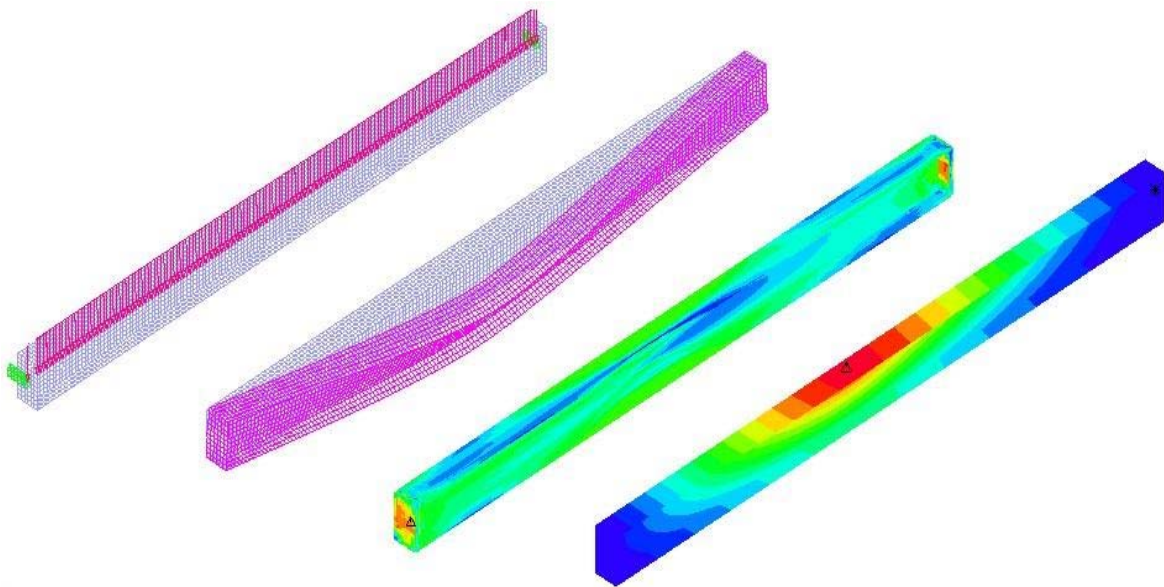




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ**

**Διπλωματική Εργασία**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ, ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΗ  
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ  
ΠΛΕΥΡΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΔΟΚΩΝ**



**Κωνσταντίνα Κουλάτσου**

Επιβλέπων: Αναπλ. Καθ. Ε.Μ.Π. Δρ. Χάρης Γαντές

**ΕΜΠ 2007**



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

## Διπλωματική Εργασία

# ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ, ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΛΕΥΡΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΔΟΚΩΝ

Κωνσταντίνα Κουλάτσου

Επιβλέπων: Αναπλ. Καθ. Ε.Μ.Π. Δρ. Χάρης Γαντές

## Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκε το φαινόμενο του πλευρικού λυγισμού σε μεταλλικές δοκούς διατομής διπλού ταυ, κατηγορίας 1. Οι δοκοί έχουν διαφορετικές συνοριακές συνθήκες και καταπονούνται από κατανεμημένο ή συγκεντρωμένο φορτίο σε διαφορετικά σημεία εφαρμογής.

Στο πρώτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται βασικά στοιχεία της θεωρίας λυγισμού, η συμπεριφορά των κατασκευών σε λυγισμό και πώς αυτή επηρεάζεται από το υλικό και τις ατέλειες. Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικά η ενεργειακή μέθοδος.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται εκτενής περιγραφή του φαινομένου του πλευρικού λυγισμού. Με τη βοήθεια της ενεργειακής μεθόδου μορφώνονται οι αναλυτικές εξισώσεις του πλευρικού λυγισμού και με τη μέθοδο ολοκλήρωσης των διαφορικών εξισώσεων εξάγεται η εξίσωση της κρίσιμης ροπής. Επίσης, για να γίνει πιο κατανοητός ο πλευρικός λυγισμός, περιγράφεται μέσω εικόνων παραμόρφωσης των πελμάτων, του κορμού και σε τομή, της μεσαίας διατομής.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αναφέρονται οι κανονιστικές διατάξεις του Ευρωκώδικα 3 (EC3) για τον πλευρικό λυγισμό.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται μια προσπάθεια παρουσίασης του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων ADINA, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Σκοπός του κεφαλαίου είναι να βοηθήσει οποιονδήποτε πρόκειται μελλοντικά να εργαστεί με το συγκεκριμένο πρόγραμμα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, με τη βοήθεια ενός παραδείγματος, παρουσιάζεται αναλυτικά ο τρόπος υπολογισμού των μεγεθών του πλευρικού λυγισμού, που χρησιμεύουν στη σύγκριση αποτελεσμάτων, και η συγκέντρωσή τους σε ένα διάγραμμα. Η λογική αυτή ακολουθήθηκε καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Στο έκτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μιας σειράς μη γραμμικών αναλύσεων μεταλλικών δοκών. Με χρήση της μεθόδου arc length, μελετάται η συμπεριφορά δοκών για ελαστοπλαστικό υλικό με κράτυνση και με ατέλεια που έχει τη μορφή της πρώτης ιδιομορφής πλευρικού λυγισμού της δοκού, η οποία εξάγεται από τη γραμμική ανάλυση λυγισμού. Τα αποτελέσματα έχουν τη μορφή του δρόμου ισορροπίας της δοκού και εικόνων τάσεων και παραμορφώσεων σε χαρακτηριστικά σημεία του δρόμου ισορροπίας.

Στο έβδομο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από τις αναλύσεις των δοκών. Δίνονται συγκριτικά διαγράμματα και εξηγείται ποιά στοιχεία και γιατί επηρεάζουν τον πλευρικό λυγισμό.

Στο όγδοο και τελευταίο κεφάλαιο, επιχειρείται η πλευρική εξασφάλιση των δοκών με ακλόνητη και με ελαστική στήριξη. Ερευνώνται οι συνθήκες που επιτρέπουν την εξασφάλιση, το ύψος της εξασφάλισης και η δυσκαμψία της ελαστικής στήριξης, και αξιολογούνται τα αποτελέσματα από τη διερεύνηση των δύο περιπτώσεων.



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
DIVISION OF STRUCTURAL ENGINEERING  
LABORATORY OF STEEL STRUCTURES

### **Diploma Thesis**

## **ANALYTICAL, NUMERICAL AND NORMATIVE INVESTIGATION OF LATERAL BUCKLING OF STEEL BEAMS**

**Konstantina Koulatsou**

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

### **Abstract**

The present diploma thesis deals with the phenomenon of lateral buckling of steel beams, with class 1 cross sections. The beams that are presented have various boundary conditions and different kinds of loading, such as uniformly distributed line loads or concentrated loads.

In the first chapter basic elements of buckling theory are presented, focusing on the structural behavior and how it is influenced by the material and the imperfections. Furthermore, the energy method is presented in detail.

In the second chapter the phenomenon of lateral buckling is described comprehensively. The analytical equations of lateral buckling are worked out via the energy method and the equation of critical moment is obtained using the method of integration of differential buckling equations. Moreover, lateral buckling is graphically described by means of pictures of stress and deformation of flanges, web and overall section of the cross section at the middle of the beam, so that the concept of lateral buckling can be visualized more clearly.

The third chapter refers to the normative recommendations of Eurocode 3 (EC3).

The fourth chapter presents the finite element program ADINA, which is used for all numerical analysis in the present diploma thesis. The objective of this chapter is to help everyone who wishes to work with this program in the future.

The fifth chapter, via an example, presents in detail the steps that are followed in the calculation of values of lateral buckling by means of all alternative calculation methods, and the results are then plotted in a moment-displacement graph and compared. This approach was followed throughout this diploma thesis for the presentation of all results.

The sixth chapter presents the results of non-linear lateral buckling analysis of steel beams. The arc length method is used to study the behavior of beams for elastic-plastic material with strain-hardening and accounting for initial imperfections which have the shape of the first lateral buckling mode and is obtained with linear buckling analysis. The results are presented by load (or moment)-deflection paths and by pictures of stress and deformation at characteristic points along the paths.

The seventh chapter presents the conclusions of all beam analyses. Comparative diagrams are shown and explain the parameters that influence lateral buckling and how much.

The eighth and last chapter looks into the issue of providing beams with proper supports against lateral buckling, either rigid or elastic. More specifically, the parameters which influence the effectiveness of lateral support of beams are investigated, such as the position of the support over the height of the cross section, and the stiffness of the elastic support. The results of this research lead to useful conclusions for both cases.