



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

ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η συστηματική αντιμετώπιση της μη γραμμικής συμπεριφοράς μεταλλικών κατασκευών και η εξασφάλιση της ευστάθειάς τους. Λαμβάνονται υπόψη όλα τα είδη μη γραμμικοτήτων καθώς και συνδυασμοί αυτών.

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται αναφορά στα είδη μη γραμμικότητας και στις επιπτώσεις στις απαιτούμενες μεθόδους ανάλυσης. Εξηγείται η σημασία της μη γραμμικής ανάλυσης κάποιων κατασκευών, με αναφορά σε παραδείγματα πραγματικών φορέων, και σημειώνονται περιπτώσεις που είναι επικίνδυνες με χρήση γραμμικής θεωρίας.

Στο κεφάλαιο 2 αναφέρεται η μη γραμμικότητα του υλικού. Εξηγούνται οι διάφορες θεωρίες αστοχίας των υλικών και αναφέρονται κάποια παραδείγματα ανάλυσης απλών φορέων με μη γραμμικότητα του υλικού (πλαστική ανάλυση).

Τα κεφάλαια 3, 4 και 5 ασχολούνται με τη μη γραμμικότητα γεωμετρίας. Γίνεται αναφορά στις τρεις γνωστές μεθόδους ανάλυσης (Euler, Ενεργειακή, Δυναμική) με απλά παραδείγματα μονοβάθμιων φορέων για τους τέσσερις πιθανούς τρόπους λυγισμού.

Τα κεφάλαια 6 και 7 αναφέρονται σε πολυβάθμια και συνεχή συστήματα, αντίστοιχα. Η μελέτη της ευστάθειάς τους γίνεται πάλι με τις τρεις γνωστές μεθόδους.

Στο κεφάλαιο 8 παρουσιάζονται αλγόριθμοι αριθμητικής επίλυσης μη γραμμικών προβλημάτων. Εξηγούνται τα βήματα κάποιων μεθόδων, όπως η Newton-Raphson και η Newmark, καθώς και κατάλληλα κριτήρια σύγκλισης που να δίνουν αξιόπιστα αποτελέσματα. Τέλος, γίνεται ανάλυση πραγματικών φορέων με πεπερασμένα στοιχεία.

Το κεφάλαιο 9 εξηγεί τη σημασία της αλληλεπίδρασης των μορφών αστοχίας και πώς αυτή μπορεί να οδηγήσει στη μείωση της συνολικής φέρουσας ικανότητας ενός συστήματος. Αρχικά, γίνεται ιστορική αναδρομή γύρω από το θέμα, και στη συνέχεια αναλύσεις διαφόρων συστημάτων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, καθώς και εξαγωγή συμπερασμάτων.

Στα κεφάλαια 10 και 11 διερευνώνται χαλύβδινα μέλη υπό θλίψη με ή χωρίς κάμψη. Γίνεται αναφορά στην επιρροή των συνοριακών συνθηκών και στις κανονιστικές διατάξεις του ΕΚ3. Ακόμα, γίνονται κάποιες αναλύσεις σε πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων για διάφορες περιπτώσεις φόρτισης και συνοριακών συνθηκών.

Τα κεφάλαια 12 και 13 αναφέρονται σε αναλύσεις επίπεδων πλαισίων από χάλυβα. Χρησιμοποιούνται αναλυτικές μέθοδοι, οι διατάξεις του ΕΚ3 αλλά και αριθμητικές μέθοδοι και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων. Διερευνάται η στροφική δυσκαμψία των μελών. Τέλος, προτείνονται διαγράμματα για τον υπολογισμό του μήκους λυγισμού συνεχών υποστυλωμάτων και συγκρίνονται με αυτά του ΕΚ3.

Στο κεφάλαιο 14 παρουσιάζεται η θεωρία λυγισμού λεπτών πλακών. Τονίζεται η επιρροή των συνοριακών συνθηκών. Γίνονται τόσο γραμμικές όσο και μη γραμμικές αναλύσεις.

Στο παράρτημα παρουσιάζεται ο τρόπος προσομοίωσης ενός απλού φορέα στο πρόγραμμα MSC-Nastran, καθώς και ο τρόπος εισαγωγής δεδομένων και διεξαγωγής μη γραμμικών αναλύσεων.



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

NONLINEAR BEHAVIOR OF STEEL STRUCTURES

EFFECTS ON ANALYSIS AND DESIGN

ABSTRACT

The purpose of this diploma thesis is the methodical treatment of the nonlinear behavior of steel structures and the reassurance of their stability. All types of nonlinearities as well as their combinations are taken into consideration.

Chapter 1 refers to the types of nonlinearities and their effects on the required analysis methods. The importance of the nonlinear analysis of some structures is explained, regarding examples of real structures, and cases are outlined for which it is dangerous to use linear theory.

In chapter 2 material nonlinearity is addressed. Theories of materials' yield criteria are explained and examples of simple structures' inelastic analysis are mentioned.

Chapters 3, 4 and 5 explain geometric nonlinearity. The three known analysis methods (Euler, Energy, Dynamic) are mentioned, with simple examples concerning structural models with one degree of freedom covering the four possible types of instability.

Chapters 6 and 7 refer to structural models with many degrees of freedom and continuous models, respectively. Their stability study is again carried out using the three known methods.

In chapter 8 algorithms of numerical solution of nonlinear problems are presented. The steps of some of these methods are explained, for example the Newton-Raphson method and the Newmark method, as well as suitable convergence criteria that give credible results. Lastly, finite element analyses of real structures are carried out.

Chapter 9 explains the importance of interaction of modes and how this can result to the decrease of the total maximum load that a structure can bear. At first, the theory of this subject is presented, and then analyses of various structural models are performed, leading to interesting conclusions.

In chapters 10 and 11 steel components under compression with or without bending forces are investigated. The influence of boundary conditions and the code provisions of EC3 are discussed. Moreover, some finite element analyses are carried out, concerning various load cases and boundary conditions.

Chapters 12 and 13 refer to the analysis of plane steel frames. We use analytical approaches, EC3 code provisions, as well as numerical methods, and a comparison between the results is carried out. The rotational stiffness of components is investigated. Lastly, diagrams concerning the calculation of buckling length of continuous columns are proposed and compared with those found in EC3.

In chapter 14 the theory of buckling of thin plates is presented. The importance of boundary conditions is emphasized. Both linear as well as nonlinear analyses are carried out.

The appendix presents the way of creating a simple structural model using the program MSC-Nastran, as well as how to import data and carry out nonlinear analyses.