

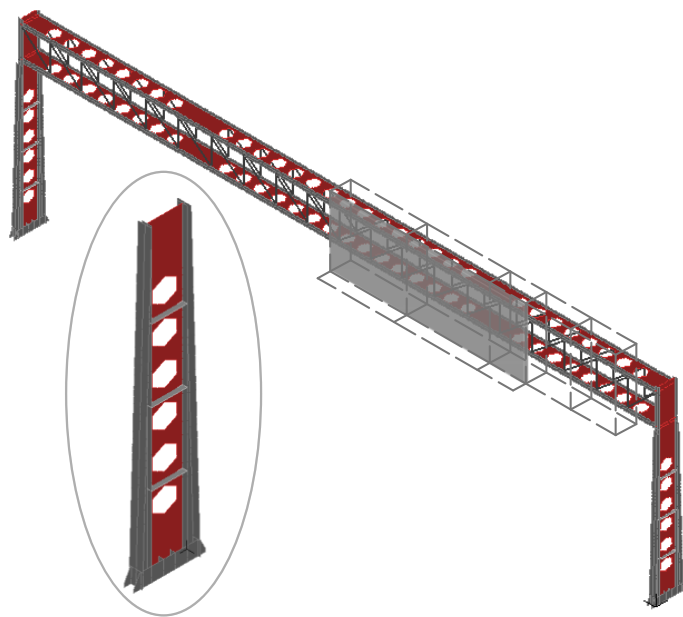


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών



ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ ΣΗΜΑΝΣΗΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΩΝ ΜΕ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΔΙΠΛΟΥ ΤΑΥ ΜΕ ΔΙΑΚΕΝΑ ΚΟΡΜΟΥ

Response Investigation of Steel Highway Sign Support
Structures with I Sections with Web Openings



Διπλωματική Εργασία
Μαρία Λήδα Καραμάνη

ΕΜΚ ΔΕ 2025 08

Επιβλέπων: Χαράλαμπος Γαντές, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2025

Copyright © Μαρία Λήδα Καραμάνη, 2025
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 της συγγραφέως. 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 την συγγραφέα.

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

Copyright © Maria Lida Karamani, 2025
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).

Μαρία Λήδα Καραμάνη (2025)

Διερεύνηση της Απόκρισης Μεταλλικών Φορέων Γεφυρών Σήμανσης Αυτοκινητοδρόμων με Διατομές

Διπλού Ταυ με Διάκενα Κορμού

Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2025 08

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Maria Lida Karamani (2025)

Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2025 08

Response Investigation of Steel Highway Sign Support Structures with I Sections with Web Openings

Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ πολύ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Χαράλαμπο Γαντέ για τη συνεχή καθοδήγηση, το ενδιαφέρον και τη βοήθειά του σε οποιαδήποτε δυσκολία προέκυψε κατά διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Ακόμα, ευχαριστώ πολύ την κ. Κατερίνα Νταϊφώτη για τη διάθεση του αριθμητικού μοντέλου του φορέα και τον κ. Βασίλη Μελισσιανό για την βοήθειά του στην εγκατάσταση του προγράμματος ADINA.

Ευχαριστώ πολύ την οικογένειά μου, τους γονείς μου και την αδερφή μου για την κατανόηση, διαρκή υποστήριξη και ενθάρρυνσή τους σε όλα τα χρόνια της μαθητικής και φοιτητικής μου ζωής. Τέλος ευχαριστώ τους συμφοιτητές και φίλους μου για τη συμπαράστασή τους.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΔΕ 2025 08

**Διερεύνηση της Απόκρισης Μεταλλικών Φορέων Γεφυρών Σήμανσης
Αυτοκινητοδρόμων με Διατομές Διπλού Ταυ με Διάκενα Κορμού**

Μαρία Λήδα Καραμάνη

Επιβλέπων: Χαράλαμπος Γαντές, Καθηγητής ΕΜΠ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η απόκριση μεταλλικών φορέων γεφυρών σήμανσης αυτοκινητοδρόμων με διατομές διπλού ταυ με διάκενα κορμού αποτελεί ένα σύνθετο αντικείμενο μελέτης λόγω της μη συμβατικής γεωμετρίας και της πολύπλοκης φύσης της βασικής φόρτισης, δηλαδή των ανεμοπιέσεων. Στο πλαίσιο της εργασίας, μελετάται φορέας δίστυλου πλαισίου με διαμόρφωση υποστυλωμάτων και ζυγώματος με εξαγωνικά διάκενα κορμού. Προηγείται εκτενής διερεύνηση του τρόπου συμπεριφοράς μελών με διάκενα κορμού και του ρόλου των ανεμοπιέσεων λόγω διέλευσης φορτηγών οχημάτων.

Στην πρώτη φάση διερεύνησης μελετάται ο τρόπος συμπεριφοράς χαλύβδινων μελών με διάκενα κορμού. Μετά από εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση αναλύεται ο μηχανισμός παραλαβής φορτίων, παρουσιάζονται οι πιθανές μορφές αστοχίας και αναφέρονται οι προτεινόμενοι τρόποι προσομοίωσης. Επιχειρείται συγκέντρωση των κανονιστικών διατάξεων της 2^{ης} γενιάς των Ευρωκωδίκων αλλά και των υπάρχοντων συστάσεων σχεδιασμού και διαστασιολόγησης.

Στη δεύτερη φάση διερεύνησης εξετάζονται οι ανεμοπιέσεις επί πινακίδων σήμανσης λόγω διέλευσης φορτηγών οχημάτων. Γίνεται παράθεση διαφορετικών προτάσεων εκτίμησης του μεγέθους αυτών των πιέσεων από τη δεκαετία του 1970 μέχρι σήμερα και συγκριτική αξιολόγηση αυτών.

Ακολουθεί προσομοίωση και μη γραμμική ανάλυση μεμονωμένου υποστυλώματος του φορέα σήμανσης σε περιβάλλον ADINA λόγω της σύνθετης μη συμβατικής γεωμετρίας του και με σκοπό την παρακολούθηση εξέλιξης των τάσεων κορμού, εστιάζοντας στις περιοχές των γωνιών των οπών. Γίνεται χρήση αριθμητικού προσομοιώματος επιφανειακών πεπερασμένων στοιχείων και εκτελείται αρχικά Γραμμική Ανάλυση Λυγισμού, από την οποία προκύπτουν τα κρίσιμα φορτία λυγισμού του υποστυλώματος και οι αντίστοιχες ιδιομορφές λυγισμού. Έπεται μία σειρά από μη γραμμικές αναλύσεις λαμβάνοντας υπόψη σταδιακά μη γραμμικότητα γεωμετρίας, αρχικές ατέλειες και μη γραμμικότητα υλικού. Εξετάζεται η εξέλιξη των τάσεων Von Mises καθώς και των κύριων εφελκυστικών και θλιπτικών τάσεων με επικέντρωση της προσοχής στις περιοχές των γωνιών των εξαγωνικών οπών.

Τέλος για τη διερεύνηση της επιρροής των οπών στις αναπτυσσόμενες τάσεις κορμού, γίνεται ανάλυση αντίστοιχου συμπαγούς υποστυλώματος, κατασκευή και αξιολόγηση συγκριτικών διαγραμμάτων κύριων τάσεων-επιβαλλόμενου φορτίου.



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



DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2025 08

Response Investigation of Steel Highway Sign Support Structures with I Sections with Web Openings

Maria Lida Karamani

Supervisor: Charalampos Gantes, Professor NTUA

ABSTRACT

The study of steel highway sign support structures with I sections with web openings presents significant challenges due to their non-standard geometry and the intricate nature of wind loads. This investigation examines a frame-type variable message sign support structure with castellated steel members. An in-depth study is conducted on the behavior of castellated members and the significance of truck-induced wind gusts.

The first part of the research investigation examines the structural behavior of castellated steel beams. Following a thorough literature review, the load path across the perforated section is analyzed, possible failure modes are presented, and the proposed modeling techniques are described. The regulatory provisions from the forthcoming second-generation Eurocodes alongside current design guidelines are also presented.

The second part of the research investigation evaluates the impact of truck induced wind gusts on variable message sign support structures. This section presents and comparatively analyzes various methodologies, spanning from early approaches developed in the 1970s to the present, for the estimation of this type of wind pressure.

The study employs ADINA finite element software to model the structure's most critically loaded column, implementing nonlinear analysis methods to address the complex geometry and to observe the evolution of stresses in the web, particularly around the hexagonal openings. Utilizing a numerical model of shell elements, the investigation begins with a Linearized Buckling Analysis to determine the critical buckling loads of the column and the corresponding buckling modes. This is followed by a series of nonlinear analyses, progressively accounting for geometry nonlinearity, initial imperfections and material nonlinearity. The evolution of Von Mises stresses along with the principal tensile and compressive stresses is observed, focusing on the areas surrounding the hexagonal web openings.

The investigation concludes with a series of nonlinear analyses conducted on the column absent the web perforations, to assess the hexagonal openings' influence on stress development. Comparative principal stress-load diagrams are generated and analyzed.