kể được điều kiện trên một giá trị nhất định của tốc độ gió trung bình, H_s , NSS.

Người thiết kế phải tính đến phạm vi của chu kỳ sóng, T , phù hợp với từng chiều cao sóng bình thường. Các chu kỳ sóng được sử dụng kết hợp với độ cao sóng bình thường có thể được giả định là nằm trong phạm vi được đưa ra bởi công thức sau:

$$11,1 \sqrt{H_{s,NSS}(V)/g} \leq T \leq 14,3 \sqrt{H_{s,NSS}(V)/g}$$

Các tính toán thiết kế dựa trên NWH sẽ giả định các giá trị của chu kỳ sóng trong phạm vi này mà cho tải trọng cao nhất tác động lên tuabin gió ngoài khơi.

Mô hình trạng thái biển nguy hiểm

Mô hình ngẫu nhiên trạng thái biển nguy hiểm sẽ được xét kết hợp với điều kiện gió bình thường để tính toán tải trọng cực hạn của tuabin gió ngoài khơi trong quá trình sản xuất điện.

Mô hình trạng thái biển nguy hiểm là việc kết hợp một trạng thái biển nguy hiểm với mỗi giá trị vận tốc gió trong phạm vi vận tốc gió vận hành. Chiều cao sóng đáng kể,

$H_{s,SSS}(V)$, đối với mỗi trạng thái biển nghiêm trọng nói chung sẽ được xác định bằng cách ngoại suy dữ liệu hải văn sao cho sự kết hợp của chiều cao sóng đáng kể và tốc độ gió có thời gian lặp lại là 50 năm. Đối với tất cả các tốc độ gió, chiều cao sóng đáng kể cực hạn bất kỳ, H_{s50} , với thời gian lặp là 50 năm có thể được sử dụng một cách an toàn như một giá trị cho $H_s, SSS(V)$.

Người thiết kế phải tính với một dải các chu kỳ đỉnh và tìm ra giá trị chu kỳ có tải lớn nhất làm số liệu thiết kế.

Mô hình chiều cao sóng nguy hiểm

Mô hình chiều cao sóng tiền định nguy hiểm sẽ được xét cùng với vận tốc gió tương ứng có thể gây ra tải trọng nguy hiểm nhất trong khi vận hành.

Mô hình chiều cao sóng nguy hiểm là việc kết hợp một chiều cao sóng nguy hiểm với mỗi giá trị vận tốc gió trong phạm vi vận tốc gió vận hành. Chiều cao sóng đáng kể, $H_{s,SWH}(V)$, đối với mỗi trạng thái biển nghiêm trọng nói chung sẽ được xác định bằng cách ngoại suy dữ liệu hải văn sao cho sự kết hợp của chiều cao sóng đáng kể và tốc độ gió có thời gian lặp lại là 50 năm. Đối với tất cả các tốc độ gió, chiều cao sóng đáng kể cực hạn bất kỳ, H_{s50} , với thời gian lặp là 50 năm có thể được sử dụng một cách an toàn như một giá trị cho $H_s, SWH(V)$.

Phải xét tương ứng với một giải chu kỳ T được tính theo công thức sau

$$11,1 \sqrt{H_{s,SSS}(V)/g} \leq T \leq 14,3 \sqrt{H_{s,SSS}(V)/g}$$

Mô hình trạng thái biển cực hạn

Mô hình trạng thái biển cực hạn sẽ được xét cho cả chiều cao sóng đáng kể cực hạn, H_{s50} , với thời gian lặp là 50 năm và chiều cao sóng đáng kể cực hạn, H_{s1} , với thời gian lặp là 1 năm được lấy từ số liệu đo hiện trường hoặc tính toán theo mô hình số. Khi tính toán thiết kế phải tìm ra chu kỳ đỉnh cho tải nguy hiểm nhất trong dải chu kỳ tương ứng với chiều cao sóng tương ứng.

Trường hợp không có đủ số liệu về phân phối chung dài hạn của sóng cực hạn và gió cực hạn thì có thể giả thiết kết hợp tốc độ gió trung bình cực hạn 10 phút với chu kỳ lặp 50 năm xảy ra trong trạng thái biển 3h với chu kỳ lặp 50 năm. Giả thiết tương tự như trên cho chiều cao sóng cực hạn chu kỳ lặp 1 năm.

Mô hình chiều cao sóng cực hạn (EWH)

Mô hình này xét cho cả chiều cao sóng cực hạn chu kỳ lặp 50 năm và chu kỳ lặp 1 năm với chu kỳ tương ứng. Giá trị H_{50} và H_1 được lấy từ số liệu đo hiện trường hoặc được tính theo mô hình tính. Nếu chấp nhận chiều cao tuân theo luật phân phối Rayleigh thì:

$$H_{50} = 1,86 H_{s50}$$

Và

$$H_1 = 1,86 H_{s1}$$

Chu kỳ được xác định trong khoảng:

$$11,1 \sqrt{H_{s,SSS}(V)/g} \leq T \leq 14,3 \sqrt{H_{s,SSS}(V)/g}$$

Với các vùng nước nông, H_{50} và H_1 được xác định từ số liệu đo đặc hiện trường, trường hợp không có số liệu đo thì sẽ lấy bằng số liệu sóng vỡ nếu nhỏ hơn

Mô hình chiều cao sóng chiết giảm

Chiều cao sóng tiên định chiết giảm với chu kỳ 50 năm và chu kỳ 1 năm sẽ được tổ hợp với gió cực hạn chu kỳ 50 năm hoặc chu kỳ 1 năm

$$H_{\text{red50}} = 1,3 H_{\text{s50}}$$

$$H_{\text{red1}} = 1,3 H_{\text{s1}}$$

Sóng vỡ: Phải xét đến sóng vỡ tại nơi xây dựng công trình

Dòng chảy:

Phải xét đến các nguyên nhân gây ra dòng chảy, do gió, do triều và do dòng chảy ven bờ

- Dòng chảy do triều

$$U_{\text{ss}}(z) = U_{\text{ss}}(0) [(z+d)/d]^{1/7}$$

- Dòng chảy do gió

$$U_{\text{w}}(z) = U_{\text{w}}(0) (1 + z/20)$$

- Dòng chảy ven bờ do năng lượng giải phóng từ sóng vỡ

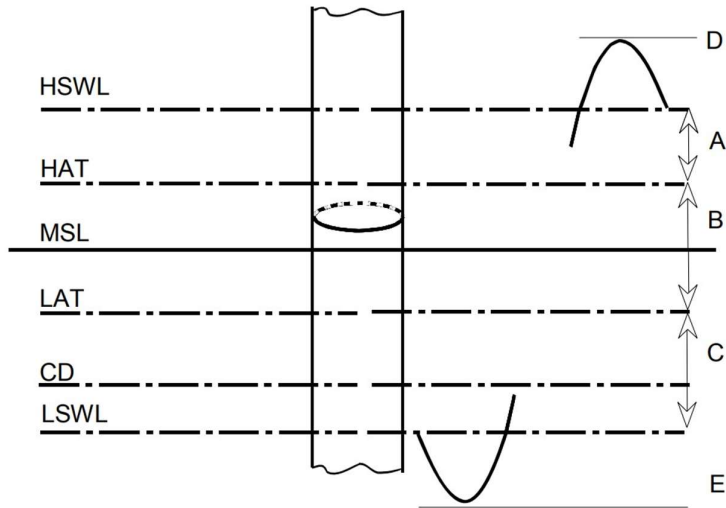
$$U_{\text{bw}} = 2s \sqrt{gH_{\text{B}}}$$

Mô hình dòng chảy bình thường (NCM): Mô hình dòng chảy do gió và dòng do sóng vỡ kết hợp với điều kiện sóng bình thường

Mô hình dòng chảy cực hạn (ECM): Mô hình bao gồm dòng chảy do triều, dòng chảy do gió và dòng chảy ven bờ nếu có

Mực nước

- Mực nước thông thường (NWLR)
- Mực nước cực hạn (EWLR)



HSWL: Mức nước tĩnh cao nhất; HAT: Mức nước thiên văn cao nhất; MSL: Mức nước trung bình; LAT: Mức nước thiên văn thấp nhất; CD: Mức nước hải đồ (thường bằng mức nước thiên văn thấp nhất); LSWL: Mức nước tĩnh thấp nhất. A: Nước dâng do bão; B: Mức nước triều; C: Nước rút do bão; D: Cao độ đỉnh sóng lớn nhất; E: Cao độ đáy sóng thấp nhất

Table 1 – Design load cases

Design situation	DLC	Wind condition	Waves	Wind and wave directionality	Sea currents	Water level	Other conditions	Type of analysis	Partial safety factor
1) Power production	1.1	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ RNA	NSS $H_s = E[H_s] V_{hub}$	COD, UNI	NCM	MSL	For extrapolation of extreme loads on the RNA	U	N (1,25)
	1.2	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS Joint prob. distribution of H_s, T_p, V_{hub}	COD, MUL	No currents	NWLR or \geq MSL		F	*
	1.3	ETM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s] V_{hub}$	COD, UNI	NCM	MSL		U	N
	1.4	ECD $V_{hub} = V_r - 2$ m/s, V_r , $V_r + 2$ m/s	NSS (or NWH) $H_s = E[H_s] V_{hub}$	MIS, wind direction change	NCM	MSL		U	N
	1.5	EWS $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS (or NWH) $H_s = E[H_s] V_{hub}$	COD, UNI	NCM	MSL		U	N
	1.6a	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	SSS $H_s = H_{s,SSS}$	COD, UNI	NCM	NWLR		U	N
	1.6b	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	SWH $H = H_{SWH}$	COD, UNI	NCM	NWLR		U	N

Table 1 – Design load cases (continued)

Design situation	DLC	Wind condition	Waves	Wind and wave directionality	Sea currents	Water level	Other conditions	Type of analysis	Partial safety factor
2) Power production plus occurrence of fault	2.1	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	NCM	MSL	Control system fault or loss of electrical network	U	N
	2.2	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	NCM	MSL	Protection system or preceding internal electrical fault	U	A
	2.3	EOG $V_{hub} = V_r \pm 2 \text{ m/s}$ and V_{out}	NSS (or NWH) $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	NCM	MSL	External or internal electrical fault including loss of electrical network	U	A
	2.4	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	No currents	NWLR or \geq MSL	Control, protection, or electrical system faults including loss of electrical network	F	*
3) Start up	3.1	NWP $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS (or NWH) $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	No currents	NWLR or \geq MSL		F	*
	3.2	EOG $V_{hub} = V_{in}, V_r \pm 2 \text{ m/s}$ and V_{out}	NSS (or NWH) $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	NCM	MSL		U	N
	3.3	EDC ₁ $V_{hub} = V_{in}, V_r \pm 2 \text{ m/s}$ and V_{out}	NSS (or NWH) $H_s = E[H_s V_{hub}]$	MIS, wind direction change	NCM	MSL		U	N

Table 1 – Design load cases (continued)

Design situation	DLC	Wind condition	Waves	Wind and wave directionality	Sea currents	Water level	Other conditions	Type of analysis	Partial safety factor
4) Normal shut down	4.1	NWP $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	NSS (or NWH) $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	No currents	NWLR or \geq MSL		F	*
	4.2	EOG $V_{hub} = V_r \pm 2 \text{ m/s}$ and V_{out}	NSS (or NWH) $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	NCM	MSL		U	N
5) Emergency shut down	5.1	NTM $V_{hub} = V_r \pm 2 \text{ m/s}$ and V_{out}	NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$	COD, UNI	NCM	MSL		U	N
6) Parked (standing still or idling)	6.1a	EWM Turbulent wind model $V_{hub} = k_1 V_{ref}$	ESS $H_s = k_2 H_{s50}$	MIS, MUL	ECM	EWLR		U	N
	6.1b	EWM Steady wind model $V(z_{hub}) = V_{e50}$	RWH $H = H_{red50}$	MIS, MUL	ECM	EWLR		U	N
	6.1c	RWM Steady wind model $V(z_{hub}) = V_{red50}$	EWL $H = H_{50}$	MIS, MUL	ECM	EWLR		U	N
	6.2a	EWM Turbulent wind model $V_{hub} = k_1 V_{ref}$	ESS $H_s = k_2 H_{s50}$	MIS, MUL	ECM	EWLR	Loss of electrical network	U	A
	6.2b	EWM Steady wind model $V(z_{hub}) = V_{e50}$	RWH $H = H_{red50}$	MIS, MUL	ECM	EWLR	Loss of electrical network	U	A
	6.3a	EWM Turbulent wind model $V_{hub} = k_1 V_1$	ESS $H_s = k_2 H_{s1}$	MIS, MUL	ECM	NWLR	Extreme yaw misalignment	U	N
	6.3b	EWM Steady wind model $V(z_{hub}) = V_{e1}$	RWH $H = H_{red1}$	MIS, MUL	ECM	NWLR	Extreme yaw misalignment	U	N
	6.4	NTM $V_{hub} < 0,7 V_{ref}$	NSS Joint prob. distribution of H_s, T_p, V_{hub}	COD, MUL	No currents	NWLR or \geq MSL		F	*

Table 1 – Design load cases (continued)

Design situation	DLC	Wind condition	Waves	Wind and wave directionality	Sea currents	Water level	Other conditions	Type of analysis	Partial safety factor
7) Parked and fault conditions	7.1a	EWM Turbulent wind model $V_{hub} = k_1 V_1$	ESS $H_s = k_2 H_{s1}$	MIS, MUL	ECM	NWLR		U	A
	7.1b	EWM Steady wind model $V(z_{hub}) = V_{e1}$	RWH $H = H_{red1}$	MIS, MUL	ECM	NWLR		U	A
	7.1c	RWM Steady wind model $V(z_{hub}) = V_{red1}$	EWH $H = H_1$	MIS, MUL	ECM	NWLR		U	A
	7.2	NTM $V_{hub} < 0,7 V_1$	NSS Joint prob. distribution of H_s, T_p, V_{hub}	COD, MUL	No currents	NWLR or \geq MSL		F	*
8) Transport, assembly, maintenance and repair	8.1	To be stated by the manufacturer						U	T
	8.2a	EWM Turbulent wind model $V_{hub} = k_1 V_1$	ESS $H_s = k_2 H_{s1}$	COD, UNI	ECM	NWLR		U	A
	8.2b	EWM Steady wind model $V_{hub} = V_{e1}$	RWH $H = H_{red1}$	COD, UNI	ECM	NWLR		U	A
	8.2c	RWM Steady wind model $V(z_{hub}) = V_{red1}$	EWH $H = H_1$	COD, UNI	ECM	NWLR		U	A
	8.3	NTM $V_{hub} < 0,7 V_{ref}$	NSS Joint prob. distribution of H_s, T_p, V_{hub}	COD, MUL	No currents	NWLR or \geq MSL	No grid during installation period	F	*

5.4. Đánh giá cộng hưởng

Phải tránh dao động phát sinh trong kết cấu chính do hiện tượng cộng hưởng gây ra hoặc phải đưa hiệu ứng này vào thiết kế. *Hiện tượng cộng hưởng có thể gây chuyển vị và ứng suất vượt quá khả năng chịu của kết cấu và có thể dẫn đến hư hỏng toàn bộ kết cấu. Ngay cả khi không đến mức vậy, hiện tượng cộng hưởng rất có thể dẫn đến tăng đáng kể tổn thất mỗi tích lũy khá nhanh trong các phần tử và các liên kết. Cần khảo sát bài toán động lực học để tránh nguy cơ cộng hưởng giữa dao động riêng của kết cấu và các tải trọng động tác động lên kết cấu.*

Sự thay đổi của các thông số đầu vào ảnh hưởng đáng kể đến độ cứng tổng thể cần được xem xét trong bài toán nghiên cứu độ nhạy, cụ thể là độ cứng của nền đất, độ sâu hố xói và khả năng ăn mòn trong các công trình ngoài khơi.

Khi thiết kế kết cấu đỡ tuabin gió để ngăn chặn kết cấu rơi vào vùng rung động do rôto gây ra, quy định giới hạn tần số dao động tự nhiên của kết cấu trụ tháp và kết cấu móng.

Không nên để xảy ra dao động cộng hưởng của các kết cấu phụ ví dụ như ống chữ J bên trong hoặc gắn ngoài. Phải thực hiện việc đánh giá rung động trong ống chữ J và các phần tử mảnh khác, dựa trên kinh nghiệm từ các kết cấu tương tự hoặc phải bằng tính toán cụ thể.

Dao động của hệ tuabin gió và kết cấu đỡ

Dao động do Rôto gây ra: Phải xác định được tỷ số giữa tần số riêng f_0 của hệ kết cấu tổng thể với tần số kích thích f_R của rôto quay. Tần số kích thích cụ thể là tần số quay của rôto và tần số cánh. Nói chung, điều kiện sau sẽ được đáp ứng:

$$\frac{f_R}{f_{0,n}} \leq 0.95 \quad \text{or} \quad \frac{f_R}{f_{0,n}} \geq 1.05$$

ở đây:

f_R là tần số kích thích, cụ thể là dải tần số quay của rôto trong phạm vi hoạt động bình thường và tần số chuyển tiếp của các cánh rôto, và

f_0, n là tần số riêng thứ n của hệ tổng thể của tháp và móng.

Yêu cầu này có thể được bỏ qua nếu có các biện pháp để ngăn chặn các hiệu ứng cộng hưởng, đặc biệt là hệ thống giám sát dao động hoạt động hoặc các thiết bị giảm chấn.

Số lượng tần số riêng được xác định, n , phải được chọn đủ lớn để tần số tự nhiên được tính toán cao nhất cao hơn tần số chuyển đổi của cánh ít nhất 20%.

Các tần số tự nhiên của tổ hợp tháp, móng bao gồm cả ARN phải được xác định và là dao động của hệ thống dùng để kiểm tra dao động. Giả thiết vật liệu làm việc trong miền đàn hồi. Các thông số đất nền cần xét đến tác động của tải trọng lặp.

Lưu ý:

Với trường hợp móng cọc, ngoài chuyển vị quay theo trục ngang cần xem xét chuyển vị quay theo trục đứng và chuyển dịch ngang của móng. Khuyến nghị trong trường hợp tỷ lệ $f_R / f_{0,n}$ lệch khỏi các giới hạn quy định ở trên một lượng nhỏ hơn 5% thì cần trang bị hệ thống giám sát dao động của kết cấu. Hệ thống giám sát phải đảm bảo chắc chắn hoàn toàn khả năng phát hiện sự hình thành cộng hưởng. Thiết kế giám sát này phải có sổ tay hướng dẫn vận hành cho kết cấu (liên quan đến tất cả các giai đoạn trong vòng đời của kết cấu) phải chỉ rõ các hành động cần thực hiện nhanh chóng trong mọi trường hợp xảy ra hiện tượng cộng hưởng.

Để tính đến độ không chính xác khi tính toán các tần số dao động riêng, cần phải cộng trừ $\pm 5\%$. Biên độ 5% là một ước tính dựa trên kinh nghiệm chưa kể đến sự sai khác của nền đất, mà mới là những ảnh hưởng của các yếu tố khác như sự thay đổi khối lượng và độ cứng, sử dụng các phần mềm khác nhau và những thứ khác.

Đặc biệt, với móng Monopile và tháp trụ hình ống phải được thiết kế sao cho không xảy ra hiện tượng rơi vào vùng tần số của dòng xoáy trong bất kỳ giai đoạn nào của

đời sống kết cấu. *Cụ thể hơn, yêu cầu này liên quan đến tất cả các giai đoạn trước khi chạy thử tuabin (tức là bảo quản, vận chuyển, lắp đặt), trong đó độ nhạy của kết cấu đối với rung động do dòng xoáy có thể cao hơn so với khi đã lắp đặt cố định do tỷ lệ tạm độ cứng tạm thời đối với quán tính tăng lên. Các rung động do dòng xoáy có thể được ngăn chặn bằng cách bố trí các bộ cản gió tạm thời và / hoặc bằng cách thiết kế bố trí các bộ phận kết cấu và giá đỡ tạm thời một cách thích hợp.*

Dao động của các bộ phận kết cấu và thiết bị

Các bộ phận kết cấu cũng như thiết bị phải được thiết kế sao cho có thể tránh được các trường hợp phản ứng của chúng cộng hưởng với các tác động động.

Các phản ứng động cần được xem xét bất kể chúng được gây ra bởi các tác động trực tiếp - chẳng hạn như gió, sóng hoặc dòng chảy - hoặc liên quan đến các tác động thứ cấp (như trường hợp cáp treo tự do bên trong). Thiết kế các cấu kiện cứng một cách hợp lý nhất bao gồm việc thay đổi tiết diện và / hoặc cách bố trí các giá đỡ.

Đối với thiết bị mềm dẻo như treo tự do bằng cáp, có thể ngăn chặn được cộng hưởng bằng việc thiết kế các giá đỡ trung gian một cách thích hợp.

Các bộ phận của kết cấu phải được thiết kế sao cho không rơi vào miền các tần số của hiện tượng dòng xoáy trong bất kỳ giai đoạn nào của vòng đời kết cấu.

Các vận tốc của phần tử dùng trong các phân tích về dao động dòng xoáy (VIV) phải là đặc trưng tại vị trí của phần tử được xem xét và theo hướng tác động liên quan.

Các phương pháp dự đoán vùng cộng hưởng VIV được đưa ra trong DNVGL-RP-C205 Phần 9 đối với các tác động của gió, sóng và dòng chảy và các dao động tương ứng theo phương dọc hay ngang.

Đối với các tháp trên bờ, có thể áp dụng các phương pháp theo EN 1991-1-4.

Các thành phần kết cấu không trong vùng ảnh hưởng của dòng xoáy, không cần phải kiểm tra mỗi do VIV gây ra.

5.5. Cao độ sàn công tác

Độ cao của sàn công tác của các kết cấu ngoài khơi khi không được thiết kế để chịu lực sóng trực tiếp, phải có một khoảng hở đủ lớn dựa trên mực nước thiết kế và chiều cao đỉnh sóng thiết kế, để đảm bảo rằng với đỉnh sóng cực đại thiết kế tràn qua mà không có nguy cơ chạm sàn công tác. Yêu cầu này cũng áp dụng cho bất kỳ kết cấu sàn nào khác không được thiết kế để chống lại lực sóng. Khoảng hở ít nhất phải bằng

20% chiều cao sóng đáng kể trong 50 năm, H_s , nhưng với giá trị nhỏ nhất là 1,0 m. Dung sai lắp đặt, mực nước dâng toàn cầu (do hiện tượng nóng lên toàn cầu) và mực nước cực đại phải được tính vào tổng độ mực nước biển cực hạn cùng với đỉnh sóng thiết kế.

Lưu ý hướng dẫn:

Khoảng hở phải đủ lớn là để tránh lực tác động sóng vỗ lên sàn. Các yêu cầu về khoảng hở một phần nhằm tính đến các hiệu ứng sóng cục bộ có thể xảy ra do địa hình đáy biển và hướng của đường bờ. Đối với các kết cấu kích thước lớn, tính toán khoảng hở này nên bao gồm phân tích nhiễu xạ sóng. Mực nước thiết kế là mực nước cao có thời gian lặp là 50 năm. Chiều cao đỉnh sóng thiết kế là chiều cao đỉnh sóng có thời gian lặp là 50 năm.

Sóng leo, tức là nước bị ép lên dọc theo bề mặt của kết cấu hoặc các bộ phận kết cấu, phải được xem xét nếu có liên quan, có thể bao gồm cả sóng leo khi tính toán khoảng hở yêu cầu hoặc thiết kế sàn công tác chịu các tải trọng do sóng leo.

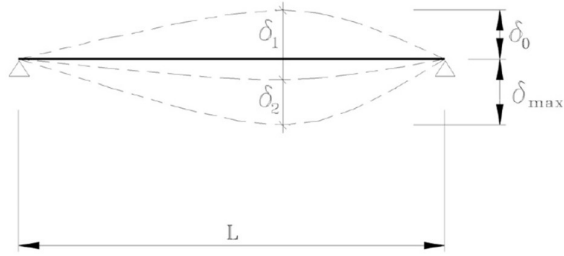
5.6. Yêu cầu về chuyển vị

Các giá trị giới hạn đối với chuyển vị đứng thường được quy định trong cơ sở thiết kế. Nếu chưa có thì các áp dụng các giới hạn nêu trong Bảng 3-2.

Bảng 3-2 Các tiêu chí về chuyển vị, chuyển vị phương đứng

Kết cấu	Giới hạn δ_{\max}	Giới hạn δ_2
Dầm trong sàn	L/200	L/300
<p>L chỉ nhịp danh nghĩa của dầm. Đối với dầm con sơn, L phải được lấy bằng hai lần chiều dài con sơn, δ_{\max} chỉ độ võng của cấu kiện so với đường thẳng nối các gối:</p> <p>$\delta_{\max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0$</p> <p>$\delta_0$ là độ võng đã tạo trước</p> <p>δ_1 là độ võng tức thời của dầm do tải trọng cố định, và</p> <p>δ_2 là tổng độ võng của dầm do hoạt tải và độ võng theo thời gian của tải trọng cố định.</p>		

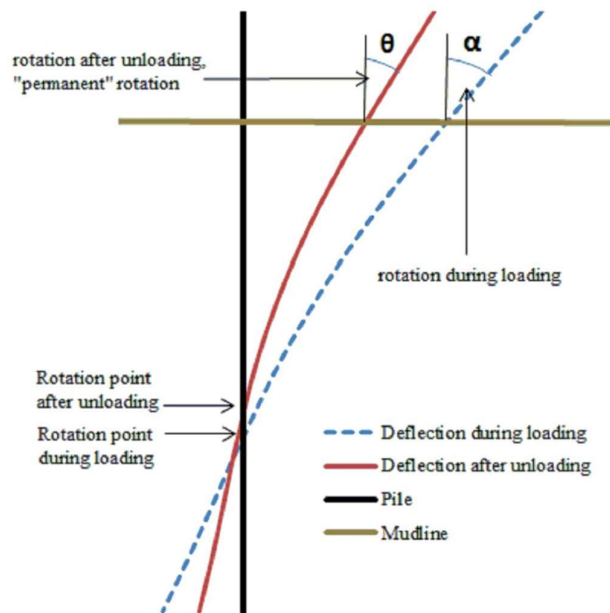
Xem thêm Hình 3-1 minh họa trường hợp dầm đơn giản một nhịp.



Hình 3-1 Các định nghĩa về chuyển vị đứng

Trên thực tế, có thể yêu cầu lắp đặt kết cấu móng / kết cấu phần dưới và tháp được xây dựng với tổng dung sai cho độ nghiêng của trục tháp là $0,25^\circ$. Sau đó, khi giới hạn về chuyển vị quay và nghiêng vĩnh viễn ở mức $0,50^\circ$, điều này cho phép có các biến dạng vĩnh viễn trong nền đất và dẫn đến chuyển vị quay nghiêng danh nghĩa bổ sung của trục tháp là $0,25^\circ$. Biến dạng dẻo của nền thường dùng tính toán cao trình độ lún (ví dụ giữa các móng riêng lẻ của chân tháp dạng dàn) và / hoặc bài toán tải trọng cục hạn lên kết cấu đỡ (ví dụ trong phản ứng p-y của một cọc đơn).

Đặc biệt, đối với cọc monopile, độ xoay do biến dạng dẻo của đất được xác định một cách thích hợp nhất là độ nghiêng của đường trục, được xác định bởi điểm quay của cọc tại đáy biển. Xem thêm Hình 3-2.



Hình 3-2 Monopile ở trạng thái ban đầu và khi chuyển vị

5.7. Tổ hợp tải trọng thiết kế

Tải trọng môi trường phải được tổ hợp như quy định trong DNVGL-ST-0437. Tải

trọng môi trường và các tải trọng thay đổi khác phải được kết hợp với tải trọng chết, tác động nhiệt độ, v.v. phù hợp với kết cấu được đề cập và như được quy định trong các phần phụ liên quan của tiêu chuẩn này.

Tải trọng biến dạng phải được đưa vào bất kỳ tổ hợp tải trọng nào có hệ số an toàn riêng phần $\gamma_f = 1,0$.

Đối với tải chức năng thay đổi như quy định trong [3.7], phải áp dụng các hệ số tổ hợp tải trọng theo Bảng 3-3.

Bảng 3-3 Các hệ số tải γ_f đối với tải chức năng thay đổi trên các khu vực sàn công tác, v.v.

Hoạt tải		Tải môi trường		Tải cố định*		
ULS	FLS,ALS,SLS	ULS	FLS,ALS,SLS	ULS		FLS,ALS,SLS
				Thuận lợi	Không thuận lợi	
1.25**	1.0	0.7***	1.0	0.9	1.25	1.0

* Bao gồm tải cố định, ví dụ tải trọng tĩnh và tải trọng căng trước.
 ** Đối với tải trọng chức năng từ tàu dịch vụ trôi dạt như quy định trong [3.7.1.8], hệ số tải trọng có thể được lấy là 1.1.
 *** Khi tải trọng chức năng do tác động của tàu được kết hợp với tải trọng môi trường, hệ số tải trọng môi trường sẽ được tăng từ 0,7 lên 1,0 để phản ánh rằng tác động của thuyền có tương quan với điều kiện sóng.

5.8. Thiết kế kết cấu

Thiết kế trạng thái giới hạn cực hạn – Tổng quát

Tiểu mục này đưa ra các điều khoản để kiểm tra các trạng thái giới hạn cực hạn cho các phần tử kết cấu điển hình được sử dụng trong kết cấu đỡ bằng thép tuabin gió.

Khả năng chịu lực cực hạn của các phần tử kết cấu trong việc kéo và mất ổn định phải được đánh giá bằng cách sử dụng phương pháp kỹ thuật hợp lý và chính đáng.

Khả năng kết cấu của tất cả các bộ phận kết cấu phải được kiểm tra. Việc kiểm tra công suất phải xem xét cả năng suất quá mức và vênh.

Có thể sử dụng các giả định đơn giản hóa liên quan đến phân bố ứng suất với điều

kiện là các giả định được đưa ra phù hợp với thông lệ được chấp nhận chung, hoặc phù hợp với kinh nghiệm hoặc thử nghiệm đủ toàn diện.

Các công trình trên bờ thường sẽ được bảo vệ chống ăn mòn bằng lớp phủ; xem thêm [4.16] và

DNVGL-RP-0416.

Ăn mòn cho phép ở các công trình ngoài khơi

Việc dự đoán khả năng chịu tải của kết cấu các công trình ngoài khơi phải được thực hiện có tính đến việc giảm khả năng chịu lực trong giới hạn ăn mòn cho phép; xem thêm [4.16] và DNVGL-RP-0416.

Việc tăng chiều dày thành của một bộ phận kết cấu để dự trữ cho ăn mòn, không được kể đến khi tính toán khả năng chịu lực của kết cấu bộ phận đó.

Lưu ý hướng dẫn:

Thiết kế kết cấu của các công trình ngoài khơi theo ULS có thể dựa trên độ dày của ống thép bằng với độ dày danh nghĩa được giảm bởi độ ăn mòn trong suốt thời gian sử dụng. Tuổi thọ sử dụng đầy đủ được định nghĩa là tổng của (1) thời gian từ khi lắp đặt kết cấu đến khi lắp đặt tuabin gió, (2) thời gian từ khi lắp đặt đến vận hành và (3) thời gian vận hành tiếp theo của tuabin gió.

Đối với kết cấu thép chính trong vùng dao động mực nước, giới hạn ăn mòn có thể được tính toán từ tốc độ ăn mòn được chỉ định, xem thêm [4.16] và DNVGL-RP-0416.

Mức cho phép ăn mòn 2 mm thường được áp dụng cho các kết cấu phụ trong vùng thay đổi mực nước, các kết cấu này là kết cấu có thể thay thế được nhưng thường cũng không dài đến tuổi thọ sử dụng tối thiểu 20 năm. Đối với các tấm và tàu mà lớp phủ có thể dễ bị hư hại, chẳng hạn như bong tróc do tác động của tàu tiếp liệu, nên xem xét mức ăn mòn lớn hơn 2 mm. Đối với thiết kế các thanh chống và đập thuyền, thực tế hiện nay là cho phép ăn mòn từ 2 đến 4 mm, tùy thuộc vào chất lượng của hệ thống sơn và rủi ro do tàu thuyền sẽ làm xước lớp phủ. Nói chung, nhu cầu cho phép ăn mòn trong thiết kế các kết cấu phụ có thể thay thế được phải được cân bằng với nhu cầu để phải thay thế các kết cấu đó.

Phân tích Kết cấu

Phân tích Kết cấu có thể được thực hiện dưới dạng phân tích đàn hồi tuyến tính, phân tích dẻo đơn giản, hoặc phân tích đàn dẻo. Cả hai phương pháp phân thứ nhất hoặc thứ

hai đều có thể được áp dụng. Trong mọi trường hợp, các chi tiết kết cấu liên quan đến yêu cầu về độ bền và độ dẻo phải phù hợp với giả thiết được đưa ra khi phân tích.

Khi các phân tích dẻo hoặc đàn dẻo được sử dụng cho các kết cấu chịu tải lặp, ví dụ: Tải trọng tuabin gió và tải trọng sóng, phải tiến hành kiểm tra để đảm bảo rằng kết cấu không bị biến dạng dẻo quá mức hoặc bị gãy do chảy nhiều lần (mỗi chu kỳ thấp). Lịch sử theo thời gian của tải thiết kế hoặc tải tập trung cần được xác định theo cách sao cho độ tin cậy của kết cấu trong trường hợp tải lặp, ví dụ: tải bão, không nhỏ hơn độ tin cậy của kết cấu trong trạng thái ULS đối với tải không lặp.

Trong trường hợp phân tích tuyến tính kết hợp với các công thức sức kháng được quy định trong tiêu chuẩn này, có thể giả định sự rung lắc mà không cần kiểm tra thêm.

Nếu sử dụng phân tích dẻo hoặc đàn dẻo để xác định kết quả ứng suất tại mặt cắt, thì áp dụng các giới hạn đối với tỷ lệ độ rộng trên độ dày. Quy định liên quan về tỷ lệ này được tìm thấy trong các tiêu chuẩn dùng để kiểm tra khả năng chịu lực.

Khi sử dụng phân tích dẻo và / hoặc kiểm tra khả năng dẻo (loại mặt cắt I và II, theo Phụ lục B), các phần tử phải có khả năng tạo thành khớp dẻo có đủ khả năng quay để cho phép phân phối lại mô men uốn. Cũng phải kiểm tra để đảm bảo rằng tải trọng tác động sẽ không bị thay đổi do các biến dạng.

Mặt cắt của dầm được chia thành nhiều loại khác nhau tùy thuộc vào khả năng phát triển khớp dẻo của chúng. Phương pháp xác định các loại mặt cắt ngang được đưa ra trong Ứng dụng.B.

Độ dẻo của kết cấu

Yêu cầu cốt lõi là tất cả các dạng phá hoại phải đủ mềm dẻo sao cho ứng xử của kết cấu sẽ phù hợp với mô hình sử dụng để xác định các phản ứng và tránh được khả năng xảy ra giao thoa giữa các mô phá hủy ULS và FLS.

Đối với kết cấu dẻo bằng thép, phải thực hiện phân tích chi tiết về độ bền mỗi nếu phân tích ULS cho thấy biến dạng dẻo vượt quá 1% dựa trên phân tích tuyến tính so với tính toán theo quan hệ ứng suất-biến dạng phi tuyến. Các biến dạng dẻo nói chung chỉ xảy ra cục bộ.

Về các biến dạng dẻo được xác định theo các mô hình phân tích dẻo hoặc đàn dẻo, xem [4.3.3.2].

Bất kể phương pháp phân tích nào được áp dụng, các quy trình thiết kế nói chung sẽ

không theo đúng được phản ứng thực sự của kết cấu. Tuy nhiên, ở mode phá hoại dẻo sẽ cho phép kết cấu phân phối lại lực phù hợp với mô hình tĩnh đã giả định trước. Do đó, phải tránh các chế mode phá hoại giòn, hoặc phải được kiểm tra để chắc chắn là chúng có sức kháng lớn hơn mode phá hoại dẻo, bằng cách này, bảo vệ kết cấu khỏi bị phá hoại giòn.

Các nguyên nhân sau gây ra tính giòn của kết cấu thép cần được xem xét:

- kết cấu phá hoại không ổn định do sự kết hợp của các yếu tố sau: vật liệu giòn, nhiệt độ thấp trong thép, thiết kế dẫn đến ứng suất cục bộ cao và khả năng có khuyết tật mối hàn
- một số vị trí đạt đến cường độ giới hạn và có biến dạng dẻo, làm cho kết cấu tổng thể trở nên giòn
- mất ổn định tấm vỏ
- mất ổn định khi xảy ra mất ổn định cục bộ và mất ổn định tổng thể đồng thời.

Kiểm tra chảy dẻo

Các bộ phận kết cấu mà có khả năng phá hoại do chảy dẻo thì phải được kiểm tra về chảy dẻo.

Ứng suất định cục bộ theo phân tích đàn hồi tuyến tính trong các vùng có sự thay đổi hình học rõ rệt, có thể vượt quá ứng suất chảy với điều kiện các bộ phận kết cấu lân cận có khả năng chịu ứng suất phân bố lại.

Liên quan đến hóa dẻo, xem [4.3.4.2].

Lưu ý hướng dẫn:

Trong trường hợp phân tích đàn hồi tuyến tính làm rõ nét phạm vi chảy dẻo lớn hoặc các đỉnh của ứng suất vượt quá giới hạn chảy đáng kể, thì cần phải thực hiện phân tích phần tử hữu hạn theo mô hình đàn dẻo cho một chi tiết điển hình của bộ phận kết cấu.

Các nguyên tắc về mô hình hóa phần tử hữu hạn FE và phân tích các theo biến dạng dẻo cục bộ được đưa ra trong DNVGL-RP-C208.

Kiểm tra hình thành hóp dẻo có thể được thực hiện dựa trên các mặt cắt ban đầu.

Để kiểm tra độ bền của các mối nối hàn, xem [4.10].

Mất ổn định

Các thành phần của mặt cắt tiết diện không thỏa mãn các yêu cầu của mặt cắt ngang

loại III (mặt cắt đàn hồi, xem Phụ lục B) cần được kiểm tra mất ổn định cục bộ.

Phân tích mất ổn định phải dựa trên khả năng chống mất ổn định đặc trưng cho dạng mất ổn định bất lợi nhất.

Ứng suất dư và các khuyết tật ban đầu (cục bộ hoặc toàn cục, hình học hoặc vật liệu) đều phải được tính đến.

Lưu ý hướng dẫn:

Một cách lý thuyết thuần túy, có thể định lượng một cách tương đương các khuyết tật bằng một hàm thực nghiệm theo độ mảnh, là biên cận dưới của trường hợp chảy dẻo đơn giản (không phụ thuộc vào độ mảnh) và trường hợp cổ điển của mất ổn định Euler, trong đó độ mảnh cao và các khuyết tật, bất kể là dạng gì, chỉ có tác động không đáng kể đến khả năng chống mất ổn định.

Đối với mất ổn định của vỏ cũng như mất ổn định của các cấu kiện, các phương pháp được khuyến nghị trong các phần sau thường kể đến khuyết tật thông qua sự kết hợp đơn giản giữa các yêu cầu đối với dung sai chế tạo và các hệ số giảm theo độ mảnh.

Đối với mất ổn định của cấu kiện nói riêng, các hàm chuyển tiếp (đường cong mất ổn định) cũng phụ thuộc vào hình dạng của cấu kiện đang được xem xét.

Phải đảm bảo sự phù hợp giữa các khuyết tật ban đầu trong công thức tính khả năng chống mất ổn định và dung sai trong tiêu chuẩn thi công được áp dụng.

Các mode mất ổn định, có kết hợp mất ổn định cục bộ với mất ổn định tổng thể, phải được xem xét một cách thích hợp.

Lưu ý hướng dẫn:

Việc kiểm tra an toàn của ổn định ở các mode kết hợp như vậy đặc biệt thích hợp cho các trường hợp tháp của tuabin hình ống và móng dạng monopile. Trong các trường hợp đã nêu đó, có thể được sử dụng DNVGL-RP-C202 để phân tích.

Nếu kết cấu được thiết kế và phân tích theo Eurocode, thì việc phân tích ổn định chi tiết phải được thực hiện theo loạt EN 1993.

Về nguyên tắc, sự hóa dẻo được giới hạn chặt chẽ trong các vùng nhỏ như được định nghĩa trong [4.3.4.2]. Vì lý do này nếu sử dụng kiểm tra ổn định được hỗ trợ bằng phương pháp số, thì sức kháng chảy dẻo [RRpl (giá trị dẻo)] phải được thay thế bằng sức kháng đặc trưng [RRk (giá trị đặc trưng)] với giả định rằng vật liệu vẫn nằm trong giới hạn đàn hồi.

Các khuyết tật được xem xét trong thiết kế phải bao gồm các khuyết tật tiềm ẩn có thể xảy ra trong quá trình chế tạo và lắp đặt.

Trạng thái giới hạn cực hạn – kết cấu vỏ

Các thông số kỹ thuật trong phần này áp dụng cho các kết cấu vỏ, cụ thể là vỏ hình trụ tròn và hình nón.

Độ bền và ổn định của kết cấu vỏ có thể được kiểm tra theo DNVGL-RP-C202 hoặc EN 1993-1-6

Lưu ý hướng dẫn:

DNVGL-RP-C202 được áp dụng để phân tích vỏ hình trụ tròn có tiết diện đồng nhất, có hoặc không có gân cứng, chịu ứng suất cắt theo phương kết hợp của ứng suất vòng và ứng suất cắt trong mặt phẳng. Riêng đối với vỏ có gân gia cường cứng, DNVGL-RP-C202 cũng chỉ dẫn các phương pháp kiểm tra độ bền và độ ổn định của gân cứng. EN 1993-1-6 được áp dụng để phân tích các vỏ hình trụ tròn không gân cứng có tiết diện đồng nhất để kiểm tra độ an toàn ổn định cục bộ tương tự như vậy dưới các ứng suất cắt theo phương kết hợp, vòng và trong mặt phẳng.

Khi có lỗ mở trong kết cấu thì ảnh hưởng của chúng đến độ bền và độ ổn định của kết cấu phải được xem xét trong phân tích thiết kế.

Lưu ý hướng dẫn:

Khi các lỗ mở được thiết kế trong vỏ, ví dụ: trong các tháp ống và monopile, có thể xem xét sử dụng phương pháp Velickov để tính độ ổn định của vỏ theo phương dọc:

Đối với các phân đoạn của vỏ với các lỗ mở có gân cứng theo chu vi nhưng không có gân cứng theo chiều dọc bổ sung (“gân cứng dạng vành”, xem Hình 4-1), kiểm tra ổn định có thể được thực hiện đơn giản hóa theo các quy trình tương tự như đối với vỏ tháp không có cửa, với điều kiện sử dụng ứng suất tới hạn mất ổn định đã điều chỉnh giảm thay cho giá trị của vỏ nguyên bản.

Nếu DNVGL-RP-C202 được sử dụng, giá trị thiết kế giảm của độ bền mất ổn định của vỏ sẽ được coi là

$$f_{ksd, reduced} = C_1 \cdot f_{ksd}$$

ở đây

f_{ksd} là cường độ ổn định thiết kế của vỏ không lỗ mở theo DNVGL-RP-C202 [3.1]

$C1 = A1 - B1$ (r / t) là hệ số suy giảm tính đến ảnh hưởng của lỗ mở, với $A1$ và $B1$ theo Bảng 4-6 và

với r và t là bán kính và độ dày tương ứng của phần vỏ ở cao độ mặt cắt xét, xem Hình 4-1.

Nếu EN 1993-1-6 được sử dụng, giá trị thiết kế giảm của ứng suất ổn định theo phương dọc tới hạn phải được coi là

$$\sigma_{xs,R,d} = C_1 \cdot \sigma_{x,Rd}$$

trong đó $C1$ được định nghĩa ở trên và $\sigma_{x,Rd}$ là cường độ ổn định của vỏ không lỗ mở theo EN 1993-1-6

Phương pháp phân tích đơn giản này áp dụng cho các vỏ và lỗ mở trong đó

- giá trị độ mảnh hình học là $(r / t) \leq 160$,

- góc mở là $\delta \leq 60^\circ$, và

- tỷ lệ co của kích thước mở là $h1 / b1 \leq 3$,

trong đó góc mở δ và các kích thước lỗ mở $h1$ và $b1$ được xác định trong Hình 4-1 là hình vẽ cho phần cắt của chính thành tháp, tức là không tính đến gân cứng cạnh lỗ.

Hơn nữa, việc áp dụng phương pháp này là cho lỗ mở có gân cứng theo :

- được bố trí tập trung xung quanh mặt phẳng giữa tường tại các mép mở (xem Hình 4-1 b),

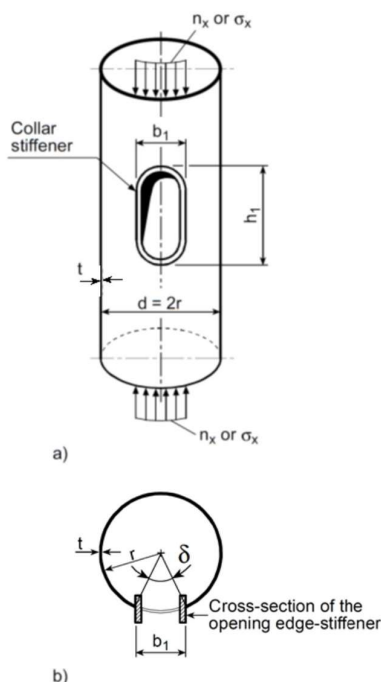
- có mặt cắt đều xung quanh toàn bộ lỗ hoặc được coi là như vậy với mặt cắt bằng tiết diện nhỏ nhất của nó,

- là mặt cắt có diện tích bằng ít nhất một phần ba diện tích mặt cắt vỏ, và

- là mặt cắt mà tất cả các bộ phận riêng lẻ đều tuân theo giới hạn về độ mảnh cục bộ (giá trị c / t) được quy định cho các mặt cắt có thành không mỏng trong EN 1993-1-1 Bảng 5.2.

Bảng 4-6 Hệ số $A1$ và $B1$

	Steel grade S 235		Steel grade S 355	
	A	B	A	B
$\delta \leq 20^\circ$	1.00	0.0019	0.95	0.0021
$\delta = 30^\circ$	0.90	0.0019	0.85	0.0021
$\delta = 60^\circ$	0.75	0.0022	0.70	0.0024



Hình 4-1 Các lỗ được làm cứng cạnh theo chu vi

Xem thêm [4.5.1.8] về kiểm tra ổn định theo cả tính theo vỏ và tính theo dầm-cột.

Dung sai chế tạo quy định trong tiêu chuẩn chế tạo liên quan phải được xem xét trong cả thiết kế và phân tích.

Việc kiểm tra ổn định bằng phương pháp FEM có thể chấp nhận được nếu xem xét ảnh hưởng của khuyết tật và các ảnh hưởng phi tuyến tính. Các khuyết tật phải được xem xét tại các vị trí liên quan và sự kết hợp phù hợp của chúng. Các kết quả của FEM phải được kiểm chứng theo dữ liệu thực nghiệm hoặc thử nghiệm.

Đối với tương tác giữa mất ổn định của vỏ và tác động của cột dầm, xem [4.5].

Nếu DNVGL-RP-C202 được dùng để kiểm tra khả năng mất ổn định của vỏ, hệ số vật liệu phải lấy như sau:

$$\gamma_M = \begin{cases} 1.10 & \text{for } \bar{\lambda}_s < 0.5 \\ 0.80 + 0.60 \bar{\lambda}_s & \text{for } 0.5 \leq \bar{\lambda}_s \leq 1.0 \\ 1.40 & \text{for } \bar{\lambda}_s > 1.0 \end{cases}$$

Theo định nghĩa này, là độ mảnh tương đối liên quan đến mất ổn định cục bộ của vỏ hình ống dưới các ứng suất dọc trục, uốn, vòng và cắt kết hợp, và phải được xác định theo DNVGL-RP-C202 [3.2].

Hệ số vật liệu theo Bảng 4-7 sẽ được sử dụng nếu EN 1993-1-6 được viện dẫn để kiểm tra khả năng chống mất ổn định của vỏ.

Bảng 4-7 Các yếu tố vật liệu được sử dụng với EN 1993-1-6

Bài toán	Hệ số vật liệu ⁽¹⁾	Giá trị
LS3 ⁽²⁾ , khả năng chống mất ổn định	γ_{M1}	1.10
(1) Ký hiệu theo EN 1993-1-1		
(2) Ký hiệu theo EN 1993-1-6		

5.9. Trạng thái giới hạn cực hạn - phần tử ống, liên kết ống và chuyển tiếp hình nón

Phần tử thép ống

Các phần tử ống phải được kiểm tra theo các tiêu chuẩn đã được công nhận và xem xét các giới hạn có thể có về khả năng chịu lực của mặt cắt và độ ổn định của phần tử dạng vỏ. Các tiêu chuẩn về độ bền của các phần tử ống thường có những giới hạn theo tỷ lệ D/t và phải xem xét đến tác dụng của áp suất thủy tĩnh.

Lưu ý hướng dẫn:

Ảnh hưởng của hiện tượng vênh cục bộ lên độ bền và độ ổn định của các bộ phận dạng ống là đặc trưng của các ống tubular có thành mỏng của mặt cắt loại IV, trong đó tham số độ mảnh hình học, D/t , vượt quá $90\epsilon_2$, trong đó $E = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ f_y chỉ ra đặc tính ứng suất chảy của vật liệu (đơn vị N/mm^2).

Xem Phụ lục B về các loại mặt cắt, Bảng B-3 trong quy định các khoảng độ mảnh vỏ

D / t đặc trưng cho bốn loại mặt cắt ngang của cấu kiện hình ống khi chịu tải trọng dọc trục và uốn.

Các tiêu chuẩn sau đây có liên quan để kiểm tra độ bền và độ ổn định của các phần tử ống: DNVGL RP-C202, EN 1993-1-1 và EN 1993-1-6, ISO19902 (áp dụng cho $D / t < 120$) hoặc NORSOK N -004 (áp dụng cho $D / t < 120$).

Lưu ý hướng dẫn:

DNVGL-RP-C202 được áp dụng để phân tích vỏ hình trụ tròn có tiết diện đồng nhất, dù có gân cứng hay không, chịu cả ứng suất theo phương dọc và vòng kết hợp với lực cắt trong mặt phẳng.

Nó cũng có thể được áp dụng để phân tích sự tương tác giữa các dạng mất ổn định cục bộ và mất ổn định tổng thể của các cấu kiện có tiết diện đồng nhất chịu tải trọng dọc trục không đòi kết hợp với uốn và áp lực bên ngoài.

Nếu DNVGL-RP-C202 được dùng để phân tích các cấu kiện có mặt cắt không đồng nhất và / hoặc chịu tải trọng dọc trục thay đổi, thì các hạn chế của nó cần được loại bỏ bằng cách sử dụng các giả định thận trọng thích hợp.

EN 1993-1-1 được áp dụng để phân tích ổn định của các bộ phận hình ống có mặt cắt đồng nhất kiểu I, II và III chịu tải trọng dọc trục không đòi kết hợp với uốn, nhưng không chịu áp lực thủy tĩnh.

Đối với các ống thành mỏng có mặt cắt ngang kiểu IV, EN 1993-1-1 viện dẫn đến EN 1993-1-6, áp dụng để phân tích các vỏ hình trụ tròn không gân cứng, cũng có các mặt cắt đồng nhất, để kiểm tra an toàn chống mất ổn định cục bộ dưới ứng suất tổ hợp dọc trục, vòng và trong mặt phẳng kết hợp.

Nếu EN 1993 được sử dụng để phân tích độ ổn định của các cấu kiện hình ống có thành mỏng thì các hạn chế đã đề cập phải được xem xét một cách thận trọng.

Các phương pháp được khuyến nghị trong NORSOK N-004 và ISO 19902 là giống nhau. Chúng áp dụng để phân tích độ ổn định của các bộ phận hình ống không gân cứng có tiết diện đồng nhất, chịu tải trọng dọc trục không đòi kết hợp với uốn và áp lực bên ngoài.

Đặc biệt, các phương pháp được khuyến nghị trong các tiêu chuẩn này cũng dùng được để kiểm tra mất ổn định đối với các cấu kiện mặt cắt loại IV trong đó các dạng hư hỏng liên quan đến sự kết hợp giữa mất ổn định uốn của cấu kiện và mất ổn định

cục bộ.

Do đó, NORSOK N-004 và ISO 19902 có thể được áp dụng để phân tích các ống tubular trong các kết cấu jacket điển hình, tuy nhiên không áp dụng cho việc phân tích các tháp ống và monopiles; xem thêm [4.5.1.7].

Tất cả các tiêu chuẩn được đề cập ở trên đều xét đến chống cắt, EN 1993-1-1, NORSOK N-004 và ISO 19902, tuy nhiên, không xem xét vấn đề này có ảnh hưởng tương tác nào đến độ ổn định của cấu kiện, chỉ thuần túy là khả năng chịu lực của phần tử.

Hệ số vật liệu cơ bản γ_M đối với kết cấu dạng ống là 1,10.

Lưu ý hướng dẫn:

Tùy thuộc vào tiêu chuẩn được sử dụng để kiểm tra các kết cấu ống, hệ số vật liệu có thể thay đổi như một hàm của độ mảnh tương đối vỏ của phần tử được xem xét, xem bên dưới

Nếu DNVGL-RP-C202 được sử dụng, các hệ số vật liệu γ_M được xác định theo [4.4.1.7].

Nếu sử dụng EN 1993-1-1 và / hoặc EN 1993-1-6 thì áp dụng các hệ số vật liệu γ_M cho trong Bảng 4-8.

Nếu sử dụng NORSOK N-004 hoặc ISO 19902, hệ số vật liệu γ_M được xác định là:

$$\gamma_M = \begin{cases} 1.10 & \text{for } \bar{\lambda}_s < 0.5 \\ 0.80 + 0.60 \bar{\lambda}_s & \text{for } 0.5 \leq \bar{\lambda}_s \leq 1.0 \\ 1.40 & \text{for } \bar{\lambda}_s > 1.0 \end{cases}$$

sẽ được áp dụng. Theo định nghĩa này, là độ mảnh tương đối liên quan đến mất ổn định cục bộ của phần tử ống dưới ứng suất kết hợp dọc trục, uốn và vòng, được xác định theo NORSOK N-004 Sec. 6.3.7.

Theo NORSOK N-004 và ISO 19902, các tác động của lực cắt và lực xoắn phải được kiểm tra được coi như là không có ảnh hưởng tương tác đến độ ổn định của phần tử, chỉ ảnh hưởng đến sức đề kháng mặt cắt tiết diện phần tử. Đối với các mục kiểm tra nói trên, giá trị của hệ số vật liệu phải được lấy là $\gamma_M = 1,10$.

Tháp hình ống và cọc đơn monopile phải được coi là cấu trúc hình ống.

Lưu ý hướng dẫn:

Tháp và monopile thường cấu tạo từ một vài ống hoặc hình các đoạn hình côn khác nhau, hầu hết có thành mỏng (loại IV).

Do đó, tiết diện của một tháp hình ống điển hình và / hoặc một monopile là không đồng nhất, thay đổi do cả về độ dày thành và đường kính (thường là ít) . Xem thêm [4.5.3.4].

Hơn nữa, tải trọng dọc trục, là phản ứng của kết cấu do trọng lực của cụm rôto-nacelle và bản thân cấu trúc tháp / monopile, bao gồm cả bộ phận bên trong và phụ kiện, cũng thay đổi dọc theo kết cấu.

Đối với tháp ống và monopile, phải kiểm tra độ an toàn ổn định theo các tiêu chí phá hủy của cả kết cấu của vỏ và kết cấu dầm-cột.

Lưu ý hướng dẫn:

Các phương pháp phân tích, (cách này hay cách khác) có kể đến khuyết tật của cột và độ lún của đất khi tính toán phản ứng của tải trọng tổng thể và như vậy đã gián tiếp có kể đến ảnh hưởng của khuyết tật trong vỏ trụ trong việc xác định khả năng chống mất ổn định của vỏ trụ, tuân thủ đúng yêu cầu này nếu trong tính toán phản ứng tổng thể cũng đã bao gồm các đóng góp bậc hai đó vào mômen uốn do tải trọng nén dọc trục tác động kết hợp với chuyển vị ngang có thể đảo ngược của kết cấu (hiệu ứng P- Δ).

Lưu ý rằng đối với các công trình lắp đặt ngoài khơi, cả tháp, kết cấu phần dưới và móng đều cần được đưa vào mô hình tính nếu thống nhất sẽ tính đến các khuyết tật của cột và độ lún trong đất và đối với các hiệu ứng bậc hai (P- Δ).

Nói chung, các phương pháp an toàn khác để kết hợp một cách đơn giản các tiêu chí về hư hỏng của kết cấu vỏ trụ hoặc kết cấu cột dầm có thể được chấp nhận áp dụng.

Dù vậy, thuyết minh tính toán thiết kế cần giải thích rõ ràng các phương pháp mà độ lún trong đất và các khuyết tật - cả khuyết tật liên quan đến cột và liên quan đến vỏ - được xem xét đến. Xem thêm [3.5.3.1] và [3.10.2.2].

5.10. Các mối nối ống

Các mối nối ống có thể được thiết kế và kiểm tra theo NORSOK N-004 Phần 6.4, ISO 19902 Phần 14 hoặc các tiêu chuẩn khác được chấp thuận.

Lưu ý hướng dẫn:

NORSOK N-004 và ISO 19902 đều có thể áp dụng cho thiết kế và phân tích độ bền

của các khớp nối ống đơn giản được đặc trưng bởi các thanh chủ có độ mảnh vừa phải, các góc giữa các thanh nhánh và thanh chủ được giới hạn, tỷ lệ kích thước của thanh nhánh và thanh chủ là vừa phải và sự nối chồng giữa các thanh nhánh được hạn chế, nếu có.

Các quy tắc thiết kế và quy trình phân loại mối nối và tính toán khả năng chịu lực, được khuyến nghị trong Norsok N-004 và ISO 19902 cho các mối nối hình ống đơn giản, về cơ bản là giống hệt nhau. Tuy nhiên, các phương trình tham số cho các hệ số cường độ và ảnh hưởng của sự làm việc của thanh chủ là khác nhau giữa hai tiêu chuẩn. Đối với việc phân tích các mối nối ống có dạng hình học không thuộc phân loại là 'đơn giản' - ví dụ như có vách cứng, gia cường, bơm vữa hoặc chồng chéo phức tạp/ tương tác phức tạp của các thanh nhánh chính trong các mặt phẳng khác nhau - thì cần sử dụng mô hình phần tử hữu hạn để tính.

Hệ số vật liệu γ_M đối với mối nối ống là 1,10.

Chuyên tiếp hình nón

Các chi tiết chuyên tiếp hình nón đồng tâm có thể được kiểm tra bằng các phương pháp được khuyến nghị trong Phần Norsok N-004 mục 6.5, ISO 19902 Mục 13.6 hoặc các tiêu chuẩn đã được thỏa thuận khác.

Lưu ý hướng dẫn:

Các phương pháp được khuyến nghị trong Norsok N-004 và ISO 19902 về cơ bản là giống hệt nhau. Chúng áp dụng để phân tích các đoạn hình nón không gân cứng đồng tâm có độ dày đồng nhất và góc dốc α nhỏ hơn 30° , chịu tải trọng dọc trục kết hợp với uốn và áp lực bên ngoài. Đặc biệt, các phương pháp được khuyến nghị trong các tiêu chuẩn này cũng bao gồm việc kiểm tra độ an toàn chống mất ổn định cục bộ đối với các phân đoạn hình nón của các mặt cắt loại IV có thành mỏng.

Góc dốc α được xác định bằng một nửa góc đỉnh của hình nón hoàn chỉnh về mặt hình học.

Hệ số vật liệu γ_M đối với quá trình chuyên đổi hình nón là 1,10.

Nếu Norsok N-004 hoặc ISO 19902 được sử dụng, các hệ số vật liệu γ_M nêu trong trên được áp dụng khi tính toán kiểm tra đầu rộng hơn của đoạn hình nón và chịu ứng suất dọc trục, uốn và vòng tác động ở đó.

Khi tính γ_M , độ khả năng chống mất ổn định cục bộ đặc trưng của đoạn hình nón phải

được tính như đối với hình trụ tròn có cùng độ dày nhưng đường kính tương đương D_e được xác định bởi $D_e = \frac{D_{actual}}{\cos\alpha}$

Xem thêm NORSOK N-004 Sec.6.5.

Các đoạn hình nón đồng tâm có độ dày đồng nhất t và góc dốc giới hạn α có thể được phân tích với độ chính xác gần đúng bằng cách sử dụng các phương pháp cho các kết cấu ống, được đề cập trong [4.5.1], mà không cần sửa đổi gì thêm.

Lưu ý hướng dẫn:

Nên hạn chế chỉ sử dụng phương pháp đơn giản này đối với các trường hợp góc dốc α đủ nhỏ để $\cos\alpha$ được coi gần bằng một, ví dụ $\alpha < 8^\circ$.

Bất kể đoạn hình nón có được kiểm tra theo cách đơn giản hay không, điều kiện ứng suất cục bộ tại các điểm nối phải luôn được phân tích riêng biệt. Xem thêm NORSOK N-004 Sec.6.5.

5.11. Trạng thái giới hạn cục hạn - dầm, cột và khung không phải hình ống

Thiết kế của dầm, cột và khung không phải dạng ống phải được kiểm tra theo các tiêu chuẩn đã được công nhận và phải xem xét các giới hạn có thể có về khả năng chịu lực của mặt cắt và độ ổn định của cấu kiện mất ổn định cục bộ.

Lưu ý hướng dẫn:

Mặt cắt của các cấu kiện được phân loại thành bốn loại khác nhau (đặc (I), bán đặc (II), đàn hồi (III) và thành mỏng (IV)) tùy thuộc vào khả năng phát triển khớp dẻo của chúng (đặc trưng của các mặt cắt hoàn toàn bằng loại I) và / hoặc để chống mất ổn định cục bộ ở một hoặc tất cả các bộ phận của nó.

Ảnh hưởng của hiện tượng mất ổn định cục bộ đến cường độ và độ ổn định của dầm, cột và khung là đặc trưng của cấu kiện mỏng tiết diện loại IV.

Xem phụ lục B về phân loại mặt cắt ở loại I, II và III. Các mặt cắt có thành mỏng là loại mà một hoặc tất cả các bộ phận của nó - bản bụng, cánh, sườn - nằm ngoài giới hạn của phân loại là loại III.

Các tiêu chuẩn sau đây có liên quan để kiểm tra độ bền và độ ổn định của các cấu kiện không phải dạng ống, đặc biệt là các cấu kiện của mặt cắt loại IV có thành mỏng: DNV-RP-C201, EN 1993-1-1 và EN 1993-1-5.

DNV-RP-C201 có thể áp dụng để phân tích ổn định của các tấm sàn, dù có gân cứng hay không, bằng các phương pháp thông thường.

EN 1993-1-1 được áp dụng để phân tích độ ổn định của các cấu kiện có mặt cắt đồng chịu tải trọng dọc trục không đòi hỏi kết hợp với uốn hai trục, bất kể loại mặt cắt nào. Các tác động của lực cắt và xoắn được coi là không có ảnh hưởng tương tác đến độ ổn định của cấu kiện, chỉ ảnh hưởng đến sức kháng của các mặt cắt. Đặc biệt đối với các cấu kiện có mặt cắt loại IV, EN 1993-1-1 cũng có thể được sử dụng để phân tích độ ổn định của các kết cấu hình trụ không tròn ở các dạng phá hủy kết hợp mất ổn định do uốn và / hoặc mất ổn định xoắn ngang cục bộ. Đối với các bộ phận hình ống có thành mỏng, EN 1993-1-1 tham chiếu đến EN 1993-1-6; xem thêm [4.5].

EN 1993-1-5 áp dụng riêng cho việc phân tích các phần tử kết cấu tấm, thường tạo thành các bộ phận của các kết cấu có mặt cắt hàn mảnh và có khả năng bao gồm cả sườn cứng. Ảnh hưởng của cả độ trễ của lực cắt và độ vênh cục bộ được tính đến trong các phương pháp được khuyến nghị để kiểm tra cấu kiện tấm và thiết kế các phần tử. Tất cả các tiêu chuẩn nêu trên đều áp dụng nguyên tắc về chiều rộng hiệu quả và mặt cắt hiệu quả trong các phương pháp được khuyến dùng để phân tích độ ổn định của các tấm và cấu kiện có thành mỏng.

Hệ số vật liệu γ_M đối với dầm, cột và khung tiết diện không phải ống là 1.10.

Nếu áp dụng các phương pháp trong DNV-RP-C201, hệ số vật liệu γ_M phải được lấy là 1.10.

Nếu sử dụng EN 1993-1-1 và / hoặc EN 1993-1-5 thì áp dụng các hệ số vật liệu theo Bảng 4-8.

Bảng 4-8 Các hệ số vật liệu được sử dụng với EN 1993-1-1 và EN 1993-1-5

Bài toán	Hệ số vật liệu ⁽¹⁾	Giá trị
Sức kháng của tiết diện loại I,II và III	γ_{M10}	1.1
Sức kháng của tiết diện loại IV	γ_{M1}	1.1
Sức kháng mất ổn định	γ_{M1}	1.1
(1) Ký hiệu theo EN 1993-1-1 và EN 1993-1-5		

5.12. Trạng thái giới hạn cục hạn - kết cấu tấm

Các yêu cầu trong tiểu mục này liên quan đến các bộ phận kết cấu hàn, được cấu tạo từ các tấm chịu tải trọng trong mặt phẳng hoặc tải trọng ngang, hoặc sự kết hợp của cả

hai.

Lưu ý hướng dẫn:

Các thành phần kết cấu tấm, có thể được phân loại thành các cấu kiện, phải được thiết kế và phân tích theo [4.6].

Các hệ số vật liệu theo Bảng 4-9 sẽ được sử dụng nếu EN 1993-1-5 và / hoặc EN 1993-1-7 được sử dụng để tính toán độ bền của kết cấu.

Bảng 4-9 Các yếu tố vật liệu được sử dụng với EN 1993-1-5 và EN 1993-1-7

Bài toán	Hệ số vật liệu ⁽¹⁾	Giá trị
Mất ổn định của tấm và tương tác giữa mất ổn định của tấm và cột	γ_{M10}	1.1
Sức kháng chống cắt	γ_{M1}	1.1
Ký hiệu theo EN 1993-1-5		

Các hệ số vật liệu theo Bảng 4-10 sẽ được sử dụng nếu EN 1993-2 được sử dụng để tính toán sức bền kết cấu.

Bảng 4-10 Các hệ số vật liệu được sử dụng với EN 1993-2

Bài toán	Hệ số vật liệu ⁽¹⁾	Giá trị
Sức kháng của mặt cắt ngang cho phép chảy dẻo bao gồm mất ổn định cục bộ	γ_{M10}	1.1
Khả năng ổn định của phần tử khi kiểm tra mất ổn định của phần tử	γ_{M1}	1.1
Sức kháng của mặt cắt ngang chịu kéo	γ_{M2}	1.25
(1) Ký hiệu theo EN 1993-2		

5.13. Trạng thái giới hạn cực hạn - kết cấu thép giàn, giàn và khớp nối

Các yêu cầu trong tiểu mục này áp dụng cho các kết cấu được thiết kế và phân tích dưới dạng kết cấu tam giác.

Lưu ý hướng dẫn:

Kết cấu không phải dạng tam giác nên được coi là khung và được thiết kế và phân tích theo các mục từ [4.5] đến [4.7] ở trên.

Phản ứng của kết cấu nên được xác định bằng cách phân tích đàn hồi tổng thể. Nếu không thì các yêu cầu nêu trong [4.3.3.4] phải được xem xét.

Phân tích phản ứng tổng thể của kết cấu có thể giả định rằng một số hoặc tất cả các phần tử, cả thanh cánh và bụng đều liên kết khớp, tức là không bao gồm các mômen tại các đầu nối.

Lưu ý hướng dẫn:

Những điều trên có thể không áp dụng được trong trường hợp các liên kết rất cứng được gia tải trước.

Thanh cánh và thanh giàn

Việc kiểm tra khả năng chịu lực của các thanh có thể được thực hiện theo các tiêu chuẩn được công nhận như EN 1993-3-1.

Việc kiểm tra độ an toàn của các thanh phải tương ứng với các giả định được đưa ra để xác định phản ứng kết cấu.

Lưu ý hướng dẫn:

Việc kiểm tra phải dựa trên các giá trị chiều dài mất ổn định và mômen uốn hoàn toàn tương ứng với các giả thiết cho phân tích tổng thể và tải trọng cấu kiện được xác định theo giả thiết đó.

Các hệ số vật liệu theo Bảng 4-11 sẽ được sử dụng nếu các phương pháp phân tích nêu trong EN 1993-3-1 được tham khảo để kiểm tra độ bền của kết cấu.

Bảng 4-11 Các hệ số vật liệu được sử dụng với EN 1993-3-1

Bài toán	Hệ số vật liệu ⁽¹⁾	Giá trị
Sức kháng chảy dẻo của phần tử	γ_{M0}	1.1
Khả năng chống mất ổn định của phần tử	γ_{M1}	1.1
Sức kháng của mặt cắt nguyên dạng tại lỗ bu lông	γ_{M2}	1.25
(1) Ký hiệu theo EN 1993-1-1		

5.14. Mối nối

Các mối nối phải được thiết kế và phân tích theo các quy định nêu trong [4.5.2] đối với mối nối ống và trong [4.9] và [4.10] đối với liên kết bu lông và hàn tương ứng.

Việc kiểm tra an toàn của các mối nối phải phù hợp với các giả định được dùng để xác định phản ứng của kết cấu.

Trạng thái giới hạn cực hạn - liên kết bu lông

Các yêu cầu trong tiểu mục này liên quan đến các liên kết bu lông đã gia tải, chịu tải trọng dọc trục, lực cắt hoặc sự kết hợp của chúng trong trạng thái ULS. Các kết bu lông không gia tải trước không được sử dụng cho các kết cấu đỡ tuabin gió.

Các chỉ dẫn kỹ thuật cụ thể bao gồm các liên kết mặt bích trong tháp và monopile, bu lông neo trong nền bê tông và các mối nối bu lông trong kết cấu khung hoặc tháp dàn.

Nếu các liên kết bu lông được thiết kế như kết nối thông thường (kiểu chịu lực), thì phải chứng minh rằng các biến dạng dẻo tiềm ẩn nằm trong giới hạn cho phép. Hơn nữa, loại liên kết này nên luôn bị khóa cứng, ví dụ: bằng đai ốc ngược hoặc chốt.

Lưu ý hướng dẫn:

Các liên kết bu lông trong các bộ phận kết cấu phụ có thể được thiết kế như các liên kết khớp, tức là không cần gia tải tải trước cho bu lông. Điều này có thể được thực hiện sau đây: EN 1993-1-8.

Các yêu cầu giả định rằng vật liệu bu lông được chọn theo [4.2.6].

Các liên kết bu lông phải được thiết kế và gia tải trước để có khả năng chống trượt khi chịu tải trọng bên ngoài cực hạn.

Độ an toàn của các liên kết bu lông có thể được kiểm tra theo EN 1993-1-8, trong trường hợp đó, các hệ số vật liệu nêu trong Bảng 4-12 dưới đây sẽ được áp dụng:

Bảng 4-12 Các hệ số vật liệu được sử dụng theo EN 1993-1-8 cho các liên kết bu lông

Loại sức kháng kiểm tra	Hệ số vật liệu ⁽¹⁾	Giá trị
Sức kháng của mặt cắt ngang nguyên dạng tử của phần tử	γ_{M0}	1.10

Sức kháng kéo	γ_{M2}	1.25
Sức kháng cắt	γ_{M2}	1.25
Sức kháng trượt	γ_{M2}	Xem [4.9.5]
(1) Ký hiệu theo EN 1993-1-1		

Hình dạng lỗ bu lông

Trừ khi được thiết kế đặc biệt, phải giả định khe hở danh nghĩa để lắp đối với các bu lông .

Nếu các lỗ quá khổ được dùng thì ảnh hưởng phải được xem xét trong thiết kế theo EN1993-1-8.

Khe hở và kích thước danh nghĩa của lỗ bu lông thường được xác định trong Bảng 4-13.

Bảng 4-13 Khe hở trong lỗ bu lông

Loại khe hở	Đường kính Bu Lông d (lớn nhất) mm	Khe hở mm	Đường kính lỗ bu lông mm
Tiêu chuẩn	12 và 14	1	d+1
	16-24	2	d+2
	27-36	3	d+3
	42-48	4	d+4
	56	5	d+5
	64	6	d+6
	72	6	d+6
Quá khổ	12	3	d+3
	14-22	4	d+4
	24	6	d+6
	27	8	d+8

Lưu ý hướng dẫn:

Khả năng chịu lực của lỗ được giả định là nhỏ hơn 30% đối với khe hở tiêu chuẩn đối với M42 - M72. Mặt khác, khoảng hở tiêu chuẩn bị giới hạn chỉ 3 mm đối với M42 -

M72.

Kích thước danh nghĩa của các lỗ có rãnh ngắn để cho các liên kết chống trượt không được lớn hơn quy định trong Bảng 4-14.

Nếu các lỗ rãnh dài được dùng thì tác động phải được xem xét trong thiết kế theo EN 1993-1-8.

Bảng 4-14 Các lỗ có rãnh ngắn

<i>Maximum size mm</i>	<i>Bolt diameter d (maximum) mm</i>
$(d+1) \times (d+4)$	12 and 14
$(d+2) \times (d+6)$	16 - 22
$(d+2) \times (d+8)$	24
$(d+3) \times (d+10)$	27 and beyond

Kích thước danh nghĩa của các lỗ có rãnh dài để nối chống trượt không được lớn hơn quy định trong Bảng 4-15.

Bảng 4-15 Các lỗ có rãnh dài

<i>Maximum size mm</i>	<i>Bolt diameter d (maximum) mm</i>
$(d+1) \times 2.5d$	12 and 14
$(d+2) \times 2.5d$	16 - 24
$(d+2) \times 2.5d$	27 and beyond

Gia tải trước bu lông

Bu lông phải được gia tải trước phù hợp với các quy trình tiêu chuẩn được quốc tế công nhận.

Các phương pháp đo và quy trình duy trì độ căng của bu lông phải được thiết lập như một phần của thiết kế.

Đối với bu lông cường độ cao trong các liên kết mặt bích và các liên kết trong kết cấu khung hoặc tháp rỗng có kiểm soát lực căng, gia tải trước được kiểm soát trong bu lông phải tuân theo:

$$F_p \leq 0.7f_{ub}A_s$$

ở đây:

f_{ub} = độ bền kéo cực hạn đặc trưng của vật liệu bu lông

A_s = diện tích ứng suất kéo của bu lông (diện tích nguyên trong phần ren của bu lông)

Đối với thanh neo (thường được thiết kế riêng), tải gia trước được kiểm soát trong

thanh phải là:

$$F_p \leq 0,7 f_{u,rod} A_{ref}$$

ở đây:

$f_{u,rod}$ = độ bền chịu kéo cực hạn đặc trưng của vật liệu làm thanh neo

A_{ref} = diện tích nhỏ nhất chịu ứng suất kéo của thanh ren (A_s) và diện tích mặt cắt danh nghĩa (A_{nom}) của thanh chưa ren.

Nếu các phương pháp căng khác được dùng thì phải tuân theo quy định nêu trong EN 1090-2.

Liên kết chịu tải dọc trục

Các yêu cầu trong [4.9.4] chỉ liên quan đến các liên kết bu lông chịu tải dọc trục.

Sự thay đổi của tải trọng trong bu lông và vật liệu bản đệm xung quanh do tải trọng bên ngoài phải được xác định dựa trên mô hình đàn hồi phản ánh độ cứng (dọc trục) của hai cấu kiện.

Biến động lực trong bu lông do biến dạng của các mặt bích phải được xét đến

Lưu ý hướng dẫn:

Với các liên kết bu lông mặt bích ví dụ như liên kết tháp ống và monopile, các phương pháp phân tích bu lông và mặt bích, trình bày trong Petersen, C, Stahlbau: Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten / 1 / hoặc Seidel, M. Zur Bemessung geschraubter Ringflanschverbindungen von Windener / maygian có thể được áp dụng để tính toán lực trong hai thành phần có kết hợp ới giới hạn về sai số độ phẳng. Các phương pháp này đều giả thiết cho chảy dẻo cục bộ ở trạng thái ULS.

Việc tính toán tải trọng trong các thành phần bu lông và mặt bích cũng có thể dựa trên mô hình FE, thể hiện đầy đủ hình dạng thực tế của liên kết và cả các khuyết tật có thể chấp nhận được và dung sai cho phép.

Phản lực trong liên kết do tác động của ngoại lực là có thể đảo chiều hoàn toàn vì nếu không tải gia trước có thể bị mất đi. Điều này phải được thỏa mãn khi kiểm tra theo SLS quy định trong [4.15].

Ngoài ra, liên kết phải được thiết kế sao cho ứng suất nén ở phần bị nén sẽ không bị giảm về 0 vĩnh viễn (dẫn đến sự tách rời vĩnh viễn của các thành phần được kết nối)

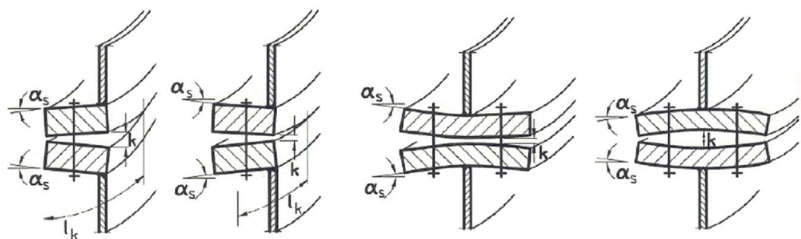
dưới tác dụng của tải trọng kéo bên ngoài cực hạn.

Hơn nữa, liên kết phải được thiết kế sao cho lực trong bu lông không bị giảm về 0 dưới tác dụng của tải trọng nén bên ngoài lớn nhất vì nếu không tải trọng gia trước có thể bị mất, ngay cả khi tải trọng bên ngoài có tính chất tức thì.

Lưu ý hướng dẫn:

Có thể giả định việc gia tải nén trước ở các mặt bích là đủ nếu như sai số về độ phẳng trên mặt bích (tương tự như $k/2$ trong Hình 4-2) nằm trong giá trị dung sai là 2 mm trên toàn bộ chu vi và lớn nhất là 1 mm trên một góc lên đến 30° sau khi hoàn thành các công đoạn chế tạo phân đoạn ống. Giả thiết rằng tổng sai lệch độ phẳng k của các mặt bích đã ráp vào nhau sẽ không quá 4 mm vì mức sai lệch tối đa của mỗi mặt không ở cùng một vị trí trên chu vi.

Nếu dung sai các khe hở của các mặt bích không tuân thủ được thì phải tiến hành đánh giá một cách thích hợp. Đánh giá thích hợp ở đây có thể là: gia công lại, mài hoặc bả các đầu các khe hở trước khi quá trình tải trước diễn ra



a) Mặt bích dạng L

b) Mặt bích dạng T

Hình 4-2 Liên kết mặt bích vòng trong thép

Khả năng chịu lực căng thiết kế của từng bu lông riêng lẻ, F_t, R_d , phải được tính như sau:

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad \text{đối với bu long cường độ cao}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{u,rod} A_{ref}}{\gamma_{M2}} \quad \text{đối với thanh neo}$$

Lưu ý hướng dẫn:

Các liên kết sử dụng bu lông có đầu chìm không được khuyến khích dùng ở đây.

Tiêu chuẩn an toàn cho một kết nối bu lông riêng lẻ chịu tải dọc trục thuần túy là:

$$\frac{F_t}{F_{t,Rd}} \leq 1.00$$

F_t là tải trọng bu lông chịu kéo thiết kế kết quả, đây là một hàm của tải trọng gia trước và tải trọng dọc trục bên ngoài được truyền bởi từng liên kết riêng lẻ.

Liên kết chịu cắt

Các yêu cầu trong [4.9.5] chỉ liên quan đến các liên kết bu lông chịu cắt.

Khoảng cách cuối, cạnh và khoảng cách lẫn nhau giữa các bu lông trong liên kết chịu cắt nói chung phải được thiết kế với các giá trị tối thiểu như được quy định trong Bảng 3.3 trong EN 1993-8. Xem thêm [4.12.4.2].

Nhóm bu lông trong liên kết, phải được thiết kế sao cho cả khả năng chống trượt thiết kế và khả năng chịu cắt đều cao hơn tải trọng cắt cực hạn thiết kế:

$$\sum F_{s,Rd} \geq \sum F_s \text{ and } \sum F_{b,Rd} \geq \sum F_s$$

ở đây:

F_s = lực cắt thiết kế được truyền bởi mỗi liên kết bu lông

F_s, R_d = khả năng chống trượt thiết kế của mỗi liên kết bu lông

F_b, R_d = khả năng chịu cắt thiết kế của mỗi liên kết bu lông riêng lẻ

Hơn nữa, đối với liên kết chịu cắt, liên kết truyền tải trọng kéo trong các thành phần được kết nối, sức kháng chảy dẻo thiết kế của mặt cắt nguyên vẹn của cấu kiện phải cao hơn tải trọng kéo thiết kế của nó:

$$N_{net,Rd} \geq \sum F_s$$

Việc phân loại ma sát bề mặt và tính toán khả năng chống trượt cho bu lông tải trước phải được thực hiện theo DNVGL-OS-C101 Ch.2 Sec.11.

Khả năng chịu cắt thiết kế của liên kết bu lông riêng, F_b, R_d , có thể được xác định theo các quy tắc nêu trong Bảng 3.4 của EN 1993-1-8.

Sức kháng chảy dẻo thiết kế của tiết diện nguyên dạng của cấu kiện truyền tải kéo phải được coi là:

$$N_{net,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} A_{net}$$

Các lỗ quá khổ trên lớp ngoài của các liên kết chống trượt phải được bọc bằng vòng đệm cứng.

Các lỗ dài có rãnh trên các tấm bên ngoài phải được che bằng các tấm đệm có kích thước và độ dày thích hợp. Các lỗ trên tấm đệm không được lớn hơn các lỗ tiêu chuẩn.

Tiêu chí an toàn cho mỗi liên kết bu lông riêng lẻ chịu lực cắt thuần túy là:

$$\frac{F_s}{F_{Rd}} \leq 1.00$$

Trong đó:

$$F_{Rd} = \text{Min} (F_{s,Rd}, F_{b,Rd})$$

Các liên kết chịu lực dọc trục và lực cắt kết hợp

Tiêu chuẩn an toàn cho mỗi liên kết bu lông chịu kéo và chịu cắt kết hợp phải được tính như sau:

$$\frac{F_t}{F_{t,Rd}} \leq 1.00$$

Cùng với:

$$\frac{F_s}{F_{Rd,red}} \leq 1.00$$

Trong đó:

$$F_{Rd,red} = \text{Min} \left(\frac{k_s n \mu F_c}{\gamma_{M3}}, F_{b,Rd} \right)$$

F_c là lực nén thiết kế giữa các tấm trong liên kết, là một hàm của tải trọng gia trước và tải trọng bên ngoài được truyền bởi liên kết. Xem thêm đoạn [4.9.5.3].

Bất kỳ liên kết bu lông riêng lẻ nào trong mỗi nối thiết kế phải tuân theo tiêu chuẩn an toàn này.

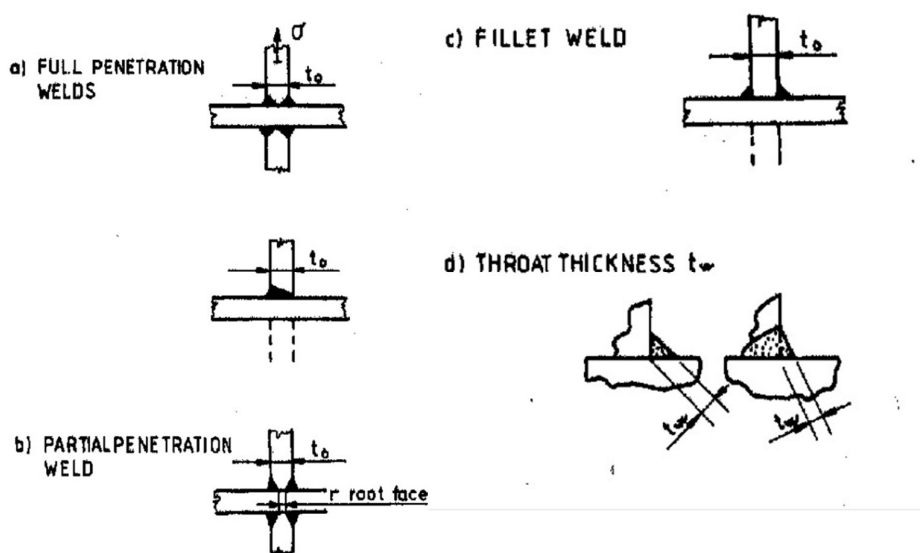
Trạng thái giới hạn cực hạn - liên kết hàn

Yêu cầu chung đối với mỗi nối hàn

Tất cả các loại mối hàn đối đầu phải được hàn từ cả hai phía. Phải quy định rằng trước khi tiến hành hàn từ mặt thứ hai, phải loại bỏ các lỗi mối hàn như thiếu ngấu, tạp chất, v.v., phải được loại bỏ tận gốc bằng phương pháp thích hợp.

Mối nối của tấm tiếp giáp với tấm khác theo mối nối chữ T hoặc chữ thập có thể được thực hiện như chỉ ra trong Hình 4-3.

Chiều dày của miệng hàn (thước đo a) của mối hàn góc phải được lấy vuông góc với bề mặt mối hàn, như được chỉ ra trong Hình 4-3 d).



Hình 4-3 Mối hàn T và mối hàn chéo

Loại liên kết hàn được sử dụng như sau:

a) Mối hàn ngấu hoàn toàn được sử dụng cho các liên kết quan trọng trong các kết cấu chịu ứng suất cao, đặc biệt là chịu tải động, ví dụ: đối với các khu vực đặc biệt và kết cấu chính chịu mỏi, chẳng hạn như các mối nối hình ống, mối nối đối đầu của tấm, và các mối hàn theo chiều dọc và chu vi trong ống.

b) Mối hàn ngấu từng phần được sử dụng trong các mối nối có ứng suất tĩnh cao. Cũng có thể chấp nhận được đối với các mối nối có ứng suất động, với điều kiện là ứng suất tương đương chịu được.

c) Mối hàn góc được sử dụng trong các mối nối mà ứng suất trong mối hàn chủ yếu là ứng suất cắt, hoặc ứng suất pháp vừa phải và chủ yếu là tĩnh, hoặc ứng suất động trong bản trụ nhỏ.

4.10.2.5 Hệ số vật liệu γ_{Mw} đối với các mối nối hàn được cho trong Bảng 4-16

Bảng 4-16 Hệ số vật liệu γ_{Mw} cho liên kết hàn Limit state Material factor ULS 1.25

Trạng thái giới hạn	Hệ số γ_{Mw}
ULS	1.25

Chất lượng của vật tư hàn được thiết kế cho các mối nối hàn phải được quy định trong dự án ở dạng là các yêu cầu tối thiểu cho cả khả năng chịu lực đàn hồi và cực hạn.

Được phép thiết kế cho các vật liệu độn có mức khác (cả cao hơn và thấp hơn) so với vật liệu cơ bản, nhưng việc xác định kích thước mối hàn phải theo đúng các đặc tính của cường độ vật liệu độn.

Mối hàn phải được thiết kế với kích thước sao cho độ bền thiết kế của chúng không thấp hơn độ bền thiết kế của các bộ phận được nối với chúng.

Sự phân bố lực trong mối nối hàn chịu tải tĩnh có thể được tính toán trực tiếp dựa trên giả định về ứng xử đàn hồi hoặc dẻo.

Ứng suất dư và ứng suất không tham gia truyền tải không cần tính đến khi kiểm tra độ bền của mối hàn. Điều này áp dụng riêng cho ứng suất pháp tuyến song song với trục của mối hàn, σ_{II} .

Các mối nối hàn phải được thiết kế để có khả năng biến dạng thích hợp.

Trong các mối nối khác, có yêu cầu về khả năng xoay do có thể có biến dạng quá mức, các mối hàn yêu cầu đủ độ bền để không bị đứt gãy trước xuất hiện chảy trong vật liệu cơ bản.

Độ bền thiết kế của mối hàn góc là đủ nếu tại mọi điểm trên chiều dài của nó, lực trên một đơn vị chiều dài do mối hàn truyền qua không vượt quá độ bền thiết kế của nó.

Độ bền thiết kế của mối hàn góc sẽ đủ nếu thỏa mãn cả hai điều kiện sau:

$$\sqrt{\sigma_{\perp d}^2 + 3(\tau_{II d}^2 + \tau_{\perp d}^2)} \leq \frac{f_{uw}}{\beta_w \gamma_{Mw}}$$

Và:

$$\sigma_{\perp d} \leq \frac{f_{uw}}{\gamma_{Mw}}$$

Trong đó:

$\sigma_{\perp d}$ = giá trị thiết kế của ứng suất pháp tuyến ngang tới cổ của mối hàn

$\tau_{\perp d}$ = giá trị thiết kế của ứng suất cắt trên cổ mối hàn, theo phương ngang với phương của trục đường hàn

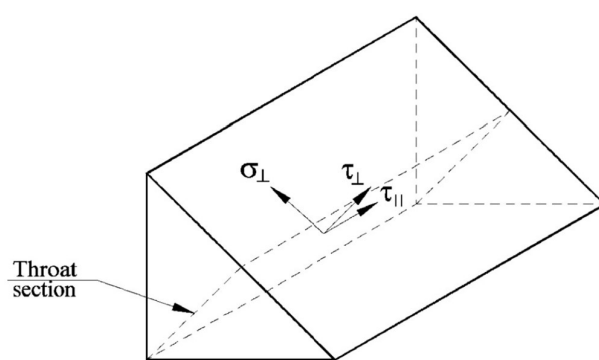
$\tau_{\parallel d}$ = giá trị thiết kế của ứng suất cắt trên cổ mối hàn, song song với phương của trục đường hàn

f_{uw} = độ bền kéo cực hạn thấp nhất danh nghĩa của vật liệu đệm hàn

β_w = hệ số tương quan, xem Bảng 4-17

γ_{Mw} = hệ số vật liệu cho mối hàn

xem thêm Hình 4-4.



Hình 4-4: Các thành phần ứng suất trong mối hàn góc

Bảng 4-17 Hệ số tương quan β_w

Độ bền chịu kéo cực hạn thấp nhất f_{uw} (MPa)	Hệ số tương quan β_w
400	0.83
440	0.86
490	0.89
510	0.90
530	1.00
570	1.00

Các khớp nối hình ống

Mối hàn trong các mối nối ống phải được thiết kế là mối hàn ngẫu hoàn toàn với vật liệu hàn có cường độ tương đương hoặc cao hơn với thép gốc.

5.15. Thiết kế trạng thái giới hạn mối - quy định chung

Trong phần phụ này, các yêu cầu được đưa ra đối với thiết kế chống phá hoại do mối. Có thể áp dụng các tiêu chuẩn và hướng dẫn về thiết kế chống phá hoại mối, chẳng hạn như DNVGL RP-C203 và EN 1993-1-9, cùng với các tiêu chuẩn thực hành liên quan của chúng. Tiêu chuẩn hoặc hướng dẫn thiết kế được áp dụng phải phù hợp với loại kết cấu mà nó sẽ được áp dụng và phải đúng với môi trường ăn mòn mà kết cấu tiếp xúc. Tiêu chuẩn thiết kế được áp dụng phải được quốc tế công nhận. Tiêu chuẩn thiết kế được áp dụng phải là một phần của bộ tiêu chuẩn thống nhất không riêng chỉ bao gồm thiết kế mối mà còn liên quan đến thi công chế tạo bao gồm các yêu cầu về thử nghiệm không phá hủy. Tham khảo chung trong DNVGL-RP-C203 để biết các chi tiết thực tế trong thiết kế và phân tích kết cấu thép ngoài khơi.

Mục đích của thiết kế chống mối là để đảm bảo kết cấu có đủ khả năng chống lại phá hủy mối, tức là nó có tuổi thọ mối phù hợp. Đánh giá tuổi thọ mối được sử dụng trong thiết kế mối để thực hiện mục tiêu này. Đánh giá tuổi thọ mối cũng có thể tạo cơ sở cho việc xác định các chương trình kiểm tra khảo sát hiệu quả, cả trong quá trình sản xuất và trong thời gian hoạt động của kết cấu.

Khả năng chống mối của một chi tiết kết cấu cụ thể thường được cho dưới dạng đường cong S-N. Đường cong S-N cho biết số chu kỳ phá hoại mối N tương ứng với số gia ứng suất $\Delta\sigma$. Đường cong S-N thường dựa trên các thử nghiệm mối trong phòng thí nghiệm, xem thêm DNVGL-RP-C203 [2.4].

Tuổi thọ mối thiết kế cho các bộ phận kết cấu phải dựa trên tuổi sử dụng cụ thể của kết cấu. Nếu tuổi sử dụng không được chỉ định, thì nên sử dụng 20 năm.

Tuổi thọ mối thiết kế cũng phải tính đến tổn thất mối tích lũy trong các giai đoạn vận chuyển, lắp đặt và trước khi vận hành.

Để đảm bảo rằng kết cấu sẽ hoàn thành chức năng dự kiến, phải thực hiện đánh giá mối cho từng bộ phận riêng lẻ và liên kết chịu tải trọng mối.

Lưu ý hướng dẫn:

Bất kỳ phần tử hoặc bộ phận nào của kết cấu, mọi mối nối hàn hoặc bộ phận liên kết

hoặc dạng tập trung ứng suất khác đều có khả năng gây nứt do mỏi và cần được xem xét riêng lẻ.

Điều tối quan trọng là các chu kỳ ứng suất được xác định dựa trên các mô hình cho phản ứng kết cấu, phản ánh thực tế độ cứng của cả các phần tử và các liên kết

Đối với các công trình ngoài khơi, mức ăn mòn phải được tính đến bằng cách giảm chiều dày danh nghĩa của cấu kiện trong phân tích trạng thái giới hạn mỏi.

Lưu ý hướng dẫn:

Tính toán mỏi có thể dựa trên chiều dày thành thép bằng chiều dày danh nghĩa được giảm một nửa mức ăn mòn cho phép trong suốt thời gian sử dụng mà không tính đến giai đoạn tảo dỡ. Tuổi thọ sử dụng đầy đủ được định nghĩa là tổng của (1) thời gian từ khi lắp đặt kết cấu đỡ đến khi lắp đặt tuabin gió, (2) thời gian từ khi lắp đặt đến vận hành và (3) thời gian vận hành tiếp theo của tuabin gió.

Ăn mòn cho phép ở thời gian đoạn sau khi tuabin ngừng hoạt động thì không cần phải được tính đến trong phần tính toán mỏi từ (1) đến (3) như ở trên.

Đối với kết cấu thép chính trong vùng nước thay đổi, giới hạn ăn mòn có thể được tính toán từ tốc độ ăn mòn quy định trong DNVGL-RP-0416.

Mức cho phép ăn mòn 2 mm thường được áp dụng cho các kết cấu phụ có thể thay thế trong vùng nước triều thường không đủ cho tuổi thọ sử dụng 20 năm. Đối với những tấm chông va tàu có lớp phủ dễ bị làm hỏng thì nên xem xét mức ăn mòn lớn hơn 2 mm. Nói mức ăn mòn cho phép ăn mòn trong thiết kế các kết cấu phụ có thể thay thế phải được sẽ được cân bằng với nhu cầu thay thế các kết cấu đó.

Khi giới hạn ăn mòn được quy định để tính đến hao hụt kim loại dự kiến trong suốt thời gian hoạt động, nên sử dụng đường cong S-N không ăn mòn. Nếu bảo vệ chống ăn mòn bằng vd. sử dụng lớp sơn phủ, việc áp dụng đường cong S-N ăn mòn không ăn mòn có thể bị giới hạn ở phần tuổi thọ vượt quá tuổi thọ dự kiến của lớp bảo vệ chống ăn mòn.

Đặc biệt khuyến nghị rằng kết cấu được bảo vệ bởi hệ thống CP càng sớm càng tốt sau khi lắp đặt kết cấu, nếu không có biện pháp bảo vệ chống ăn mòn nào khác như sơn phủ.

Đường cong S-N đặc trưng

Độ bền mỏi của các mối hàn ở một mức độ nào đó phụ thuộc vào chiều dày tấm, điều

này là do hình dạng cục bộ của chân mỗi hàn so với chiều dày của các tấm tring liên kết. Ảnh hưởng của độ dày được tính bằng sự thay đổi phụ thuộc vào độ dày của dải ứng suất được sử dụng để tính toán số chu kỳ dẫn đến phá hủy.

S-N được viết như sau:

$$N = \frac{a}{\left(\Delta\sigma \cdot \left(\frac{t}{t_{ref}}\right)^k\right)^m}$$

Hoặc có thể viết:

$$\log_{10} N = \log_{10} a - m \log_{10} \left(\Delta\sigma \cdot \left(\frac{t}{t_{ref}}\right)^k \right)$$

Một dạng biến đổi của đường cong S-N 'cơ bản' được viết: $N = \frac{a}{\Delta\sigma^m}$

ở đây:

N = số chu kỳ, với khoảng ứng suất bằng nhau S, sự phá hủy mỗi đầu hình thành trong kết cấu,

a = chỉ số nhận dạng chính của đường cong S-N, liên quan đến điểm xét (a được xác định là điểm giao nhau của đường cong S-N với trục N (S = 1) trong mô tả theo log-log),

$\Delta\sigma$ = số gia ứng suất tại điểm xét tính bằng đơn vị MPa

m = số mũ Wöhler (m được xác định là độ dốc nghịch đảo âm của đường cong S-N trong mô tả log-log)

t_{ref} = độ dày tham chiếu, là

$t_{ref} = 16$ mm đối với môi nối ống,

$t_{ref} = 25$ mm đối với các mối nối hàn không phải mối nối hình ống, và

$t_{ref} = 25$ mm đối với bu lông

t = chiều dày thực tế mà qua đó vết nứt do mỏi có nguy cơ sẽ phát triển

t = tref sẽ được nhập trong mọi trường hợp khi t < tref

k = số mũ liên quan đến độ dày.

Định nghĩa chung về đường cong S-N cùng với đường cong S-N áp dụng cho một loạt các chi tiết điển hình trong kết cấu thép được đưa ra trong DNVGL-RP-C203.

Việc sử dụng các đường cong S-N trong DNVGL-RP-C203 là một tùy chọn. Chúng có

thể được sử dụng khi dữ liệu cụ thể của dự án hoặc của nhà sản xuất không có sẵn cho tất cả các trường hợp áp dụng những lại được bao phủ bởi các đường cong S-N.

Lưu ý hướng dẫn:

Nhìn chung, việc phân loại các chi tiết kết cấu và các đường cong S-N tương ứng của chúng trong không khí, trong nước biển có bảo vệ catốt thích hợp và trong điều kiện ăn mòn tự do, có thể được lấy từ DNVGL-RP-C203.

Các đường cong S-N được chỉ định cho vật liệu trong không khí có giá trị đối với các chi tiết nằm phía trên vùng nước bắn. Các đường cong trong không khí cũng có thể được sử dụng cho các bộ phận bên trong của các bộ phận chứa đầy không khí bên dưới nước và để phân tích mỗi đóng cọc.

Cơ sở cho việc sử dụng các đường cong SN được quy định trong DNVGL-RP-C203 là chất lượng chế tạo cao của chi tiết, nghĩa là công tác hàn và kiểm tra không phá hủy phải phù hợp với loại kiểm tra I và loại kết cấu đặc biệt theo DNVGL -OS-C401 Ch.2 Phần 7 Bảng 1.

Các đường cong S-N ăn mòn tự do có thể được sử dụng bên dưới đường nước cho bề mặt bên trong của monopile.

Việc điều chỉnh số gia ứng suất theo độ dày thép trong [4.11.2.1] là để phản ánh rằng kích thước và hình dạng thực tế của kết cấu khác so với dữ liệu S-N (loga và m) được xây dựng: sự việc điều chỉnh tính đến ảnh hưởng của các kích thước khác nhau của các tấm mà vết nứt do mỏi có thể sẽ phát triển qua. Tuy nhiên, ở đây cũng có thể phải kể đến ảnh hưởng của chiều dài mỗi hàn trong các mối nối hình chữ thập, chiều rộng mỗi hàn trong mối hàn góc và chiều dày mỗi hàn kết hợp và chiều dài chuyển tiếp chiều dày trong mối hàn hình ống. Công dụng của việc đo đạc chiều dài và chiều rộng, L, là độ dày thực t trong đường cong hệ S-N có thể được thay thế bằng độ dày hiệu dụng

$$t_{eff} = \min(14 + 0.66 \cdot L_t; t) [mm],$$

Các yêu cầu sử dụng đường cong S-N được nêu trong [4.11.5].

Các đường cong S-N từ các tiêu chuẩn khác ngoài DNVGL-RP-C203, chẳng hạn như EN 1993-1-9, có thể được áp dụng nếu chúng đáp ứng các yêu cầu khác quy định trong tiêu chuẩn này. Khi các tiêu chuẩn khác được áp dụng, người thiết kế phải đánh giá xem chúng đã xét đến được đầy đủ các hư hỏng từ tất cả các chu kỳ tải liên quan

được áp dụng cho kết cấu chưa.

Lưu ý hướng dẫn:

Khi EN 1993-1-9 được áp dụng làm tiêu chuẩn thiết kế, các điều chỉnh sau đây đối với đường cong S-N cần được xem xét:

Đối với các thành phần chủ yếu chịu ứng suất pháp, các điều sau áp dụng cho đường cong S-N theo EN1993-1-9:

Vùng I: tham số độ dốc của đường cong S-N $m_1 = 3$, số chu kỳ ứng suất $N_i < 5 \cdot 10^6$

Vùng II: tham số độ dốc của đường cong S-N $m_2 = 5$, số chu kỳ ứng suất $N_i \geq 5 \cdot 10^6$

Đối với các cấu kiện chủ yếu chịu ứng suất cắt, nên sử dụng các đường cong S-N của EN 1993-1-9: 2005 với tham số độ dốc không đổi $m = 5$:

Vùng I + II: tham số độ dốc của đường cong S-N $m = 5$, tất cả các số chu kỳ ứng suất. Không nên áp dụng giá trị ngưỡng của độ bền mỏi (giới hạn cắt).

Lý do cho yêu cầu này là do vẫn còn hạn chế về kinh nghiệm liên quan đến tải trọng mỏi chu kỳ cao cả trong nghiên cứu cũng như thực tế cho các tuabin gió hiện có. Nó cho thấy là phương pháp được sử dụng thường xuyên hiện nay cho ngành công nghiệp gió trong các tiêu chuẩn khác nhau được coi là sử dụng các giả thiết thiết kế an toàn.

Hệ số hiệu chỉnh độ dày phải được áp dụng phù hợp với yêu cầu trong EN 1993-1-9.

Để bổ sung cho tính toán mỏi dựa trên đường cong S-N, việc tính toán tuổi thọ mỏi có thể dựa trên phân tích cơ học phá hủy, xem DNVGL-RP-C203. Có thể tham khảo phương pháp tính toán theo cơ học phá hủy trong BS 7910.

Phân bố số gia ứng suất đặc trưng

Phân bố số gia ứng suất đặc trưng dài hạn cần được thiết lập cho kết cấu hoặc một bộ phận của kết cấu

Phải xem xét tất cả các số gia ứng suất đáng kể, góp phần gây ra hư hỏng do mỏi trong kết cấu.

Lưu ý hướng dẫn:

Đối với các liên kết hàn chịu ứng suất đa trục nối các thanh, điều quan trọng là phải xem xét điều kiện ứng suất phức tạp theo cách thực tế để cho phép tính toán tích lũy mỏi. Điều này đúng với cả tải trọng đối xứng và tải trọng không đối xứng, điều này đặc biệt phù hợp với các kết cấu ngoài khơi, nơi tải trọng kết hợp từ gió và sóng thường lệch pha và không đối xứng.

Khi phân tích ứng suất đa trục, nên thiết lập sự phân bố ứng suất chi phối (liên quan đến hư hỏng) hoặc tổ hợp ứng suất cho các vùng nguy hiểm thông qua việc xem xét ứng suất chính và hướng ứng suất chính.

Hiếm khi, thành phần tải chi phối, hoặc sự kết hợp của các thành phần tải, có thể dẫn đến trạng thái ứng suất gần với ứng suất trục đơn. Trong những trường hợp như vậy thì có thể cho phép đơn giản hóa tính toán cho phù hợp với bài toán.

Đối với tải trọng đối xứng, mỗi phải dựa trên ứng suất chính. Trong trường hợp vector hướng của ứng suất chính gần ngang với đường hàn và không thay đổi đáng kể theo thời gian, thì ứng suất pháp tuyến ở đường hàn có thể được sử dụng. Nếu vector hướng thay đổi đáng kể, thì các ứng suất chính khác cũng cần được phân tích.

Đối với tải trọng không đối xứng được đặc trưng bởi sự thay đổi liên tục đáng kể của hướng ứng suất chính trong từng trường hợp tải, có thể sẽ khó xác định chỉ một (hoặc thậm chí một vài) hướng ứng suất chính chi phối, nhưng điều này cần phải được thực hiện dựa trên phân tích và giải thích vật lý của chuỗi ứng suất riêng lẻ.

Số gia ứng suất gây ra bởi tải trọng gió phải được thiết lập từ số liệu thống kê gió cụ thể tại địa điểm. Số gia ứng suất do tải trọng gió gây ra phải được thiết lập tính đến độ lệch của trục rôto tuabin so với hướng của gió. Các số gia ứng suất phát sinh trong các điều kiện sự cố liên quan đến trục quay cần phải được xem xét.

Số gia ứng suất gây ra bởi tải trọng sóng phải được thiết lập từ số liệu thống kê sóng cụ thể của địa điểm. Số liệu thống kê sóng rời rạc có thể được áp dụng cho mục đích này và thường làm là số lượng sóng được lấy từ tám hướng khác nhau với khoảng chia theo độ cao sóng là 1m. Đối với độ cao của sóng từ 0 đến 1 m, nên chia với khoảng cách 0,2 m để nâng cao độ chính xác của các dự đoán về tổn thất mỏi trong khoảng đó. Việc lựa chọn lý thuyết sóng dùng để tính toán động học sóng phải được thực hiện theo DNVGL-ST-0437. Lý thuyết sóng phụ thuộc nhiều vào độ sâu của nước. Đối với độ sâu của nước nhỏ hơn xấp xỉ 15m, lý thuyết hàm dòng bậc cao cho kết quả đáng tin cậy nhất và do đó sẽ được áp dụng. Đối với độ sâu của nước vượt quá khoảng 30 m, lý thuyết bậc 5 của Stokes sẽ được áp dụng.

Các số gia ứng suất gây ra bởi vận hành và điều khiển của tuabin gió phải tính vào. Chúng bao gồm các số gia ứng suất do dẫn động phanh cơ học và tải tạm thời do dừng và khởi động rôto, kết nối và ngắt kết nối máy phát, và tải khi quay.

Số gia ứng suất do vận chuyển gây ra cũng cần kể đến.

Đối với cọc đóng bằng thép, phải bao gồm các số gia ứng suất gây ra bởi việc đóng cọc. Tương tự như vậy, đối với cọc được hạ bằng rung động, phải bao gồm số gia ứng suất do rung động gây ra.

Trường hợp đặc biệt, phải bao gồm các số gia ứng suất gây ra bởi các điều kiện môi trường trong giai đoạn chạy thử (ví dụ: từ các rung động do dòng xoáy).

Bất cứ khi nào thích hợp, tất cả các số gia ứng suất của phân bố dài hạn phải được nhân với hệ số tập trung ứng suất (SCF). SCF phụ thuộc vào cấu trúc hình học. Trong một số trường hợp, SCF có thể được tính toán từ các phương trình tham số nhưng thường bằng cách phương pháp phần tử hữu hạn.

Lưu ý hướng dẫn:

Trong các trang trại điện gió, các thiết kế của các liên kết hoặc các chi tiết kết cấu thường được lặp lại với số lượng lớn ở các kết cấu đỡ giống hệt nhau hoặc gần giống hệt nhau, các yêu cầu về hiệu quả chi phí làm cho việc đánh giá chính xác SCF đặc biệt liên quan. Trong trường hợp này, nên đánh giá bằng phân tích phần tử hữu hạn.

Khi các phương trình tham số được sử dụng để tính toán SCF cho các liên kết dạng ống, có thể sử dụng phương trình Eftymiou cho các khớp T-, Y-, DT và X, cũng như cho các khớp K- và KT. Để biết chi tiết, hãy xem Ứng dụng DNVGL-RP-C203.B.

Đối với các mối nối hình ống nhiều mặt phẳng khi mà không thể bỏ qua các hiệu ứng đa mặt phẳng, SCF có thể được xác định bằng phân tích FEM chi tiết của từng chi tiết mối nối. Hoặc, SCF có thể lấy giá trị lớn nhất được tính bằng các phép tính tham số áp dụng cho các liên kết với giả thiết là khớp nối phẳng Y-, X- hoặc K trong mặt phẳng.

Với các ống hình côn, SCF có thể được xác định bằng cách tham chiếu đến mặt cắt hình nón tại điểm mà đường tâm của hình nón giao với mặt ngoài của thanh chủ. Đối với các khớp nối có khoảng hở với ống côn, nên tính theo khoảng hở thực tế.

SCF tối thiểu bằng 1,5 nên được áp dụng cho các khớp nối hình ống nếu không có tài liệu nào khác.

Trong các ống có mối hàn nối ống, sự gia tăng ứng suất hình học được gây ra bởi mômen uốn cục bộ trong thành ống, do sự lệch tâm của đường tâm từ việc cắt côn, do dung sai chế tạo và sự khác biệt về độ cứng phương vòng đối với các ống có độ dày

khác nhau. Chi tiết để tính toán SCF cho mỗi nối ống được nêu trong DNVGL-RP-C203. Khuyến nghị rằng dung sai chế tạo càng nghiêm ngặt càng tốt được quy định cho các mối hàn nối ống để giảm thiểu hệ số tập trung ứng suất.

Trong trường hợp áp dụng tiêu chuẩn thiết kế khác ngoài DNVGL-RP-C203, chẳng hạn như EN 1993-1-9, thì các loại chi tiết được xác định trong tiêu chuẩn đó phải được áp dụng cùng với các yêu cầu dung sai liên quan được quy định trong cùng tiêu chuẩn đó.

Đối với phân tích mỏi ở điểm thuộc vật liệu cơ bản không bị ảnh hưởng đáng kể bởi ứng suất dư do hàn hoặc do quá trình tạo hình nguội, số gia ứng suất có thể được giảm xuống trước khi phân tích mỏi tùy thuộc vào ứng suất trung bình là ứng suất kéo hay ứng suất nén.

Lưu ý hướng dẫn:

Việc giảm này có nghĩa là việc kể đến một phần hay toàn bộ ảnh hưởng của việc khép vết nứt khi vật liệu bị nén. Xem thêm DNVGL-RP-C203 [2.5.1].

Để phân tích mỏi các vùng trong các chi tiết kết cấu hàn đã được xử lý nhiệt sau hàn hoặc có thể còn ứng suất dư thấp, số gia ứng suất có thể được giảm xuống trước khi phân tích mỏi tùy thuộc vào ứng suất trung bình. là ứng suất kéo hoặc ứng suất nén.

Lưu ý hướng dẫn:

Việc giảm này có nghĩa là giải thích cho các ảnh hưởng của sự đóng vết nứt do mỏi một phần hoặc toàn bộ khi vật liệu bị nén. Xem thêm DNVGL-RP-C203 [2.5.2].

Các hiệu ứng động, bao gồm cả khuếch đại động, phải được tính đến khi lập phân bố số gia suất dài hạn.

Các số gia ứng suất trong phân bố của các số gia ứng suất phải phù hợp với các số gia ứng suất của đường cong S-N tạo cơ sở cho việc đánh giá hư hỏng do mỏi.

Tại các mối hàn, nơi có các điểm ứng suất kỳ dị và phải áp dụng phép ngoại suy để tìm các số gia ứng suất, điều này ngụ ý rằng quy trình ngoại suy tương tự phải được áp dụng để thiết lập các số gia ứng suất của phân bố dài ứng suất như quy trình đã được sử dụng để thiết lập các giá trị phạm vi ứng suất của đường cong S-N cho mỗi hàn

Lưu ý hướng dẫn:

Các đường cong S-N dựa trên các thử nghiệm mỏi của các mẫu thép. Trong quá trình

thử nghiệm, ứng suất được đo bằng đồng hồ đo biến dạng. Ứng suất trong vùng khía ở góc mối hàn và chân mối hàn không thể được đo trực tiếp, bởi vì các đồng hồ đo biến dạng không thể được lắp đủ chắc chắn tại vết khía do sự hiện diện của mối hàn. Hơn nữa, một điểm kỳ dị ứng suất sẽ xuất hiện trong khu vực này, tức là ứng suất sẽ tiến gần đến vô cùng. Ứng suất được ghi lại trong các thử nghiệm mỗi tiêu chuẩn gọi là ứng suất điểm nóng, là ứng suất tham chiếu tương đương. Ứng suất điểm nóng tại các đầu mối hàn và góc mối hàn được thiết lập bằng cách ngoại suy từ các ứng suất đo được từ vùng khía. Trong quá trình thử nghiệm để thiết lập và diễn giải đường cong S-N, các đồng hồ đo biến dạng được đặt ở các vị trí cụ thể trên mẫu thử và ứng suất điểm nóng được thiết lập bằng cách xử lý các phép đo. Để đảm bảo tham chiếu ứng suất rõ ràng cho các chi tiết kết cấu hàn, các vị trí của đồng hồ đo được quy định cho từng loại chi tiết kết cấu.

Để đáp ứng yêu cầu về tính tương thích, ứng suất trong mối hàn do tải tác dụng phải được xác định là ứng suất điểm nóng đối với mối hàn được đề cập, tức là ứng suất trong các điểm nóng của mối hàn phải được tính bằng cách ngoại suy từ ứng suất trong các điểm ngoại suy đã xác định bằng các thử nghiệm trong phòng thí nghiệm đối với các chi tiết kết cấu liên quan đang được xem xét.

Do đó, khi phân tích phần tử hữu hạn được sử dụng để xác định ứng suất trong mối hàn do tải trọng tác dụng, ứng suất trong mối hàn sẽ được tìm thấy bằng cách ngoại suy các ứng suất được tính toán bằng phép phân tích trong các điểm ngoại suy tại chính các vị trí được xác định bởi các thử nghiệm trong phòng thí nghiệm đã tạo cơ sở cho việc xác định đường cong SN.

Tham khảo DNVGL-RP-C203 để biết thêm chi tiết về định nghĩa điểm nóng và các nguyên tắc để mô hình hóa và phân tích phần tử hữu hạn, bao gồm ngoại suy ứng suất cho điểm nóng.

Trong trường hợp áp dụng một tiêu chuẩn thiết kế khác ngoài DNVGL-RP-C203, chẳng hạn như EN 1993-1-9, thì phân loại chi tiết để tính ứng suất điểm nóng cho trong tiêu chuẩn đó phải được áp dụng cùng với các yêu cầu dung sai liên quan được quy định trong cùng tiêu chuẩn đó.

Đối với các phương pháp phức tạp hơn để đánh giá thiết kế FLS, chẳng hạn như quy trình ứng suất khía hiệu quả, xem hướng dẫn bổ sung trong DNVGL-RP C203 App.E

cũng như trong tài liệu IIW IIW-1823-07 ex XIII-2151r4-07 / XV- 1254r4 -07 Khuyến nghị về thiết kế mối của các mối hàn và các bộ phận.

Tổn thất tích lũy đặc trưng và Tổn thất tích lũy thiết kế

Các dự đoán về tuổi thọ mối có thể dựa trên các tính toán về tổn thất do mối tích lũy với giả định về tổn thất tích lũy là tuyến tính, ví dụ tính toán theo quy tắc của Miner. Số liệu số gia ứng suất đặc trưng được sử dụng tính toán có thể dựa trên việc đếm lưu lượng dòng mưa của các chu kỳ ứng suất. Tổn thất tích lũy đặc trưng tương ứng gây ra bởi quá trình ứng suất này được ký hiệu là D_c .

Lưu ý hướng dẫn:

Khi quy tắc của Miner được sử dụng để dự đoán tổn thất tích lũy tuyến tính, tổn thất tích lũy đặc trưng D_c được tính như sau:

$$D_c = \sum_{i=1}^I \frac{n_{c,i}}{N_{c,i}}$$

ở đây:

D_c là tổn thất tích lũy đặc trưng, i biểu thị số lượng các khối ứng suất trong phạm vi ứng suất gây mối, được lựa chọn tùy ý của trục số gia ứng suất,

$n_{c,i}$ biểu thị số chu kỳ ứng suất trong khối ứng suất thứ i , được lấy từ phân bố dài hạn đặc trưng của phạm vi ứng suất, và

$N_{c,i}$ là số lần lặp lại của chu kỳ trong khối ứng suất thứ i dẫn đến phá hủy mối, như được diễn giải từ đường cong S-N đặc trưng.

Tổn thất tích lũy thiết kế D_d nhận được tính từ tổn thất tích lũy đặc trưng D_c nhân với hệ số mối thiết kế DFF

$$D_d = DFF \cdot D_c$$

Hệ số mối thiết kế được quy định trong [4.11.5].

Hệ số mối thiết kế

Hệ số mối thiết kế DFF là hệ số an toàn được áp dụng cho tổn thất mối tích lũy đặc trưng D_c để tính tổn thất mối thiết kế.

Lưu ý hướng dẫn:

Vì tuổi thọ mối tỷ lệ nghịch với hư tổn thất mối, hệ số mối thiết kế có thể được áp dụng như một ước số cho tuổi thọ mối đặc trưng tính toán để có được tuổi thọ mối thiết kế

tính toán.

Hệ số môi thiết kế trong Bảng 4-18 áp dụng cho các kết cấu hoặc bộ phận kết cấu thuộc loại có hậu quả hư hỏng thấp và về điều này có thể thể hiện rằng kết cấu vẫn đáp ứng yêu cầu về tính toàn vẹn trong điều kiện ALS sau khi bị hư hại tại nút nào đó được xác định. Hệ số môi thiết kế tối thiểu trong Bảng 4-18 phụ thuộc vào vị trí của chi tiết kết cấu và khả năng tiếp cận để khảo sát và sửa chữa. Mối quan hệ giữa mức độ khảo sát và yêu cầu đối với DFF được trình bày chi tiết trong Phần 9. Tất cả các bề mặt được thiết kế là không cần khảo sát, bất kể chúng có thể tiếp cận được để khảo sát và sửa chữa hay không, sẽ được coi là không thể tiếp cận trong thiết kế. Yêu cầu đối với DFF = 3.0 phản ánh giả định không khảo sát hoặc không khảo sát đột xuất, bất kể là có thể tiếp cận. Các DFF thấp hơn có thể được sử dụng trong vùng khí quyển và vùng ngập nước nếu có kế hoạch khảo sát được lập cùng với phương pháp khảo sát được ban hành và các khoảng thời gian khảo sát để dẫn đến mức độ an toàn tương đương như DFF = 3.0 mà không cần kiểm tra.

Bảng 4-18 Đường cong S-N yêu cầu và hệ số môi thiết kế - DFF

Vị trí	Khả năng tiếp cận để khảo sát và sửa chữa hư hỏng mới và lớp phủ hư hỏng 2)	Đường cong S-N 5)	Giá trị nhỏ nhất của DFF 6)
Vùng khí quyển	không	Trong không khí đối với các bề mặt được sơn phủ không bị ăn mòn đối với các bề mặt được bảo vệ bằng cách cho phép ăn mòn, chỉ theo 4)	3
	Có		1
Trên vùng nước bản (phía trên MWL) 1)	Không	Kết hợp của đường cong ăn mòn trong không khí và tự do ăn mòn 3) 4)	3
	Có		2
Dưới vùng nước	Không	Trường hợp ngập nước với	3

bắn (phía dưới MWL) 2)	Có	kết cấu có bảo vệ ca tốt, tự do với kết cấu chỉ dự trữ ăn mòn 4)	2
Vùng ngập nước	Không	Trường hợp ngập nước với	3
	Có	kết cấu có bảo vệ ca tốt, tự do với kết cấu chỉ dự trữ ăn mòn 4)	2
Vùng xói chân	không	do với kết cấu chỉ dự trữ ăn mòn 4)	3
Dưới vùng xói chân	không	Trong nước biển	3

Ghi chú:

- 1) Vùng nước bắn được định nghĩa theo DNVGL-RP-0416.
- 2) Nếu người thiết kế lựa chọn bề mặt kết cấu có thể tiếp cận được để khảo sát và sửa chữa các hư hỏng do môi ban đầu và lớp phủ, thì điều này phải được lập thành văn bản thông qua các quy trình đủ điều kiện cho các công tác này. Xem thêm [4.16] và Phần 9.
- 3) Đường cong S-N cho thép không được bảo vệ trong vùng nước bắn là đường cong được ký hiệu đường cong ăn mòn tự do. Đường cong S- N cho thép có sơn phủ là đường cong được ký hiệu đường cong trong không khí. Có thể chấp nhận việc tính tuổi thọ môi tích lũy trong vùng nước bắn với điều kiện lớp sơn phủ có thể xảy ra trong suốt vòng đời thiết kế - nguyên vẹn, hư hỏng và sửa chữa. Các điều kiện của lớp phủ phải đề cập đến trong kế hoạch khảo sát và sửa chữa như quy định trong Phần 9.
- 4) Khi các đường cong S-N thép ăn mòn tự do được áp dụng trong thiết kế, công dụng đầy đủ của việc mài các mối hàn như đã nêu trong [4.13.5] không thể đạt được như mong đợi và do đó có thể không được tính đến. Ảnh hưởng của ăn mòn tự do đối với chân mối hàn có thể được tính bằng cách hạ cấp đường cong S-N xuống một thành các đường cong S-N ăn mòn tự do trong nước biển.
- 5) Các mấu chống cắt trong các kết nối có vữa có thể được thiết kế với các đường cong S-N được ký hiệu cho trường hợp trong không khí.
- 6) Tùy theo hệ số DFF được chọn, chương trình kiểm tra sẽ theo [9.3] .

Hiệu ứng hệ thống xuất hiện ở bất cứ nơi nào có nhiều đoạn mối hàn trong một mối hàn dài chịu cùng một điều kiện chịu tải, như vậy khả năng hư hỏng do mỏi trong mỗi

hàn sẽ xảy ra ở đoạn yếu nhất dọc theo mỗi hàn, tức là đoạn có độ bền mỗi thấp nhất. Đối với các mối hàn có các hiệu ứng hệ thống, các ảnh hưởng của hệ thống phải được tính đến trong thiết kế, ví dụ: bằng cách tăng DFF một cách thích hợp so với các giá trị quy định trong Bảng 4-18. Để biết thêm chi tiết, hãy tham khảo DNVGL-RP-C203 App.D.

Thiết kế mối tích lũy theo phương pháp hệ số vật liệu

Thiệt hại do mối tích lũy theo thiết kế D_d có thể được tính bằng tổng của tổn thất theo Miner như sau:

$$D_d = \sum_{i=1}^I \frac{n_{c,i}}{N_{d,i}}$$

ở đây:

D_d là tổn thất tích lũy thiết kế I biểu thị số lượng khối ứng suất trong phạm vi ứng suất đủ mịn, được lựa chọn rời rạc theo trục số gia ứng suất

$n_{c,i}$ biểu thị số chu kỳ ứng suất trong khối ứng suất thứ i, được trích từ phân bố dài hạn đặc trưng của số gia ứng suất, và

$N_{d,i}$ là số lần lặp lại của khối ứng suất thứ i, $\Delta\sigma_{d,i} = \gamma_m \cdot \Delta\sigma_i$, dẫn đến hỏng hóc, như được giải thích từ đường cong S-N đặc trưng

γ_m là hệ số vật liệu gây mỏi

$\Delta\sigma_i$ là chu kỳ ứng suất trong khối ứng suất thứ i trong phân bố dài hạn đặc trưng của số gia ứng suất

Hệ số vật liệu γ_m để sử dụng theo phương pháp quy định trong [4.11.6] là hệ số an toàn cục bộ được áp dụng cho tất cả các số gia ứng suất trước khi tính toán số chu kỳ tương ứng với hư hỏng được sử dụng để tính toán tổn thất mối thiết kế. .

Các hệ số vật liệu trong Bảng 4-19 được cho dưới dạng hàm của hệ số mối thiết kế tương ứng DFF từ Bảng 4-18 và có giá trị đối với các kết cấu hoặc bộ phận kết cấu, trong đó các chu kỳ ứng suất áp dụng trong suốt thời gian thiết kế đều nằm trong thông số đường cong S-N $m = 5$. Cần lưu ý rằng điều này có khả năng không xảy ra đối với các chu kỳ ứng suất liên quan đến quá trình thi công đóng cọc.

Bảng 4-19 Hệ số vật liệu γ_m

DF	γ_m
----	------------

1	1
2	1.15
3	1.25

Tiêu chuẩn thiết kế là:

$$Dd \leq 1.0$$

5.16. Trạng thái giới hạn mới - Liên kết Bu lông

Yêu cầu cơ bản

Các yêu cầu cơ bản đối với vật liệu làm bu lông, dạng hình học của lỗ bu lông và việc gia tải trước các mối nối được nêu trong [4.2.6] và [4.9.1] đến [4.9.3].

Liên kết chịu tải dọc trục

Chu kỳ ứng suất trong bu lông và vật liệu cơ bản xung trong liên kết chịu tải dọc trục phải được xác định dựa trên mô hình đàn hồi phản ánh độ cứng dọc trục của hai cấu kiện. Lực gia tải trước được sử dụng trong tính toán thiết kế phải được đảm bảo duy trì trong toàn bộ tuổi thọ của kết cấu hỗ trợ.

Khả năng mất lực căng trước phải được xem xét trong quá trình tính toán thiết kế. Do đó, lực gia tải trước ở bu lông sẽ được sử dụng trong tính toán thiết kế như:

$$F_{p'} = L_f \cdot F_p$$

L_f được giả định là giá trị 0,90, nếu trong sáu tháng sau khi bắt đầu lắp, nhưng không phải ngay sau khi lắp đặt, độ căng trước được đảm bảo bằng cách vặn lại các bu lông nếu cần.

Phải tính đến thay đổi lực của bu lông do biến dạng của các mặt bích.

Lưu ý hướng dẫn:

Lưu ý rằng việc tuân thủ các yêu cầu nêu trong [4.9.4.4] (và liên quan đến phản ứng của các kết nối dưới tải trọng bên ngoài cực hạn) ngụ ý rằng trong mô hình đàn hồi tuyến tính, chu kỳ ứng suất trong cả bu lông và vật liệu cơ bản trong FLS sẽ tỷ lệ thuận đối với các chu kỳ của lực tác động bên ngoài.

Đối với các liên kết mặt bích bắt bu lông như trong: tháp ống và monopile trong đó các liên kết bu lông riêng lẻ chủ yếu chịu tải dọc trục, các phương pháp phân tích bu lông và mặt bích, được mô tả trong Schmidt, H, Neuper, M. Zum elastostatischen Tragverhalten exzentrisch gezogener L-Stöße mit vorgespannten Schrauben / 3 / , có

thể được áp dụng để tính toán các chu kỳ ứng suất trong hai thành phần.

Tính toán chu kỳ ứng suất trong các thành phần bu lông và mặt bích cũng có thể dựa trên mô hình FE, thể hiện đầy đủ dạng hình học thực của liên kết bao gồm các khuyết tật có thể chấp nhận được và dung sai cho phép.

Có thể giả định việc gia tải đầy đủ lực nén trước của các bề mặt tiếp xúc với mặt bích nếu độ lệch phẳng trên mặt bích (tương tự như $k/2$ trong Hình 4-2) nằm trong giá trị dung sai là 2 mm trên toàn bộ chu vi và lớn nhất là 1 mm một góc lên đến 30° sau khi hoàn thành quá trình sản xuất.

Chu kỳ ứng suất trong bu lông và thanh neo phải luôn được tính theo diện tích vùng ứng suất kéo, A_s .

Đường cong SN của bu lông phải được lấy theo DNVGL-RP-C203 [A.2] hoặc EN 1993-1-9 (Bảng 8.1) tùy thuộc vào tiêu chuẩn thiết kế đã chọn và liên quan đến kiểu ren (cán, cắt) và môi trường ăn mòn. Xem thêm [4.11.2.4].

Lưu ý hướng dẫn:

Khi đề dùng EN 1993-1-9, các quy định sau áp dụng cho các bu lông chịu tải dọc trục có kích thước lên đến và bao gồm 30 mm:

Khi sử dụng các phương pháp tính toán mà không xét đến ảnh hưởng của uốn lên bu lông, phân loại chi tiết của bu lông phải được lấy là tương tự như 36 * (tương đương chi tiết loại 40, nhưng với điểm gãy tại $N_i = 1.10^7$).

Nếu ảnh hưởng của uốn lên bu lông được tính trực tiếp trong tính toán, thì có thể tính theo loại chi tiết cao hơn theo các quy tắc sau:

- Ren của bu lông được cuộn trước hoặc sau khi xử lý nhiệt, tiếp theo là quy trình sơn nhiệt (ví dụ: HDG): Chi tiết loại 50

- Ren bu lông được cuộn trước khi xử lý nhiệt, không theo quy trình sơn nhiệt: Chi tiết loại 71

- Ren bu lông được cuộn sau khi xử lý nhiệt, không theo quy trình sơn nhiệt: Loại 71 * $\left(2 - \frac{F_{smax}}{F_{0.2mi}}\right)$; tuy nhiên không cao hơn 85 (71 *: tương tự như loại Chi tiết 80, nhưng với điểm gãy tại $N_i = 1.10^7$)

Ở đây chỉ định lực trong bu lông tối đa dưới tải trọng cực hạn bao gồm ứng suất trước và lực bu lông ở giới hạn biến dạng đàn hồi là 0,2%.

Đối với bu lông có kích thước lớn hơn 30 mm, các loại chi tiết như đã nêu ở trên được giảm theo hệ số ảnh hưởng của kích thước

$$k_s = \sqrt[4]{\frac{30}{d}}$$

D là đường kính danh định của bu lông (mm)

Liên kết chịu cắt

Các liên kết bu lông chống cắt chịu mỗi phải được thiết kế với các lỗ tròn tiêu chuẩn hoặc quá khổ trên tất cả các tấm tham gia vào mối nối. Các lỗ có rãnh không được phép trong thiết kế của các kết nối này. Xem thêm [4.9.2].

Khoảng cách cuối, cạnh và khoảng cách lẫn nhau giữa các bu lông trong mỗi nối chống cắt, chịu mỗi, phải được thiết kế với các giá trị nhỏ nhất như nêu trong Bảng 4-20.

Bảng 4-20 Khoảng cách cuối, cạnh và khoảng cách lẫn nhau tối thiểu đối với bu lông trong các kết nối chống cắt chịu mỗi

Kích thước đo	Giá trị nhỏ nhất
khoảng cách cuối (theo hướng tải)	$e_{1, \min} = 1,5 \cdot d_0$
khoảng cách cạnh (ngang với tải)	$e_{2, \min} = 1,5 \cdot d_0$
bước theo hướng của tải	$p_{1, \min} = 2,5 \cdot d_0$
Bước theo phương ngang để tải	$p_{1, \min} = 2,5 \cdot d_0$

Các liên kết chống cắt bằng bu lông trong kết cấu đỡ tuabin gió chịu tải trọng động, phải được thiết kế sao cho tải trọng sẽ không gây ra uốn cục bộ nào trong bản mã. Hơn nữa, do đó các chu kỳ ứng suất dọc trục bậc hai trong bu lông sẽ không liên quan đến việc truyền tải loại ma sát dự kiến

Lưu ý hướng dẫn:

Việc tuân thủ điều kiện này cũng như các yêu cầu nêu trong [4.9.5.2] (liên quan đến khả năng chống trượt của kết nối dưới tải trọng bên ngoài khắc nghiệt) ngụ ý rằng sẽ không ứng suất động trong bu lông của các liên kết chịu cắt thuần túy.

Về hệ số ma sát và sự phụ thuộc của chúng vào việc xử lý bề mặt, xem [4.9.5].

Ứng suất có chu kỳ trong các bản mã của liên kết chịu cắt phải được xác định dựa trên

mô hình đàn hồi.

Lưu ý hướng dẫn:

Đối với các liên kết chống cắt được gia tải trước để chống trượt, ứng suất có chu kỳ trong các bản mã có thể được tính toán một cách đơn giản dựa trên tiết diện nguyên vẹn của tấm (nghĩa là bỏ qua sự giảm yếu diện tích tiết diện do các lỗ bu lông và cũng bỏ qua ảnh hưởng tập trung ứng suất tại vành của các lỗ), miễn là chúng vẫn tuân theo đường cong SN được lựa chọn và tuân thủ tất cả các quy tắc thiết kế liên quan đến các cạnh, khoảng cách cuối và các khoảng cách tương hỗ nêu trong Bảng 4-20 ở trên; xem thêm [4.12.4.6] bên dưới.

Tính toán ứng suất có chu kỳ trong các bản mã của các liên kết cũng có thể dựa trên mô hình FE, thể hiện đầy đủ dạng hình học thực của liên kết.

Đường cong SN cho các bản mã phải được lấy theo DNVGL-RP-C203 [A.2] hoặc EN 1993-1-9 Bảng 8.1 tùy thuộc vào tiêu chuẩn thiết kế lựa chọn và có liên quan đến việc thiết kế các liên kết và môi trường ăn mòn. Xem thêm [4.11.2.4].

Các liên kết chịu tải lực dọc trục và lực cắt kết hợp

Nói chung, các liên kết bu lông chịu lực dọc trục và lực cắt kết hợp trong trạng thái tính mỏi FLS, phải được tính toán thiết kế và việc gia tải trước cũng được quy định để chúng có khả năng chống trượt đối với tất cả các tải trọng trong phổ tải trọng vận hành.

Đặc biệt, áp dụng bất đẳng thức sau về tuân thủ yêu cầu này về khả năng chống trượt phải được thỏa mãn:

$$F_{s,max} \leq \frac{k_s n \mu F_{c,min}}{1.10}$$

Ở đây, $F_{s,max}$ và $F_{c,min}$ là các giá trị đặc trưng lớn nhất và nhỏ nhất của lực cắt và lực nén được truyền giữa các bản mã, hai thành phần lực đều thuộc cùng một phản ứng động, cho dù chúng biến thiên độc lập theo thời gian. Xem thêm [4.9.5.5] để biết định nghĩa và các giá trị liên quan của k_s , n và μ .

Đối với các liên kết bu lông, tuân thủ theo [4.12.5.1], sự tích lũy mỏi trong bu lông và bản mã có thể được đánh giá riêng biệt, nghĩa là đối với các kết nối đơn giản và 'chịu tải thuần túy' được đề cập trong [4.12.3] và [4.12.4].

Trạng thái giới hạn mỗi -liên kết hàn

Phần này quy định một số quy tắc thiết kế cơ bản cũng như các phương pháp cụ thể để phân tích các chi tiết mối hàn điển hình và thường thấy trong kết cấu móng tuabin gió.

Mối hàn chu vi hình ống

Các mối hàn chu vi hình ống phải được phân loại theo DNVGL-P C203, hoặc tiêu chuẩn thiết kế về mối cụ thể của dự án.

Sự thay đổi chiều dày lân cận mối hàn kết hợp với độ lệch cục bộ do dung sai chế tạo dẫn đến sự uốn cục bộ và sự gia tăng ứng suất liên quan. Các ứng suất này phải được tính bằng một hệ số SCF bổ sung nhân với dải ứng suất danh nghĩa (trường ứng suất xa).

SCF áp dụng cho các mối hàn chu vi hình ống có thể được tính toán bằng cách sử dụng các công thức tính toán hoặc bằng cách sử dụng các mô hình FE. Trong cả hai trường hợp, tham chiếu đến DNVGL-RP-C203.

Khoảng cách giữa các mối hàn chu vi liên tiếp không được nhỏ hơn

$$\Delta_{\min} = \begin{cases} 300mm & \text{for } D_o \leq 300 \text{ mm} \\ D_o & \text{for } 300 \text{ mm} < D_o < 1500 \text{ mm} \\ 1500mm & \text{for } D_o \geq 1500 \text{ mm} \end{cases}$$

trong đó D_o chỉ đường kính ngoài của phần hình ống.

Khoảng cách tối thiểu giữa mối hàn đỉnh và mối hàn chu vi phải là 300 mm.

Lưu ý hướng dẫn:

Khoảng cách mối hàn tối thiểu nêu trên được đúc kết dựa trên kinh nghiệm thực tế. Khoảng cách ngắn hơn có thể phù hợp, nhưng cần được chứng minh cả về tác động liên quan đến SCF cũng như ứng suất dư.

Cần nhắc các biện pháp cải thiện các đặc tính mối đối với mối hàn chu vi theo điều [4.13.5].

Lưu ý hướng dẫn:

Nói chung, các biện pháp cải thiện tuổi thọ mối nên được áp dụng một cách thận trọng. DNV GL không khuyến khích một phương pháp cải thiện tuổi thọ mối cụ thể nào trong quá trình thiết kế, chúng nên được dành cho những trường hợp bất đắc dĩ trong quá trình chế tạo và như một công cụ sửa chữa trong giai đoạn vận hành.

Lưu ý tác dụng của biện pháp cải thiện tuổi thọ môi không áp dụng trong trường hợp môi trường ăn mòn tự do. Do đó, đường cong D theo DNVGL-RP-C203 nên được coi là đường cong S-N cơ bản để áp dụng trong môi trường ăn mòn tự do.

Đoạn chuyển tiếp hình côn

Sự chuyển đổi hình côn làm tăng ứng suất trong thành ống do uốn cục bộ. Các ứng suất này phải được tính thông qua bổ sung hệ số SCF vào số gia ứng suất danh nghĩa (trường ứng suất xa).

SCF tại hình côn có thể được tính toán bằng cách sử dụng các công thức hoặc mô hình FE. Trong cả hai trường hợp, tham chiếu đến DNVGL-RP-C203.

Trong trường hợp chuyển hình côn được kết hợp với chuyển đổi độ dày, cả hai hiệu ứng phải được xem xét khi tính hệ số tập trung ứng suất SCF.

Mối nối phần tử ống

Trong các mối nối ống, các đỉnh của ứng suất cục bộ phải được tính đến bằng cách áp dụng các SCF thích hợp. SCF phải xem xét cả uốn trong mặt phẳng và uốn ngoài mặt phẳng.

SCF cho các khớp nối ống đơn giản có thể được tính toán bằng phương trình Eftymiou, xem DNVGL-RP-C203.

SCFs cho các khớp nối hình ống phức tạp có thể được tính toán bằng cách sử dụng mô hình FE.

Phải xem xét các yêu cầu đặc biệt đối với đánh giá mỏi của điểm chân các mối hàn một phía, xem DNVGL-RP-C203 [D.10].

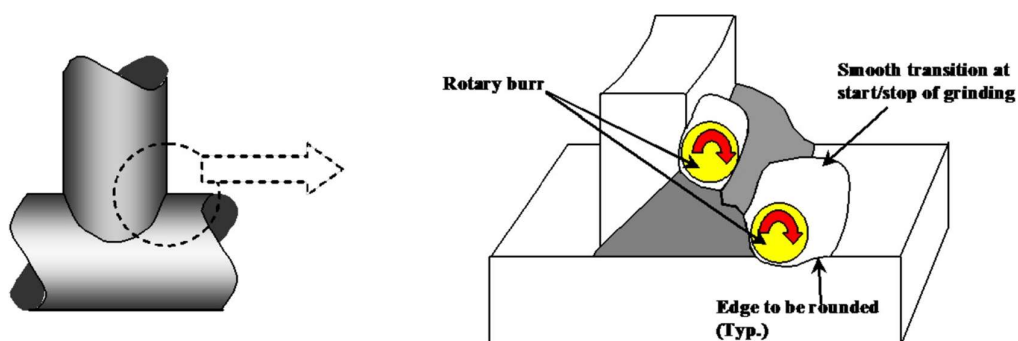
Các đoạn ống chủ và ống nhánh gia cường trong các khớp nối hình ống phải được thiết kế với chiều dài tối thiểu như quy định trong NORSOK N004 Phần 6.4.

Cải thiện khả năng chịu mỏi của mối hàn

Có thể cải thiện khả năng chống mỏi của mối hàn trong các mối nối hình ống hoặc các bộ kết cấu hàn bằng cách mài.

Nếu điểm nóng nguy hiểm nhất nằm ở chân mối hàn, việc giảm ứng suất cục bộ tại mép chân bằng cách mài mũi mối hàn thành hình tròn sẽ cải thiện hiệu suất mỏi, vì mài loại bỏ khuyết tật và giảm ứng suất ở mép chân mối hàn.

Nếu việc mài được thực hiện theo Hình 4-5, thì tuổi thọ mỏi có thể được cải thiện theo hệ số 3,5. Hơn nữa, số mũ k, trong các đường cong S-N có thể được áp dụng theo

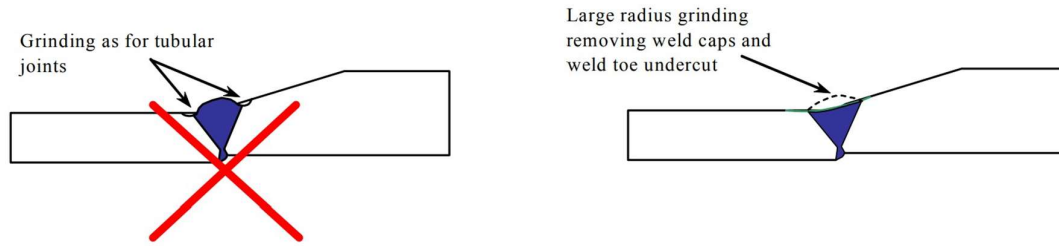


Hình 4-5 Mài chân mối hàn

Các điều kiện sau đây phải được thỏa mãn khi mài mối hàn trong các mối nối hình ống:

- Dùng đĩa quay để mài.
- Lưới đánh dấu cuối cùng phải được giữ nhỏ và luôn vuông góc đối với chân mối hàn, nếu tải chính là theo phương vuông góc với chân mối hàn.
- Đường kính của đĩa quay phải từ 8 đến 10 mm. Nếu độ dày thanh nhánh nhỏ hơn 16 mm, đường kính của đĩa có thể giảm xuống 6 mm.
- Các cạnh tiếp giáp với thanh nhánh / thanh chủ phải được mài tròn, tức là không được phép có cạnh sắc.
- Nếu việc mài chân mối hàn không được thực hiện trên toàn bộ chu vi của mối nối, thì phải đảm bảo sự chuyển tiếp trơn tru giữa chỗ mài và chỗ không mài.
- Bề mặt mài phải được kiểm tra là không có khuyết tật bằng các phương pháp kiểm tra không phá hủy (NDT) đã được phê duyệt, ví dụ: MPI.
- Độ sâu mài phải nhỏ hơn 0,5 mm dưới bất kỳ vị trí nào có thể quan sát được. Tuy nhiên, độ sâu mài thường không vượt quá 2 mm hoặc 5% độ dày của thành ống, tùy theo giá trị nào nhỏ hơn.

Khả năng chịu mỏi của mối hàn nối ống có thể được cải thiện bằng cách mài. Việc mài các mối hàn nối sẽ làm tăng tuổi thọ mỏi của mối hàn nếu được thực hiện theo các điều kiện quy định trong Hình 4-6.



Hình 4-5 Màì mối hàn nối ống

Khi màì các mối hàn nối ống, không nên thực hiện màì cục bộ bằng đĩa quay cỡ nhỏ (như hình bên trái). Ưu tiên là tạo profile mối hàn bằng cách chỉ màì phần đỉnh mối hàn như hình (bên phải) hoặc màì cả phần đỉnh và chân mối hàn

Nếu mối hàn được thực hiện tốt như một mối hàn máy tự động chất lượng cao và việc màì được thực hiện như thể hiện ở bên phải trong Hình 4-6 và khi các điều kiện dưới đây được đáp ứng, thì có thể sử dụng đường cong môi S-N cải tiến cho mối hàn. . Nếu góc mối hàn được màì theo các nguyên tắc tương tự, đường cong S-N cải tiến cũng có thể được áp dụng cho góc mối hàn. SCF do dung sai chế tạo và do dạng hình học chẳng hạn như hình côn vẫn sẽ được áp dụng, xem thêm DNVGL-RP-C203

- Lưới dấu cuối cùng phải được giữ nhỏ và phải luôn vuông góc với chân mối hàn.
- Phải chọn bán kính lớn nhất có thể để đại diện cho hình dạng thực tế.
- Các mép giữa với thanh giằng / thanh chủ phải được làm tròn, tức là không được phép có các cạnh sắc.
- Nếu việc màì chân mối hàn không được thực hiện trên toàn bộ chu vi của mối hàn chu vi, thì phải đảm bảo sự chuyển tiếp trơn tru giữa chỗ được màì và chỗ không được màì.
- Bề mặt màì phải được kiểm tra là không có khuyết tật bằng phương pháp NDT đã được phê duyệt, ví dụ: MPI.
- Độ sâu màì phải nhỏ hơn 0,5 mm dưới bất kỳ vết cắt nào có thể nhìn thấy được. Tuy nhiên, độ sâu màì không được vượt quá 2 mm hoặc 5% chiều dày thành ống, tùy theo giá trị nào nhỏ hơn.

5.17. Thiết kế theo trạng thái giới hạn sự cố

Các yêu cầu trong [4.14] liên quan đến khả năng của kết cấu thép đỡ tuabin gió để chịu được các sự cố tai nạn. Chúng áp dụng cho hệ kết cấu cũng như cho các phần tử kết cấu và các kết cấu phụ trợ có liên quan.

Cơ sở thiết kế cũng phải xác định các điều kiện liên quan để đảm bảo an toàn cho kết cấu trong các tình huống sau khi hư hại khi hệ thống kết cấu đã bị thay đổi do tai nạn và cấu hình và chức năng được thiết kế ban đầu vẫn chưa được khôi phục.

Các tình huống này, cũng sẽ được coi là các trường hợp ở trạng thái giới hạn sự cố, sẽ bao gồm:

- tải trọng trọng lực dự kiến (G)
- tải trọng biến đổi xác định (Q)
- tải trọng môi trường quy định (E)
- nhưng không có tác động của tai nạn (A).

Không có các yêu cầu cụ thể hơn thì tải trọng môi trường là tải trọng thủy khí động lực với chu kỳ lặp lại không ngắn hơn hai lần thời gian ước tính để thực hiện việc thiết kế, chế tạo, kiểm tra và lắp đặt tất cả các kết cấu sửa chữa cần thiết để khôi phục khả năng chịu lực thiết kế của kết cấu, tuy nhiên không ít hơn một năm.

Trong phân tích các trạng thái giới hạn sự cố, các giá trị đặc trưng của tất cả các tải trọng và tất cả các thông số về khả năng chịu lực phải được giả định.

Yêu cầu thiết kế

Hệ kết cấu đỡ tuabin gió cũng như các bộ phận kết cấu và phụ kiện của nó phải được thiết kế cho các kịch bản sự cố cụ thể xảy ra cũng như cho các tình huống được xác định đối với các kết cấu ở trạng thái sau sự cố.

Nói chung, khi chịu sự cố tai nạn, các kết cấu có thể bị những hư hại như có các biến dạng lớn, mất ổn định hoặc ngắt kết nối, ví dụ: vết lõm trong thành của monopile, mất ổn định thanh nhánh của kết cấu jacket, hình thành khớp dẻo trong kết cấu chôn và tàu hoặc đứt mối nối bu lông.

Tuy nhiên, cả hệ kết cấu đỡ tuabin gió cũng như các thành phần và phụ kiện kết cấu của nó phải được thiết kế để chúng có thể chịu được bất kỳ hiểm họa nào mà không sụp đổ hoàn toàn tính toàn vẹn hoặc vẫn hoạt động sau khi chịu hậu quả của sự cố.

Bất kể tai nạn ảnh hưởng ra sao đến kết cấu móng của tuabin hoặc bất kỳ thành phần kết cấu và trang thiết bị của nó, sự kiện đó sẽ được phân tích bằng mô hình tính, cho phép dự đoán một cách đáng tin cậy phản ứng của kết cấu, đặc biệt là các hư hỏng có thể xảy ra.

Trong một số trường hợp, điều này đòi hỏi phải áp dụng phương pháp phân tích kết

cầu phi tuyến.

Phản ứng của kết cấu đã hư hỏng với các điều kiện tác động được xác định cho trạng thái sau hư hỏng có thể không cho phép bất kỳ hư hỏng lũy tiến nào.

Các tiêu chí hư hỏng được chấp nhận đối với kết cấu đỡ bằng thép do các sự gây ra cũng như các yêu cầu làm việc của chúng sau hư hỏng phải được nêu trong cơ sở thiết kế. Nếu thiếu các tiêu chí chấp nhận như vậy, các nguyên tắc và hướng dẫn nêu dưới đây có thể được áp dụng.

Thiết kế phải đảm bảo rằng sau khi sự cố ảnh hưởng đến hệ kết cấu, có thể tiếp cận được công trình trong điều kiện không phải là khắc nghiệt ở một khoảng thời gian khả dĩ để sơ tán con người (trong trường hợp kết cấu có người làm việc tại thời điểm sự cố xảy ra) và trục vớt thiết bị có giá trị.

Tốt hơn là, thiết kế phải chắc chắn cho phép tiếp tục sử dụng kết cấu hỗ trợ trong các điều kiện hư hỏng quy định trong cơ sở thiết kế.

Các bộ phận kết cấu và phần phụ của kết cấu đỡ tuabin gió phải được thiết kế sao cho trong trường hợp có tai nạn tác động trực tiếp đến chúng, dù có bị hư hại thì việc sử dụng chúng trong điều kiện sau hư hỏng như được quy định trong cơ sở thiết kế là khả dĩ.

Trong trường hợp va chạm (ví dụ như vật rơi), sự kiện tai nạn kiểu này sẽ được tính toán là một trong những kết cấu hấp thụ toàn bộ hoặc một phần động năng của vật va chạm. Một cách lý tưởng, ít nhất trong trường hợp kết cấu chính chịu va chạm, sự kiện phải được phân tích dựa trên mô phỏng thời gian động của cả tác động và phản ứng, mô phỏng có khả năng phản ánh tất cả các giai đoạn của tác động đó và quá trình sự tiêu tán năng lượng sau tác động.

Đối tượng va chạm có thể được giả thiết là cũng tham gia vào quá trình hấp thụ năng lượng, thường là khi tạo ra vết lõm cục bộ hoặc các biến dạng vĩnh viễn khác.

Đối với kết cấu bị va chạm, mô hình phân tích về sự hấp thụ năng lượng của đối tượng tác động phải được ghi lại đầy đủ nếu tính đến

Trong trường hợp xảy ra các tác động bất thường (động đất, bão và sóng dữ), tác động đó sẽ được xét ở dạng ước tính tốt nhất về chuyển vị động (động đất) hoặc tải trọng động (bão, sóng dữ).

Lý tưởng nhất là trong trường hợp kết cấu chính chịu tác động, sự kiện phải được phân

tích dựa trên mô phỏng thời gian động của cả tác động và phản ứng.

Lưu ý hướng dẫn:

Phân tích kết cấu một cách đầy đủ nhất là dựa trên phân tích theo chuỗi thời gian của các tác động được ghi lại trong các lần xảy ra trước đó ở các khu vực có điều kiện tự nhiên tương tự như thực tế.

Đối với các trường hợp nổ hoặc cháy, công tác lắp đặt phải được lên kế hoạch để giảm thiểu hậu quả của cháy nổ đối với kết cấu. Điều này có thể đạt được bằng cách tránh tồn đọng các chất dễ nổ và / hoặc bằng cách bố trí và thiết kế để lắp đặt các van giảm áp, thiết bị dập lửa, v.v., tất cả đều được cho là phù hợp.

Các phương pháp phân tích chi tiết hơn về trạng thái giới hạn ngẫu nhiên cũng được khuyến nghị trong DNVGL-RPC204.

Lưu ý rằng đối với các kết cấu đỡ tuabin gió, tác động từ tàu dịch vụ trôi dạt được coi là tải trọng bất thường như được mô tả trong DNVGL-ST-0437 [4.2.10] và [4.5.8]. Do đó, tác động của tàu dịch vụ ngẫu nhiên được coi là ULS.

5.18. Bảo vệ chống ăn mòn

Các yêu cầu và hướng dẫn kiểm soát ăn mòn kết cấu tuabin gió nói chung được đưa ra DNVGL-RP-0416 Bảo vệ chống ăn mòn của tuabin gió. Khuyến nghị thực hiện này phải được tuân thủ, trừ khi chứng minh được rằng độ an toàn tương đương đạt được bằng các phương tiện khác.

Đối với các kết cấu được thiết kế bảo vệ ca tốt (CP), hệ thống CP phải được lắp đặt và vận hành càng sớm càng tốt ngay sau khi lắp đặt kết cấu. Sau tối đa 365 ngày và tối thiểu 30 ngày, việc khảo sát hệ thống CP sẽ được thực hiện để xác nhận rằng các kết cấu đã được bảo vệ thích hợp. Trong các trang trại điện gió có nhiều kết cấu được sản xuất hàng loạt với các hệ thống CP giống hệt nhau, chỉ cần thực hiện khảo sát CP trên một số cấu trúc đại diện là đủ. Trong trường hợp sử dụng hệ thống ICCP, các thông số của bộ chỉnh lưu phải được kiểm tra cho tất cả các kết cấu và phải tiến hành khảo sát điện thế nếu có bất kỳ sự không đồng thể nào xảy ra.

Chương 6: Thi công chế tạo các công trình điện gió

6.1. Quy trình thi công các công trình điện gió

Như đã trình bày trong Chương 1, tương tự như các công trình sử dụng cơ ngành dầu khí. Quy trình thi công tổng thể được chia ra làm các phần chế tạo, lắp ráp kết cấu trên bờ - Hạ thủy kết cấu xuống phương tiện nổi - Vận chuyển kết cấu trên biển và lắp đặt vào vị trí xây dựng

6.2. Chỉ dẫn công tác chế tạo

6.2.1. Công tác Hàn

Công tác Hàn là một phần cực kỳ quan trọng của quá trình chế tạo kết cấu thép. Việc kiểm soát phải được thực hiện từ các khâu vật liệu hàn, Quy trình hàn, Quy trình kiểm tra mối hàn. Các công tác về chuẩn bị điều kiện nhân lực, máy móc, vật tư điều kiện hàn cũng phải được thực hiện đầy đủ theo các tiêu chuẩn thi công hiện hành.

6.2.2. Chế tạo kết cấu thép

Chế tạo và lắp ráp kết cấu thép: Cần xác minh vật liệu và các công tác, cắt, tạo hình, lắp ráp, hàn, xử lý nhiệt sau khi hàn, sửa chữa, nhận dạng và đánh dấu trong quá trình chế tạo các kết cấu thép.

- **Lập kế hoạch chế tạo**

Trước khi chế tạo, phải thiết lập các quy trình thực hiện và kiểm soát tất cả các nguyên công chế tạo, để đảm bảo rằng chất lượng đã yêu cầu là đạt. Phải chuẩn bị trước các quy trình thích hợp, gồm thông tin về các hạng mục đã lắp ráp trước và thứ tự chế tạo các bộ phận kết cấu. Phải định trước công tác kiểm tra và thời điểm yêu cầu kiểm tra trong quá trình chế tạo. Các hạng mục chế tạo có liên quan tới các việc vận chuyển và lắp đặt phải được chi tiết hóa trong quy trình chế tạo.

- **Công tác lắp ráp:**

Chú ý giao của hai hoặc nhiều phần tử ống tạo thành một liên kết mà tại đó xuất hiện sự tập trung ứng suất tại vùng gần vị trí hàn vì thế việc chế tạo chính xác là rất cần thiết, đặc biệt, các mối hàn phải đạt được mức độ hàn ngẫu hoàn toàn nhất có thể, biên mối hàn phải được chuyển tiếp trơn tru với kim loại cơ bản hai bên mối hàn.

Khi mỗi hàn chữ X gồm hai hay nhiều ống thì phần tử nào có đường kính lớn hơn là phần tử chính, xuyên suốt qua nút, phần tử còn lại được gắn trên đó được xem là phần tử thứ yếu. Trừ khi có các ghi chú khác trong bản vẽ, khi hai hay nhiều phần tử thứ yếu giao nhau hoặc ghép chồng tại nút, thứ tự xác định phần tử nào được gắn vào nút sẽ được xác định bởi chiều dày thành ống và/ hoặc đường kính. Phần tử có chiều dày ống lớn nhất sẽ là phần tử xuyên suốt, và trình tự lắp ghép các phần tử còn lại dựa trên thứ tự chiều dày giảm dần. Nếu hai hay nhiều phần tử có cùng đường kính và chiều dày, phần tử nào cũng có thể là phần tử xuyên suốt trừ khi kỹ sư thiết kế đã chỉ định phần tử xuyên suốt

- **Hàn liên kết nút ống**

Các phần tử được lắp ráp vào hoặc ghép chồng lên phần tử khác phải được mài xiên góc khi hàn rãnh xuyên thấu hoàn toàn. Nếu kích thước hoặc hình dạng của phần tử chỉ cho phép tiếp cận từ một phía, cần mài gia công mép như hình vẽ sau. Mép vát có cạnh nghiêng và không có mặt góc mỗi hàn, và độ mở của góc mỗi hàn phải được thể hiện chi tiết. Sai số góc vát là $+5^0$. Nếu sau khi hoàn thành mỗi hàn rãnh quá hẹp thì có thể được mở rộng, nếu khoảng hở quá rộng, có thể thu hẹp theo quy định của tiêu chuẩn.

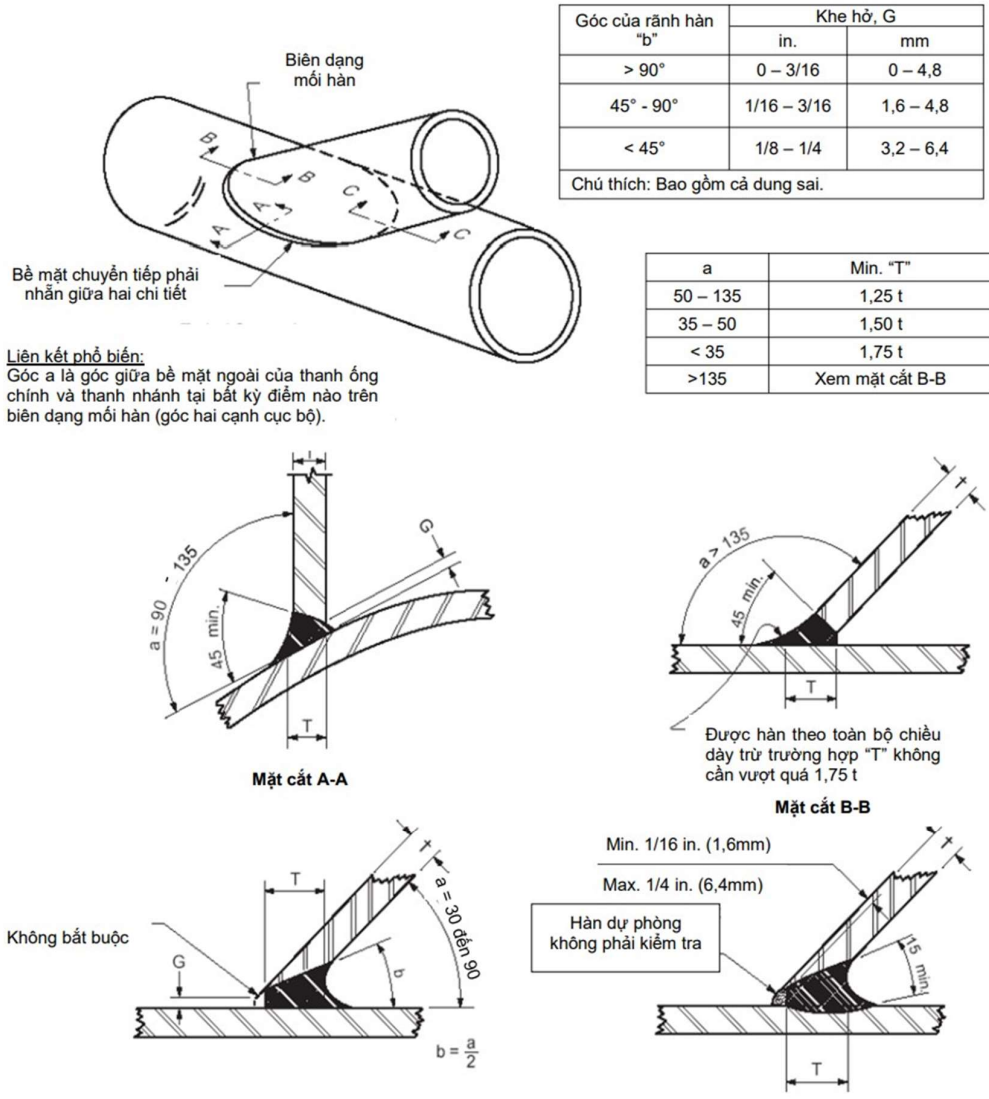
- **Chế tạo kết cấu dạng dầm bản và hàn**

Sai số chế tạo được khống chế theo TCVN 7230 hoặc các tiêu chuẩn tương đương được chấp nhận (ví dụ như AWS D1.1/D1.1M:2010). Nếu đề nghị tiến hành gia nhiệt cục bộ để nắn thẳng hoặc chỉnh sửa sai số, cần chú ý đến ảnh hưởng của nhiệt đến tính chất của vật liệu và quy trình gia nhiệt phải được sự chấp thuận của chủ đầu tư.

Liên kết giữa bản cánh và bản bụng phải là liên kết hàn góc liên tục hai phía. Mỗi hàn phải có bề mặt lõm và chuyển tiếp mềm mại từ bản cánh sang bản bụng. Dầm tổ hợp, các mặt giao và vị trí liên kết quan trọng phải được hàn ngẫu hoàn toàn trừ khi có phân tích ứng suất chi tiết chỉ ra rằng điều đó là không cần thiết. Liên kết giữa bản cánh và các sườn gia cường phải là mối hàn ngẫu hoàn toàn từ hai phía. Liên kết giữa sườn gia cường và bản bụng có thể sử dụng mối hàn góc liên tục hai phía. Kim loại hàn và độ bền vết khía chữ V-HAZ, không được nhỏ hơn độ bền yêu cầu, đặc biệt đối với thép dầm chính.

• Sai số chế tạo

Mỗi phần tử kết cấu phải được lắp đặt với sai số chế tạo cho phép. Các sai số không được nêu trong tài liệu này phải tuân theo AISC 335-89.



Với các mặt bên khó lắp ráp tại bãi chế tạo, như đỉnh của chân đế và chân cột của sàn, khoảng cách theo phương ngang từ trục của cột bất kỳ đến trục của cột bên cạnh theo bất kỳ hướng nào phải có độ lệch trong khoảng ±10 mm (3/8 in.) kích thước trong bản vẽ thực

tế. Tại tất cả các cao độ sàn, khoảng cách theo phương ngang từ trục của cột bất kỳ đến trục của cột bên cạnh theo bất kỳ hướng nào phải có độ lệch trong khoảng ±13 mm (1/2 in.). Với các mặt bên khác sai số này có thể tăng lên ±19 mm (3/4 in.). Thanh

giằng chéo của các mặt bên thẳng đứng nên trong khoảng 19 mm (3/4 in.). Trong khi thi công cần cố gắng để lắp đặt chính xác vị trí ống chính của tất cả các mặt bên.

Độ lệch của các ống chính của chân đế so với phương thẳng đứng phải nhỏ hơn 10 mm (3/8 in.). Trong mỗi đoạn 3 m (10 ft) dọc theo chiều dài ống độ lệch không được lớn hơn 3 mm (1/8 in.). Việc chế tạo chân đế nên được thực hiện trên mặt bãi bằng phẳng. Cần tiến hành kiểm tra thường xuyên độ phẳng. Nếu một ống chính đặt lệch cao độ thì ống đó phải được chêm vào để đạt được cao độ bằng với các ống khác. Đỉnh của các ống chính của chân đế cần đúng với cao độ trong bản vẽ với sai số trong khoảng ± 13 mm (1/2 in.).

Vị trí đầu của chân đế và ống nối (joint can) của chân sàn có sai số so với bản vẽ trong khoảng ± 25 mm (1 in.). Các sai số khác của chiều dày ống chính hoặc cột sàn nên nằm trong khoảng ± 50 mm (2 in.) so với kích thước trong bản vẽ.

Khoảng lệch cho phép giữa các ống nhánh trong mặt ngang và mặt đứng so với cao độ trong bản vẽ là ± 13 mm (1/2 in.). Sai số chiều dày ống nhánh phải nằm trong khoảng ± 25 mm (1 in.) so với bản vẽ. Các ống nhánh đã xác định cao độ điểm đầu được lắp dựng thẳng đứng sao cho sai số của các điểm đó so với bản vẽ là ± 13 mm (1/2 in.).

Dầm sàn Trục của dầm sàn có độ lệch tại điểm đầu và điểm cuối phải nằm trong khoảng ± 13 mm (1/2 in.) so với vị trí trong bản vẽ. Không điểm nào trên trục của dầm lệch nhiều hơn 19 mm (3/4 in.) theo phương ngang và 13 mm (1/2 in.) theo phương đứng. Dầm sàn được lắp thẳng đứng trên mặt trên của bản cánh, hoặc nghiêng một góc xác định. Độ lệch của chiều cao dầm và bản cánh khỏi mặt phẳng nằm trong sai số chế tạo cho phép có thể được chấp nhận. Dầm sàn được đặt thẳng đứng so với bụng dầm theo phương dây dọi. Biến dạng của dầm sàn do hàn cần được chỉnh sửa lại sao cho nằm trong sai số cho phép trình bày trong phần này.

Chế tạo Cọc : Chiều dài tối thiểu của mỗi đoạn cọc dùng trong chế tạo cọc bằng đường kính cọc hoặc 1 m (3 ft). Đường hàn dọc trục của hai đoạn cọc liên tiếp được đặt lệch trục ít nhất 90° . Độ lệch cho phép tối đa theo đường thẳng trong mỗi đoạn cọc 3 m (10 ft) dọc theo chiều dài là 3 mm (1/8 in.). Với các đoạn có chiều dài hơn 3

m (10 ft), độ lệch cho phép lớn nhất theo tổng chiều dài được tính toán theo công thức sau, nhưng không vượt quá 10 mm (3/8 in.) trong một đoạn dài 12 m (40 ft). Trong hệ đơn vị SI: $3 \text{ mm} \times (\text{tổng chiều dài m}/3 \text{ m})$. Trong hệ đơn vị USC: $0,125 \text{ in.} \times (\text{tổng chiều dài ft}/10 \text{ ft})$. Phương pháp kiểm tra độ thẳng của ống là kéo căng dây thép dọc theo chiều dài cọc lặp đi lặp lại ít nhất ba điểm trên bán kính cọc. Các đoạn cọc và tổng chiều dài cọc được chế tạo với độ lệch $\pm 0,5\%$ so với chiều dày trong bản vẽ trừ khi có các ghi chú đặc biệt khác. Độ tròn và chu vi ống có độ lệch giống như quy định trong tiêu chuẩn API 2B.

Liên kết cọc bơm trám với ống lồng

Bề mặt ống cọc và kết cấu được liên kết bằng vữa bơm trám không được mài nhẵn bóng, quét sơn bóng, bôi trơn hoặc phủ bất kỳ loại vật liệu nào làm giảm sự gắn kết giữa thép và vữa. Điều này đặc biệt quan trọng khi không sử dụng kết cấu chống cắt (shear keys). Cần chú ý đến việc lắp đặt miếng đệm (packer) để giảm hư tổn do gia công, nhiệt độ cao và mặt hàn trong quá trình hàn. Cần loại bỏ các mảnh vỡ khỏi chân ống chính của chân để tránh gây hư hại cho miếng đệm (packer) trong quá trình đánh chìm và xoay lật khối chân đế.

Vật liệu kết cấu

Quy định chung

Các kết cấu thép phải là thép mới, không có khuyết tật và ít gỉ sét. Không sử dụng vỏ thép, thép phế phẩm hoặc các loại thép thừa từ kết cấu khác trừ khi có ghi chú khác. Thép được chế tạo thành kết cấu nhưng không được sử dụng cũng không được sử dụng. Đối với việc cải hoán giàn để tái sử dụng, kết cấu thép của giàn cũ phải phù hợp với mục đích của giàn tái sử dụng. Thép sử dụng phải có chứng chỉ xuất xưởng phù hợp theo yêu cầu. Chứng chỉ xuất xưởng và báo cáo kiểm tra phải đưa ra các số liệu thích đáng về cường độ, độ uốn, độ bền theo vết nứt chữ V, phân tích thành phần hóa học, xử lý nhiệt, kiểm tra không phá hủy (NDT). Chứng chỉ xuất xưởng hoặc báo cáo kiểm tra phải được cung cấp trước khi sử dụng trong kết cấu.

6.3. Công tác lắp đặt kết cấu trên biển

Các thao tác trên biển chính sau phải được xem xét:

- Các thao tác nâng hạ;
- Thao tác hạ thủy;
- Bố trí neo buộc kết cấu và lắp ráp trong trạng thái nổi;
- Vận chuyển trên biển (Transportation);
- Đánh chìm (Launching);
- Lật (Upending);
- Định vị và Dựng (Positioning and setting down);
- Liên kết nền móng bằng cọc và/hoặc tràm vữa.

Tất cả các trạng thái tải trọng thiết kế tới hạn phải được phê duyệt (trừ khi đã được nêu ở trong điều này).

Các hoạt động vận chuyển và dựng lắp trên biển có thể được phân loại theo dạng hoạt động bị hạn chế bởi thời tiết hoặc không bị hạn chế bởi thời tiết. Một hoạt động bị hạn chế bởi thời tiết phải có thời gian thực hiện nằm trong một phạm vi giới hạn. Thời gian để thực hiện các hoạt động trên biển phải được xác định bằng một chu kỳ hoạt động tham chiếu, T_R .

Trong đó: T_R - Chu kỳ hoạt động tham chiếu; T_{POP} - Chu kỳ hoạt động được lập; T_C - Thời gian dự phòng tối đa dự kiến. Thời gian bắt đầu và kết thúc của hoạt động dự định hoặc các phần của hoạt động phải được xác định rõ ràng. Chu kỳ hoạt động được lập - T_{POP} . Chu kỳ hoạt động được lập (T_{POP}) phải được dựa trên một kế hoạch chi tiết cho các thao tác dự định. Trong các trường hợp mà kế hoạch chi tiết chưa được lập, T_{POP} có thể dựa trên kinh nghiệm theo các hoạt động tương tự trước đó.

Thời gian dự phòng dự kiến - T_C : Thời gian dự phòng phải được bổ sung để bao gồm:

- Sự không chắc chắn trong thời gian hoạt động được lập;
- Các tính huống dự phòng có thể sẽ cần thêm thời gian để hoàn thành hoạt động.

Nếu T_{POP} và thời gian yêu cầu cho các tình huống dự phòng không được đánh giá chi tiết, thời gian tham chiếu thường được lấy tối thiểu bằng hai lần chu kỳ hoạt động được lập.

Dự báo thời tiết : Dự báo thời tiết cho các thao tác trên biển phải bao gồm: - Tốc độ và hướng gió; - Chiều cao sóng tối đa, chiều cao sóng đáng kể, chu kỳ đỉnh và trung bình của sóng, hướng sóng; - Sự thay đổi của triều, độ nước dâng do bão; - Tầm nhìn; - Nhiệt độ

Phải nhận các thông tin dự báo thời tiết trước và trong khi thực hiện các thao tác dựng lắp trên biển. Các thông tin dự báo thời tiết phải được lấy từ các nguồn/cơ sở được công nhận. Dự báo thời tiết phải xác định cho khu vực/tuyến đường thực hiện công việc. Cần phải đảm bảo rằng việc dự báo thời tiết được lập cho việc vận chuyển trên biển bao gồm vị trí của tàu vận chuyển và bất kỳ tuyến đường (tất cả các phương án) có thể được chọn trong thời gian được dự báo thời tiết.

Tải trọng trong công tác lắp đặt trên biển

Các tải trọng được mô tả dưới đây phải được xem xét tương ứng với các giai đoạn thao tác trên biển

- Tải trọng thủy tĩnh: Các tải trọng áp lực thủy tĩnh liên quan đến áp lực nước bên ngoài trên các kết cấu chìm hoặc áp lực nước bên trong trong các khoang được nén trước hoặc khoang chứa nước phải được xem xét. Giá trị đặc trưng của các tải trọng áp lực thủy tĩnh phải được xác định cho áp lực thủy tĩnh nghiêm trọng nhất xảy ra khi lắp đặt đối tượng.

- Tải trọng động: Các tải trọng liên quan đến việc xoay hoặc lật đối tượng khi hạ thủy, lật, định vị và lắp đặt. Các tải trọng có thể xảy ra do dòng xoáy cũng phải được xem xét.

- Các tải trọng do sự tương tác của nền đất: Tải trọng liên quan đến tương tác của nền đất bao gồm phản ứng của nền móng lên sàn chống lún, bản, váy cọc, v.v... trong các giai đoạn thi công móng xuống đất nền. Tải trọng từ nền đất bao gồm các lực ma sát hoặc áp lực trong nền đất. Giá trị đặc trưng của các tải trọng từ nền đất phải được xác

định xem xét tới các điều sau: - Loại nền đất và các thông số phụ thuộc đất nền; - Địa hình đáy biển; - Độ sâu chôn cọc.

Các tải trọng khác Khi có liên quan, các tải trọng đặc biệt sau phải được xem xét: - Tải trọng sóng va; - Tải trọng do sự thay đổi của áp lực.

Yêu cầu về ổn định của các phương tiện nổi

Độ ổn định và độ dự trữ nổi phải được đảm bảo cho tất cả các tàu và đối tượng nổi trong tất cả các giai đoạn thao tác trên biển. Tất cả tàu phải phù hợp với các yêu cầu về độ ổn định nguyên vẹn và ổn định tai nạn theo các tài liệu được phê duyệt. Tính toán ổn định được phê duyệt phải có trước khi thực hiện thao tác. Độ ổn định nguyên vẹn và ổn định tai nạn phải được lập báo cáo. Các ảnh hưởng động phải được xem xét nếu có liên quan. Các yêu cầu về ổn định tai nạn phải được đánh giá xem xét theo quy trình thao tác, các tải trọng môi trường và phản ứng, thời gian thao tác, các hậu quả của hư hỏng có thể xảy ra, v.v...

Các thao tác nâng hạ kết cấu ngoài biển

Quy định chung:

Bất kỳ thao tác nâng hạ phải được thực hiện theo biện pháp mà hoàn toàn kiểm soát được và nằm trong phạm vi các chỉ tiêu thiết kế. Việc nâng hạ dùng nhiều móc cẩu, các thao tác lật v.v... có thể yêu cầu xem xét riêng. Các khoảng trống tối thiểu dành cho vật được nâng, cần cẩu, tháp nâng, sà lan cẩu (nếu có)... phải đủ rộng để thực hiện các thao tác nâng hạ đã định.

Cần kiểm tra các tham số sau đây: - Tải trọng móc cẩu; - Điều kiện môi trường; - Độ nghiêng lệch (đặc biệt khi dùng nhiều tai cẩu); - Vị trí và hướng; - Các khoảng trống; - Tốc độ nâng.

Các tải trọng bên ngoài (ví dụ như lực căng nâng cáp của tàu kéo) có thể ảnh hưởng đến lực nâng, thì khi thiết kế phải tính đến tác động của chúng.

Nếu sử dụng các dây cáp căng thì phải trang bị một hệ thống nhằm giới hạn các tải trọng cực đại ở một giá trị danh định (ví dụ hệ thống tời có lực căng cố định).

Nếu dùng các thanh giảm xung và các thanh dẫn hướng, thì phải thiết kế sao cho đảm bảo rằng bất kỳ sự quá tải khi thao tác sẽ không gây nguy hiểm cho sự toàn vẹn của kết cấu.

Các điểm nâng, tai cầu, các thanh giằng v.v... phải tuân theo các yêu cầu của thép đối với loại kết cấu chính.

Các điểm dùng để nâng hạ (như tai cầu) thường được định vị sao cho tải trọng thiết kế tác động trong cùng một mặt phẳng với tâm làm tai cầu chính.

CHÚ THÍCH: Nên thiết kế các điểm dùng để nâng hạ (như tai cầu) bằng các tấm nối chính chịu cắt hơn là tấm nối chịu kéo. Nếu trong thực tế không tránh được lực kéo theo hướng chiều dày thì vật liệu được sử dụng phải có tính chất chịu lực theo chiều dày đảm bảo.

Tải trọng và phân tích kết cấu khi nâng

Trọng lượng của vật được nâng (W) Trọng lượng vật được nâng thường được xác định bằng một quy trình cân đã được phê duyệt. Quy trình cân thường bao gồm cả việc xác định vị trí trọng tâm của vật nâng.

Hệ số khuếch đại động (DAF): Hệ số khuếch đại động (DAF) trong quá trình nâng có thể bị ảnh hưởng bởi một số các yếu tố sau: - Điều kiện môi trường; - Chuyển động của sàn lan cầu/trọng lượng nâng; - Độ cứng của cơ cấu nâng hạ/thiết bị nâng; - Trọng lượng phải nâng; - Nâng trong không khí hay trong nước. Khi nâng sử dụng cầu đơn, hệ số khuếch đại động DAF phải lấy từ Bảng 1.

Bảng 1 - Hệ số khuếch đại động (DAF)

Tổng trọng lượng, W (Tấn)	DAF		
	Trên bờ (onshore) ²	Ven bờ (inshore) ^{3, 5}	Ngoài khơi (offshore) ^{4, 5}
$3^1 < W \leq 100$	1,10	$1,07 + 0,05\sqrt{100 / SHL}$	$1 + 0,25\sqrt{100 / SHL}$
$100 < W \leq 300$	1,05	1,12	1,25
$300 < W \leq 1000$	1,03	1,10	1,20
$1000 < W \leq 2500$	1,03	1,08	1,15
$W > 2500$	1,03	1,05	1,10

CHÚ THÍCH:

¹ Đối với vật nâng có trọng lượng nhỏ hơn 3T.

² Đối với các cầu hoạt động trên bờ di chuyển có tải, các ảnh hưởng động có thể phải được đánh giá kỹ càng. Tốc độ của cầu và các điều kiện bề mặt phải được xem xét. Nếu không có tài liệu mô tả, hệ số cho cầu trên bờ (inshore lifts) phải được sử dụng.

³ Cầu ven bờ được áp dụng khi cầu bằng một sà lan cầu từ/đến một sà lan trong vùng nước neo tàu và cũng áp dụng cho việc cầu từ sàn của một sà lan cầu lên một giàn cố định tại một vị trí trên biển.

⁴ Cầu ngoài khơi áp dụng cho sà lan cầu từ sà lan vận chuyển tới giàn cố định.

⁵ SHL là tải trọng móc cầu tĩnh (Static hook load).

Hệ số DAF cho từ Bảng 1 cũng có thể áp dụng cho các trường hợp cầu trong không khí từ sà lan, cầu và các vị trí: - Khi sử dụng hai cầu trên cùng một sà lan; - Khi cầu trên bờ bằng hai cầu khác nhau; - Khi cầu bằng hai hay nhiều móc cầu trên cùng một cần cầu (xem 5.3.2.5 đối với cầu ngoài khơi). - Khi cầu ven bờ, hoàn toàn trong vùng nước kín, bằng hai hay nhiều sà lan.

Hệ số DAF cho trong Bảng 1 cũng áp dụng khi cầu bằng cần cầu trên các sà lan cầu tự nâng: - Trên hoặc từ các sà lan nổi sử dụng cột (column) đặt ngoài khơi hoặc ven bờ (inshore), khi thích hợp; - Trên các kết cấu cố định từ bản thân sàn, sử dụng cột đặt ven bờ. Nếu cầu không di chuyển theo chiều ngang trên đường ray hoặc bánh xe, và các chuyển động ngang của tải trọng có thể được tối thiểu hoá bằng các cần cầu được đặt thích hợp, một hệ số DAF bằng 1,0 có thể được sử dụng cho các thao tác nâng hạ để tránh bất kỳ sự giật động (dynamic snatching) của tải trọng.

Trường hợp sử dụng cầu ngoài khơi bằng hai hay nhiều sà lan, hệ số DAF phải được xác định từ việc phân tích động.

Nếu bất cứ thao tác nâng nào bao gồm nâng hoặc hạ một kết cấu trong nước, việc phân tích phải: - Thể hiện tổng tải trọng nâng trong nước, có tính đến trọng lượng, lực nổi, trọng lượng cố định, lực quán tính và lực kéo, hoặc; - Tính toán tải trọng móc cầu và tải trọng động dây cầu để chứng minh rằng dây cầu không bị chùng và cung cấp dữ liệu trạng thái biên giới hạn cho các thao tác trên biển; - - Tính toán các tải trọng va lên kết cấu được nâng; - Kết quả phân tích động đối với việc nâng trong nước hoặc nâng khi ngập một phần có thể thể gây

Hệ số lệch tải trọng SKL

Tải trọng lệch là tải trọng bổ sung do dung sai chế tạo dây nâng, dung sai chế tạo kết cấu nâng và sự không đảm bảo do sự bất đối xứng và phân phối lực liên quan trong bố trí kết cấu nâng.

Hệ số lệch tải trọng SKL là một hệ số phân bố tải trọng dựa trên:

- Các dung sai chế tạo chiều dài dây cầu;
- Dung sai đo đặc cấp buộc (grommet)/cấp cầu trên chốt đo (measuring pins);
- Bố trí và dạng hình học của kết cấu nâng;
- Dung sai chế tạo cho các điểm nâng (lift point);
- Độ căng cấp nâng/cấp buộc (grommet);
- Hình dạng cầu.

Và phải được xem xét cho bất kỳ bố trí và kết cấu. Hệ số SKL có thể được xác định từ các tính toán trực tiếp. Có thể dùng hệ số gần đúng SKL đơn giản hoá cho các mục đích thiết kế. Nếu hệ số SKL nhận được từ các tính toán trực tiếp thì hệ số này không nhỏ hơn 1,1 đối với hệ nâng siêu tĩnh. Đối với sơ đồ bố trí cấp nâng có dung sai nằm trong giới hạn được chấp nhận thì thường áp dụng các hệ số SKL sau: - SKL = 1,0 - đối với thiết kế tĩnh định dùng 1, 2, 3 và 4 điểm nâng; - SKL = 1,25 - đối với thiết kế

siêu tĩnh dùng 4 điểm nâng. Dung sai chế tạo cáp nâng phải nằm trong phạm vi $\pm 0,25\%$ chiều dài cáp danh nghĩa để có thể sử dụng các hệ số SKL đã nêu trên. Các hệ số SKL cao hơn phải được áp dụng cho những thiết kế nâng có dung sai chế tạo lớn quá mức và cho những thiết kế nâng đặc biệt nhạy cảm với sự phân bố lực dây treo, đó là: - Nâng bằng cách dùng số điểm nâng lớn hơn 4; - Nâng bằng những điểm nằm trong cùng một mặt phẳng đứng; - Một số kiểu nâng dùng nhiều móc cầu.

Trường hợp dùng nhiều tai cầu, các hệ số SKL thường tính đến hệ số xoay đảo (Y_{EF}) và hệ số tác động nghiêng ngang (T_{EF}) theo cách sau:

$$S_{KL \text{ tổng}} = S_{KL} \times Y_{EF} \times T_{EF}$$

Y_{EF} bằng 1,05 (khi không có gió mạnh hoặc lực giật của tàu kéo); T_{EF} - Hệ số T_{EF} trên độ nghiêng 3° khi các cần cầu cùng nằm trên một phương tiện nổi và nghiêng 5° khi các cần cầu nằm trên các phương tiện khác nhau.

Tải trọng động của móc cầu thường được biểu diễn bằng công thức sau:

$$DHL = DAF(W + RW) + SPL$$

Trong đó: DAF - Hệ số khuếch đại động; W - Khối lượng của vật được nâng, kể cả hệ số tăng khối lượng WGF (nếu có); RW - Khối lượng của hệ cáp và puli treo; SPL - Tải trọng đặc biệt.

Sự phân bố của lực trong khi nâng thường được tính như trong trường hợp tải trọng tựa tĩnh bằng cách đặt lực DHL ở vị trí móc cầu cùng với khối lượng phân bố và các tải trọng đặc biệt đối với từng bộ phận.

Tải trọng ngang

Các tai cầu và các bộ phận liên với kết cấu phải được tính toán thiết kế với tải trọng cực đại trong mặt phẳng, cộng với thành phần tải trọng ngang. Tải trọng ngang tác động đồng thời với tải trọng trong mặt phẳng thường không được lấy ít hơn 3% tải trọng cực đại trong mặt phẳng (kể cả hệ số DLF). Tải trọng ngang phải được đặt tại điểm tác động (nghĩa là vành cong của tai cầu, ở đầu nhỏ của mẫu nâng).

Cơ cấu nâng

Tất cả các cơ cấu nâng phải được chế tạo, thử nghiệm, ghi nhãn và chứng nhận theo các quy định hoặc tiêu chuẩn được chấp nhận. Bất kỳ cơ cấu nâng hạ phải được sử dụng đúng mục đích đã định (như các móc thường được thiết kế và tải trọng được ước lượng để chịu tải theo đường tâm của móc).

Cáp và vòng đệm

Độ bền chịu kéo đứt tối thiểu theo yêu cầu đối với các cáp nâng và vòng đệm là bằng hệ số an toàn được quy định theo các tiêu chuẩn hiện hành. Đối với các thiết kế dây treo và vòng đệm hệ số an toàn tối thiểu bằng 3,0.

Móc cầu

Móc cầu phải có tải trọng kéo đứt tối thiểu không nhỏ hơn bốn lần tải trọng làm việc an toàn (SWL) đã được cấp chứng chỉ đối với móc. Các móc phải được lựa chọn để có SWL bằng hoặc lớn hơn lực động cực đại tác động lên móc, kể cả tải trọng lệch nếu có. Các móc cầu với $SWL \geq 700$ tấn có thể được lựa chọn chỉ dựa trên việc xem xét lực kéo đứt tối thiểu. Tải trọng kéo đứt tối thiểu yêu cầu trong những trường hợp như vậy phải bằng tối thiểu 3,3 lần lực động cực đại tác động lên dây cáp, kể cả tải trọng lệch (nếu có).

6.4. Công tác Hạ thủy

Tất cả các tham số được xem là quan trọng để kiểm soát các thao tác hạ thủy phải được kiểm tra trước khi và trong quá trình thao tác. Những tham số này có thể là: - Điều kiện môi trường (kể cả thủy triều); - Lực đẩy/kéo; - Độ thẳng và độ bằng phẳng của đường trượt; - Độ nghiêng của sà lan nổi; - Vị trí chính xác của kết cấu (kể cả độ nghiêng); - Lượng choán nước, độ nghiêng dọc, độ nghiêng ngang của sà lan; - Các vật dẫn của sà lan; - Áp suất thủy lực khi kích. Những chỉ dẫn về tất cả các tham số này phải được đưa vào sổ tay hướng dẫn thao tác trên biển

Phải cung cấp đầy đủ năng lượng và các hệ thống dự phòng cho tất cả các hệ thống hạ thủy, kể cả các hệ thống đẩy/kéo, các hệ thống nước dẫn của sà lan và các hệ thống kiểm tra. Phải đảm bảo rằng khả năng mắc cạn của sà lan đã được xem xét và thiết kế

cẩn thận để vào thời điểm hạ thủy phải có đầy đủ khoảng trống dưới đáy sà lan với đáy biển. Về mặt này nếu cần thiết, phải tiến hành khảo sát đáy biển trước khi hạ thủy.

Hệ thống đẩy phải hoạt động đồng bộ với một tốc độ tối thiểu yêu cầu, có tính đến: - Khoảng thời gian hạ thủy tối đa cho phép; - Các tải trọng quán tính tối đa cho phép; - Thời gian lắp đặt dự định đối với thiết bị dự phòng. Phải xem xét khả năng của hệ thống dự phòng - Hư hỏng của khối thiết bị tự đẩy/kéo; - Tải trọng trượt lớn ngoài dự kiến.

Hệ thống sà lan: Các hệ thống nước dẫn của sà lan phải có khả năng điều chỉnh đối với các thao tác tăng - giảm tải, kể cả yêu cầu dẫn hiệu chỉnh đối với mức thủy triều bất kỳ (nếu có). Phải xem xét khả năng dẫn nước dự phòng trong trường hợp: - Các thay đổi quá lớn của thủy triều; - Sự chậm trễ có thể xảy ra khi hạ thủy; - Hư hỏng của các bơm nước dẫn; - Các giới hạn về thời gian đối với các thao tác hạ thủy.

Thao tác làm nổi : Trước khi làm ngập nước phải kiểm tra trạng thái đóng - mở của tất cả các van thông.

6.5. Vận chuyển trên biển

Công tác vận chuyển trên biển, bao gồm: - Lai dắt hoặc đẩy khi dùng một và nhiều sà lan; - Lai dắt hoặc đẩy kết cấu tự nổi; - Các phương tiện mang tự đẩy. Các yêu cầu đối với thao tác vận chuyển trên biển phải phù hợp theo các tiêu chuẩn quốc gia hoặc quốc tế được công nhận (như DNV-OS-H202 Sea transport operations)

Lựa chọn đường vận chuyển trên biển trên cơ sở lưu ý, xem xét: - Các đặc điểm chuyển động của tàu; - Các điều kiện môi trường (kể cả độ chênh của thủy triều); - Vùng biển; - Các khoảng trống; - Lưu lượng giao thông; - Quy tắc hàng hải; - Các tình huống bất ngờ (nơi ẩn náu an toàn).

Công tác dự báo thời tiết là đặc biệt quan trọng trong kế hoạch vận chuyển và cần sử dụng nhiều trạm dự báo khí tượng khác nhau.

Phân tích độ ổn định của các phương tiện nổi đối với thao tác vận chuyển trên biển phải bao gồm cả yêu cầu ổn định khi trạng thái hư hỏng. Các tàu mang tải phải có ít

nhất một neo với một dây cáp hoặc dây xích sẵn sàng dùng để thả neo khẩn cấp; máy, tời hoặc những thiết bị tương tự phải được lắp đặt cho các thao tác neo.

Các tàu vận chuyển và bố trí vận chuyển có liên quan (kể cả hệ dây lai dết) phải được kiểm soát và giữ tốc độ di chuyển đúng đối với trạng thái tải trọng thiết kế. Phải chú ý xem xét:

- Các trạng thái biển bất lợi (sức cản của sóng/dòng chảy);
- Các trạng thái dòng chảy bất lợi; - Các tải trọng gió; - Các đường thủy bị cấm; - Các tốc độ chịu lái tối thiểu; - Sự tương tác của sóng chân vịt; - Độ ổn định hướng; - Các thao tác ngắt quãng

Thiết kế: Chu kỳ lặp của “cửa sổ” thời tiết cần thiết cho phân tích thiết kế của bất kỳ thao tác vận chuyển nào cần phải được xem xét trên cơ sở từng trường hợp một. Các xem xét phải bao gồm những yếu tố biến đổi như: - Khả năng có những nơi trú ẩn an toàn; - Những xem xét về mùa trong năm; - Tuyến vận chuyển; - Khoảng thời gian vận chuyển; - Các đặc điểm chuyển động phù hợp; - Các đường thủy bị giới hạn;

Tải trọng phát sinh do chuyển động của các tàu mang tải được coi là tải trọng môi trường. Khi tính toán các tải trọng tác động do biển/sóng sinh ra phải xem xét: - Các tác động thủy động; - Các tác động thủy tĩnh; - Tác động đẩy nổi; - Các tải trọng do va chạm; - Các tác động do xoáy.

Những ảnh hưởng có thể xảy ra do các tải trọng tác động này đến sự chuyển động và/hoặc độ ổn định phải được đánh giá.

Khối lượng và vị trí trọng tâm của kết cấu được vận chuyển thường được xác định bằng một quy trình cần được phê chuẩn trước khi vận chuyển trên biển. Các đặc điểm chuyển động mà các tàu mang tải kết hợp với tải trọng vận chuyển phải được phân tích đầy đủ. Cần phải tính toán kiểm tra hiện tượng mỗi trong khoảng thời gian thao tác vận chuyển trên biển.

6.6. Công tác lai dết

Các thiết bị lai dất, cách sắp xếp các tàu lai dất, phải đảm bảo: - Sử dụng có hiệu quả sức kéo; - Độ ổn định hướng; an toàn trong mọi tình huống bất thường. Các thiết bị lai dất phải được thiết kế sao cho các hư hỏng không xảy ra trong bản thân thiết bị lai dất.

Thiết bị dùng để buộc cáp keoslai dất phải được thiết kế để đủ chịu lực kéo. Sức chịu cực đại của hệ sử dụng khi kéo, phải lớn hơn các giá trị sau: - 1,3 lần tải trọng kéo đứt tối thiểu của dây kéo; - 4 lần lực chịu kéo tĩnh tại trụ neo ở tàu kéo.

Dây lai dất thường phải có tải trọng kéo đứt tối thiểu là: $TBL = 75 P/\sqrt{L}$ $TBL = 3P$ Chọn số lớn hơn. Trong đó: TBL - Tải trọng kéo đứt tối thiểu của dây lai dất, tính bằng tấn; P - Lực kéo cực đại tại trụ neo của tàu lai dất, tính bằng tấn; L - Chiều dài dây lai dất, tính bằng mét.

Ít nhất phải có hai bộ thiết bị lai dất đầy đủ (kể cả bản thân dây lai dất) trên boong tàu lai dất hoặc kết cấu nổi được lai dất.

Lai dất khi dùng nhiều sà lan thì cần xem xét đặc biệt đến tải trọng lệch có thể có do: - Dung sai chế tạo; - Lệch có tính chất thường xuyên hoặc bán thường xuyên (ví dụ: lệch do phân bố dẫn sà lan); - Lệch tức thời (ví dụ: tác động sóng lên sà lan); - Độ không chính xác khi định vị hoặc xếp đặt; - Độ nghiêng ngang và nghiêng dọc của sà lan;

Lai dất kết cấu tự nổi thì cần lưu ý ngay từ khi thiết kế các nội dung sau: - Độ ổn định; - Các đặc điểm chuyển động; - Các tải trọng do sóng; - Tương tác giữa vật được lai dất và tàu; - Thể nổi của vật; - Tải trọng lai dất.

6.7. Lắp đặt nền móng

Đóng cọc: Phân tích đóng cọc sẽ để xác định việc đóng cọc là khả thi không, cần xét các vấn đề: - Đặc điểm của đất nền; - Kích thước cọc; - Loại búa đóng cọc với các đặc tính liên quan bao gồm: trọng lượng, độ cứng (stiffness) và độ giảm chấn (damping), năng lượng tính toán và sự hiệu quả; - Quy trình đóng cọc, như thời gian dừng đóng phải được xem xét; - Độ nghiêng của cọc, có thể gây ảnh hưởng đến hiệu quả của búa đóng. Lưu ý đặc biệt khi thiết kế cọc và dẫn hướng cọc (pile guide) khi cọc và/hoặc búa đóng ở gần khu vực vùng nước dao động. Phải tính tần số tự nhiên của cọc và hệ

thông cọc/búa đóng. Sự ảnh hưởng của dòng xoáy do dòng chảy hoặc các ảnh hưởng động khác phải được xem xét.

Cọc và đầu cọc/dẫn hướng cọc phải được kiểm tra khi tổ hợp theo thiết kế bao gồm: - Chiều dài đoạn cọc tính từ điểm ngầm đến phần thừa; - Độ nghiêng cọc; - Trạng thái biển bao gồm một phạm vi các chu kỳ sóng; - Dòng chảy; - Tải trọng búa đóng; - Các ảnh hưởng động.

Khi thiết kế cọc hoặc dẫn hướng cọc bị ảnh hưởng bởi tải trọng sóng trong quá trình đóng, thì phải xác định rõ trạng thái biển giới hạn cho quá trình đóng.

Hệ thống trám vữa gồm Ống bơm vữa, đệm kín và dây nôi, nếu có thì phải được thiết kế để chịu gia tốc và lực rung từ quá trình đóng cọc. Phải có hệ thống trám vữa dự phòng để đảm bảo hoàn thành thao tác trám vữa đúng thời gian.

Hệ thống trám vữa thường trang bị các hệ thống dự phòng và phải được thử áp lực. Thông thường áp suất thử phù hợp có thể được xem xét là 600 PSI (40 bar)

Thao tác công tác đóng cọc

Cọc phải được lắp đặt theo một trình tự để có sự ổn định trong tất cả các giai đoạn của quá trình lắp đặt. Lưu ý đặc biệt phải thực hiện với các quy trình thao tác khi cọc có thể tự xuống. Trình tự cầu và lật cọc phải được xem xét cẩn trọng. Các tải trọng lệch tâm và tải trọng ngoài mặt phẳng phải được đưa vào tính toán kỹ lưỡng trong thiết kế. Cọc và thiết bị cọc phải được hạ và lấy ra nếu có thể phải cách xa đối tượng và bất kỳ kết cấu dưới đáy biển nào, như đường ống. Phải bố trí định vị và dẫn hướng cọc trong ống vác một cách hợp lý. Phải thực hiện các báo cáo đóng cọc, bao gồm từng cọc: loại búa đóng, số nhát búa đóng liên tục, hiệu suất búa đóng, thời gian bao gồm dừng và khởi động lại.

Kết luận chung của đề tài.

1. Năng lượng gió chắc chắn sẽ là một nguồn năng lượng tái tạo quan trọng trong tương lai trên thế giới và ở Việt Nam. Dù hiện tại giá thành của điện gió còn cao và tính cạnh tranh thấp hơn những nguồn năng lượng hóa thạch, nhưng về lâu dài thì điện gió là nguồn năng lượng mang lại các lợi ích lớn hơn.
2. Cơ sở hạ tầng phục vụ ngành xây dựng công trình nói chung và ngành dầu khí biển đã khá phát triển, thêm vào đó một số nhà máy sản xuất và lắp ráp Turbin gió đã được xây dựng và đang hoạt động tại Việt Nam, các điều kiện trên cho thấy Việt Nam đủ khả năng để tự mình xây dựng các công trình phong điện biển
3. Với các vùng nước gần bờ, độ sâu nhỏ thì các công trình bằng thép dạng một trụ đơn hoặc Tripods hay dạng trọng lực là rất thích hợp, nếu ra ngoài khơi xa hơn thì có thể sử dụng các công trình nổi có neo.

Một số kiến nghị

4. Trong giai đoạn ban đầu, cũng như các nước khác trên thế giới, điện gió ở Việt Nam cần sự hỗ trợ của chính phủ về vốn, chính sách tiêu thụ, thuế....
5. Cần khuyến khích, thúc đẩy công tác nghiên cứu các lĩnh vực liên quan đến điện gió để cung cấp các kiến thức cần thiết cho ngành công nghiệp mới này và tìm ra các giải pháp tối ưu để giảm giá thành, tăng tính cạnh tranh cho điện gió.
6. Các kết quả của nghiên cứu này là những kết quả ban đầu có thể sử dụng cho các nghiên cứu chuyên sâu hơn hoặc có thể sử dụng cho các thiết kế sơ bộ công trình.
7. Các công trình dạng công trình nổi có neo cần được nghiên cứu ở các chuyên đề riêng .

Tài liệu tham khảo:

[1] **BTM Consult ApS** (2005) *International Wind Energy Development, World*

Market update 2004, Forecast 2005-2009 IC Christensens Allé 1, DK6950

Ringkøbing, Denmark

[2] **Kühn, M** (2001) *Dynamics and Design Optimisation of Offshore Wind Energy*

Conversion Systems Institute for Wind Energy, Delft University of Technology

ISBN 90-76468-07-9

[3] **DNV** (2004) *Design of offshore wind turbine structures* Det Norske Veritas,

DNV-OS-J101

[4] **DS472** (1992) *Code of practice for loads and safety of wind turbine*

constructions Danish Society of Engineers and the Federation of Engineers

[5] **Tempel, J van der** (2000) *Lifetime Fatigue of an Offshore wind Turbine Support*

Structure Section Offshore Technology & Section Wind Energy, Delft

University of Technology

[6] **Mai Hồng Quân, Vũ Đan Chính** (2012) *Lựa chọn giải pháp kết cấu đỡ Turbine phát điện sức gió xây dựng ở ven biển Việt Nam*, Hội nghị khoa học biển toàn quốc lần thứ V.

[7] **Phạm Khắc Hùng, Mai Hồng Quân, Hán Đình Út** (2008) , *Kết cấu công trình*

biển dạng tối thiểu sử dụng khai thác các mỏ nhỏ ở thềm lục địa Việt Nam, Tạp chí

PetroVietnam, Vol 6. [7] **Mai Hồng Quân** (2004), *Xây dựng phương pháp kết cấu*

dàn khoan một trụ sử dụng cọc hơi ép, Nghiên cứu khoa học cấp trường, trường đại học Xây dựng