



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ
ΣΕ ΠΥΛΩΝΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ
ΒΑΣΕΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ**



Αικατερίνη Νταϊφώτη

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Καθηγητής ΕΜΠ

Συνεπιβλέπουσα: Κωνσταντίνα Κουλάτσου, Υποψήφια Διδάκτορας
ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2014

ΕΜΚ ΔΕ 2014/ 28



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΔΕ 2014/ 28

Διερεύνηση της συμπεριφοράς συνδέσεων σε πυλώνες ανεμογεννητριών βάσει αριθμητικών προσομοιώσεων

Αικατερίνη Η. Νταϊφώτη
Επιβλέπων: Χ. Γαντές, Καθηγητής ΕΜΠ
Συνεπιβλέπουσα: Κ. Κουλάτσου, Υποψήφια Διδάκτορας ΕΜΠ
Νοέμβριος 2014

Περίληψη

Με την πάροδο του χρόνου, η συνεχής αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας οδηγεί στην ανάγκη καλύτερης εκμετάλλευσης του αιολικού δυναμικού. Για τον σκοπό αυτό τα ύψη των σύγχρονων ανεμογεννητριών συνεχώς αυξάνονται και κατ' επέκταση και τα φορτία που τις καταπονούν. Λόγω της δυναμικής φύσης των φορτίων ανέμου, τα οποία αποτελούν το κρισιμότερο φορτίο μίας ανεμογεννήτριας, η κόπωση είναι το κυρίαρχο φαινόμενο αστοχίας μίας τέτοιας κατασκευής, γι' αυτό και η μελέτη των συνδέσεων μεταξύ διαδοχικών τμημάτων παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η σύνδεση αποκατάστασης συνέχειας στα 0,85 του ύψους του πυλώνα μία τυπικής ανεμογεννήτριας ονομαστικής ισχύος 1,5mW και ύψους πυλώνα 80m. Οι συνδέσεις αυτές υλοποιούνται μέσω δακτυλιοειδών ελασμάτων συγκολλημένων σε κάθε τμήμα του πυλώνα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με προεντεταμένους κοχλίες. Προκειμένου να διερευνηθεί η συμπεριφορά αυτών των συνδέσεων δημιουργήθηκαν δύο διαφορετικά αριθμητικά προσομοιώματα και υποβλήθηκαν σε μη γραμμικές αναλύσεις υλικού και γεωμετρίας υπό στατικά φορτία, μέσω του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων ADINA. Μέσω των αναλύσεων αυτών επιχειρήθηκε να προσδιορισθεί το οριακό φορτίο αντοχής των συνδέσεων. Σε πρώτη φάση, προσομοιώθηκε ένα τμήμα μόνο της σύνδεσης μορφής βραχέος L, με τρισδιάστατα στοιχεία όγκου τόσο για το έλασμα και τον πυλώνα, όσο και για τον κοχλία, ενώ σε δεύτερη φάση, προσομοιώθηκε ολόκληρη η σύνδεση αποκατάστασης συνέχειας καθώς επίσης και τμήμα του πυλώνα με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία και στοιχεία δοκού τύπου "bolt" για τους κοχλίες. Και για τα δύο αριθμητικά προσομοιώματα οι συνθήκες επαφής μεταξύ των ελασμάτων, της άντυγας του ελάσματος και του κορμού του κοχλίου και της κεφαλής του κοχλίου με το έλασμα λήφθηκαν υπόψη και προσομοιώθηκαν με κατάλληλα στοιχεία επαφής. Η μη γραμμικότητα γεωμετρίας έγκειται στο γεγονός ότι το εξωτερικά επιβαλλόμενο φορτίο παραλαμβάνεται μέσω των αναπτυσσόμενων δυνάμεων επαφής μεταξύ των δύο ελασμάτων της σύνδεσης και είναι η κυρίαρχη μορφή μη γραμμικότητας του προβλήματος.

Τέλος, πραγματοποιήθηκαν παραμετρικές αναλύσεις και για τα δύο αριθμητικά προσομοιώματα, ώστε να αξιολογηθεί ο τρόπος που επηρεάζει η μεταβολή διαφόρων χαρακτηριστικών της σύνδεσης την συμπεριφορά της και την τιμή του οριακού φορτίου. Οι παράμετροι οι οποίες μελετήθηκαν ήταν η τιμή της δύναμης προέντασης του κοχλίου, η διάμετρος του κοχλίου, το πάχος των συνδεόμενων ελασμάτων της σύνδεσης καθώς επίσης και η ποιότητα του κοχλίου.



NATIONAL AND TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
DIVISION OF STRUCTURAL ENGINEERING
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES

DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2014/ 28

Investigation of the behavior of wind turbine tower connections by numerical simulations

Aikaterini I. Ntaifoti

Supervisor: Ch. Gantes, Professor N.T.U.A
Co-Supervisor: K. Koulatsou, PhD Candidate
November 2014

Abstract

Nowadays, the fact of growing energy consumption results to an effort for better exploitation of the available wind resources. For this purpose, the height of modern wind turbines continuously increases and so do the wind loads acting on them. Due to the dynamic nature of the wind loads, which are the prevailing loads on wind turbines, fatigue is one of the most common types of structural failure. Thus, investigation of the connections between adjacent parts is of particular interest.

In the present diploma thesis, one such connection located at 85% of the tower height of a wind turbine of rated power 1.5mW with a tower height of 80m was investigated and it was attempted to determine its ultimate load. Such connections are realized by means of ring flanges that are pre-welded at each part of the tower and are bolted together with fully preloaded bolts. In order to describe these connections, two different numerical models were created. Due to material and geometrical non linearities, nonlinear analysis is performed with finite element program ADINA. Firstly, only a part of the L-shaped connection was simulated, using 3D solid elements both for the ring flange and the tower as well as the bolt. Then, the entire bolted ring flange connection, as well as parts of the tower, were simulated employing shell elements for the flange and "bolt" beam elements for the bolts. The interaction between flanges and bolts and between nuts and flanges was appropriately taken into account in both models using contact elements. Geometrical nonlinearity is due to the fact that the imposed load on the connection is resisted through the redistribution of the contact forces on the contact surfaces.

Finally, in order to evaluate the influence of different parameters to the connection's behavior and the value of the ultimate load, parametric analysis for both numerical simulations were performed. The parameters investigated were the value of pretension of the bolt, the diameter and the quality of the bolt, as well as the thickness of the ring flanges.