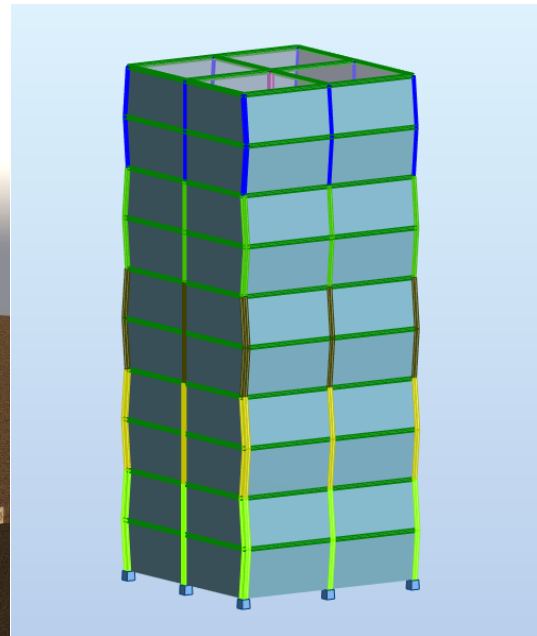
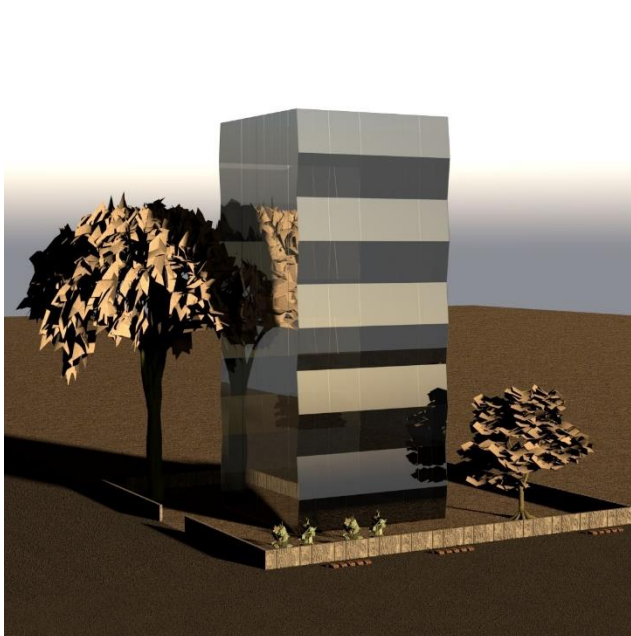




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών



ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ ΜΕΣΩ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ



Διπλωματική Εργασία
Λάμπρος Μπερτσιάς

EMK ΔΕ 2023 2

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2023

Copyright © Λάμπρος Μπερτσιάς, 2023
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια του συγγραφέα. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Lampros Bertsiias, 2023
All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organisation (L. 5343/1932, art. 202).

Λάμπρος Μπερτσιάς (2023)
Σχεδιασμός μεταλλικών φορέων μέσω μη γραμμικών αναλύσεων
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2023 2
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Lampros Bertias (2023)
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2023 2
Design of metal structures through non-linear analyses
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Χάρη Γαντέ αρχικώς για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το αντικείμενο της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς και για την πλήρη καθοδήγηση του καθ' όλη την διάρκεια υλοποίησης της. Οι συμβουλές του από τα πρώτα στάδια της εργασίας μέχρι και την σύνταξη αυτής, καθώς και η ανεκτίμητη βοήθεια του στην επίλυση των προβλημάτων που εμφανίζονταν στην πορεία ήταν καθοριστικές για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την υποστήριξη που μου παρείχαν σε όλα βήματα των ακαδημαϊκών μου χρόνων.

Λάμπρος Μ. Μπερτσιάς

Αθήνα, Μάρτιος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΔΕ 2023 2

Σχεδιασμός μεταλλικών φορέων μέσω μη γραμμικών αναλύσεων

Λάμπρος Μπερτσιάς

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διαστασιολόγηση δύο μεταλλικών πλαισιακών φορέων μέσω μη γραμμικών αναλύσεων και η σύγκριση των εναλλακτικών μεθόδων ανάλυσης που προτείνει ο νέος Ευρωκώδικας 3. Ορισμένα από τα θέματα που εξετάζονται περιλαμβάνουν τα κριτήρια που θέτονται για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου, την επίδραση της παραμορφωμένης γεωμετρίας των κατασκευών και τις αρχικές ατέλειες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την ανάλυση και τον σχεδιασμό εύκαμπτων φορέων. Επίσης, σημαντική αναφορά γίνεται στους ελέγχους που αξιοποιεί η κάθε μέθοδος ανάλυσης, είτε αυτή είναι γεωμετρικά μη γραμμική με ατέλειες και ελέγχους σε επίπεδο διατομής, είτε γραμμική ανάλυση πρώτης τάξης και ελέγχους σε επίπεδο μελών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο και μετά την εισαγωγή αρχικών εννοιών παραμορφωμένης γεωμετρίας και ατελειών στις κατασκευές, γίνεται παρουσίαση των δράσεων που επενεργούν στις κατασκευές. Παρουσιάζονται οι μόνιμες, μεταβλητές και σεισμικές δράσεις, καθώς και πώς αυτές λήφθηκαν υπόψη στον σχεδιασμό των συγκεκριμένων πλαισίων. Τέλος, γίνεται αναφορά στους συνδυασμούς φορτίσεων, τόσο για σχεδιασμό σε οριακή κατάσταση αστοχίας, όσο και για οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.

Με το τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια αποτύπωση του θεωρητικού υποβάθρου που εισάγει ο νέος κανονισμός και των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για την διαστασιολόγηση. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρονται οι επιδράσεις της παραμορφωμένης γεωμετρίας, η εφαρμογή ατελειών σε καθολικό/τοπικό επίπεδο, οι νέες μέθοδοι που εισάγει ο Ευρωκώδικας για ανάλυση 2^{ας} τάξης και οι τύποι ελέγχων που απαιτούνται στην εκάστοτε ανάλυση. Τέλος, γίνεται αναφορά στην μη γραμμική ανάλυση P-Delta και στην μη γραμμικότητα του υλικού.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο σχεδιασμός του οκταώροφου μεταλλικού φορέα. Αρχικώς με την αποτύπωση της γεωμετρίας του, των επιμέρους φορτίσεων και της διαδικασίας προσομοίωσης του. Στην συνέχεια, δείχνονται οι αναλύσεις και οι παράμετροι που εφαρμόστηκαν όπως η γεωμετρικά μη γραμμική ανάλυση με ατέλειες μετάθεσης και τοπικές ατέλειες, η ιδιομορφική ανάλυση λυγισμού και η γεωμετρικά μη γραμμική ανάλυση με ατέλειες στο σχήμα της κρίσιμης ελαστικής μορφής λυγισμού. Τέλος, συγκρίνονται οι αναλύσεις μεταξύ

τους ως προς τα αποτελέσματα των βαθμών αξιοποίησης των υποστυλωμάτων και εξάγονται κάποια συμπεράσματα μέσω συγκεντρωτικών πινάκων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται ο σχεδιασμός ενός δεκαώροφου μεταλλικού κτιρίου χώρου γραφείων, με κύριο χαρακτηριστικό από άποψη γεωμετρίας την ύπαρξη κεκλιμένων υποστυλωμάτων. Η προσομοίωση του φορέα ακολουθεί την λογική που περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο, με διαφοροποίηση στην εφαρμογή των φορτίων ανέμου όπου εδώ έγινε προσομοίωση ροής ανέμου μέσω του λογισμικού. Επίσης, τα αποτελέσματα των διαφορετικών αναλύσεων παρουσιάζονται στο τέλος του κεφαλαίου σε συγκεντρωτικούς πίνακες μαζί με τα αντίστοιχα συμπεράσματα. Τέλος, στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο, παρατίθενται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς και προτάσεις για μελλοντική έρευνα σε διαφορετικού τύπου φορείς.



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



DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2023 2

Design of metal structures through non-linear analyses

Lampros Bertsiias

Supervisor: Professor Charis Gantes

ABSTRACT

The main objective of this thesis is the analysis of two metal frame structures through non-linear analyzes and the comparison of the alternative analysis methods proposed by the new version of Eurocode 3. Some of the topics covered include the criteria for selecting the appropriate method, the effect of distorted geometry of structures and the initial imperfections that must be considered in the analysis and design of flexible structures. Also, important reference is made to the checks that each analysis method utilizes, whether it is geometrically nonlinear with imperfections and cross-sectional level checks, or first-order linear analysis and member-level checks.

In the second chapter and after the introduction of initial concepts of distorted geometry and imperfections, the actions acting on structures are presented. The permanent, variable and seismic actions are presented, as well as how they were taken into account in the design of the specific frames. Finally, reference is made to load combinations, both for design in the limit state of failure, and for the limit state of functionality.

The third chapter describes the theoretical background introduced by the new regulation and the parameters used for design and analysis. More specifically, the effects of distorted geometry, the application of imperfections at a global/local level, the new methods introduced by the Eurocode for 2nd order analysis and the types of checks required in each analysis are mentioned. Finally, reference is made to nonlinear P-Delta analysis and material nonlinearity.

The fourth chapter presents the design of the eight-story metal structure. Initially by capturing its geometry, individual charges and its simulation process. In the following, the analyzes and parameters applied are shown such as the geometrically nonlinear analysis with displacement imperfections and local imperfections, the buckling analysis and the geometrically nonlinear analysis with imperfections in the shape of the critical elastic buckling mode. Finally, the analyzes are compared with each other in terms of the results of the degrees of utilization of the columns and some conclusions are drawn through summary tables.

In the fifth chapter, the design of a ten-story metal office building is analyzed, with the main feature in terms of geometry being the existence of inclined columns. The simulation of the carrier follows the logic described in the previous chapter, with a difference in the application

of wind loads where wind flow was simulated through the software. Also, the results of the different analyzes are presented at the end of the chapter in summary tables together with the corresponding conclusions. Finally, in the sixth and last chapter, the conclusions of this thesis are listed as well as suggestions for future research in different types of structures.