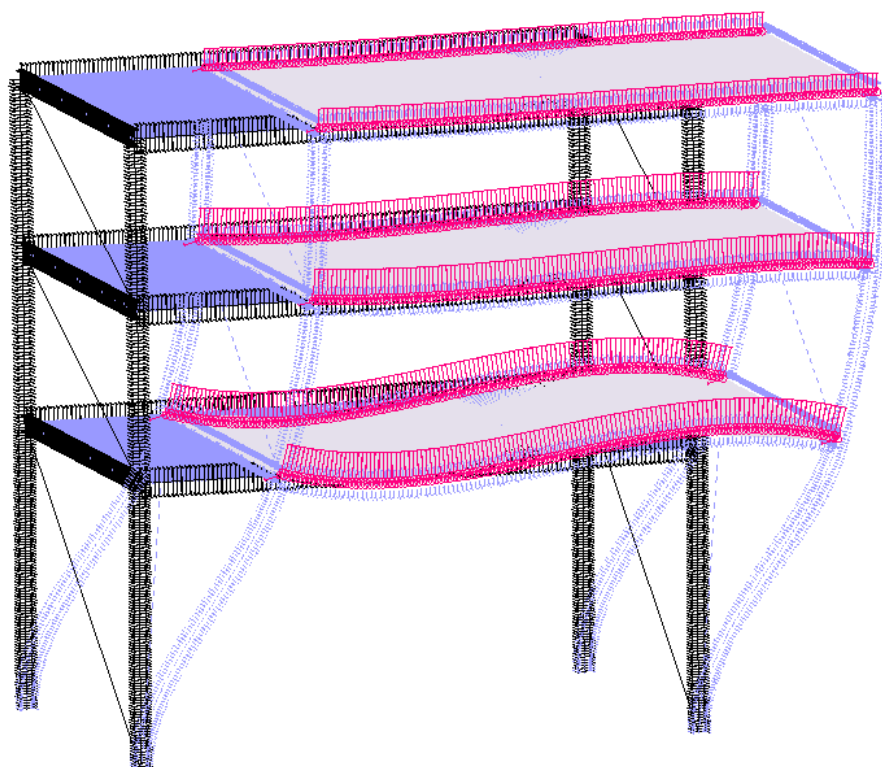




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ



Διπλωματική Εργασία

Ανδρόνικος Σκιαδόπουλος

ΕΜΚ ΔΕ 2016 45

Επιβλέπων: Καθηγητής Χάρης Γαντές

Αθήνα, Οκτώβριος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΔΕ 2016 45

Σύγκριση Εναλλακτικών Μεθόδων Ανάλυσης και Σχεδιασμού Μεταλλικών Πλαισίων

Ανδρόνικος Σκιαδόπουλος

Επιβλέπων: Καθηγητής Χάρης Γαντές
Οκτώβριος 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σύγκριση των εναλλακτικών μεθόδων ανάλυσης και σχεδιασμού μεταλλικών πλαισίων. Ορισμένα από τα θέματα που εξετάζονται περιλαμβάνουν τα όρια που επιτρέπουν ανάλυση πρώτης τάξης, την επίδραση της μη γραμμικότητας του υλικού σε πλαστική ανάλυση και το είδος των μεθόδων ανάλυσης και σχεδιασμού που συνίσταται να εφαρμοστεί στις περιπτώσεις επίπεδων ή τρισδιάστατων μεταλλικών πλαισίων. Επιπροσθέτως, εξετάζονται οι περιπτώσεις κατασκευών στις οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη αρχικές ατέλειες, η σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών τρόπων θεώρησης αρχικών ατελειών, όπως επίσης και η πιο δυσμενής κατεύθυνση τόσο των τοπικών όσο και καθολικών ατελειών.

Με στόχο να εξεταστούν όλα τα παραπάνω θέματα και να καθοριστούν οι συνθήκες που επιτρέπουν την κάθε μέθοδο ανάλυσης και σχεδιασμού, οφείλουν να εξεταστούν κατασκευές ποικίλης λυγηρότητας. Η ανάγκη για συγκρίσιμα αποτελέσματα μεταξύ αυτών των κατασκευών, απαιτεί στις αναλύσεις να χρησιμοποιηθούν σταθερά μεγέθη διατομής και γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Συνεπώς, οι εξωτερικές δυνάμεις είναι το μόνο μεταβαλλόμενο μέγεθος των παραμετρικών αυτών αναλύσεων. Αυτές οι δυνάμεις επιλέγονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να οδηγούν την κατασκευή σε οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ) για πλαστική ανάλυση με ατέλειες.

Στο πρώτο εισαγωγικό κεφάλαιο, παρουσιάζεται η αναγκαιότητα των φαινομένων P-δ σε ορισμένες μεταλλικές κατασκευές, όπως επίσης τονίζεται η σπουδαιότητα των αρχικών ατελειών στις κατασκευές αυτές. Τέλος, αναφέρεται συνοπτικά η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Το δεύτερο κεφάλαιο έχει ως κύριο στόχο την εξέταση και τη σύγκριση των εναλλακτικών προτάσεων του Ευρωκώδικα 3. Για να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός, εφαρμόζονται παραμετρικές πλαστικές αναλύσεις για όλο το εύρος κατασκευών και με όλες τις πιθανές αρχικές ατέλειες, σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις του ΕΚ3. Συγκεκριμένα, καθοριστική αποτελεί η εξέταση της συνθήκης $a_r > 15$ που οδηγεί σε ανάλυση πρώτης τάξης. Επιπροσθέτως, συγκρίνονται όλοι οι προτεινόμενοι τρόποι εισαγωγής αρχικών ατελειών σε μεταλλικούς φορείς. Μεταξύ άλλων, εξετάζεται η πιο δυσμενής κατεύθυνση των ατελειών, η γεωμετρικά επιβαλλόμενη αρχική ατέλεια σε σύγκριση με την ισοδύναμη επιβολή δυνάμεων στο φορέα καθώς και ο ρόλος του υλικού στις πλαστικές αναλύσεις. Τέλος, εισάγεται μια προτεινόμενη μεθοδολογία που αφορά στον υπολογισμό και εφαρμογή αρχικών ατελειών στο σχήμα της πρώτης κρίσιμης

ιδιομορφής λυγισμού. Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα, επιλέγεται για την εξωτερική φόρτιση πολλαπλασιαστικός συντελεστής κατάρρευσης $\lambda=1$.

Στο τρίτο κεφάλαιο εξετάζονται ελαστικές παραμετρικές αναλύσεις σύμφωνα με την αναθεωρημένη έκδοση του Ευρωκώδικα 3. Στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι η αξιολόγηση των προτεινόμενων μεθόδων ανάλυσης και σχεδιασμού για όλο το εύρος κατασκευών που αναφέρθηκε. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, κάθε κατασκευή εξετάζεται και αναλύεται με κάθε μια από τις προτεινόμενες μεθόδους. Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα των αναλύσεων βρίσκονται σε αντίθεση με τις προτάσεις του Ευρωκώδικα 3, προτείνονται οι αντίστοιχες αλλαγές. Τέλος, συγκρίνονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων και τον Ευρωκώδικα 3 σχετικά με το λυγισμό μελών και κατασκευής καθώς και τα αποτελέσματα των πλαστικών και ελαστικών αναλύσεων.

Λόγω αποκλίσεων μεταξύ των προτεινόμενων διατάξεων και των αναλύσεων οι οποίες αποδίδονται στη σπουδαιότητα που έχουν τα φαινόμενα εκτός επιπέδου, το τέταρτο κεφάλαιο εξετάζει όλες τις μεθόδους του ΕΚ3 σε ρεαλιστικά τρισδιάστατα μεταλλικά πλαίσια. Με αυτόν τον τρόπο θα αξιολογηθούν τα αποτελέσματα των προηγούμενων δυο κεφαλαίων που εξέταζαν μια απλοποιημένη μορφή κατασκευής, αυτή του επιπέδου πλαισίου. Με στόχο τα αποτελέσματα να είναι και πάλι συγκρίσιμα, η παρούσα κατασκευή επιλέγεται να αποτελείται από δυο παράλληλα πλαίσια. Η μόνη διαφοροποίηση σε σχέση με τα προσομοιώματα του τρίτου κεφαλαίου, εντοπίζεται στο γεγονός ότι εκτός του επιπέδου των πλαισίων, εφαρμόζονται οριζόντιες δυνάμεις και κατ' επέκταση εμφανίζονται εκτός επιπέδου φαινόμενα. Τέλος, στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο, παρατίθενται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς και προτάσεις για μελλοντική έρευνα στο χώρο των αναλύσεων και σχεδιασμού μεταλλικών κατασκευών.



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES

DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2016 45

Comparison of Alternative Methods for the Analysis and Design of Steel Frames

Andronikos Skiadopoulos

Supervisor: Professor Charis Gantes
October 2016

ABSTRACT

The primary objective of this thesis is to examine the alternative methods of analysis and design of steel frames and structures. Some of the issues treated include the limits that allow for first order analysis, the impact of material in plastic analysis and the kind of analysis and design that should be applied in each case, both for plane frames and realistic three dimensional steel structures. Furthermore, this thesis also examines the cases in which imperfections should be incorporated in the analysis, the differences between alternative ways of imperfections' consideration, as well as what the most unfavourable direction of both global and local imperfections is.

In determining the limits that differentiate each analysis and design method and generally in exploring the aforementioned issues, structures of diverse slenderness should be examined. The need for comparable results among all structures led to analyses of structures of identical cross-sections, geometry and dimensions. Consequently, their distinctive characteristic in the parametric analyses is the external loading which is chosen so that it leads the structure to its ultimate limit state (ULS) according to plastic analysis (GMNIA). Hence, it is feasible to create a satisfying spectrum of structures' slenderness of comparable results.

In the first chapter, an introduction in the necessity of second order analysis in some cases of steel structures is presented. Additionally, the impact that imperfections may have in specific occasions in structures is also highlighted. Finally, briefly insights into the objective and scope of each upcoming chapter are also introduced.

In the second chapter, the main scope is the evaluation and the comparison of the different proposals of Eurocode 3. For that reason, plastic parametric analyses with all possible imperfections are applied for the entire spectrum of structures according to the current version of EC3. In particular, the primary purpose is to determine whether the condition $a_{cr} > 15$ that allows for first order analysis is accurate. Furthermore, thorough insights into the impact of each proposed method of taking into account imperfections are given. Among others, the most unfavourable direction of imperfections, the difference between geometrically applied imperfections and applying equivalent forces and the impact of material on varying structures, are all topics examined in this thesis. Moreover, an extensive methodology related to how imperfections in the shape of the critical elastic buckling mode are applied in structures is

introduced in this chapter. Due to the need for comparable results, external loads are chosen in every case so that the multiplying collapse factor of the structure is $\lambda=1$.

In the third chapter, elastic parametric analyses with the same external loads as before are applied to the structures according to the revised version of Eurocode 3. The aim of this chapter is the evaluation of the proposed method of analysis and design for each structure of the spectrum. To achieve this goal, every structure is analysed and verified with every possible method and, lastly, the most appropriate one is suggested. If that method is different than the proposed one, a revision will be required. Additionally, results of both Eurocode 3 and linear buckling analysis (LBA) regarding the member buckling verification and results of plastic and elastic analysis are also compared in this chapter.

Due to inconsistencies in the results of the previous chapter and the proposed methods of Eurocode 3 that are attributed to out-of-frame's-plane effects, the fourth chapter examines all proposed methods in a realistic three-dimensional structure. In that way, it is possible to determine whether the simplified frame structure of the second and third chapter produced reliable results. In order for the results of each chapter to be comparable, the external loading in this case is also identical to the previous structures' loading with the difference that out-of-frame's-plane horizontal forces are added in the analysis so that out-of-plane effects are taken into consideration. Finally, in the fifth and final chapter, final remarks and conclusions of the diploma thesis are presented, and suggestions for further investigation in the field of methods of analysis and design of steel structures are suggested.