



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

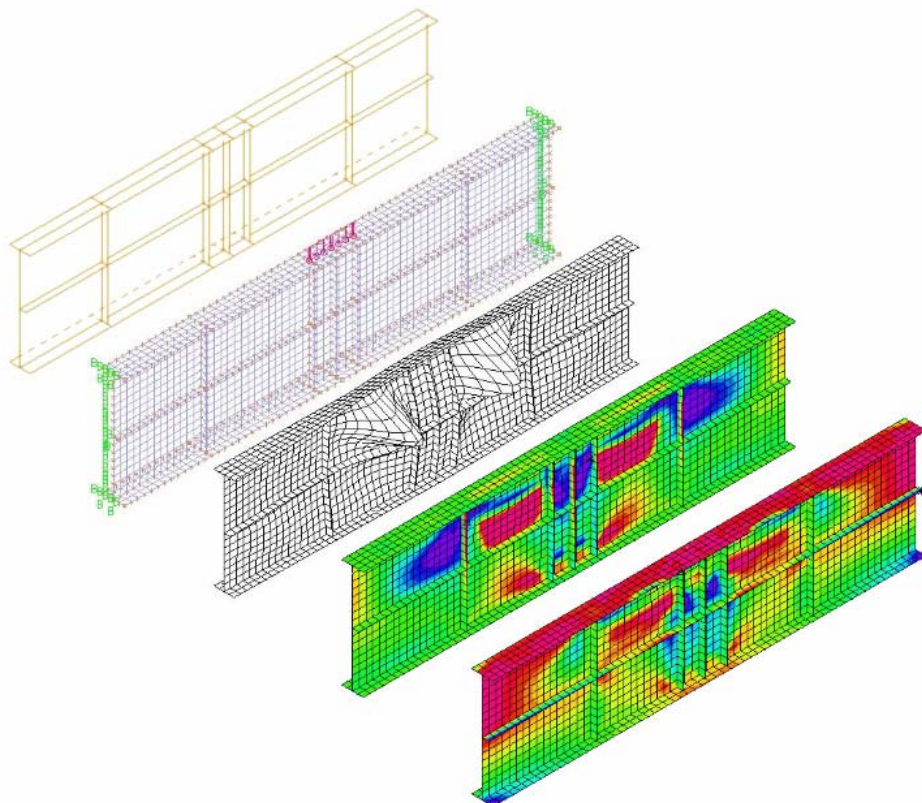
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Διπλωματική εργασία

**«ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ»**



Κωνσταντίνος Αθ. Φραγκόπουλος

Επιβλέπων: κ. Χάρης Γαντές, Επίκ. Καθ. Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2005



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τομέας Δομοστατικής

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Διπλωματική εργασία

«ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΥ ΛΥΓΙΣΜΟΥ»

Κωνσταντίνος Αθ. Φραγκόπουλος

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρήθηκε να διερευνηθεί το φαινόμενο του διατμητικού λυγισμού σε υψίκορμες δοκούς διατομής μορφής διπλού ταυ με ή χωρίς διαμήκεις ή/και εγκάρσιες ενισχύσεις. Η προσέγγιση του φαινομένου του διατμητικού λυγισμού βασίστηκε στη θεωρία λεπτών πλακών, λόγω του ότι οι πρότυπες διατομές συνίστανται από επιμέρους πλακοειδή στοιχεία.

Στο πρώτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται βασικά στοιχεία της καμπτικής θεωρίας λυγισμού πλακών, με χρήση της οποίας εξάγονται οι κινηματικές, καταστατικές και οι εξισώσεις ισορροπίας επίπεδης, ορθογωνικής κατόψεως πλάκας. Επίσης, παρουσιάζεται η πορεία υπολογισμού φορτίων λυγισμού και ιδιομορφών λυγισμού βάσει της ενεργειακής μεθόδου και της μεθόδου ολοκλήρωσης της διαφορικής εξίσωσης λυγισμού, για διάφορα είδη περιμετρικών στηρίξεων και φόρτισης επίπεδων πλακοειδών στοιχείων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται μία θεωρητική προσέγγιση του λυγισμού σύνθετων διατομών. Συγκεκριμένα, αρχικά παρουσιάζεται η αλληλεπίδραση πλακοειδών στοιχείων, η λυγισμική και μεταλυγισμική συμπεριφορά σύνθετων διατομών υπό μονοαξονική θλίψη, καθώς και υπό συνδυασμένη θλίψη και διάτμηση. Το μεγαλύτερο και κυριότερο μέρος του κεφαλαίου διαπραγματεύεται τη συμπεριφορά υψίκορμων δοκών κατά το λυγισμό, με διάφορα είδη ενισχύσεων και υπό διάφορα είδη φορτίσεων. Γίνεται εκτενής αναφορά σε ε-

μπειρικές και θεωρητικές προσεγγίσεις της βιβλιογραφίας τόσο για την ερμηνεία του φαινομένου του λυγισμού, όσο και για τον υπολογισμό των διατομών των δοκών και των ενισχύσεων.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται μία πρώτη γνωριμία με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ADINA, που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις της παρούσας εργασίας. Πραγματοποιούνται επιλύσεις προβλημάτων λυγισμού ορθογωνικών πλακών τα αποτελέσματα των οποίων, όσον αφορά το φορτίο λυγισμού και τα σχήματα των ιδιομορφών λυγισμού, συγκρίνονται με τις θεωρητικές εκτιμήσεις που επίσης εκτίθενται στο θεωρητικό μέρος του κεφαλαίου. Στο τέλος του κεφαλαίου, παρουσιάζονται μη γραμμικές αναλύσεις γεωμετρικά ατελούς πλάκας λαμβάνοντας υπόψη μη γραμμικότητα υλικού και γεωμετρίας, αναλόγως με τη μέθοδο και την εξεταζόμενη κάθε φορά περίπτωση.

Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μίας σειράς μη γραμμικών αναλύσεων διατομών υψίκορμων δοκών. Εισαγωγικά, ερευνάται διεξοδικά η συμπεριφορά της μη ενισχυμένης διατομής, έτσι ώστε να κατανοηθεί όσο το δυνατόν καλύτερα η απόκρισή της κατά τη διάρκεια και κατόπιν του λυγισμού. Στη συνέχεια, με χρήση της μεθόδου Arc Length, πραγματοποιείται μία ομάδα αναλύσεων όπου εξετάζεται η επιρροή στη συμπεριφορά της δοκού που ασκούν οι εξής παράγοντες:

1^ο: Σε διαμήκως μόνο ενισχυμένη δοκό, η μεταβολή της διατομής και της θέσης της διαμέσου ενίσχυσης.

2^ο: Σε εγκάρσιως μόνο ενισχυμένη δοκό, η μεταβολή του αριθμού, της θέσης και της διατομής των εγκάρσιων ενισχύσεων.

3^ο: Σε διαμήκως και εγκάρσιως ενισχυμένη δοκό, ο συνδυασμός όλων των παραπάνω παραγόντων.

4^ο: Επιπλέον εξετάστηκε, ενδεικτικά, και η επίδραση του μεγέθους της αρχικής ατέλειας που θεωρήσαμε στις μη γραμμικές αναλύσεις των περιπτώσεων 1, 2 και 3.

Τέλος, αξιολογούνται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη διερεύνηση όλων αυτών των περιπτώσεων.



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Division of Structural Engineering

Laboratory of Steel Structures

Diploma Thesis

"ANALYTICAL AND NUMERICAL STUDY OF SHEAR BUCKLING PROBLEMS"

Konstantinos Fragkopoulos

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

ABSTRACT

The present diploma thesis concerns the phenomenon of shear buckling of steel cross sections of plate girders with longitudinal or/and transverse stiffeners. This research is based on the thin plate theory, because the structure sections are constituted of plate elements.

The first chapter presents the theory of elastic stability of plates. The kinematic, constitutive and equilibrium equations are derived for a rectangular, flat plate. Furthermore, it presents the steps that are used in the calculation of the critical load that leads to buckling, based on the two theoretical methods, the energy method and the method of integration of the differential buckling equation. The plates that are presented have various boundary conditions and different kinds of loading.

The second chapter presents a theoretic analysis of the buckling of a plate assembly. More specifically, firstly, it presents the interaction between plate elements, the buckling and post buckling behavior of a plate assembly under uniaxial compression and under the combination of compression and shear. However, the main subject of this chapter is the buckling behavior of sections of plate girders with different kinds of stiffeners and loading. Empirical and theoretic methods from the bibliography about the phenomenon of buckling and the design of sections and stiffeners are also mentioned.

The third chapter consists of an introductory and detailed presentation of the finite element software ADINA used in the analyses of the third and fourth chapter. Moreover, it includes a comparison between the results based on the finite element theory with the assessments derived from the theory of elastic stability of plates, as far as critical values and shapes of buckling in plates are concerned. These comparisons refer to different cases of boundary conditions and loading of plates, which have been analyzed in the theoretical part of plate buckling. The chapter also deals with non-linear analyses of plates, which have initial out-of-plane imperfections accounting both for non-linear material and geometric nonlinearities.

The fourth chapter presents the results of non-linear analysis of I sections of plate girders. Firstly, the behavior of the unstiffened section is examined, in order to understand better this behavior during and after the buckling. The Arc Length method is applied in order to research the influence of many factors on the behavior of the section:

1st: the influence of the dimension and the location of the longitudinal stiffener, for sections with only one longitudinal stiffener.

2nd: the influence of the number, dimension and location of transverse stiffeners, for sections with only transverse stiffeners.

3rd: the combination of factors 1 and 2, for sections with longitudinal and transverse stiffeners.

4th: the influence of the magnitude of initial out-of-plane imperfections.

At the end, the conclusions derived from the comparison of the results are summarized.