



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

School of Civil Engineering
Institute of Steel Structures

Aerodynamic calculation of loads and dynamic behavior of wind turbine towers



POSTGRADUATE THESIS

Stylios M. Vernardos

Supervisor: Prof. Ch. Gantes

Athens, February 2013

EMK ME 2013/17



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Αεροδυναμικός υπολογισμός φορτίων και
δυναμική συμπεριφορά πυλώνων
ανεμογεννητριών



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στυλιανός Μ. Βερνάρδος

Επιβλέπων: Χαρ. Γαντές, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2013

ΕΜΚ ΜΕ 2013/17



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΜΕ 2013/17

Αεροδυναμικός υπολογισμός φορτίων και δυναμική συμπεριφορά πυλώνων ανεμογεννητριών

Στυλιανός Βερνάρδος

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Καθηγητής ΕΜΠ

Περίληψη

Σε μία περίοδο ανεξέλεγκτης κατανάλωσης ενέργειας, οι ανεμογεννήτριες διαδραματίζουν το δικό τους σημαντικό ρόλο, ως αναπόσπαστο μέλος της ευρύτερης οικογένειας των εναλλακτικών πηγών. Η φαινομενικά απλή τους λειτουργία, ωστόσο, έρχεται σε πλήρη αντίθεση με την περίπλοκη φύση των φαινομένων τα οποία συντελούνται από την πρώτη επαφή της μάζας του αέρα με το μηχανισμό των περιστρεφόμενων πτερυγίων μίας τέτοιας κατασκευής. Ακριβώς αυτό το γεγονός δυσχεραίνει σε μεγάλο βαθμό την προσομοίωση των συνθηκών υπό τις οποίες μία ανεμογεννήτρια καλείται, τόσο να παράγει ωφέλιμο έργο, όσο και να αντεπεξέλθει με ασφάλεια σε κάθε είδους φορτίσεις. Το εγχείρημα της αναπαραγωγής αυτών των συνθηκών σε υπολογιστικό περιβάλλον αποτέλεσε το στόχο της παρούσας εργασίας, αφενός μέσω της δημιουργίας ενός πεδίου ανέμου από ένα σύνολο στοχαστικών διαδικασιών και αφετέρου μέσω της προσομοίωσης της αεροδυναμικής συμπεριφοράς των πτερυγίων αλλά και του πυλώνα. Οι σχετικοί υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν σε περιβάλλον Matlab, μέσω της παραγωγής ενός αλγορίθμου, ο οποίος, λαμβάνοντας υπόψη τις απαραίτητες, ποικίλες παραμέτρους που σχετίζονται με τα αεροδυναμικά φαινόμενα, καταλήγει στη δημιουργία χρονοϊστοριών φόρτισης λόγω ανέμου για τον πυλώνα της ανεμογεννήτριας. Τα αποτελέσματα ενσωματώθηκαν ως συνθήκες φόρτισης σε ένα μηχανικό προσομοίωμα πυλώνα, το οποίο δημιουργήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος SAP2000 και αναλύθηκε δυναμικά, μη γραμμικά, ώστε να εξεταστούν οι προκύπτουσες χρονοϊστορίες αποκρίσεων και τάσεων, καθώς και να ελεγχθεί η επάρκεια των διατομών που επιλέχθηκαν.



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

POSTGRADUATE THESIS
EMK ME 2013/17

Aerodynamic calculation of wind loads and dynamic behavior of wind turbine towers

Stylios Vernardos

Supervised by Prof. Charis Gantes

Abstract

In an era of massive energy consumption, wind turbines play their own important role as an integral part of the wider ensemble of alternative energy sources. Their seemingly simple function, however, contradicts the complex nature of the phenomena, occurring from the very first contact between the air mass and the rotating blades' mechanism of such a construction. It is exactly this fact that significantly hinders the simulation of the conditions, under which a wind turbine is expected to produce power and also safely withstand any kind of loads exerted on it. The venture of reproducing these conditions in a computational environment constituted the aim of the current thesis, through the generation of a wind field from a series of stochastic procedures, on the one hand, and the simulation of aerodynamic behavior of both the blades and the tower, on the other. The pertinent calculations were accomplished in Matlab environment, through the generation of an algorithm which, by taking into account various, necessary parameters related to the aerodynamic phenomena, produces wind load time histories for the wind turbine's tower. The results were incorporated as loading conditions into a computational model of the tower, which was created in SAP2000 software, and was subsequently analyzed dynamically, non-linearly, so that the resulting displacement and stress time histories could be examined and the selected sections could be checked for adequacy.