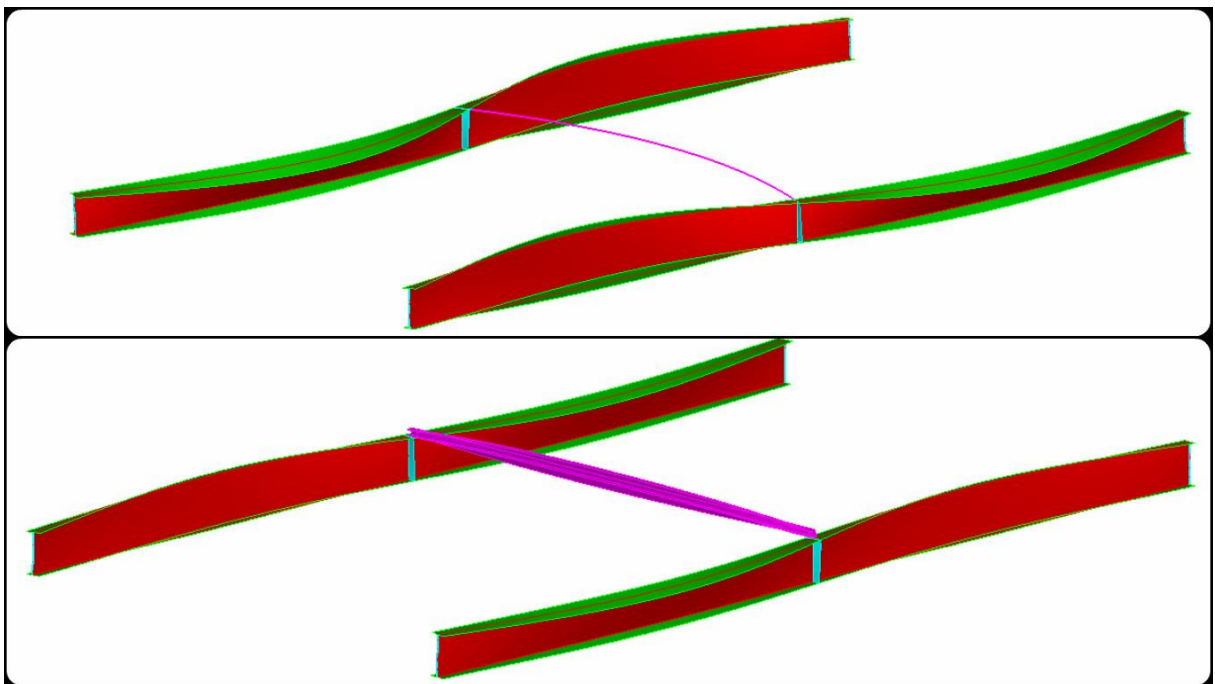




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

## ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΤΡΟΠΩΝ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΚΑΜΠΤΟΜΕΝΩΝ ΔΟΚΩΝ



Διπλωματική Εργασία  
Αντώνιος Ρούσσοσ

ΕΜΚ ΔΕ 2016 24

Επιβλέπων: Καθηγητής Χάρης Γαντές

Αθήνα, Ιούλιος 2016

Copyright © Αντώνιος Ρούσσος, 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 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 © Antonios Roussos, 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).

Αντώνιος Ρούσσοσ (2016)

Αριθμητική διερεύνηση εναλλακτικών τρόπων πλευρικής εξασφάλισης καμπτόμενων δοκών  
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2016 24  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Antonios Roussos (2016)

Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2016 24  
Numerical investigation of alternative lateral restraints of beams in bending  
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Στη γιαγιά μου Ανδριάνα και τον παππού μου Γιώργο

## Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία σηματοδοτεί το πέρας της πενταετούς φοίτησής μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Με την ευκαιρία αυτή, θα ήθελα να ευχαριστήσω ορισμένους ανθρώπους, χωρίς την καθοριστική συμβολή των οποίων η παρούσα εργασία δεν θα είχε ολοκληρωθεί.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Χάρη Γαντέ, Καθηγητή του τομέα Δομοστατικής, για την πολύτιμη βοήθεια του και τη συνεχή καθοδήγηση του στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κύριο Ιωάννη Βάγια και το Λέκτορα κύριο Παύλο Θανόπουλο της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή της διπλωματικής μου εργασίας.

Για την κατάρτισή μου στο πρόγραμμα των πεπερασμένων στοιχείων και τη βοήθεια του σε διάφορα προβλήματα που υπήρξαν, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ηλία Θανασούλα, Υποψήφιο Διδάκτορα του Ε.Μ.Π.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου που στάθηκε δίπλα μου σε όλα τα μαθητικά και φοιτητικά μου χρόνια, καθώς και στους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους σε κάθε μου προσπάθεια.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΕΜΚ ΔΕ 2016 24

## **Αριθμητική διερεύνηση εναλλακτικών τρόπων πλευρικής εξασφάλισης καμπτόμενων δοκών**

**Αντώνιος Ρούσσοσ**

Επιβλέπων: Καθηγητής Χάρης Γαντές

Ιούλιος 2016

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στη παρούσα διπλωματική εργασία διερευνάται η επιρροή διαφορετικών τρόπων πλευρικών εξασφαλίσεων στον πλευρικό λυγισμό καμπτόμενων δοκών. Πιο συγκεκριμένα, μέσα από μια σειρά γραμμικών και μη γραμμικών αναλύσεων λυγισμού, επιχειρούμε να προσδιορίσουμε την επιρροή του τρόπου, του ύψους και της δυσκαμψίας της κάθε πλευρικής εξασφάλισης στην κρίσιμη ελαστική ροπή πλευρικού λυγισμού, στο δρόμο ισορροπίας της δοκού και στα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται στη πλευρική εξασφάλιση.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια γενική αναφορά στη γραμμική και μη γραμμική συμπεριφορά μιας κατασκευής, καθώς και στα διάφορα είδη λυγισμού. Στη συνέχεια, γίνεται μια ειδικότερη αναφορά στο φαινόμενο του πλευρικού λυγισμού και τις εξισώσεις που το διέπουν.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα διαφορετικά είδη των πλευρικών εξασφαλίσεων και οι υπάρχουσες στη βιβλιογραφία αναλυτικές σχέσεις από τις οποίες μπορούν να προκύψουν οι απαιτούμενες δυσκαμψίες τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται οι κανονιστικές διατάξεις του Ευρωκώδικα 3 (EC3) περί πλευρικού λυγισμού, καθώς και περί του συνιστώμενου μεγέθους των χρησιμοποιούμενων σε αριθμητικές αναλύσεις αρχιών ατελειών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων ADINA, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στην επιλογή των κατάλληλων συνοριακών συνθηκών που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή των αριθμητικών αναλύσεων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων στις οποίες η πλευρική εξασφάλιση προσομοιώνεται με ένα ελατήριο μετάθεσης. Εξετάζεται η επιρροή που έχει το ύψος της εξασφάλισης και η δυσκαμψία της σε μεγέθη όπως η κρίσιμη ελαστική ροπή πλευρικού λυγισμού και η αντοχή της δοκού. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων συγκρίνονται με τις αναλυτικές λύσεις που παρουσιάστηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των αριθμητικών αναλύσεων στις οποίες η πλευρική εξασφάλιση προσομοιώνεται με πεπερασμένο στοιχείο δοκού, προσδίδοντάς της δηλαδή και στροφική δυσκαμψία και λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο σύνδεσης μεταξύ εξασφαλιζόμενης δοκού και συνδέσμου πλευρικής εξασφάλισης. Εξετάζεται και πάλι η επιρροή του ύψους της εξασφάλισης και της δυσκαμψίας της στην κρίσιμη ελαστική ροπή και την αντοχή της δοκού. Επιπρόσθετα, ελέγχονται τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται, ώστε να οδηγηθούμε στην οικονομικότερη διαστασιολόγηση.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζεται η περίπτωση όπου επιχειρείται πλήρη πλευρική εξασφάλιση μέσω τεγίδων. Οι διατομές που χρησιμοποιήθηκαν στις αριθμητικές αναλύσεις περιλαμβάνουν μία πρότυπη διατομή θερμής έλασης και μία λεπτότοιχη διατομή ψυχρής έλασης.

Στο όγδοο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία.



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

DIPLOMA THESIS  
EMK ΔΕ 2016 24

## **Numerical investigation of alternative lateral restraints of beams in bending**

**Antonios Roussos**

Supervisor: Professor Charis Gantes

July 2016

### **ABSTRACT**

In the present diploma thesis, the influence of different ways of lateral bracing on the lateral buckling strength of beams in bending is investigated. More specifically, through a series of linear and non-linear analyses, we investigate the influence of the type, the position and the stiffness of a lateral restraint on the elastic critical moment, the load-deflection path and the internal forces of the lateral bracing is quantified.

In the first chapter, the linear and non-linear behaviors of structures, as well as the different types of buckling are briefly described. Also, the problem of lateral buckling and the set of equations describing it are thoroughly presented.

In the second chapter, both the different types of lateral restraints and the analytical equations that are available in the literature for providing the required stiffnesses for full restraint are presented.

In the third chapter the normative recommendations of Eurocode 3 for lateral buckling are given, as well as the provisions about the magnitude of initial imperfections to be used in numerical analyses.

In the fourth chapter, the finite element software ADINA, which was used in all analyses of the present diploma thesis, is briefly presented. Particular emphasis is given to the application of the appropriate boundary conditions used in numerical simulations.

In the fifth chapter, the results of the numerical analyses, in which the lateral restraint is simulated with a translational spring, are presented. The influence of the position and the stiffness of the lateral restraint on the elastic critical moment of lateral buckling and the resistance of the beam, are investigated. These results are compared to the analytical solutions presented in the second chapter.

In the sixth chapter, the results of the numerical analyses, in which the lateral restraint is simulated with beam finite elements, thus providing also rotational stiffness, are presented, including detailed modeling of the connection between laterally supported beam and supporting member. The influence of the position and the stiffness of the lateral restraint on the elastic critical moment of lateral buckling and the resistance of the beam, are examined. Furthermore, the internal forces of the member



offering lateral restraint are taken into account in order to end up in the most economical dimensioning.

In the seventh chapter, the case, in which a lateral restraint is attempted through the use of purlins, is presented. The cross-sections used in the numerical analyses included one hot-rolled standard U-section and one cold-formed, thin-walled U-section.

In the eighth and last chapter, the general conclusions that resulted from this diploma thesis are presented.