



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ**

**Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών**

**Διπλωματική Εργασία**

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ  
ΣΩΛΗΝΟΔΙΑΔΡΟΜΩΝ**



**Ελένη Κοσμίδου**

Επιβλέπων:

Χάρης Γαντές, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2015  
ΕΜΚ ΔΕ 2015/38**

Ελένη Ι. Κοσμίδου (2015)  
Σχεδιασμός μεταλλικών φορέων σωληνοδιαδρόμων  
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2015/38  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Eleni I. Kosmidou (2015)  
Design of structural steel pipe racks  
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2015/38  
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Copyright © Eleni I. Kosmidou, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, 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 τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

No part of these pages, either text or image may be used for any purpose other than personal use. Therefore, reproduction, modification, storage in a retrieval system or retransmission, in any forms or by any mean, electronic, mechanical or otherwise, for reasons other than personal use, is strictly prohibited without prior written permission.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Διπλωματική Εργασία  
ΕΜΚ ΔΕ 2015/38

## **ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ ΣΩΛΗΝΟΔΙΑΔΡΟΜΩΝ**

**Ελένη Κοσμίδου**

Επιβλέπων:

Χάρης Γαντές, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

### **Περίληψη**

Με τη πάροδο του χρόνου, η συνεχής αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας οδηγεί στην ανάγκη καλύτερης εκμετάλλευσης των διαθέσιμων φυσικών πόρων, όπως πετρελαίου, φυσικού αερίου, νερού ή οποιωνδήποτε άλλων προς μεταφορά υλικών, τα οποία χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές διεργασίες. Για το λόγο αυτό επιλέγεται η κατασκευή μεταλλικών φορέων σωληνοδιαδρόμων, ώστε να υποστηριχθούν οι αγωγοί που μεταφέρουν τα προαναφερόμενα ρευστά (υγρά και αέρια), καθώς και ο απαραίτητος μηχανολογικός εξοπλισμός. Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι να μελετήσει την συμπεριφορά μιας μεταλλικής κατασκευής σωληνοδιαδρόμων, χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων, αφού πρώτα ελεγχθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων του.

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται συνοπτικά ο τύπος της κατασκευής αυτής, καθώς και η στατική της μόρφωση, η οποία πρέπει να είναι τέτοια ώστε ο μεταλλικός φορέας να προστατεύει τους αγωγούς από ενδεχόμενη αστοχία και να παραλαμβάνει με ασφάλεια τα επιβαλλόμενα φορτία. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται τα φορτία που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό των μεταλλικών φορέων σωληνοδιαδρόμων και παρουσιάζονται κάποιες συνδέσεις των αγωγών πάνω στην φέρουσα κατασκευή. Οι συνδέσεις που παρουσιάζονται σε αυτήν την εργασία είναι ενδεικτικές, καθώς η επιλογή του τρόπου σύνδεσης των αγωγών πάνω στον φορέα εξαρτάται από το υλικό και την διάμετρο του αγωγού, την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και των υλικών που μεταφέρουν οι αγωγοί, αλλά και από την στατική λειτουργία όλου του φορέα.

Στο τρίτο κεφάλαιο προσδιορίζεται η οριακή αντοχή μιας κλειστής ορθογωνικής διατομής καθώς και μιας διατομής διπλού ταυ περί τον ισχυρό και τον ασθενή της άξονα, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στις επόμενες αναλύσεις. Εξάγονται αναλυτικές σχέσεις που συσχετίζουν τη ροπή με την καμπυλότητα για διάφορες τιμές αξονικών δυνάμεων στην ελαστική και ελαστοπλαστική περιοχή, θεωρώντας ότι το υλικό συμπεριφέρεται ελαστικά-απολύτως πλαστικά. Οι διατομές υποβάλλονται σε απλή κάμψη περί τον ισχυρό και ασθενή τους άξονα, καθώς και σε ταυτόχρονη κάμψη με αξονική δύναμη και εξάγονται αναλυτικά οι σχέσεις ροπών-καμπυλοτήτων. Ακολουθώντας τα αναλυτικά αποτελέσματα συγκρίνονται με αποτελέσματα αριθμητικών αναλύσεων.

Στους μεταλλικούς φορείς σωληνοδιαδρόμων χρησιμοποιούνται κυρίως διατομές διπλού ταυ. Επειδή ο φορέας που θα μελετηθεί, θα προσομοιωθεί σε λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων, πρέπει να ελεγχθεί κατά πόσο το πρόγραμμα προσεγγίζει ικανοποιητικά ή όχι την οριακή αντοχή της διατομής διπλού ταυ. Στο τέταρτο κεφάλαιο, λοιπόν, συγκρίνονται οι αναλυτικές και οι αριθμητικές λύσεις μιας αμφιέριστης και μιας αμφίπακτης δοκού, καθώς και ενός αμφιαρθρωτού και αμφίπακτου πλαισίου, στα οποία χρησιμοποιείται η συγκεκριμένη διατομή. Στις εφαρμογές αυτές, η διατομή περιγράφεται τόσο με σχέσεις ροπών-καμπυλοτήτων που εξάγονται από το πρόγραμμα Βiaxial, όσο και με την διατομή διπλού ταυ που το πρόγραμμα έχει ως επιλογή, ώστε να ελεγχθεί ποιος από τους δύο τρόπους περιγράφει σε ικανοποιητικό βαθμό την συμπεριφορά της διατομής αυτής. Με αυτό τον τρόπο, θα προσεγγίζεται η πραγματική συμπεριφορά της μεταλλικής κατασκευής και θα αξιολογούνται καλύτερα τα αποτελέσματα των αναλύσεων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο μορφώνεται το υπολογιστικό προσομοίωμα του μεταλλικού φορέα σωληνοδιαδρόμων που θα μελετηθεί και παρουσιάζονται οι γραμμικές αναλύσεις λυγισμού, καθώς και οι μη γραμμικές αναλύσεις γεωμετρίας και υλικού στις οποίες η κατασκευή υποβάλλεται. Στη κατασκευή χρησιμοποιούνται τόσο διατομές διπλού ταυ, όσο και κοίλες κυκλικές διατομές. Οι διατομές διπλού ταυ περιγράφονται με σχέσεις ροπών-καμπυλοτήτων, ενώ οι κοίλες κυκλικές με την αντίστοιχη διατομή που το πρόγραμμα έχει ως επιλογή. Στο φορέα ασκούνται μόνιμα και σεισμικά φορτία και μέσω των μη γραμμικών αναλύσεων γεωμετρίας και υλικού μελετάται η συμπεριφορά του.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα της εργασίας και γίνονται προτάσεις για την περαιτέρω μελέτη της συμπεριφοράς της μεταλλικής κατασκευής.



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

Diploma Thesis  
EMK ΔΕ 2015/38

## **DESIGN OF STRUCTURAL STEEL PIPE RACKS**

**Eleni Kosmidou**

Supervisor:

Charis Gantes, Professor N.T.U.A.

### **Abstract**

Nowadays, growing energy consumption results in an effort for better exploitation of the available natural resources, like oil, natural gas, water or any other materials to be transferred, that are used in the industrial processes. For this reason, structural steel pipe racks are employed, so as to support the pipes that transfer the aforementioned fluid (liquid and gas) and the associated mechanical equipment. The aim of this diploma thesis is to study the behavior of such steel structures using finite element analysis software, after having verified the accuracy of its results.

In the first chapter, this type structure is briefly described, as well as its structural system, which should be configured in such way that the structure can protect the pipe network from possible failures and resist the applied loads. In the second chapter, design loads for pipe racks are described and typical piping connections on the support structure are presented. These piping connections are indicative, as the way pipes are connected to the support structure depends on the pipe material and diameter, the ambient temperature and the fluid that pipes transfer, as well as the overall structural function.

In the third chapter, the ultimate strength of a solid rectangular section as well as an I-section about its major and minor axis is defined, to be used in subsequent analyses. Analytical formulas are derived that relate moment and curvature for various levels of axial force developing at these sections in the elastic and elastoplastic region and elastic-perfectly plastic material behavior is assumed. The sections are subjected to pure bending and to simultaneous flexure and axial force about their main axes and the relations between the applied bending moment and the curvature are defined. Furthermore, the results are compared to numerical analyses' results.

The sections that are mainly used in structural steel pipe racks are I-sections. Therefore, the way in which the behavior of this section is described by the finite element software that will be used for the numerical simulation of a steel structure should be investigated. In the fourth chapter, analytical solutions for a simply supported and a fixed-fixed I-section beam, as well as for simply supported and fixed-fixed frame are compared to numerical analyses' results. In these applications, the section is described by two methods: i) the bending moment-curvature relationships and ii) the type of I-section

that the software provides. The results of these applications are compared, so as to determine the method that actually describes the behavior of I-sections. Thus, the actual behavior of the steel structure can be approximated in a reliable manner

In the fifth chapter, a computational model of a steel pipe rack is formed and linearized buckling analyses as well as geometrically and materially nonlinear analyses are presented. The sections that are used in this computational model are I-sections and circular hollow sections. The behavior of I-sections is described by bending moment-curvature relationships, while pipes are used to describe the behavior of circular hollow sections. Dead and seismic loads are applied on the steel structure and its behavior is studied.

In the sixth and last chapter, conclusions of the diploma thesis are presented and proposals for the further investigation of the behavior of this steel structure are suggested.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με τη διπλωματική αυτή εργασία ολοκληρώνεται ο κύκλος φοίτησης μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Με την αφορμή αυτή θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους έπαιξαν σημαντικό ρόλο κατά τη διάρκεια της 5ετούς φοίτησής μου στο Ίδρυμα.

Καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κ. Χάρη Γαντέ που ήταν και ο επιβλέπων της διπλωματικής μου εργασίας. Η διαρκής και υποδειγματική καθοδήγηση μαζί με την άριστη επιστημονική του κατάρτιση συνέβαλαν καταλυτικά στην ολοκλήρωση της προσπάθειας μου αυτής.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Τάσο Αβραάμ, Λέκτορα του τομέα Δομοστατικής του Ε.Μ.Π. και τον κ. Παύλο Θανόπουλο, Λέκτορα του τομέα Δομοστατικής του Ε.Μ.Π. για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή της διπλωματικής μου εργασίας.

Για την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθεια του καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα Ε.Μ.Π. Ηλία Θανάσουλα.

Για την βοήθεια στη χρήση του προγράμματος Works 2015, Διαξονική Κάμψη θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Ε.Μ.Π. Στέλιο Βερνάρδο.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη συμπαράσταση της σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

*Ελένη Κοσμίδου*

*Οκτώβριος 2015*