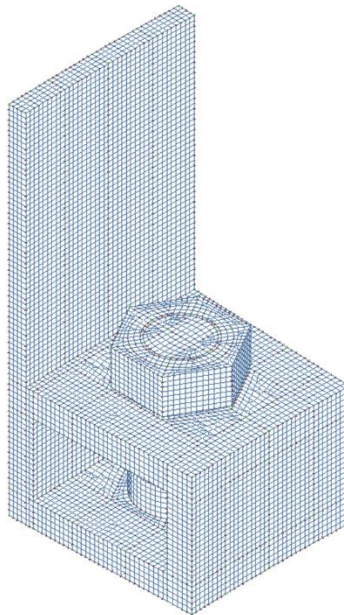




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΑΚΤΥΛΙΟΕΙΔΩΝ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΠΥΛΩΝΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΟΙΛΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ



Διπλωματική Εργασία
Νικόλαος Μιχόπουλος

ΕΜΚ ΔΕ 2022 26

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Καθηγητής ΕΜΠ
Συνεπιβλέπων: Κωνσταντίνα Κουλάτσου, Υποψήφια Διδάκτορας ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2022

Copyright © Νικόλαος Μιχόπουλος, 2022
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 © Nikolaos Michopoulos, 2022
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).

Νικόλαος Μιχόπουλος (2022)

Αριθμητική προσομοίωση δακτυλιοειδών συνδέσεων πυλώνων ανεμογεννητριών με χρήση κοίλων διατομών

Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2022 26

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Nikolaos Michopoulos (2022)

Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2022 26

Numerical simulation of ring flange connections in wind turbine towers using hollow sections

Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Χάρη Γαντέ για την καθοδήγηση και τη συνεχή του στήριξη.

Θα ήθελα, επιπλέον, να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Κωνσταντίνα Κουλάτσου για τη σημαντική συνεισφορά της.

Στην οικογένεια μου,



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΔΕ 2022 26

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΑΚΤΥΛΙΟΕΙΔΩΝ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΠΥΛΩΝΩΝ
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΟΙΛΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ**

Νικόλαος Μιχόπουλος

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Καθηγητής ΕΜΠ

Συνεπιβλέπων: Κωνσταντίνα Κουλάτσου, Υποψήφια Διδάκτορας ΕΜΠ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις μέρες μας, προκειμένου να αξιοποιηθεί περισσότερο αιολικό δυναμικό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι ανεμογεννήτριες δέχονται περισσότερα φορτία καθώς γίνονται μεγαλύτερες. Η κατάσταση αυτή τείνει στη χρήση μεγαλύτερων συνδέσεων αποκατάστασης συνέχειας με αποτέλεσμα το κόστος παραγωγής των συνδέσεων να αυξάνεται σημαντικά. Το κόστος παραγωγής των συνδέσεων αυτών αυξάνεται λόγω της περισσότερης χρήσης υλικού χάλυβα, αλλά κυρίως λόγω της δυσκολίας παραγωγής τους σύμφωνα με τις σημερινές δυνατότητες των βιομηχανιών παραγωγής χάλυβα. Επιδιώκοντας τη μείωση του κόστους, μελετάται η συμπεριφορά κοίλης ορθογωνικής διατομής ως σύνδεση αποκατάστασης συνέχειας. Συγκεκριμένα, εξετάζεται η σύνδεση στο 85% του ύψους του πυλώνα μιας τυπικής ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα τριών πτερυγίων και ισχύος 1.5MW. Αρχικά, χρειάζεται να μελετηθεί η συμβατική περίπτωση βραχέος L διατομής PL 60x130 μέσω αριθμητικών αναλύσεων και πειραμάτων ώστε να εκτιμηθεί η αντοχή της σύνδεσης και να κατανοηθεί η απόκρισή της, όπου παράλληλα, στόχος είναι και η βέλτιστη προσομοίωσή της. Έπειτα, διερευνάται η συμπεριφορά κοίλης ορθογωνικής διατομής RHS 80x120x8 χωρίς και με ενίσχυση 4mm περί τον κοχλία. Μέσω παραμετρικών αναλύσεων, εξετάζονται η επιρροή του πάχους της διατομής χωρίς και με παρουσία της ενίσχυσης, καθώς και η επιρροή της ενίσχυσης και του πάχους της. Επιπλέον, εξετάζονται η επιρροή του ύψους, του πλάτους, της ποιότητας του χάλυβα, της βέλτιστης τοποθέτησης του κοχλία, της δύναμης προέντασης, της τοποθέτησης οριζόντιας ενίσχυσης στο μέσον της διατομής και η επιρροή της διαμέτρου του κοχλία. Προσομοιώνεται το τμήμα σύνδεσης βραχύ L στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ADINA με χρήση 1ης τάξεως στοιχεία. Η χρήση μη γραμμικών υλικών για τον κοχλία και τη σύνδεση, καθώς και η προσομοίωση της επαφής μεταξύ των επιφανειών, καθιστούν το πρόβλημα μη γραμμικό απαιτώντας αντίστοιχες μη γραμμικές μεθόδους επίλυσης. Συμπερασματικά, προκύπτει πως οι κοίλες ορθογωνικές διατομές, για αυξημένα μηχανικά χαρακτηριστικά, πλησιάζουν ικανοποιητικά τη συμπεριφορά του συμβατικού βραχέος L. Ειδικότερα, με την παρουσία της ενίσχυσης περί τον κοχλία, αυξάνεται ακόμη περισσότερο η δυσκαμψία και η αντοχή βελτιώνοντας, παράλληλα, την απόκρισή της.



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

DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2022 26

**NUMERICAL SIMULATION OF RING FLANGE CONNECTIONS IN WIND
TURBINE TOWERS USING HOLLOW SECTIONS**

Nikolaos Michopoulos

Supervisor: Charis Gantes, Professor NTUA

Co-supervisor: Konstantina Koulatsou, PhD Candidate NTUA

ABSTRACT

Nowadays, in order to harness more wind potential for electricity generation, wind turbines are receiving more loads as they get larger. This situation tends to lead to the use of larger connections with the result that the cost of producing these connections is growing significantly. The production cost of these connections is increasing due to the increased use of steel material, but mainly to the difficulty of producing them according to the current capabilities of the steel production industries. In pursuit of cost reduction, the behavior of a hollow rectangular section is studied as a connection. Specifically, the connection at 85% of the pylon height of a typical three-blade horizontal axis wind turbine with a power of 1.5MW is considered. Initially, the conventional case of the L-stub PL 60x130 section is studied in order to estimate its strength and to understand its response through numerical analyses and experiments, where the aim is the optimal simulation of the structure. Also, the behavior of a hollow rectangular RHS 80x120x8 section with and without 4mm reinforcement around the bolt is investigated. Furthermore, the influence of the section thickness with and without the presence of the reinforcement around the bolt, as well as the influence of the reinforcement and its thickness are examined through numerical analyses. The influence of height, width, steel quality, optimum bolt placement, prestressing force, the placement of horizontal reinforcement in the middle of the section and the diameter of the bolt are also considered. The L-stub connection part is simulated in the ADINA finite element program using 1st order elements. The use of non-linear materials for the bolt and the section, as well as the simulation of the contact between the surfaces, create a non-linear problem, requiring its corresponding solution methods. In summary, it is shown that the hollow rectangular sections for increased mechanical characteristics sufficiently approximate the behavior of the conventional L-stub connection. In addition to the presence of the reinforcement around the bolt, the stiffness and strength are further increased while improving its response.