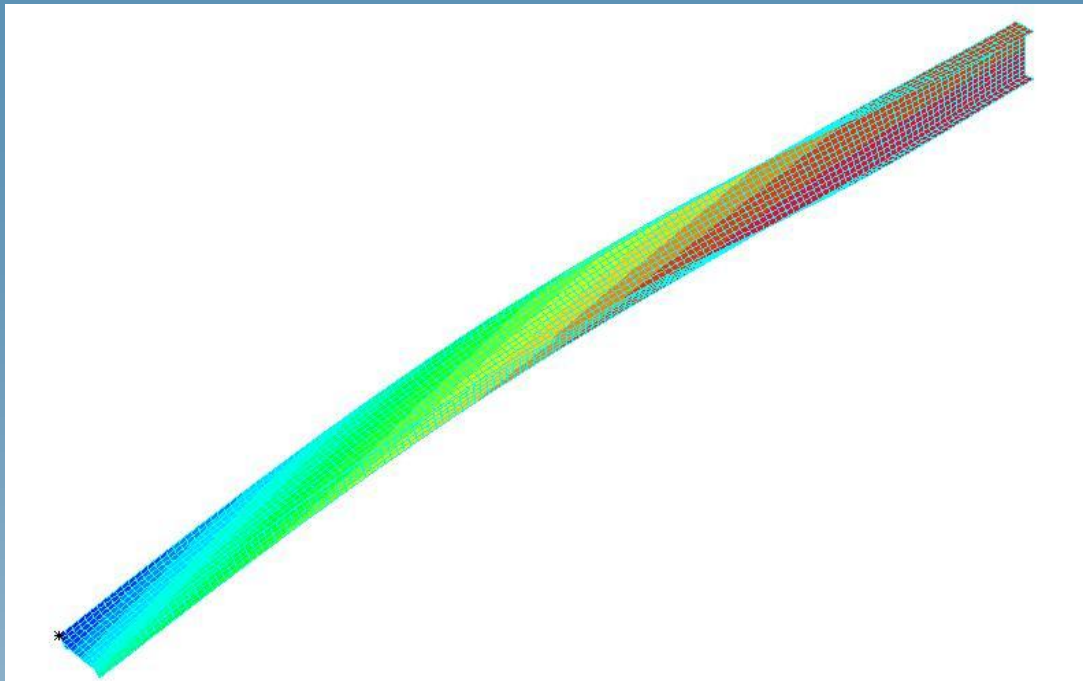




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Διπλωματική εργασία

**«ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ, ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ
ΑΝΤΟΧΗΣ ΠΛΕΥΡΙΚΑ ΜΗ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΜΕΝΩΝ ΔΟΚΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ
ΥΠΟ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΦΟΡΤΙΑ»**



ΚΟΚΚΑΛΗ ΠΛΟΥΜΗ

Επιβλέπων καθηγητής: κ. ΧΑΡΗΣ ΓΑΝΤΕΣ

ΑΘΗΝΑ 2009



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Διπλωματική εργασία

της φοιτήτριας Κόκκαλη Πλουμής

Επιβλέπων Αναπληρωτής Καθηγητής: κ. Χάρης Γαντές

**“ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ, ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ
ΑΝΤΟΧΗΣ ΠΛΕΥΡΙΚΑ ΜΗ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΜΕΝΩΝ ΔΟΚΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ
ΥΠΟ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΦΟΡΤΙΑ”**

Στη διπλωματική αυτή εργασία γίνεται προσπάθεια να διερευνηθεί το φαινόμενο του πλευρικού λυγισμού και η επίδραση αυτού στην αντοχή δοκών από χάλυβα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν και μελετήθηκαν αναλυτικά οι προδιαγραφές του Ευρωκώδικα 3, ενώ ταυτόχρονα τα αποτελέσματα της έρευνας τέθηκαν σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης των θλιβόμενων ράβδων μέσω του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων ADINA.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή του φαινομένου του πλευρικού λυγισμού και των αιτιών που το προκαλούν. Επιπλέον αναφέρονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την κρίσιμη ροπή πλευρικού λυγισμού, επομένως και τη ροπή αντοχής και η επίδραση των οποίων θα παρουσιαστεί εκτενώς σε επόμενο κεφάλαιο. Καταγράφονται ακόμα χαρακτηριστικές εικόνες πλευρικού λυγισμού για φορείς με διαφορετικές συνθήκες στήριξης και φόρτισης μετά από αριθμητικές επιλύσεις στο ADINA.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται προσέγγιση του αναλυτικού υπόβαθρου του πλευρικού λυγισμού. Για τον λόγο αυτό αποδεικνύεται τόσο αναλυτικά όσο και με την ενεργειακή μέθοδο ο τύπος υπολογισμού της κρίσιμης ροπής. Ακόμα, υπολογίζεται η αρχική ατέλεια που μειώνει την αντοχή των δοκών που υφίστανται πλευρικό λυγισμό καθώς και ο μειωτικός συντελεστής που ο Ευρωκώδικας 3 χρησιμοποιεί. Σημαντικό κρίθηκε ακόμα να διερευνηθεί το σύνθετο κριτήριο διαρροής για την περίπτωση που μία δοκός εκτρέπεται πλευρικά.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται συνοπτικά οι διατάξεις του Ευρωκώδικα 3 που αφορούν την κατάταξη των διατομών, τον υπολογισμό της ροπής αντοχής για

τη γενική περίπτωση και την περίπτωση των ελατών διατομών, του υπολογισμού της κρίσιμης ροπής και του ισοδύναμου μήκους λυγισμού.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο τρόπος κατασκευής των φύλλων Excel που δημιουργήθηκαν για τον υπολογισμό των μεγεθών αντοχής τόσο για τις πρότυπες όσο και για τις συγκολλητές διατομές όπως επίσης και τον τρόπο χρήσης αυτών. Τα φύλλα αυτά είναι εύχρηστα και λαμβάνουν υπόψη όλες τις παραμέτρους που επηρεάζουν τη ροπή αντοχής των διατομών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο καταγράφονται τα αποτελέσματα των παραμετρικών αναλύσεων, οι οποίες εκτελέστηκαν κάνοντας χρήση των φύλλων Excel. Μεταβάλλοντας ενίοτε τις συνθήκες στήριξης και φόρτισης, ενίοτε το ύψος των διατομών και το μήκος του φορέα ή τη θέση εφαρμογής του φορτίου και το όριο διαρροής του χάλυβα διερευνάται κι η αντίστοιχη μεταβολή των μεγεθών αντοχής. Επιπλέον παρουσιάζονται πίνακες και διαγράμματα για διάφορα είδη διατομών και διαφορετικές συνθήκες στήριξης και φόρτισης που επιδεικνύουν τα απαιτούμενα μήκη πλευρικής εξασφάλισης για δεδομένη μείωση της ροπής αντοχής λόγω σπλευρικού λυγισμού. Επιπλέον σε μια προσπάθεια να γίνει αντιληπτή η οικονομικότητα των διαφόρων ειδών διατομών εντοπίστηκαν διατομές IPE, HEA και HEB ίδιου βάρους και έγινε σύγκριση των μεγεθών αντοχής αυτών.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ADINA για φορείς διατομής IPE με διαφορετικό ύψος και μήκος και διαφορετικές συνθήκες στήριξης και φόρτισης. Για τον υπολογισμό των κρίσιμων φορτίων εκτελέστηκαν γραμμικές αναλύσεις λυγισμού ενώ για την εύρεση των φορτίων αντοχής εκτελέστηκαν μη γραμμικές αναλύσεις υλικού και γεωμετρίας. Ταυτόχρονα γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των αριθμητικών επιλύσεων με τα αντίστοιχα του Ευρωκώδικα 3. Τέλος, εξετάζονται οι παράγοντες που επηρεάζουν τα αριθμητικά κρίσιμα φορτία και τα φορτία αντοχής. Τέτοιοι παράγοντες είναι το πλέγμα ανάλυσης των πεπερασμένων στοιχείων, το μέγεθος του αρχικά ασκούμενου φορτίου, η μέθοδος επίλυσης του γραμμικού λυγισμού, η καθ' ύψος θέση του ασκούμενου φορτίου, η επίδραση του τοπικού λυγισμού του κορμού, οι ακριβείς συνοριακές συνθήκες, η αρχική τάση διαρροής και το μέγεθος των αρχικών ατελειών.



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

STRUCTURAL DIVISION

Laboratory of metal structures

Diploma thesis

By Kokkali Ploumi

Supervisor: Associate Professor Charis Gantes

“ANALYTICAL, NUMERICAL AND CODE-BASED INVESTIGATION OF RESISTANCE OF LATERAL UNPROTECTED STEEL BEAMS UNDER TRAVERSE LOADS”

In this diploma thesis the phenomenon of lateral-torsional buckling and its effect in the resistance of steel beams is investigated. For this purpose, the suggestions of Eurocode 3 were used and studied, while the results of this research were compared with analytical results, as well as results of numerical simulations with the finite element software ADINA.

In the first chapter the background of lateral-torsional buckling and its causes are investigated. Furthermore the factors that affect the critical buckling moment, consequently and the resistance moment are reported. These factors will be presented in another chapter. Finally, characteristic pictures of lateral torsional buckling are shown for beams with different end-conditions and under different loading conditions, which are taken from analyses with the FEM software.

In the second chapter the analytical background of lateral-torsional buckling is approached. Specifically, the mathematical equation of critical bending moment is proved, both analytically and using the energy criterion. Moreover, the equivalent lateral imperfections, which reduce the bending resistance moment, and the reduction factor of the resistance moment are calculated. Finally, the origin of the first yield criterion of longitudinal stress is investigated.

In the third part there is a presentation of the formulas of Eurocode which concern the classification of the beams, the calculation of the resistance moment

both for the general case and the case of hot-rolled cross-sections, the calculation of the critical buckling moment and of the equivalent buckling length.

In the fourth chapter the way of formulation of Excel sheets, which are formed in order to calculate the resistance both of the rolled and the welded sections, as well as the manual of these sheets are reported. They are functional and take under consideration all the factors that affect the resistance moment of the beams.

In the next chapter parametric analyses are performed using the sheets of Excel. It is also tried to determine the change of the moment resistance by changing the end-conditions, the loading conditions, the height of the section, the length of the beam, the position of application of the load and the limit of the first yield. Furthermore, tables and diagrams for different types of cross-sections, loading and end-conditions are made. They show the required length of lateral support for given reduction of the resistance moment because of lateral torsional buckling. Finally, a comparison of the resistance values of sections IPE, HEA and HEB with the same weight is made.

Last but not least, the sixth chapter presents the results of numerical analyses of different IPE beams with different end-conditions and different loading conditions. These analyses are performed using the program ADINA. In order to find the critical loads linearized buckling analyses are performed, while for the calculation of resistance loads collapse analyses were executed. Simultaneously a comparison between the numerical and the EC3-based resistance values is made. Finally, the factors that affect the reliability of the analyses were examined. These factors are: the mesh of shell elements, the magnitude of external load, the numerical algorithms, the precise simulation of end-conditions, the initial yield stress and the initial imperfection.