



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ
ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΑΤΕΛΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΑΙ
ΑΝΤΟΧΗ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΜΕΛΩΝ ΚΑΙ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Μαρία Καλαφάτη

ΕΜΚ ΔΕ 2016 26

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

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

**Κανονιστική και αριθμητική διερεύνηση της
επιρροής ατελειών στην απόκριση και αντοχή
χαλύβδινων μελών και πλαισίων**

Διπλωματική Εργασία

Μαρία Καλαφάτη

ΕΜΚ ΔΕ 2016 26

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

Αθήνα, Ιούλιος 2016

Copyright © Μαρία Καλαφάτη, 2016
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 της συγγραφέως. 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 την συγγραφέα.

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

Copyright © Maria Kalafati, 2016
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).

Μαρία Καλαφάτη (2016)

“Κανονιστική και αριθμητική διερεύνηση της επιρροής ατελειών
στην απόκριση και αντοχή χαλύβδινων μελών και πλαισίων”

Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2016 26

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Maria Kalafati (2016)

Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2016 26

“Normative and numerical investigation of the influence of initial imperfections
in steel members and frames”

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται ο κύκλος φοίτησής μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Με την αφορμή αυτή θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλλαν, άμεσα ή έμμεσα, στην αποπεράτωση αυτής της προσπάθειας.

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, Καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. κ. Χάρη Γαντέ, για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος και την διαρκή και υποδειγματική καθοδήγηση. Η άρτια επιστημονική του κατάρτιση καθώς και το εξαιρετικό κλίμα συνεργασίας συνέβαλαν καταλυτικά στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Ιωάννη Ραυτογιάννη, Αναπληρωτή Καθηγητή του τομέα Δομοστατικής του Ε.Μ.Π και τον κ. Παύλο Θανόπουλο, Λέκτορα του τομέα Δομοστατικής του Ε.Μ.Π. για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή της διπλωματικής μου εργασίας.

Για την άμεση βοήθεια σε θέματα χρήσης λογισμικού και τις χρήσιμες συμβουλές του θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Υποψήφιο Διδάκτορα Ε.Μ.Π. Ηλία Θανάσουλα.

Για την τυποποίηση της μορφοποίησης του κειμένου θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα Ισαβέλλα Βασιλοπούλου, Δρ. Πολιτικό Μηχανικό του Ε.Μ.Π. και τον Βασίλη Μελισσιανό, Υποψήφιο Διδάκτορα του Ε.Μ.Π.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τους γονείς μου, Σπύρο και Δώρα, και την αδερφή μου, Βίκυ, η οποία επιμελήθηκε και το εξώφυλλο, για την υποστήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, καθώς και τους συμφοιτητές και φίλους μου για την συμπαράστασή τους.

Μαρία Καλαφάτη

Ιούλιος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΔΕ 2016 26

“Κανονιστική και αριθμητική διερεύνηση της επιρροής ατελειών στην απόκριση και αντοχή χαλύβδινων μελών και πλαισίων”

Μαρία Καλαφάτη

Επιβλέπων: Καθηγητής Χάρης Γαντές

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνάται η επιρροή των ατελειών στην απόκριση και την αντοχή χαλύβδινων μελών και πλαισίων, μέσω της εφαρμογής διατάξεων του Ευρωκώδικα 3 και της διενέργειας αριθμητικών επιλύσεων, με τη χρήση προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων.

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται εισαγωγή στη μη γραμμική συμπεριφορά των μεταλλικών κατασκευών και στην επιρροή των ατελειών σε φορείς με διαφορετικές μορφές αστοχίας. Γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στην εισαγωγή αρχικών ατελειών με το σχήμα των ιδιομορφών λυγισμού του φορέα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρατίθενται οι διατάξεις του Ευρωκώδικα 3, που αφορούν την εισαγωγή αρχικών ατελειών σε πλαίσια. Γίνεται επίσης ένας σύντομος σχολιασμός των ελλείψεων και των ασαφειών της κάθε διάταξης.

Το τρίτο κεφάλαιο αφορά θλιβόμενες αμφιέριστες ράβδους. Αρχικά παρουσιάζεται η αριθμητική επίλυση για τον γραμμικό ανελαστικό λυγισμό ατελούς ράβδου, στην οποία βασίζονται οι σχέσεις υπολογισμού του Ευρωκώδικα 3, για την αντοχή μελών σε καμπτικό λυγισμό, και οι αντίστοιχες καμπύλες λυγισμού. Στην συνέχεια πραγματοποιείται σειρά μη γραμμικών αναλύσεων σε πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων, για ατελείς αμφιέριστες ράβδους διαφορετικών ανηγμένων λυγηροτήτων και διατομών, οι οποίες προσομοιώνονται με πεπερασμένα στοιχεία δοκού (beam elements). Από τα αποτελέσματα αυτών των αναλύσεων, εξάγονται καμπύλες λυγισμού.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, επιλέγεται και διαστασιολογείται ένα επίπεδο μεταθετό μονώροφο πλαίσιο τυπικών διαστάσεων, στο οποίο ασκούνται κατακόρυφα φορτία, προκειμένου να εφαρμοστούν οι εναλλακτικές μέθοδοι εισαγωγής ατελειών. Για την κάθε μέθοδο εισαγωγής ατελειών, πραγματοποιούνται γραμμικές και μη γραμμικές αναλύσεις, και στην συνέχεια συγκρίνονται τα αποτελέσματά τους. Συγκεκριμένα γίνεται σύγκριση της αντοχής, των εντατικών μεγεθών, των δρόμων ισορροπίας χαρακτηριστικών κόμβων του φορέα, και των αποτελεσμάτων ελέγχων διατομών και μελών για φόρτιση με το φορτίο σχεδιασμού.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, ακολουθεί αντίστοιχη διαδικασία για ένα επίπεδο μεταθετό δώροφο πλαίσιο τυπικών διαστάσεων. Στις μεθόδους για τις οποίες προκύπτουν διαφορετικοί συνδυασμοί καθολικών και τοπικών ατελειών, εξετάζονται οι πιο πιθανές εναλλακτικές εκδοχές τους.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα της εργασίας και γίνονται προτάσεις για την περαιτέρω διερεύνηση των μεθόδων εισαγωγής ατελειών.



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

DIPLOMA THESIS
ΕΜΚ ΔΕ 2016 26

“Normative and numerical investigation of the influence of initial imperfections in steel members and frames”

Maria Kalafati

Supervisor: Professor Charis Gantes

ABSTRACT

In the present diploma thesis, the influence of initial imperfections in the behaviour and ultimate strength of steel members and frames is investigated. For this purpose, Eurocode regulations and numerical solution techniques, using finite element software, are applied.

The first chapter consists of an introduction to the non-linear behaviour of steel structures and the influence of initial imperfections in structures with different failure mechanisms. A particular reference to the choice of buckling modes as the shape of initial imperfections is made.

In the second chapter, the Eurocode 3 regulations regarding initial imperfections in frames are presented. In addition, some deficiencies and unclear suggestions in these clauses are discussed briefly.

In the third chapter, the behaviour of simply supported prismatic members under axial compression is presented. First of all, the theoretical approach of the linear plastic buckling of simply supported beams under axial compression is presented, which is the background of the Eurocode regulations for the calculation of the buckling resistance of members. Then, a series of non-linear analyses is performed, on simply supported members of different non-dimensional slenderness and cross section, simulated by beam-type finite elements using appropriate software. The results are plotted in the form of buckling curves which are then compared to the regulative ones.

In the fourth chapter, a typical one-storey building frame is chosen, in order to perform in-plane analyses, considering the alternative methods for initial imperfections. For each method, linear and non-linear analyses are conducted, the results of which are compared. Specifically, comparisons are made among the results concerning the structure's ultimate strength, internal forces and moments, equilibrium paths and the results of the calculations of the resistance of cross sections and members.

In the fifth chapter, a typical two-storey building frame became the subject of the same procedure. The same types of analyses and methods for the determination of initial imperfections were applied, however some alternative combinations of global and local imperfections were investigated.

Finally, the sixth chapter includes conclusions of the investigation that was carried out in the present diploma thesis and proposals for further research regarding this matter.