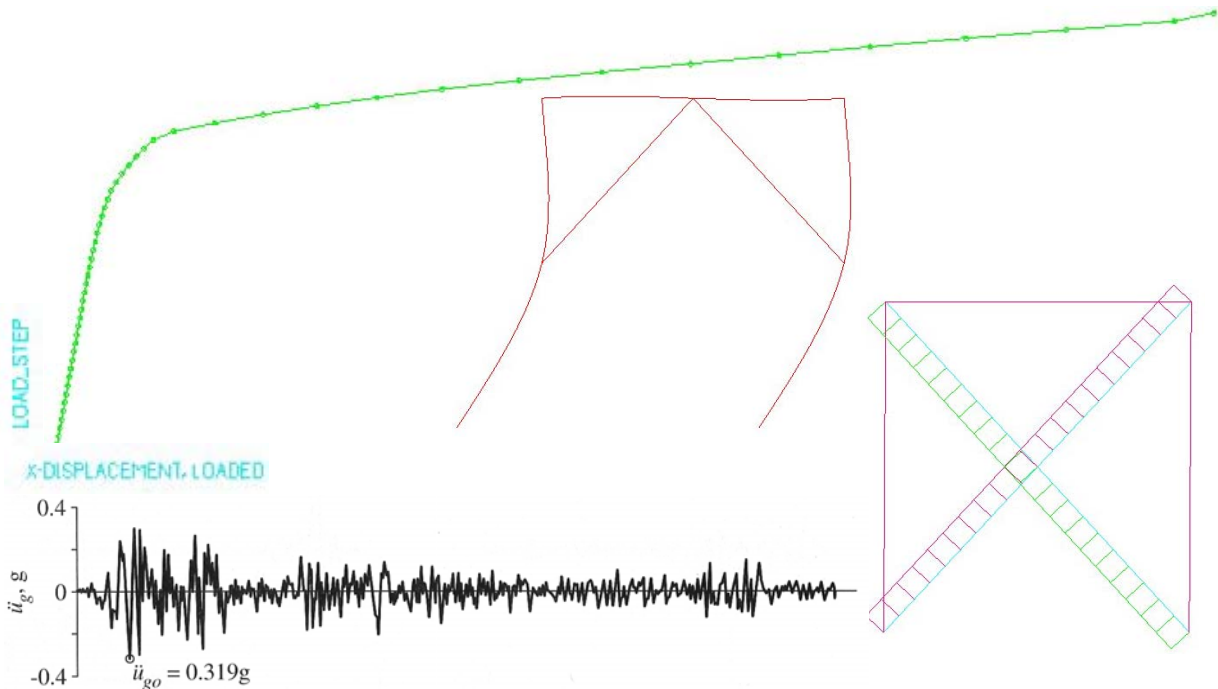


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Τομέας Δομοστατικής  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Διπλωματική εργασία

**«Διερεύνηση αντισεισμικής συμπεριφοράς εναλλακτικών στατικών συστημάτων σε μεταλλικά κτίρια»**



**Ξενοφώντας Φλώρος**

**Επιβλέπων: Δρ. Χάρης Γαντές, Επίκ. Καθ. ΕΜΠ**

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΗΣ 2005

*ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ*

**Σχολή Πολιτικών Μηχανικών**

Τομέας Δομοστατικής

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών



Διπλωματική εργασία

**«Διερεύνηση αντισεισμικής  
συμπεριφοράς εναλλακτικών στατικών  
συστημάτων σε μεταλλικά κτίρια»**

**Ξενοφώντας Φλώρος**

**Επιβλέπων: Δρ. Χάρης Γαντές, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ**

**ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΗΣ 2005**

# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

## Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Τομέας Δομοστατικής Εργαστήριο *Μεταλλικών Κατασκευών*

### Διπλωματική εργασία

## *«Διερεύνηση αντισεισμικής συμπεριφοράς εναλλακτικών στατικών συστημάτων σε μεταλλικά κτίρια»*

**Ξενοφώντας Φλώρος**

**Επιβλέπων: Δρ. Χάρης Γαντές, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ**

**ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΗΣ 2005**

## **Περίληψη**

Αυτή η διπλωματική εργασία έχει σκοπό να μελετήσει την συμπεριφορά απλών μονώροφων μεταλλικών πλαισίων όταν αυτά υπόκεινται σε σεισμική φόρτιση. Μετά από αναλύσεις (που έγιναν με τη βοήθεια του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων "ADINA") σε διάφορα στατικά συστήματα πλαισίων, αποτιμήθηκαν και ποσοτικοποιήθηκαν διάφορα χαρακτηριστικά των φορέων τα οποία καθορίζουν την συμπεριφορά τους, όπως η αντίστασή τους στην πλευρική μετάθεση, η αντοχή, η δυσκαμψία, η πλαστιμότητα κ.α. Βάσει αυτών των χαρακτηριστικών τα πλαίσια συγκρίνονται μεταξύ τους και επιχειρείται να εξαχθούν συμπεράσματα για την καταλληλότητα του κάθε στατικού συστήματος, συναρτήσει βέβαια της λειτουργικότητας και του κόστους του. Ο σκοπός είναι να κατανοήσουμε πως το κάθε στατικό σύστημα παραλαμβάνει το σεισμικό φορτίο, και τι αποτελέσματα έχει η αλλαγή του μεγέθους της διατομής, του είδους της στήριξης, της σύνδεσης ή του συνδέσμου δυσκαμψίας, έτσι ώστε, κατά την διαδικασία της μελέτης ενός κτιρίου να έχουμε τα εφόδια εκείνα που θα μας επιτρέψουν να κρίνουμε πιο στατικό σύστημα είναι το πιο κατάλληλο για την κάθε περίπτωση, να μπορέσουμε μέσω του σχεδιασμού να καθορίσουμε την συμπεριφορά της κατασκευής, να κατευθύνουμε τις αστοχίες εκεί που επιθυμούμε.

Η εργασία χωρίζεται άτυπα σε δύο μέρη, το θεωρητικό και το πρακτικό. Ενώ στο δεύτερο μέρος (κεφάλαια 5 & 6) περιλαμβάνονται οι αναλύσεις και τα συμπεράσματα που προαναφέραμε, στο πρώτο μέρος (κεφάλαια 1, 2, 3, & 4) φιλοδοξούμε να δώσουμε όλα τα στοιχεία εκείνα που συνιστούν το θεωρητικό υπόβαθρο όσων θα ακολουθήσουν.

Συγκεκριμένα, στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, επιχειρείται να δοθούν κάποια πρώτα στοιχεία για το υλικό που χρησιμοποιούμε – τον χάλυβα, για την φόρτιση που εξετάζουμε – τον σεισμό, και κάποια γενικότερα για την διαδικασία της μελέτης. Έτσι, αφού εξεταστούν οι μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα (το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, η ολκιμότητα, η διαρροή κ.α.), στη συνέχεια γίνεται μια αναφορά στα συνήθη φορτία, στους συντελεστές ασφαλείας που χρησιμοποιούνται ανάλογα με το είδος της ανάλυσης που επιλέγουμε και στους συνδυασμούς των δράσεων με τους οποίους ελέγχουμε τις κατασκευές. Τέλος γίνεται μια προσέγγιση του σεισμού ως δυναμική και ανακυκλιζόμενη φόρτιση.

Το 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στις μεθόδους ανάλυσης τις οποίες μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε. Ανάλογα με την θεώρηση γραμμικότητας ή όχι, στο υλικό ή στη γεωμετρία και την ύπαρξη ή όχι ατελειών, διαμορφώνονται αρκετοί τρόποι προσδιορισμού της αντοχής των διατομών, ενώ υπάρχει αναλυτική αναφορά στην περίπτωση της ελαστικής και της ελαστοπλαστικής ανάλυσης, καθώς και των υποκατηγοριών της τελευταίας. Ακολουθεί μια σύντομη διερεύνηση της καμπτικής συμπεριφοράς απλών συστημάτων, ενώ στη συνέχεια αναφέρονται τα κριτήρια αστοχίας και οι μέθοδοι σχεδιασμού που τελικά υπάρχουν. Το κεφάλαιο κλείνει με την περιγραφή των κυριότερων μεθόδων ελαστικών και ελαστοπλαστικών καθολικών αναλύσεων.

Στο Κεφάλαιο 3 εισάγεται η έννοια του αντισεισμικού σχεδιασμού και οι σχετικές απαιτήσεις και κανόνες διαμόρφωσης λεπτομερειών των σύγχρονων κανονισμών ("Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000" και "Ευρωκώδικας 8"). Γίνεται αναλυτική αναφορά στους συντελεστές πλαστιμότητας ( $\mu$ ) και συμπεριφοράς ( $\alpha$ ), που και οι δυο ποσοτικοποιούν την ικανότητα μιας κατασκευής να παραμορφώνεται πέραν της διαρροής χωρίς να θραύεται, καίρια ιδιότητα όταν έχουμε να αντιμετωπίσουμε σεισμό. Κατόπιν περιγράφεται η έννοια του ικανοτικού σχεδιασμού ο οποίος περιορίζει την ανελαστική παραμόρφωση σε επιθυμητές περιοχές. Τέλος παρατίθενται οι κατηγορίες στις οποίες κατατάσσονται τα διάφορα είδη πλαισίων στους προαναφερθέντες αντισεισμικούς κανονισμούς.

Το 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναφέρεται σε βασικές έννοιες της δυναμικής των κατασκευών και της σεισμικής μηχανικής, όπως την ελεύθερη ταλάντωση μονοβάθμιων και πολυβάθμιων συστημάτων -εξηγώντας γιατί ο σεισμός προσομοιάζεται με οριζόντιες δυνάμεις καθ' ύψος της κατασκευής- και την σεισμική απόκριση μονώροφων και πολυώροφων κτιρίων. Επίσης, περιγράφει την διαδικασία κατά την οποία ξεκινώντας από ένα τυχαίο επιταχυνσιογράφημα ενός σεισμού, καταλήγουμε στα φάσματα σχεδιασμού των κανονισμών, με τα οποία μπορούμε να υπολογίσουμε την οριζόντια δύναμη του σεισμού για την κατασκευή μας.

Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο εκτελούνται γραμμικές ελαστικές αναλύσεις ως προς το υλικό και τη γεωμετρία, ενώ το φορτίο επιβάλλεται σε μία χρονική στιγμή όλο μαζί. Εξετάζεται η επιρροή του λόγου ροπών αδράνειας μεταξύ δοκού και υποστυλώματος στα διαγράμματα ροπών και τεμνουσών, στην μετάθεση και τον τρόπο παραμόρφωσης. Γενικεύονται τα συμπεράσματα με σκοπό να βρεθεί ποιο μέλος θα πρέπει να ενισχυθεί σε κάθε περίπτωση. Συγκρίνονται και διαστασιολογούνται οι διατομές των χιαστί συνδέσμων δυσκαμψίας με βάση την αντοχή τους και το κριτήριο λυγηρότητας. Παρατίθενται πλαίσια με διάφορα είδη συνδέσμων δυσκαμψίας και συγκρίνονται μεταξύ τους με βάση την πλευρική μετάθεση, ενώ εξετάζουμε το πόσο μειώνεται η μετάθεση με την αύξηση ορισμένων διατομών.

Στο 6<sup>ο</sup> και τελευταίο Κεφάλαιο, αυτό των μη γραμμικών αναλύσεων, υπολογίζουμε ανελαστικά την συμπεριφορά των φορέων (παραδοχή μεγάλων παραμορφώσεων και ελαστοπλαστικού διαγράμματος τάσεων-παραμορφώσεων), ενώ τα φορτία επιβάλλονται με τη μέθοδο της στατικής υπερωθητικής ανάλυσης (ή μέθοδος της σταδιακής εξώθησης – η γνωστή static push-over analysis). Αρχικά ελέγχεται το είδος της ελαστοπλαστικής ανάλυσης που χρησιμοποιεί το ADINA. Ακολούθως εξετάζουμε την επιρροή του λόγου ροπών αδράνειας στο σχηματισμό των πλαστικών αρθρώσεων, στην δυσκαμψία, στην πλαστιμότητα και στην αντοχή των φορέων. Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά γίνονται συγκρίσεις και μεταξύ καμπτικών πλαισίων με διαφορετικά βάρη, αλλά και μεταξύ πλαισίων με διάφορα είδη συνδέσμων δυσκαμψίας ενώ ακολουθούν συμπεράσματα.

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS  
**Department of Civil Engineering**  
**Division of *Structural Engineering***  
**Laboratory of *Steel Structures***

Diploma thesis

*"Behavior of alternative structural systems  
in metal buildings, when subjected to  
earthquake loads"*

***Xenofontas Floros***

**Supervisor: Dr. Charis Gantes, Assistant Professor NTUA**

**ATHENS, OCTOBER 2005**

## **Abstract**

The goal of this diploma thesis is to study the behavior of simple one-story steel frames while they are subjected to earthquake loads. After the analysis process -which was performed with the help of "ADINA", a Finite Element Method program- and took place for a variety of structural systems, we managed to quantify a number of characteristics that define the behavior of the frames, such as their resistance to lateral drift, their strength, their stiffness, their ductility etc. The frames are compared with each other -regarding the values of the above characteristics- and conclusions are made for the suitability of each structural system, with respect to its functional ability and its cost. The goal is to understand how each structural system deals with the earthquake load, and what effects does the change of the cross-section, the boundary conditions, the type of connections, or the bracing system have, so as to have, during the procedure of designing a building, the necessary knowledge that will allow us to judge which structural system is the most suitable for each occasion. The final objective is to be able to control behavior through design, to direct failure in specific members.

The diploma thesis is constituted of two parts, one theoretical, and one practical. While the second part (chapters 5 & 6) includes the outcome of the analysis process and the conclusions that we mentioned, in the first part (chapters 1, 2, 3 & 4) we provide the theoretical background.

So, in the 1<sup>st</sup> Chapter, we try to provide some general information about the material that we use – steel, about the type of load that the structures are subjected to – earthquake, and few things about the procedure of design. At first we examine some properties of steel, such as stress-strain diagram, ductility, yield etc. Afterwards we mention information about usual loads, the load factors and load combinations that are used according to the kind of the analysis that we perform. Finally, we approach earthquake as a dynamic load.

The 2<sup>nd</sup> chapter is dedicated to the analysis methods that can be used. According to what we consider: linear or non-linear strain-stress diagram, large or only small

displacements, imperfections or not, several ways of determining the strength of the cross-sections are formed. Moreover, there is an extended report for the occasion of elastic and elastic-plastic analysis, as well as for the subdivisions of the second. Afterwards we investigate the flexural behavior of simple structural systems, as well as the failure criteria and the methods of design that we can use. The chapter ends with the description of the most important elastic and elastic-plastic analysis procedures.

In the 3<sup>rd</sup> Chapter we are introduced to the concept of design provisions for earthquake resistance of structures and general requirements that the modern regulations describe ("Greek Earthquake Resistance Regulation 2000" and "Eurocode 8"). Coefficients that quantify the ability of structures to deform beyond yield (very important quality when dealing with earthquakes) are also described. Furthermore, the procedure in which the inelastic deformation is restrained to specific components of the structure is also one of the topics that are handled. Finally we list the categories in which the various kinds of frames are classified, as the above regulations describe.

The 4<sup>th</sup> Chapter is related to basic concepts of dynamics of structures and earthquake engineering, such as free vibration of one-degree or multi-degree systems - explaining why the earthquake drift is replaced by horizontal forces- and the earthquake response of one-story or multistory buildings. Moreover, it describes the procedure in which, starting from the accelerogram of an earthquake, we end up with the design spectrums of the regulations, with which we can calculate the horizontal force of the earthquake for our structure.

In the 5<sup>th</sup> Chapter, we carry out analyses assuming that only small displacements are allowed and that the stress-strain diagram is linear, while the load is performed statically, altogether at one time. We also evaluate the effect of the ratio of the moment of inertia between beams and columns to the moment and shear diagrams, the lateral drift and the deformation of the frames. We make conclusions so as to choose which member must be enhanced so that drift is most reduced. We compare and pick the proper cross-section for the diagonal bracing systems, regarding their strength and the buckling criterion. Finally frames with different kinds of bracing systems are examined and compared between them, regarding their lateral drift, while we also evaluate the decrease of the drift when we increase the cross-sections of some members.

At the 6<sup>th</sup> and last Chapter, we carry out push-over analyses, which means that the stress-strain diagram is considered to be bilinear, large displacements are also allowed, and the loads are imposed step by step till the frame collapses. At first we confirm the kind of elastic-plastic analysis that ADINA uses. Afterwards, we evaluate the effect that the ratio of the moment of inertia has in the formulation of plastic hinges, stiffness, ductility and strength of structures. In order of the above characteristics, we compare ductile frames with different weights and we also compare frames with bracing systems, ending with conclusions.