

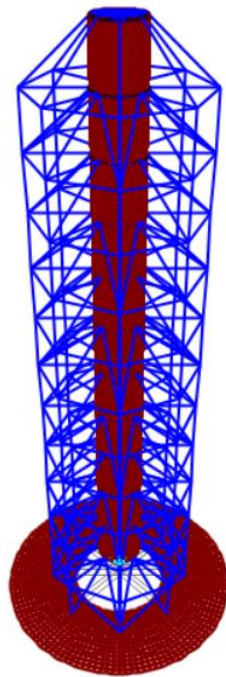


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

## **Παραμετρικός Σχεδιασμός Βάσης Πυλώνων Ανεμογεννητριών με Εσωτερικό Κέλυφος και Εξωτερικό Πλαισιακό Φορέα**



Διπλωματική Εργασία

Ρομέο Τσούκα

ΕΜΚ ΔΕ 2021 19

Επιβλέπων: Καθηγητής Χάρης Γαντές

Αθήνα, Ιούλιος 2021

Copyright © Ρομέο Τσούκα, 2021  
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 © Romeo Cuka, 2021  
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).

Ρομέο Τσούκα (2021)

Παραμετρικός Σχεδιασμός Βάσης Πυλώνων Ανεμογεννητριών με Εσωτερικό Κέλυφος και Εξωτερικό  
Πλαισιακό Φορέα  
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2021 19  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Romeo Cuka (2021)

Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2021 19  
Parametric Design of Base of Wind Turbines Pylons with Inner Shell and Exterior Frame  
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή μου Χάρη Γαντέ, για την εμπιστοσύνη και τη δυνατότητα να ασχοληθώ και να αναπτύξω αυτή την πρωτοποριακή ιδέα. Η συμβολή του στην καταπόνηση αυτής της εργασίας, ήταν καθοριστική καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης και οι συμβουλές ήταν εξαιρετικά χρήσιμες και σαφείς σε κομβικά σημεία της. Πέρα από το επιστημονικό μέρος, μου μετέδωσε πολύτιμες δεξιότητες και τρόπους αντιμετώπισης καταστάσεων, που μπορεί στην μετέπειτα σταδιοδρομία μου να αντιμετωπίσω.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον κ. Ιωάννη Ψαρά, ο οποίος συνέβαλε παρέχοντας χρήσιμες συμβουλές σχετικά με τη λειτουργία του λογισμικού, που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Δε θα μπορούσα να παραλείψω από τις ευχαριστίες την οικογένεια μου, τους φίλους μου και την κοπέλα μου, που μου παρείχαν ηθική στήριξη και πρακτική βοήθεια καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές της σχολής Πολιτικών Μηχανικών, που συνέβαλλαν στην επιστημονική μου κατάρτιση.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΕΜΚ ΔΕ 2021 19

## **Παραμετρικός Σχεδιασμός Βάσης Πυλώνων Ανεμογεννητριών με Εσωτερικό Κέλυφος και Εξωτερικό Πλαισιακό Φορέα**

**Ρομέο Τσούκα**

Επιβλέπων: Καθηγητής Χάρης Γαντές  
Ιούλιος 2021

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Τη σημερινή εποχή, δεδομένης της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης σε ενέργεια, η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος μεταξύ των άλλων ανανεώσιμων πηγών. Με τη βελτίωση της τεχνολογίας, υπάρχει συνεχής αύξηση του μεγέθους της ανεμογεννήτριας, τόσο στο ύψος του πύργου ανεμογεννητριών, όσο και στο μήκος των πτερυγίων. Ως αποτέλεσμα, προκύπτει σημαντική αύξηση στα φορτία σχεδιασμού της κατασκευής, καθώς αυξάνεται το ύψος της ανεμογεννήτριας, ειδικά στα φορτία ανέμου. Στην παρούσα διπλωματική εργασία αξιολογείται υπολογιστικά μέσω προηγμένων αριθμητικών αναλύσεων μια νέα ιδέα που έχει προταθεί, με στόχο να επιτρέψει στους πύργους ανεμογεννητριών να φτάσουν σε μεγαλύτερα ύψη, ώστε να επιτρέψουν καλύτερη εκμετάλλευση του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού. Προς αυτή την κατεύθυνση, μελετάται βάση ανεμογεννήτριας 60 m με εσωτερικό κυλινδρικό κέλυφος, που υποστηρίζεται από εξωτερικό πλαισιακό φορέα. Αρχικά, πραγματοποιείται γραμμική στατική ανάλυση του μεταλλικού τμήματος της βάσης της ανεμογεννήτριας και όλα τα δομικά στοιχεία ελέγχονται κατά EN1993. Σε επόμενο στάδιο, διεξάγεται παραμετρική διερεύνηση ως προς την ακτίνα του εξωτερικού πλαισιακού φορέα. Οι στόχοι που τίθενται είναι, πρώτον να προκύψει η βέλτιστη ακτίνα η οποία θα μεγιστοποιεί τη δυσκαμψία και δεύτερον η ακτίνα να οδηγεί σε εκμετάλλευση, με όσο το δυνατόν οικονομικότερο τρόπο, των στοιχείων του εξωτερικού πλαισιακού φορέα. Εν συνεχεία, λαμβάνει χώρα μη γραμμική στατική ανάλυση στο φορέα της δακτυλιοειδούς θεμελίωσης από οπλισμένο σκυρόδεμα, στην οποία θα στηριχθεί το μεταλλικό τμήμα της βάσης ανεμογεννήτριας. Η θεμελίωση ελέγχεται κατά EN1992. Έπειτα, διεξάγεται παραμετρική διερεύνηση ως προς την εξωτερική και την εσωτερική ακτίνα της δακτυλιοειδούς θεμελίωσης, για να προσδιορισθεί η γεωμετρία με τα βέλτιστα χαρακτηριστικά και την ελάχιστη δυνατή απαίτηση οπλισμού. Τέλος, το μοντέλο της θεμελίωσης ενσωματώνεται σε εκείνο του μεταλλικού τμήματος της βάσης ανεμογεννήτριας. Μετά την ανάλυση του σύνθετου φορέα, πραγματοποιούνται συγκρίσεις των αποτελεσμάτων του με εκείνα των δύο μεμονωμένων μοντέλων (μεταλλικής κατασκευής και θεμελίωσης). Ακολουθεί ο υπολογισμός της ιδιοσυχνότητας της συνολικής κατασκευής και πραγματοποιείται ο πιο κρίσιμος έλεγχος, αυτός του συντονισμού της κατασκευής.



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

DIPLOMA THESIS  
EMK ΔΕ 2021 19

## **Parametric Design of Base of Wind Turbines Pylons with Inner Shell and Exterior Frame**

**Romeo Cuka**

Supervisor: Professor Charis Gantes  
July 2021

### **ABSTRACT**

Nowadays, given the ever-increasing demand for energy, the harnessing of wind energy is constantly gaining ground among other renewable resources. With the improvement of technology, there is a continuous increase in the size of the wind turbine, in terms of both height of the wind turbine tower and length of the blades. As a result, there is a significant increase in the design loads of the construction, especially wind loads. In this thesis a novel concept that has been proposed to enable wind turbine towers to reach higher hub heights for better exploitation of the available wind potential, is evaluated computationally by means of advanced numerical analyses. In this concept, the cylindrical tower shell is externally supported by a frame structure, properly interconnected to the internal tube. At first, a preliminary design is performed by means of linear structural analyses and verifications according to EN1993. In the next step, a parametric investigation is carried out on the radius of the outer frame structure. The objectives are to select the optimal radius in which the stiffness of the structure is maximized, and the members of the external frame are exploited in an optimum economical way. Then, a non-linear static analysis is performed on the annular reinforced concrete foundation, on which the steel superstructure of the wind turbine base is supported. The foundation is verified according to EN1992. Then, a parametric investigation takes place on the outer and inner radius of the annular foundation, to determine the geometry with the optimal characteristics and the minimum reinforcement requirement. Finally, the foundation model is integrated into that of the steel superstructure of the wind turbine base. After the analysis of the composite structure, comparisons of its results are made with those of the two individual models (metal construction and foundation). The calculation of the eigenfrequency of the total construction follows and the most critical verification is carried out, the resonance verification of the construction.