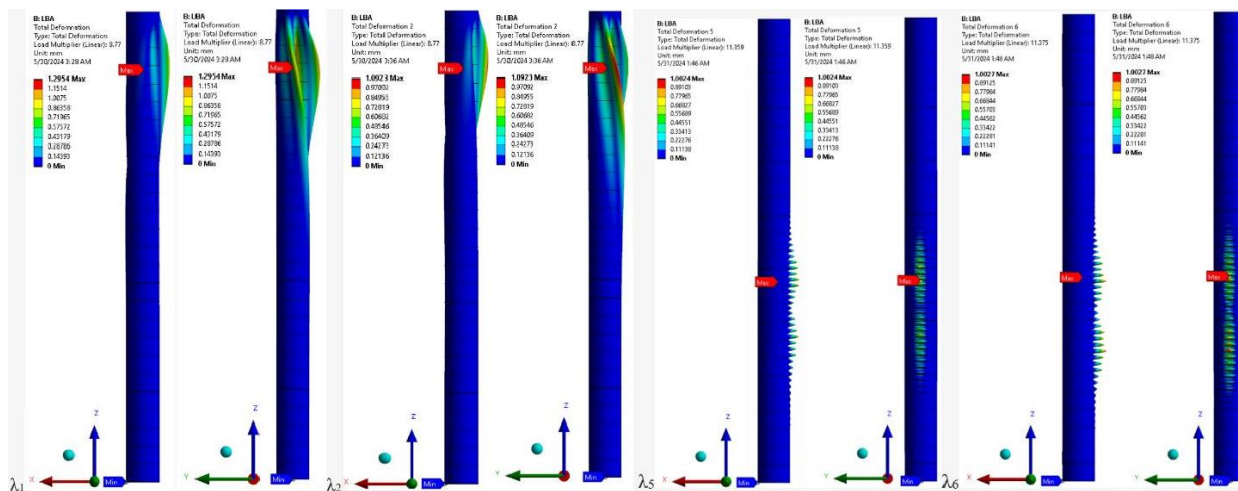
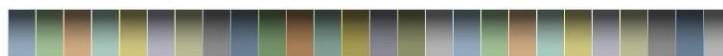




ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΠΥΡΓΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ-ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μιχαήλ Δημητριάδη

ΕΜΚ ΜΕ 2024 8

Καθηγητής: Δρ. Χάρης Γαντές
Συνεπιβλέπων: Dr.-Ing. Στέφανος Γκατζογιάννης

Αθήνα, Οκτώβριος 2024

Copyright © Μιχαήλ Δημητριάδη, 2024
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια του Δημητριάδη Μ. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Michail Dimitriadis, 2024
All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organisation (L. 5343/1932, art. 202).

Μιχαήλ Δημητριάδης (2024)

Προσομοιώσεις πύργων ανεμογεννητριών με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων-προβλήματα ευστάθειας
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ 2024 8
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Michail Dimitriadis (2024)

Diploma Thesis ΕΜΚ 2024 8

Finite element simulations of wind turbine towers - stability problems
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Ευχαριστίες

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου Χάρη Γαντέ για το άψογο κλίμα συνεργασίας που αναπτύξαμε και την ενδελεχή υποστήριξη του σε όλα τα στάδια της συγγραφής. Το ίδιο το θέμα της εργασίας μου κέντρισε το ενδιαφέρον αποφέροντας μου γνώσεις που θα με συνοδεύουν σε όλη την επαγγελματική μου σταδιοδρομία.

Ισότιμες θερμές ευχαριστίες θέλω να αποδώσω και στον συνεπιβλέποντα καθηγητή μου Στέφανο Γκατζογιάννη για την αδιάκοπη και εύστοχη συνδρομή του στην οργάνωση και στην εξέλιξη της εργασίας. Οι γνώσεις του αποτέλεσαν αρωγό κατά την διεξαγωγή των αναλύσεων στο προγραμματιστικό μέρος της εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους με ανέχτηκαν και όσους με στήριξαν. Η ψυχολογική στήριξη από πλευράς οικογένειας και περιβαλλοντικού κύκλου μου έδωσε το απόθεμα ενέργειας που επιζητούσα. Ακόμη στα δύο μάτια που με κοιτούν από ψηλά θέλω να πω το εξής: Σε αγαπούσα, σε αγαπώ και εδώ τελειώνω, δηλώνω πολύ γεμάτος από σένα.

Κλείνοντας ευχαριστώ όλα τα μέλη της σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ που συνέβαλαν στην μεταλαμπάδευση πλήθους γνώσεων μέσα από την συμμετοχή μου στο παρόν Μεταπτυχιακό πρόγραμμα.



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΔΕ 2024 8**

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΠΥΡΓΩΝ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΜΕΤΗΝ
ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ-ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ**

Μιχαήλ Δημητριάδης

Καθηγητής: Δρ. Χάρης Γαντές
Συνεπιβλέπων: Dr.-Ing. Στέφανος Γκατζογιάννης

Αθήνα Σεπτέμβριος, 2024

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις μέρες μας οι ενεργειακές ανάγκες αυξάνονται συνεχώς, αυτή η τάση συμβάλει στην στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με κυρίαρχη αυτών την αιολική. Με τις ανεμογεννήτριες να τοποθετούνται στο επίκεντρο των πράσινων έργων η τεχνολογία πάνω σε τεχνοτροπίες και κατασκευαστικές πρωτοτυπίες τέτοιων δομών καλπάζει. Ιδιαίτερα οι υπεράκτιες εφαρμογές προσφέρουν την δυνατότητα εκμετάλλευσης περιοχών με πλούσιο αιολικό δυναμικό. Το σύνολο των προσπαθειών του κλάδου αποσκοπεί στην βελτίωση της απόδοσης βελτιώνοντας τον σχεδιασμό και στην μεγιστοποίηση της απόδοσης αυξάνοντας τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε ο πυλώνας 78 m υπεράκτιας ανεμογεννήτριας εδρασμένης σε τρίποδο με θεμελίωση πασσάλων. Η εργασία αποτελεί συνέχεια προϋπάρχουσας από όπου λήφθηκαν τα φορτία δράσης, εστιάζοντας την προσοχή της στην κατανόηση και μελέτη της ευστάθειας του φορέα. Ακόμη εντός της εργασίας γίνεται παράθεση των υπολογισμών που αναφέρονται στον EN 1993-1-6 (παλαιάς και νέας εκδοχής).

Για την διεξαγωγή των ελέγχων του πυλώνα δημιουργήθηκαν μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν εκτελώντας μη γραμμικές αναλύσεις. Προγραμματιστικά οι αναλύσεις καλούνταν να ικανοποιούν δύο βασικούς σκοπούς. Πρώτον την επίτευξη ικανοποιητικής ακρίβειας των αποτελεσμάτων και δεύτερον την οικονομία του χρόνου εκτέλεσης των αναλύσεων. Η αντοχή του πυλώνα προέκυψε με βάση τους ελέγχους ευστάθειας εισάγοντας ατέλειες, πολλαπλασιάζοντας καταλλήλως τις ιδιότητες, θεωρώντας αυτές ως ατελές αρχικό σχήμα.

Ως μεταβλητές-παράμετροι εξετάστηκαν εν συντομία τα εξής

Ως μεταβλητές-παράμετροι εξετάστηκαν εν συντομία τα εξής:

- 1) Διαφοροποίηση σχετική με την φόρτιση (αγνόηση ή μη της στρέψης που αναπτύσσεται κατά την λειτουργία της ανεμογεννήτριας).
- 2) Σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών αναλύσεων.
- 3) Σύγκριση μεταξύ των τριών κατηγοριών ποιότητας.
- 4) Σύγκριση μεταξύ των διαφόρων ιδιομορφών.
- 5) Εντοπισμός της κρισιμότερης ιδιομορφής.
- 6) Εισαγωγή ατελειών με βάση την θεωρία και μη του ισοδύναμου κυλίνδρου.
- 7) Υπολογισμός βαθμού εκμετάλλευσης της διατομής για κάθε ανάλυση.
- 8) Διερεύνηση των βημάτων φόρτισης.
- 9) Ανάλυση ευαισθησίας των ατελειών.



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES



DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2024 8

SIMULATIONS OF OFFSHORE WIND TURBINE TOWERS USING FINITE ELEMENT METHOD – STABILITY ISSUES
Michail Dimitriadis

Supervisor: Prof. Charis Gantes

Co-supervisor: Dr.-Ing. Stefanos Gatzogiannis

ABSTRACT

Nowadays, energy needs are constantly increasing, and this trend is driving the shift toward renewable energy sources, with wind energy being the most prominent. Wind turbines are at the heart of green projects, and technology related to the design and construction of such structures is advancing rapidly. Offshore applications, in particular, offer the opportunity to harness areas with rich wind potential. The collective efforts of the industry are focused on enhancing performance by refining design and maximizing efficiency through improved geometric characteristics.

This study examines a 78-meter offshore wind turbine tower, supported by a tripod foundation with pile foundations. It builds upon prior research that provided the necessary action loads, concentrating on the understanding and analysis of the structure's stability. Additionally, thesis includes calculations according to EN 1993-1-6, encompassing both its earlier and latest versions.

To perform the structural assessments of the tower, finite element models were developed and employed for nonlinear analyses. The analytical processes were designed to achieve two primary objectives: first, to ensure a satisfactory level of accuracy in the results, and second, to optimize execution time. The strength of the tower was evaluated through stability checks by introducing imperfections and appropriately scaling the eigenvalues, considering these as an imperfect initial configuration.

The following variable parameters were briefly explored:

1. Differentiation concerning loading conditions (considering or disregarding the twisting that develops during the operation of the wind turbine).
2. Comparison among various analyses.
3. Comparison among three quality wind turbine categories.
4. Comparison of different eigenmodes.
5. Identification of the most critical eigenmode.
6. Introduction of imperfections based on both theoretical and non-theoretical (keeping the exactly geometry dimensions) models of the equivalent cylinder.
7. Calculation of the cross-sectional utilization rate for each analysis.
8. Examination of loading steps.
9. Sensitivity analysis of imperfections.