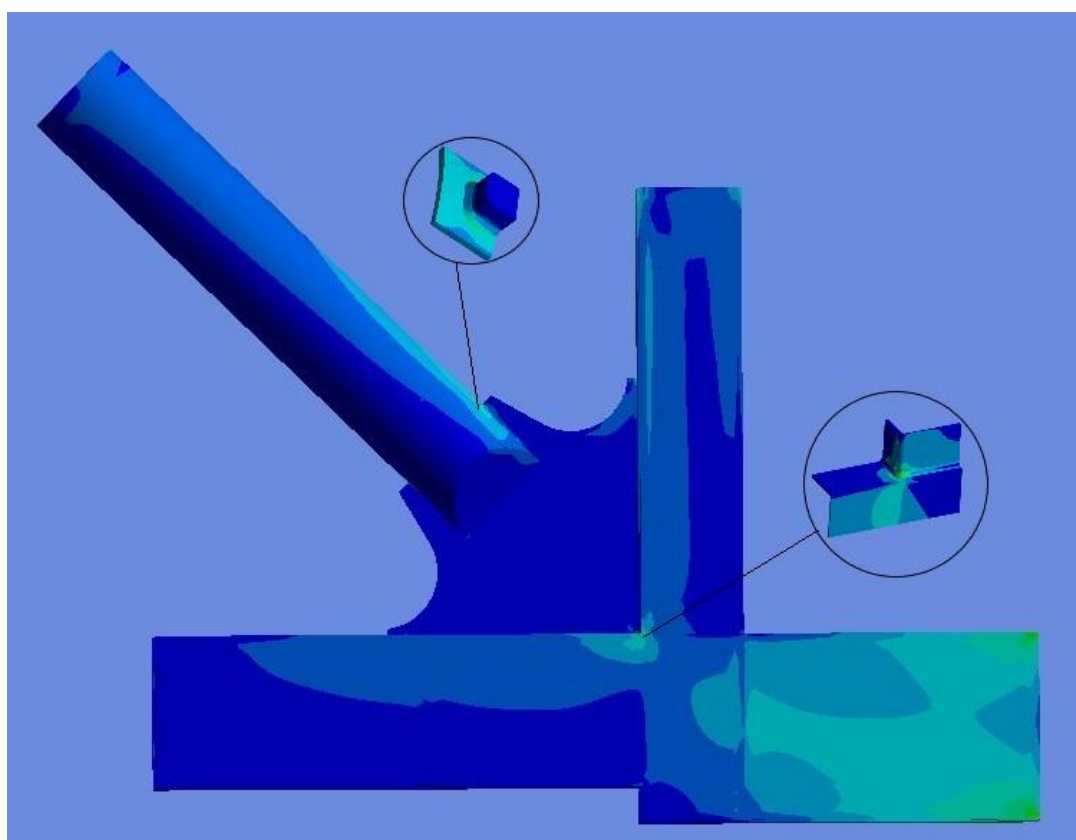




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΠΜΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ
ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ



ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΓΕΡΑΝΩΝ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΩΚΙΒΩΤΙΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΦΟΡΤΙΩΝ ΚΟΠΩΣΕΩΣ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΙΩΑΝΝΗΣ-ΑΛΚΙΝΟΟΣ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ

Επιβλέπων: Χαράλαμπος Γαντές, Καθηγητής Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ

Συνεπιβλέπων: Δρ Στέφανος Γκατζογιάννης

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2024

Copyright © Ιωάννης-Αλκίνοος Παπαδόπουλος, 2024

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 Μεταπτυχιακής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Ioannis-Alkinoos Papadopoulos, 2024

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).

Ιωάννης-Αλκίνοος Παπαδόπουλος (2024)

**Μέθοδοι σχεδιασμού συγκολλήσεων λιμενικών γερανών
εμπορευματοκιβωτίων έναντι φορτίων κοπώσεως**

Μεταπτυχιακή Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 007

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Ioannis-Alkinoos Papadopoulos (2024)

Master's Thesis ΕΜΚ ΔΕ 007

Weld design methods for container port cranes against fatigue loads

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω θερμές ευχαριστίες στον κ. Χαράλαμπο Γαντέ, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ επιβλέποντα της εργασίας μου για την ενθάρρυνση, τη συστηματική καθοδήγηση και τη συνολική βοήθεια που μου προσέφερε. Ήταν τιμή μου, που δέχθηκε να αναλάβει την επίβλεψη της μεταπτυχιακής εργασίας μου.

Επίσης, θα ήθελα ιδιαίτερα να ευχαριστήσω τον Δρα Στέφανο Γκατζογιάννη, Εξωτερικό Συνεργάτη του Εργαστηρίου Μεταλλικών Κατασκευών, της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ και συνεπιβλέποντα της μεταπτυχιακής μου εργασίας, για τη διαρκή υποστήριξη, τις υποδείξεις και τις εποικοδομητικές συζητήσεις που συνέβαλλαν ουσιαστικά στην πρόοδο και την επιτυχή ολοκλήρωσή της.

Επίσης, ευχαριστώ τα μέλη της επιτροπής αξιολόγησης, τον Αναπλ. Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ Δημήτριο Βαμβάτσικο και τον Επικ. Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ Πάυλο Θανόπουλο, για τα εποικοδομητικά σχόλια και την αξιολόγηση της εργασίας μου.

Ευχαριστώ και όλους/όλες τους καθηγητές και τις καθηγήτριες μου στο ΔΜΠΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ, για την εκπαίδευση που μας προσέφεραν και τους νέους ορίζοντες που μας άνοιξαν.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς και την αδελφή μου για την αγάπη, την ενθάρρυνση, την υπομονή, την ηθική συμπαράσταση και την ουσιαστική υποστήριξη που μου προσέφεραν όλα τα χρόνια των σπουδών μου για την επίτευξη των στόχων μου.

**Αφιερώνεται
στην οικογένειά μου**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία με τίτλο: «ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΓΕΡΑΝΩΝ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΩΚΙΒΩΤΙΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΦΟΡΤΙΩΝ ΚΟΠΩΣΕΩΣ», πραγματεύεται το πρόβλημα της κοπώσεως στις μεταλλικές συνδέσεις λιμενικών γερανών εμπορευματοκιβωτίων. Σκοπός της είναι να συγκρίνει τα αποτελέσματα κανονιστικών μεθόδων σχεδιασμού οι οποίες περιλαμβάνουν είτε αναλυτικές λύσεις είτε εφαρμογές της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων και να εξάγει συμπεράσματα χρήσιμα τόσο σε ερευνητικό επίπεδο όσο και για τις πρακτικές εφαρμογές του δομοστατικού μηχανικού.

Πραγματοποιείται μια εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση των μηχανισμών κόπωσης σε μεταλλικές κατασκευές και των διαθέσιμων μεθόδων υπολογισμού της αντοχής σε κόπωση, με έμφαση στις συγκολλήσεις.

Για τον υπολογισμό της αντοχής σε κόπωση των υπό εξέταση λεπτομερειών παρουσιάζεται τόσο το θεωρητικό υπόβαθρο όσο και η εφαρμογή των μεθόδων που προτείνονται από τις σχετικές κανονιστικές διατάξεις τόσο του Ευρωκώδικα όσο και του Διεθνούς Ινστιτούτου Συγκολλήσεων καθώς και κανονιστικών διατάξεων σχετικά με τους λιμενικούς γερανούς όπως η μέθοδος της ονομαστικής τάσης, η μέθοδος κατασκευαστικών τάσεων και η μέθοδος της ενεργής τάση εγκοπής.

Για τον υπολογισμό των φορτίων κοπώσεως, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από την ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία συμπεριλαμβανομένων και εργασιών του Εργαστηρίου Μεταλλικών Κατασκευών της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ, καθώς και αναλύσεις που εκπονήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι κοντά στη βιομηχανική πρακτική και εξάγονται συμπεράσματα χρήσιμα τόσο σε ερευνητικό επίπεδο όσο και για τις πρακτικές εφαρμογές του δομοστατικού μηχανικού.

Η εργασία περιλαμβάνει επίσης την περιγραφή των λιμενικών γερανών, των διαφόρων τύπων τους και των κατασκευαστικών τους στοιχείων, προκειμένου να συνδεθεί η μελέτη κόπωσης με τα πραγματικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι λιμενικοί γερανοί κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους.

Ακολουθεί η ανάλυση του υπό μελέτη γερανού, όπου παρουσιάζονται τα δεδομένα φόρτισης και τα σενάρια κόπωσης, καθώς και η προσομοίωση της κατασκευής.

Αξιολογούνται τα αποτελέσματα των αναλύσεων και συγκρίνονται οι προβλέψεις των διαφόρων μεθόδων, προκειμένου να επιλεγεί η πιο κατάλληλη για την εκτίμηση της ζωής κόπωσης των συγκολλήσεων.

Παρουσιάζονται οι περιορισμοί των διαφόρων μεθόδων και προτείνονται κατευθυντήριες γραμμές για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση.

Συζητούνται οι παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων των αναλύσεων, όπως οι αβεβαιότητες στα δεδομένα εισόδου και οι απλουστεύσεις που γίνονται στα μοντέλα.

Τα κύρια συμπεράσματα της μελέτης αφορούν στην αξιοπιστία των διαφόρων μεθόδων υπολογισμού της κόπωσης, την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου για την εκτίμηση της ζωής κόπωσης των συγκολλήσεων σε λιμενικούς γερανούς και τις προκλήσεις που αντιμετωπίζονται στην ανάλυση της κόπωσης σε σύνθετες κατασκευές.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης μπορούν να συμβάλουν στην ασφαλέστερη σχεδίαση και κατασκευή λιμενικών γερανών, καθώς και στην ανάπτυξη αλγορίθμων για την εκτίμηση της ζωής κόπωσης των μεταλλικών κατασκευών.

Η εργασία καταλήγει σε συμπεράσματα που αφορούν στη συνολική αποτίμηση της αντοχής των συγκολλημένων κατασκευών και προτάσεις για περαιτέρω μελέτη και βελτίωση των υφιστάμενων μεθοδολογιών.

Λέξεις-Κλειδιά: Διεθνές Ινστιτούτο Συγκολλήσεων, Ευρωκώδικας, Κανονιστικές διατάξεις, Κόπωση, Λιμενικοί γερανοί, Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων, Μέθοδος ονομαστικής τάσης, Μέθοδος κατασκευαστικών τάσεων, Μέθοδος ενεργής τάσης εγκοπής, Μεταλλικές κατασκευές, Μεταλλικές συνδέσεις, Συγκολλήσεις.

ABSTRACT

This Master's Thesis, titled: **“DESIGN METHODS FOR WELDS IN CONTAINER PORT CRANES AGAINST FATIGUE LOADS”** addresses the issue of fatigue in the steel joints of container port cranes. The study aims to compare the outcomes of regulatory design methods, which include both analytical solutions and finite element method (FEM) applications, in order to derive conclusions useful both for research and for practical applications in structural engineering. A comprehensive literature review on fatigue mechanisms in metal structures and available fatigue strength calculation methods, with a focus on welds, is conducted.

For the calculation of fatigue strength in the details under examination, both theoretical foundations and the application of methods recommended by relevant regulatory frameworks are presented, including Eurocode, the International Institute of Welding (IIW), and standards specific to port cranes. The fatigue assessment methods include the nominal stress method, the structural stress method, and the effective notch stress method. Fatigue load data were derived from Greek and international literature, as well as studies from the Metal Structures Laboratory of the National Technical University of Athens (NTUA), along with analyses performed as part of this thesis.

The data used are close to industrial practice, and conclusions are drawn that are valuable for both research and practical applications in structural engineering. The thesis also includes descriptions of port cranes, their various types, and their constructional elements, in order to connect fatigue study with real-world problems that port cranes face during operation.

Following this, the analysis of the crane under study is presented, including loading data, fatigue scenarios, and structural simulation. The results of the analyses are evaluated, and the predictions of various methods are compared to identify the most suitable one for estimating the fatigue life of welds. Limitations of different methods are highlighted, and guidelines for selecting the appropriate method for each specific case are proposed.

Factors affecting the accuracy of analysis results, such as input data uncertainties and model simplifications, are discussed. The main conclusions focus on the reliability of different fatigue calculation methods, the selection of the appropriate method for estimating the fatigue life of welds in port cranes, and the challenges in fatigue analysis for complex structures. The results of this study can contribute to the safer design and construction of port cranes, as well as to the development of algorithms for estimating the fatigue life of steel structures.

ABSTRACT

The study concludes with an overall assessment of the strength of welded structures and recommendations for further research and improvement of existing methodologies.

Keywords: Effective notch stress approach, Eurocode, Fatigue, Finite element method, Hot spot stress approach, International Institute of Welding, Nominal stress approach, Port cranes, Regulatory standards, Steel connections, Steel structures, Welds.