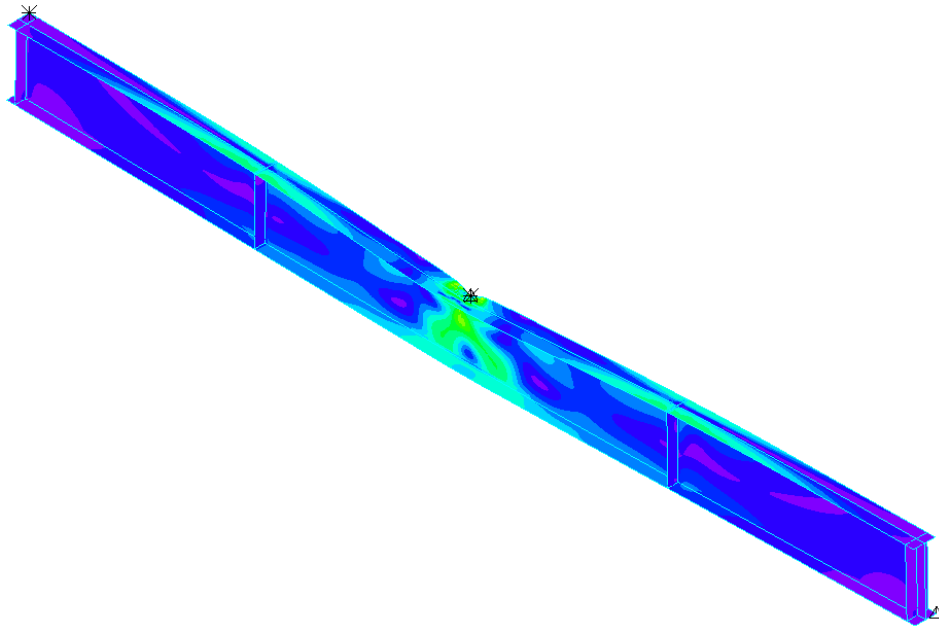




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών



## Σχεδιασμός Μεταλλικών Κατασκευών βάσει Αναλύσεων Πεπερασμένων Στοιχείων



Διπλωματική Εργασία  
**ΜΙΧΑΗΛ ΤΣΑΓΚΑΡΑΚΗ**

EMK ΔΕ 2023 8

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Καθηγητής Ε.Μ.Π.  
Αθήνα, Ιούλιος 2023

Copyright © Μιχαήλ Τσαγκαράκης, 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 Μετσόβιου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Michail Tsagkarakis, 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).

Μιχαήλ Τσαγκαράκης (2023)  
Σχεδιασμός Μεταλλικών Κατασκευών Βάσει Αναλύσεων Πεπερασμένων Στοιχείων  
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2023 8  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Michail Tsagkarakis (2023)  
Design of Steel Structures Based on Finite Element Analysis  
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2023 8  
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

## Ευχαριστίες

Με την περάτωση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω πρώτα από όλα τον επιβλέποντα Καθηγητή Χάρη Γαντέ, ο οποίος με εμπιστεύτηκε και μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ και να εμβαθύνω στο κομμάτι των μη γραμμικών αναλύσεων, ενώ παράλληλα μου παρείχε διαρκή και άμεση καθοδήγηση κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών και την Γραμματεία αυτού κα Μπεκιάρη Βασιλεία για την οργάνωση και τις χρήσιμες πληροφορίες που μου παρείχαν. Βάση των παραδειγμάτων εφαρμογής της εργασίας αποτέλεσε η έρευνα της Καθηγήτριας Itsaso Arrayago, η βοήθεια της οποίας ήταν ουσιαστική, επιλύοντας απορίες που γεννήθηκαν.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω οικογένεια και φίλους, για την αγάπη και στήριξη καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου και ιδιαίτερα κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου. Μάνο, Χριστίνα, Στέλιο, Λευτέρη και Μάριε σας ευχαριστώ.

## Acknowledgement

This research has been supported by the ADDOPTML project: "ADDitively Manufactured OPTimized Structures by means of Machine Learning" (No: 101007595) belonging to the Marie Skłodowska-Curie Actions (MSCA) Research and Innovation Staff Exchange (RISE) H2020-MSCA-RISE-2020.



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΕΜΚ ΔΕ 2023 8

**Σχεδιασμός Μεταλλικών Κατασκευών Βάσει Αναλύσεων Πεπερασμένων Στοιχείων**

**Μιχαήλ Τσαγκαράκης**

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Καθηγητής Ε.Μ.Π

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Δεδομένης της ραγδαίας υπολογιστικής ανάπτυξης που έχει σημειωθεί τα τελευταία χρόνια, όλο και πιο σύνθετα υπολογιστικά προβλήματα καθίστανται πιο προσεγγίσιμα και ευρέως διαδεδομένα. Ένας τρόπος προσέγγισης τους είναι η χρήση πεπερασμένων στοιχείων, παράλληλα με την χρήση μη γραμμικών αναλύσεων. Με συνδυαστική χρήση αυτών των δύο μεθόδων επιτυγχάνεται ακριβέστερη κατανόηση αλλά και απεικόνιση της απόκρισης ενός φορέα, ενώ ταυτόχρονα γεωμετρικά περίπλοκοι φορείς μπορούν να περιγραφούν επ' ακριβώς.

Οι κανονιστικές απαιτήσεις που υποστηρίζουν τη χρήση των πεπερασμένων στοιχείων και αναλυτικότερα τις μη γραμμικές αναλύσεις, περιγράφονται στα προσχέδια των μερών 1-14 και 1-141 του ΕΚ3. Η παρούσα διπλωματική, της οποίας τον πυρήνα αποτελούν αυτά τα δύο μέρη, παρουσιάζει τον τρόπο χρήσης των πεπερασμένων στοιχείων, ενώ παρέχονται γενικές συστάσεις σχεδιασμού για τα αριθμητικά προσομοιώματα που αφορούν ακόμη και καθημερινά ζητήματα Πολιτικού Μηχανικού. Σημαντική είναι η συμβατότητα τους με τους ισχύοντες κανονισμούς, προκειμένου να μην υπάρχει απόκλιση μεταξύ αποτελεσμάτων ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων και συμβατικών μεθόδων σχεδιασμού.

Βάσει του απώτερου σκοπού χρήσης των αποτελεσμάτων, γίνεται μια σημαντική διάκριση των αναλύσεων, η οποία αφορά τόσο τον τρόπο εφαρμογής των παραμέτρων της ανάλυσης, όσο και τους συμβατούς τύπους αναλύσεων. Οι δυο βασικές κατηγορίες, αφορούν τις αναλύσεις που γίνονται πρώτον για σχεδιασμό φορέων, και δεύτερον για επιβεβαίωση πειραματικών δεδομένων.

Πάνω σε αυτή την διάκριση, βασίστηκαν τέσσερα παραδείγματα εφαρμογής τα οποία αναλύθηκαν με λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων. Στόχος τους, η εφαρμογή και παράλληλα η επιβεβαίωση όλων των κανόνων και συστάσεων των μερών 1-14 και 1-141, και τελικά η σύγκριση των αποτελεσμάτων τους με εδραιωμένες μεθόδους ή και υπάρχουσες έρευνες και πειραματικά δεδομένα. Σε δεύτερη φάση, μέσω των εφαρμοσμένων παραδειγμάτων, αξιολογούνται και οι ίδιες οι συστάσεις των δύο μερών, συγκριτικά με τους υπάρχοντες κανόνες του ΕΚ3.



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



DIPLOMA THESIS  
EMK ΔΕ 2023 8

## **Design of Steel Structures Based on Finite Element Analysis**

**Michail Tsagkarakis**

Supervisor: C. Gantes, Professor, N.T.U.A.

### **ABSTRACT**

Given the rapid development of computing that has occurred in recent years, more and more complex computing problems are becoming more accessible and widespread. One way of approach, is the use of finite elements, alongside the use of non-linear analyses. With the combined use of these two methods, a more accurate understanding and visualization of a System's Response Quantities is achieved, while at the same time, geometrically complex carriers can be accurately described.

The regulatory requirements supporting the use of the finite elements and more specifically non-linear analyses, are described in the drafts of parts 1-14 and 1-141 of EC3. In this thesis, the core of which are the above two parts, presents how to accurately use finite elements models, while providing general design recommendations for numerical simulations that address even on everyday Civil Engineering issues. Their compatibility with current regulations is important, so that there is no discrepancy between finite element analysis results and conventional design methods.

Based on the ultimate purpose of using the results, an important distinction is made between the analyses, which concerns both the way the analysis parameters are applied and the compatible types of analyses. The two main categories, include the analyzes that are done firstly for the design of carriers, and secondly for the confirmation of experimental data.

On this discretization, four application examples were based, which were all analyzed with finite element software. Their goal is to implement, and at the same time, confirm all the rules and recommendations of parts 1-14 and 1-141, and finally to compare their results with established methods or existing research and experimental data. In a second phase, through the applied examples, the recommendations of the two parts themselves, are evaluated, compared to the existing rules of EC3.