



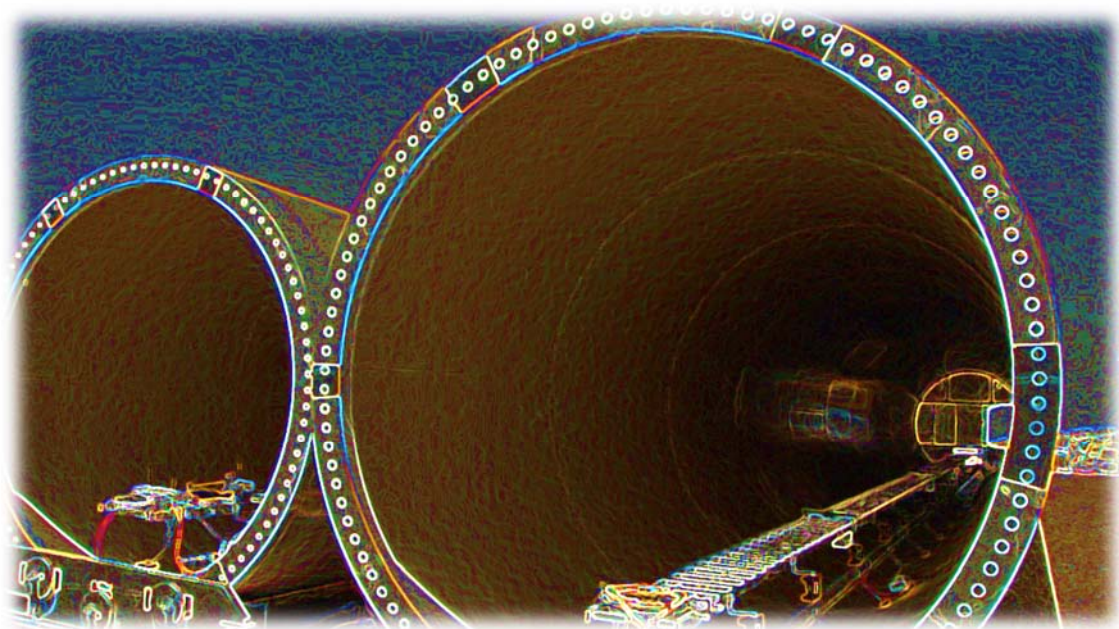
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Μεταπτυχιακή Εργασία

Ηλία Δ. Θανάσουλα

ΚΟΠΩΣΗ ΣΥΝΔΕΣΣΕΩΝ ΣΕ ΠΥΛΩΝΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών



Επιβλέπων Καθηγητής

Χ. Γαντές

Αθήνα, Ιούλιος 2014

EMK ME 2014/02



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΜΕ 2014/02

Κόπωση συνδέσεων σε πυλώνες ανεμογεννητριών

Ηλίας Δ. Θανάσουλας
Επιβλέπων: Χ. Γαντές, Καθηγητής ΕΜΠ

Ιούλιος 2014

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια μεγάλο ενδιαφέρον αναπτύσσεται για την αιολική ενέργεια και τη διερεύνηση ποικίλων θεμάτων που αφορούν το σχεδιασμό, την κατασκευή αλλά και τη λειτουργία των ανεμογεννητριών. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, οι ανεμογεννήτριες μεγαλώνουν συνεχώς, αυξάνοντας το ύψος των πυλώνων και το μήκος των πτερυγίων, προκειμένου να αξιοποιηθεί καλύτερα το αιολικό δυναμικό, με αποτέλεσμα την αύξηση των φορτίων που τις καταπονούν.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, αρχικά διερευνήθηκαν τα φορτία ανέμου καθώς και η επιρροή τους στην απόκριση της ανεμογεννήτριας, πραγματοποιώντας παραμετρικές αναλύσεις και μεταβάλλοντας καίρια στοιχεία του προσομοιώματος, μέσω κατάλληλων λογισμικών της National Renewable Energy Laboratory (NREL). Για μια τυπική ανεμογεννήτρια ισχύος 1.5 mW, οι παράμετροι που εξετάστηκαν είναι η μέση ταχύτητα 10 λεπτών του ανέμου και η ένταση τύρβης του, η γωνία πρόπτωσης του ανέμου καθώς και παράμετροι που αφορούν μηχανολογικά στοιχεία της ανεμογεννήτριας, επηρεάζουν όμως καθοριστικά τα εντατικά μεγέθη στον πυλώνα. Τέτοιες παράμετροι είναι το σύστημα κλίσης πτερυγίων και το σύστημα περιστροφής της ατράκτου.

Εν συνεχεία προσομοιώθηκαν αριθμητικά με πεπερασμένα στοιχεία τυπικές συνδέσεις αποκατάστασης συνέχειας του πυλώνα και εκτελέστηκαν μη γραμμικές αναλύσεις γεωμετρίας υπό τα πραγματικά δυναμικά φορτία ανέμου που υπολογίστηκαν αρχικά. Οι συνδέσεις αυτές υλοποιούνται μέσω διπλών δακτυλιοειδών ελασμάτων, τα οποία είναι εργοστασιακά συγκολλημένα σε κάθε τμήμαχος του πυλώνα στις θέσεις αποκατάστασης της συνέχειας, και κοχλιώνονται μεταξύ τους με προεντεταμένους κοχλίες. Η μεταβίβαση της έντασης μεταξύ των δύο τμημάτων του πυλώνα γίνεται μέσω δυνάμεων επαφής στη σύνδεση, γεγονός που καθιστά το πρόβλημα μη γραμμικό. Για την ανάλυση του προβλήματος, οι κοχλίες και τα ελάσματα της υπό μελέτη σύνδεσης προσομοιώθηκαν με πεπερασμένα στοιχεία διαφόρων τύπων, τρισδιάστατων και δισδιάστατων. Οι επαφές ανάμεσα στα ελάσματα, της άντυγας του ελάσματος και του κορμού του κοχλία και της κεφαλής του κοχλία με το έλασμα λήφθηκαν υπόψη με κατάλληλα στοιχεία επαφής.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε έλεγχος σε κόπωση για τα μέλη της σύνδεσης, συνολικά στο χρόνο ζωής της ανεμογεννήτριας σύμφωνα με το EN 1993-1-9. Οι δράσεις κόπωσης υπολογίστηκαν από τεχνητές χρονοϊστορίες ανέμου που παρήχθησαν, και εν κατακλείδι προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα για το σωστό σχεδιασμό αυτού του τύπου συνδέσεων.



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

POSTGRADUATE THESIS
EMK ME 2014/02

Fatigue analysis of wind turbine towers connections

Ilias D. Thanasoulas

Supervised by Prof. Charis J. Gantes

July 2014

Abstract

Nowadays, in-line with the objective of growing energy production from renewable sources, wind turbine dimensions increase in order to take better advantage of the available wind potential. Namely, taller towers introduce higher wind velocities, while longer blades provide larger incident area. As a result, the wind load acting on wind turbine towers increases significantly.

In the present postgraduate thesis, the wind loads due to artificial wind pressure time histories, obtained via an appropriate aerodynamic approach, and the dynamic response of wind turbines are initially investigated through parametric analysis. For this purpose three public domain computational engineering tools from National Renewable Energy Laboratory (NREL) are used. For a wind turbine of rated power 1.5 mW, mean 10-minute wind speed, turbulence intensity and angle of the average wind speed were chosen to be investigated. As far as the control systems of modern wind turbines, blade pitch control and yaw orientation system were chosen to be investigated due to their importance for the design forces of the tower.

Additionally, several numerical models simulating typical connections between adjacent parts of tubular wind turbine towers are created with the finite element program ADINA, in order to perform nonlinear dynamic analysis. Such connections are realized by means of double ring flanges that are pre-welded on the adjacent shell parts and are bolted together with fully preloaded bolts. Contact elements are appropriately used to introduce the connection's nonlinear behavior due to the interaction between flanges and bolts and between nuts and flanges. The parts of the connections are simulated with various types of finite elements such as 3d-solid, shell and beam elements.

Finally, these models are used for fatigue checks according to Annex A of EN 1993-1-9, taking realistically into consideration the dynamic nature of applied wind loads as mentioned. Artificial wind pressure time histories are used for this purpose, and the cumulative damage at all parts of the connection is estimated, for the whole life time of the wind turbine. In conclusion, useful results are obtained for the proper design of such connections against fatigue failure.