



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΤΡΟΠΩΝ ΣΥΓΚΟΛΗΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΒΡΑΧΕΟΣ L ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ



Διπλωματική Εργασία
Κωνσταντίνος Θεοχάρης

ΕΜΚ ΔΕ 2015 30

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

Copyright © Κωνσταντίνος Θεοχάρης, 2015
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 © Konstantinos Theocharis, 2015
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).

Κωνσταντίνος Θεοχάρης (2015)

Αξιολόγηση εναλλακτικών τρόπων συγκόλλησης σε συνδέσεις βραχέος L πυλώνων ανεμογεννητριών
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2015 30
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Konstantinos Theocharis (2015)

Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2015 30
Evaluation of alternative welding details for L-stub connections in wind turbine towers
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Χάρη Γαντέ για την υποδειγματική καθοδήγηση και την απεριόριστη βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας. Η παρουσία του ήταν η βέλτιστη δυνατή, δίνοντάς μου πάντα το κίνητρο και τα απαραίτητα εφόδια για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προέκυψαν κατά την διάρκεια της εργασίας μου. Η προθυμία, το ήθος και η εμπιστοσύνη που μου έδειξε τον καθιστούν πρότυπο δασκάλου.

Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω και στον Διπλωματούχο Πολιτικό Μηχανικό Ε.Μ.Π. κ. Ηλία Θανάσουλα. Η βοήθεια που μου προσέφερε και ο χρόνος που πρόθυμα αφιέρωσε ήταν καθοριστικής σημασίας για την διεκπεραίωση της εργασίας μου.

Θέλω να ευχαριστήσω την Διπλωματούχο Πολιτικό Μηχανικό Ε.Μ.Π. Αικατερίνη Νταϊφώτη, η διπλωματική εργασία της οποίας αποτέλεσε την βάση της εργασίας μου.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον συμφοιτητή και φίλο μου Μωρίς. Η παρουσία του στην φοιτητική μου ζωή μου χάρισε ανεκτίμητες στιγμές.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΔΕ 2015 30

Αξιολόγηση εναλλακτικών τρόπων συγκόλλησης σε συνδέσεις βραχέος L πυλώνων ανεμογεννητριών

Κωνσταντίνος Θεοχάρης

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση εναλλακτικών τρόπων συγκόλλησης σε συνδέσεις αποκατάστασης συνέχειας του σωληνωτού περιβλήματος μιας ανεμογεννήτριας για καταπόνηση από φορτία κόπωσης. Οι υπό μελέτη εναλλακτικοί τρόποι σύνδεσης είναι οι: φλάντζα με ορισμένες επιφάνειες επαφής, φλάντζα προσυγκόλλησης, φλάντζα με προέκταση και φλάντζα εξωραφής, για σύνδεση στο 0,85 του ύψους του πυλώνα μιας τυπικής ανεμογεννήτριας οριζώντιου άξονα, ονομαστικής ισχύος 1,5mW και ύψους πυλώνα 80m.

Για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς κάθε εναλλακτικού τρόπου σύνδεσης προσομοιώνεται ένα κομμάτι της σύνδεσης βραχέος L με τρισδιάστατα στοιχεία όγκου, το οποίο περιλαμβάνει έναν κοχλία, τις συνδεόμενες δακτυλιοειδείς φλάντζες και ένα κομμάτι του ελάσματος του πυλώνα. Τα αριθμητικά προσομοιώματα, τα οποία αντιστοιχούν στον πλέον εφελκυσμένο κοχλία, δέχονται εφελκυστική δύναμη περί τα 100kN. Πραγματοποιούνται μη γραμμικές αναλύσεις χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ADINA v9.0.0, οι οποίες επικεντρώνονται στον προσδιορισμό της συμπεριφοράς των ραφών στους διάφορους εναλλακτικούς τρόπους συγκόλλησης. Στις αναλύσεις δεν λαμβάνεται υπόψη η μη γραμμικότητα του υλικού, δεδομένου ότι η αστοχία στις εν λόγω συνδέσεις αναμένεται να προέλθει μέσω κόπωσης, η οποία πραγματοποιείται με τις τάσεις να παραμένουν στην ελαστική περιοχή.

Για κάθε εναλλακτικό τρόπο συγκόλλησης γίνονται αναλύσεις για δύο συστήματα συνοριακών συνθηκών. Το πρώτο περιλαμβάνει πάκτωση στην βάση του κοχλία και στην κάτω φλάντζα και δέσμευση της μετακίνησης κατά την εφαπτομενική διεύθυνση στον άξονα συμμετρίας. Το δεύτερο περιλαμβάνει τις ίδιες συνοριακές συνθήκες με το πρώτο και έχει σαν επιπρόσθετη συνθήκη την δέσμευση της μετακίνησης κατά την εφαπτομενική διεύθυνση στις ακραίες παρειές του προσομοιώματος, προσομοιώνοντας έτσι καλύτερα την συνέχεια του υλικού στο φυσικό πρόβλημα.

Για κάθε εναλλακτικό τρόπο συγκόλλησης παρουσιάζεται η κατανομή των τάσεων σε αυτή σε διάφορα στάδια επιβολής του φορτίου. Μέσω του τρισδιάστατου προσομοιώματος επιτυγχάνεται η απεικόνιση της κατανομής των τάσεων με μεγάλη ακρίβεια. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τον προσδιορισμό σε κάθε συγκόλληση των περιοχών που παραμένουν σχετικά πιο ανενεργές και των περιοχών που παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις τάσεων. Τέλος, γίνεται σύγκριση των τεσσάρων αυτών εναλλακτικών τρόπων σύνδεσης.



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

DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2015 30

Evaluation of alternative welding details for L-stub connections in wind turbine towers

Konstantinos Theocharis

Supervisor: Charis Gantes, Dr. Civil Engineer, Professor N.T.U.A.

ABSTRACT

The present diploma thesis deals with the evaluation of alternative welding details for splicing connections of the tubular body of wind turbines under fatigue loads due to wind. The alternative connections discussed are: flange with defined contact area, pre-welding flange, flange with extension and external stitching flange, for a connection at 85% of the total height of the tower of a typical horizontal axis wind turbine, with rated power 1.5mW and total tower height of 80m.

For the evaluation of the behaviour of every alternative connection technique, a typical L-stub connection is simulated, using 3D solid elements, which includes a bolt, the ring-like connecting flanges and a part of the tower's shell. The numerical models are subjected to a tensile force of approximately 100kN. Non linear analysis is performed using the finite element program ADINA v9.0.0, focusing on the welding's behavior for each different solution. Material non linearities are not taken into consideration as failure of the particular connections is expected to be due to fatigue, which takes place with the stresses remaining in the elastic area.

For each alternative welding detail, analyses are carried out for two sets of boundary conditions. The first includes fixing for x, y and z translation at the base of the bolt and the lower flange and of translation in the tangential direction of all nodes on the symmetry axis. The second includes the same boundary conditions as the first and the additional condition of restriction of the translation in the tangential direction of the edges of the model, thus simulating better the continuity of the flanges and shell in the physical problem.

For every alternative welding solution, the stress distribution is presented in different stages of the load imposition. Through the 3D-simulation the stress distribution is depicted with high accuracy. This results in the recognition of the areas that remain relatively inactive and those where high stress concentrations are encountered for each welding alternative. Finally, a comparison of the four alternative connections is presented.