



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών



ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΛΩΔΙΩΤΩΝ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ



Διπλωματική Εργασία
Ευάγγελος Παναγιωτάκης

EMK ME 2022 17

Επιβλέπων: Δρ. Γαντές Χαράλαμπος, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2022

Copyright © Παναγιωτάκης Ευάγγελος, 2022

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 συγγραφέα. 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 © Panagiotakis Evangelos, 2022

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).

Ευάγγελος Παναγιωτάκης (2022)
Διερεύνηση συμπεριφοράς καλωδιωτών πυλώνων ανεμογεννητριών
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΜΕ 2022 17
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Panagiotakis Evangelos (2022)
Diploma Thesis ΕΜΚ ΜΕ 2022 17
Behavior Investigation of guyed masts for wind turbines
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ την οικογένειά και τον επιβλέποντα καθηγητή μου για την υποστήριξη καθ' όλη την πορεία της εργασίας.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΜΕ 2022 17

**Διερεύνηση συμπεριφοράς καλωδιωτών πυλώνων ανεμογεννητριών
Παναγιωτάκης Ευάγγελος**

Επιβλέπων: Δρ. Γαντές Χαράλαμπος, Καθηγητής ΕΜΠ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε ένα κόσμο συνεχώς αυξανόμενων ενεργειακών απαιτήσεων η ανάγκη να καλυφθούν με το μικρότερο δυνατό αποτύπωμα γίνεται όλο και επιτακτικότερη. Στο πλαίσιο αυτό, η επιστημονική κοινότητα και δη η επιστήμη του Μηχανικού καλείται να επιλύσει τα υπάρχοντα αλλά και τα εκκολαπτόμενα προβλήματα. Η ανάπτυξη της πράσινης ενέργειας αποτελεί καταλυτή αυτής της προσπάθειας με την αιολική να αποκτά περισσότερο πρωταγωνιστικό ρόλο με την πάροδο του χρόνου.

Στην πλειάδα των ενεργειακών δομών που κατασκευάζονται ώστε να εξυπηρετήσουν τις σύγχρονες κοινωνίες εμφανίζονται εδώ και αρκετές δεκαετίες οι ανεμογεννήτριες, εκμεταλλευόμενες τον άνεμο προκειμένου να παράξουν ηλεκτρική ενέργεια, με την σύγχρονη μορφή της να βρίσκεται στο ιστορικό φάσμα τα τελευταία 70 χρόνια. Η συνεχής απαίτηση ενέργειας φέρει και ανάγκη βελτίωσης και διόγκωσης των ανεμογεννητριών. Μια εκ των λύσεων που προτείνει ο Πολιτικός Μηχανικός είναι και ο καλωδιωτός φορέας ως ενδεχομένη στατική λύση για την ανύψωση του, η οποία προϋποθέτει την πλήρη κατανόηση της συμπεριφοράς του δομικού συνόλου μέσω παραμετρικών λύσεων.

Με τη χρήση των απαραίτητων FEM προγραμμάτων ανάλυσης, δημιουργείται το υπόβαθρο για τις παραμετρικές λύσεις και την ανύψωση, που είναι αρχικός πυλώνας, χάλυβα S355 και διατομών CHS. Εκμεταλλευόμενοι την εξίσωση του Dischinger μεταβαίνουμε ομαλά στο σχεδιασμό του καλωδιωτού φορέα, αντιμετωπίζοντας την έμφυτη γεωμετρική μη γραμμικότητα, με τα διατιθέμενα εργαλεία του προγράμματος να αντιμετωπίζουν επιτυχώς το θέμα. Η διαμόρφωση του καλωδιωτού φορέα δημιουργεί σημείο αναφοράς για την απόκριση του δομικού συνόλου με έμφαση στις ιδιομορφικές αναλύσεις, τις μετακινήσεις κορυφής και το design. Οι παραμετρικές αναλύσεις αποκαλύπτουν λεπτομερώς τη συμπεριφορά του μοντέλου στις αλλαγές, με τη μεταβολή της γωνίας πρόσδεσης, της θέσης πρόσδεσης, της διατομής καλωδίου, της προέντασης καλωδίου και του συνδυασμού των τελευταίων δύο ώστε να διατηρηθεί σταθερό το ποσοστό προέντασης στο μέγεθος του ορίου διαρροής. Με εποπτική εικόνα της απόκρισης του καλωδιωτού πυλώνα, γίνεται η ανύψωση αυτού μέχρι και την στάθμη των 180m υψομέτρου, όπου διενεργείται ο σχεδιασμός στα πλαίσια της λειτουργικότητας των μηχανισμών της.

Το πεδίο των καλωδιωτών πυλώνων είναι ακόμα πρώιμο στο χώρο των ανεμογεννητριών. Η ευελιξία στο σχεδιασμό, η προσαρμοστικότητα λόγω ποικίλων γεωμετριών καθώς και η ευκολία κατασκευής καθιστούν τους καλωδιωτούς φορείς ως ένα ενδιαφέρον πεδίο μελέτης για τη θωράκιση ενός πράσινου ενεργειακά μέλλοντος.



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



DIPLOMA THESIS
EMK ME 2022 17

Behavior Investigation of guyed masts for wind turbines

Panagiotakis Evangelos

Supervisor: Dr. Gantes Charalampos, Professor NTUA

ABSTRACT

In a world of ever-increasing energy demands, the need to meet them with the smallest possible footprint is becoming more and more imperative. In this context, the scientific community especially the science of Engineering, is called upon to resolve the existing as well as the emerging problems. The development of green energy is a catalyst for this effort, with wind energy gaining a more prominent role over time.

Among the multitude of energy structures built to serve modern societies, wind turbines have been appearing for several decades, harnessing the wind to generate electricity, with their modern form being on the historical spectrum for the last 70 years. The constant demand for energy brings the need to improve and enlarge wind turbines. One of the solutions proposed by the Civil Engineer is the cable structures as a possible static solution for its elevation which requires a full understanding of the behavior of the structural assembly through parametric solutions.

By using the necessary FEM analysis programs, the background for the parametric solutions and the elevation, which is the initial pillar, S355 steel and CHS cross-section is created. Taking advantage of Dischinger's equation, we smoothly transition to the design of the guyed mast, addressing the inherent geometric nonlinearity of cables, with the provided program tools successfully addressing the issue. The configuration of the cabled vector creates a benchmark for the response of the structural ensemble with emphasis on eigenmodal analyses, peak displacements and design. The parametric analyses reveal in detail the model's behavior to changes by varying the tethering angle, the tether location, cable cross-section, cable prestressing and the combination of the last two to maintain a constant prestressing rate at the magnitude of the yield strength. With a supervisory view of the response of the cable pylon, it is raised up to the 180m altitude level, where the design is carried out within the functionality of its mechanisms.

The field of guyed masts is still early in the wind turbine field. Flexibility in design, adaptability due to varied geometries as well as ease of construction make cabled carriers as an interesting field of study for shielding a green energy future.