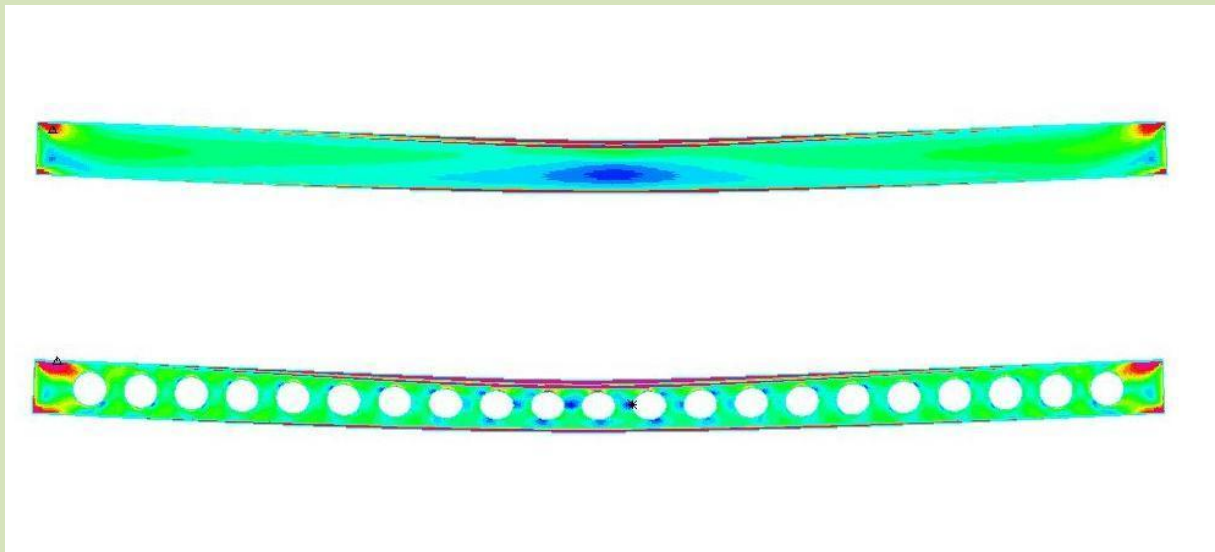




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ**

**Διπλωματική Εργασία**

**ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΛΕΥΡΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ, ΤΟΠΙΚΟΥ  
ΛΥΓΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΣΕ ΧΑΛΥΒΔΙΝΕΣ ΔΟΚΟΥΣ ΜΕ  
ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΔΙΑΚΕΝΑ ΚΟΡΜΟΥ**



**Θεοδώρα Μίντζια**

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

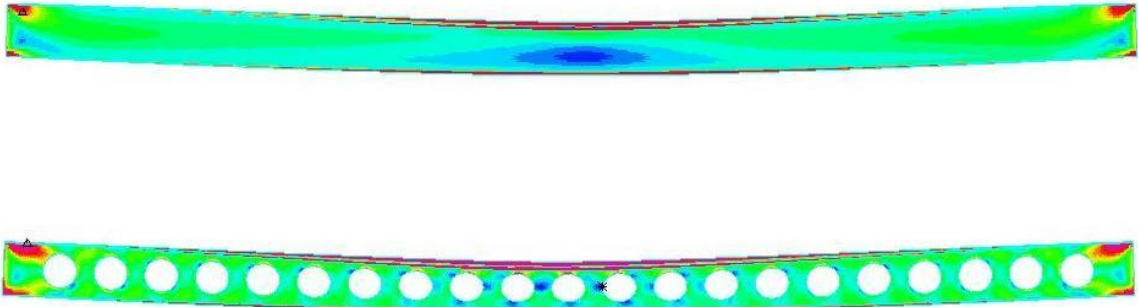
**Αθήνα, Ιούλιος 2010**



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

**Διπλωματική Εργασία**

**ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΛΕΥΡΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ, ΤΟΠΙΚΟΥ  
ΛΥΓΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΣΕ ΧΑΛΥΒΔΙΝΕΣ ΔΟΚΟΥΣ ΜΕ  
ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΔΙΑΚΕΝΑ ΚΟΡΜΟΥ**



**Θεοδώρα Μίντζια**

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

**Αθήνα, Ιούλιος 2010**



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

**Διπλωματική Εργασία  
της φοιτήτριας Θεοδώρας Μίντζια**

**Επιβλέπων: Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π. Δρ. Χάρης Γαντές**

**ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΛΕΥΡΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ, ΤΟΠΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ ΚΑΙ  
ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΣΕ ΧΑΛΥΒΔΙΝΕΣ ΔΟΚΟΥΣ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΔΙΑΚΕΝΑ ΚΟΡΜΟΥ**

**Περίληψη**

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των φαινομένων του πλευρικού λυγισμού, του τοπικού λυγισμού και της πλαστικοποίησης σε χαλύβδινες δοκούς διατομής διπλού ταυ, με και χωρίς διάκενα κορμού. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι προδιαγραφές του Ευρωκώδικα 3, ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιήθηκε ένα μεγάλο πλήθος αριθμητικών αναλύσεων στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ADINA ώστε να είναι φανερή η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγική αναφορά στα είδη των διατομών που χρησιμοποιούνται στις μεταλλικές κατασκευές και στις διαδικασίες κατασκευής τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο εξετάζονται οι πιθανές μορφές αστοχίας μιας χαλύβδινης συμπαγούς δοκού διατομής διπλού ταυ που κάμπτεται υπό την επίδραση ομοιόμορφα κατανεμημένου φορτίου, καθώς αυτό αποτελεί το αντικείμενο των αριθμητικών αναλύσεων για τα επόμενα κεφάλαια. Παρουσιάζονται βασικές έννοιες της ελαστικής κάμψης δοκών, περιγράφονται οι πιθανές γραμμικές και μη γραμμικές αναλύσεις που μπορούν να εφαρμοστούν για τη μελέτη των χαλύβδινων δοκών και εξετάζονται οι πιθανοί τρόποι αστοχίας τους, αφού προηγηθεί η κατάταξη των διατομών σε κατηγορίες με βάση τον Ευρωκώδικα 3. Γίνεται αναφορά στις κανονιστικές διατάξεις του Ευρωκώδικα 3 για τον υπολογισμό της αντοχής των δοκών.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μία 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 τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων για περιπτώσεις αστοχίας συμπαγών δοκών λόγω σχηματισμού πλαστικού

μηχανισμού κατάρρευσης, ενώ ταυτόχρονα γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αναμενόμενα αποτελέσματα από τη θεωρία μη γραμμικότητας υλικού.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων για περιπτώσεις πλευρικού λυγισμού δοκών, με παράλληλη σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα του Ευρωκώδικα 3. Εξετάζονται διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των φορέων, όπως η θέση εφαρμογής του φορτίου και το μέγεθος της αρχικής γεωμετρικής ατέλειας.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των αριθμητικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν για φορείς στους οποίους εκδηλώνεται τοπικός λυγισμός, ο οποίος αποτελεί τον κύριο παράγοντα αστοχίας τους.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αριθμητικές αναλύσεις για φορείς στους οποίους εμφανίζεται αλληλεπίδραση των μορφών αστοχίας που έχουν περιγραφεί στα προηγούμενα κεφάλαια.

Στο όγδοο κεφάλαιο αναφέρονται οι κανονιστικές διατάξεις του Ευρωκώδικα 3 για τον έλεγχο των κυψελωτών δοκών (ή δοκών με διάκενα κορμού), ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζεται και το θεωρητικό υπόβαθρο για τη στατική τους αντιμετώπιση.

Στο ένατο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων για δοκούς με πολλαπλές κυκλικές οπές και διερευνώνται οι πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας τους.

Στο δέκατο κεφάλαιο εξετάζεται μέσω αριθμητικών αναλύσεων η σταδιακή απομείωση του κρίσιμου φορτίου λυγισμού και της φέρουσας ικανότητας δοκών με κυκλικές οπές, μέσω της αύξησης της διαμέτρου των κυκλικών οπών. Επίσης, διερευνώνται, μέσω αριθμητικών αναλύσεων, οι πιθανές μορφές αστοχίας των δοκών.

Στο ενδέκατο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία.



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

**Diploma Thesis**  
**By Theodora Mintzia**

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

**INTERACTION OF LATERAL-TORSIONAL BUCKLING, LOCAL BUCKLING  
AND YIELDING OF STEEL BEAMS WITH AND WITHOUT WEB OPENINGS**

**Abstract**

The objective of the present diploma thesis is to investigate the phenomena of lateral-torsional buckling, local buckling and yielding of steel beams, with I-cross sections, with and without web openings. For this purpose, the recommendations of Eurocode 3 were used, while a large number of numerical analyses were carried out using the Finite Element software ADINA, in order to compare the results.

The first chapter constitutes an introduction to the types of profiles used in steel structures and to their manufacturing process.

The second chapter presents the modes of failure of a solid steel beam under the influence of transverse distributed line load, which constitutes the object of numerical analyses in the following chapters. There is a reference to the basic principles of bending, a description of the linear and non-linear analyses which can be applied for the study of steel beams and a description of the modes of failure, after the classification of cross sections in categories according to Eurocode 3. The normative recommendations of Eurocode 3 are also presented.

The third chapter consists of the presentation of the Finite Element software ADINA, which is used in all analyses. Particular emphasis is given to the application of the appropriate boundary conditions used in numerical simulations.

The fourth chapter presents the results of numerical analyses for beams which fail due to plastic collapse. There is also a comparison between them and the results obtained by the theory of material non-linearity.

In the fifth chapter, the numerical analyses of lateral-torsional buckling are presented, while the results are compared to the results given by Eurocode 3. There is an examination of various factors influencing the behavior of beams, such as the position of application of distributed line load and the size of the initial geometric imperfection.

The sixth chapter presents the results of numerical analyses where local buckling appears and causes failure of the steel member.

The seventh chapter presents the results of numerical analyses where there is an interaction of modes of failure described in previous chapters.

In the eighth chapter, the recommendations of Eurocode 3 concerning the resistance and modes of failure of castellated beams are presented, while the theoretical basis for their static behavior is approached.

The ninth chapter deals with the numerical analyses of castellated beams and their possible modes of failure.

The tenth chapter looks into the progressive reduction of the critical buckling load and the resistance of castellated beams by increasing the diameter of holes. Furthermore, numerical analyses are used to investigate the failure of castellated beams.

The eleventh chapter presents the general conclusions resulted from the diploma thesis.