



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΕΚΡΗΞΕΩΝ



Μεταπτυχιακή εργασία

Μ.Δ.Ε. Δομοστατικός σχεδιασμός και ανάλυση των κατασκευών

Ορέστης Ιωάννου

ΕΜΚ ΜΕ 2017/02

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Καθηγητής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Συνεπιβλέπων: Μιχάλης Χατζηγιάννου, Ερευνητής - Μηχανικός, Protection Engineering Consultants

Αθήνα, Μάρτιος 2017

Φωτογραφία: Έκρηξη 3200kg AN
στο Alfred Murrah Building, Oklahoma



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΕΚΡΗΞΕΩΝ

Μεταπτυχιακή Εργασία

Μ.Δ.Ε. Δομοστατικός σχεδιασμός και ανάλυση των κατασκευών

Ορέστης Ιωάννου

ΕΜΚ ΜΕ 2017/02

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Καθηγητής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Συνεπιβλέπων: Μιχάλης Χατζηιωάννου, Ερευνητής - Μηχανικός, Protection
Engineering Consultants

Αθήνα, Μάρτιος, 2017

Copyright © Ορέστης Ιωάννου, 2017

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 © Orestis Ioannou, 2017

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).

Ορέστης Ιωάννου (2017)

Βασικές αρχές και παραδείγματα σχεδιασμού κατασκευών έναντι εκρήξεων
Μεταπτυχιακή Εργασία ΕΜΚ ΜΕ 2017/02
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Orestis Ioannou (2017)

Basic principles and design applications of structures subjected to explosions
Master Thesis ΕΜΚ ΜΕ 2017/01
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Ευχαριστίες

Το ευχαριστώ είναι μια εύκολη λέξη να την πεις αλλά δεν παύει να είναι παρά μόνο μια λέξη. Το βάρος που έχει δεν μπορεί να το σηκώσει. Δεν αντέχει δηλαδή ούτε το ίδιο βάρος της όπως θα λέγαμε εμείς οι πολιτικοί μηχανικοί. Το περίεργο όμως είναι ότι την λένε όλοι και είναι ίδια για όλες τις περιστάσεις, άντε να προστεθεί και ένα πολύ στο τέλος. Και έτσι να γίνει “ευχαριστώ πολύ”. Πάλι, όμως, συνδυάζεται σε όλες τις περιστάσεις, το ίδιο ευχαριστώ θα πω στον άνθρωπο που φέρνει το φαγητό που παρήγγειλα εδώ και ώρα και το ίδιο ευχαριστώ θα πω σε όλους τους υπόλοιπους. Θα το πάω, λοιπόν, χρονολογικά:

Πλησιάζει ο Φεβρουάριος του 2015 και σκέφτομαι τι να κάνω αμέσως μετά το δίπλωμα. Να κάνω αίτηση για μεταπτυχιακό στο εξωτερικό, ίσως να πάω στρατό αλλά από την άλλη δεν έχω ιδέα και ποιο είναι το επάγγελμα του μηχανικού στην πράξη. Είμαι στα 4.5 χρόνια του διπλώματος και έχω τελειώσει και με τα μαθήματά μου και με τη διπλωματική εργασία. Έτσι λέω ότι όσο οι συμφοιτητές μου προσπαθούν να τελειώσουν εγώ θα ξεκουραστώ και θα αποφασίσω τι να κάνω. Κάπου εκεί βρίσκεται το Ίδρυμα Ωνάση το οποίο έχει ορίσει προθεσμία αιτήσεων περί το τέλος Φεβρουαρίου. Σπεύδω, λοιπόν, να αποφασίσω και λέω ότι αγαπάω τόσο πολύ τη χώρα μου που προτιμώ να κάτσω εδώ μέχρι και για το μεταπτυχιακό, αρκεί να μην είναι απλώς μια μαρκίζα.

Έτσι, κρίνω ότι το συγκεκριμένο μεταπτυχιακό είναι κάτι που αξίζει και όχι κάτι που θα χρησιμοποιούσα για να συμπληρώσω το βιογραφικό μου. Τελικά, το Ίδρυμα Ωνάση το καλοκαίρι του ίδιου χρόνου μου χορηγεί την υποτροφία και ξεκινώ να σκέφτομαι πώς από τη Θεσσαλονίκη που σπούδαζα θα πάω σε μια Αθήνα στην οποία δεν ξέρω σχεδόν κανέναν. Το βήμα έγινε και ήταν δύσκολο καθώς έπρεπε να βρω σπίτι και να το φτιάξω. Η συνεισφορά του Ιδρύματος είναι τόσο σημαντική, ώστε να πω ότι δίχως αυτό δεν θα έκανα ποτέ το μεταπτυχιακό. Ευχαριστώ, λοιπόν, πολύ. Ευχαριστώ και τον Καθηγητή Ιωάννη Ψυχάρη ο οποίος ως σύμβουλος σπουδών μου με βοήθησε σε αυτό.

Στην πορεία του μεταπτυχιακού κάνω πολλούς φίλους αλλά ξεχωρίζω δύο. Τον Γιώργο και τον Γιάννη. Μέσα από αυτούς γνωρίζω και τον Καθηγητή μου, τον Χάρη Γαντέ. Στο μάθημά του στο μεταπτυχιακό κάναμε μια ομαδική εργασία και μου είχε προκαλέσει έκπληξη το γεγονός ότι αυτός ο άνθρωπος έχει υπερβολικές ενασχολήσεις αλλά παρ’ όλα αυτά προλαβαίνει τα πάντα επιτυχώς.

Έτσι, του ζητώ να αναλάβει τη μεταπτυχιακή μου εργασία και μου προτείνει το εξέχον θέμα των εκρήξεων στα κτίρια το οποίο είναι επίκαιρο, σε ερευνητική αιχμή και απαραίτητο εθνικά, αφού η Ελλάδα έχει έντονη τρομοκρατική δραστηριότητα, μια από τις μεγαλύτερες στον κόσμο. Μάλιστα, μου γνωρίζει τον Μιχάλη Χατζηγιάννου ο οποίος εργάζεται στις Η.Π.Α. πάνω στο αντικείμενο των εκρήξεων. Ο Μιχάλης με βοηθάει ιδιαίτερα και με κάνει να καταλάβω πολλά πράγματα και όλα αυτά εξ αποστάσεως χωρίς να με έχει γνωρίσει ποτέ από κοντά. Σε ευχαριστώ Μιχάλη, πολύ. Επιπλέον, μου γνωρίζει την υποψήφια διδάκτορά του Κωνσταντίνα Κουλάτσου που με βοηθάει σε θέματα προσομοίωσης. Σε ευχαριστώ και σένα Κωνσταντίνα, πολύ. Γενικώς, μου γνωρίζει πολύ κόσμο πέρα από το γεγονός ότι ασχολείται ο ίδιος προσωπικά. Ακόμη και τώρα που γράφω τις ευχαριστίες, πηγαίνω στο γραφείο του καθημερινά. Σας ευχαριστώ, κ. Γαντέ, πολύ, για όλα.

Όμως, δεν ξεχνώ και τους υπόλοιπους, τα ευχαριστώ είναι αυτονόητα για τους γονείς μου και για τον μικρό μου αδερφό, ο οποίος δεν πρέπει να έχει παράπονο καθώς του αφιέρωσα ήδη το δίπλωμά μου στον όρκο. Δυστυχώς, δεν είχα την ευκαιρία να αφιερώσω και την τότε διπλωματική εργασία σε κανέναν καθώς ήταν ομαδική. Οπότε, τώρα που έχω την ευκαιρία θα αφιερώσω τη μεταπτυχιακή μου εργασία στον πρώην συμφοιτητή μου και καλύτερό μου φίλο Χάρη Καρυπίδη ο οποίος είναι στην Αλεξανδρούπολη και μου λείπει. Σας αφήνω τώρα γιατί ήρθε η παραγγελία μου. Καλή ανάγνωση.

Put your future in good hands, your own



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΜΚ ΜΕ 2017/02

Βασικές αρχές και παραδείγματα σχεδιασμού κατασκευών έναντι εκρήξεων

Ορέστης Ιωάννου

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Καθηγητής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Συνεπιβλέπων: Μιχάλης Χατζηιωάννου, Ερευνητής - Μηχανικός, Protection Engineering Consultants
Μάρτιος 2017

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι βομβιστικές τρομοκρατικές επιθέσεις με την πάροδο του χρόνου όλο και αυξάνονται ενώ οι επιθέσεις με συμβατικές μεθόδους περιορίζονται πια αφού μέσω των εκρήξεων ένας εν δυνάμει τρομοκράτης δύναται να προκαλέσει σκληρότερο αποτέλεσμα με λιγότερο κόπο. Παράλληλα, οι εκρήξεις λόγω ατυχημάτων παραμένουν σταθερές ως κίνδυνος. Έτσι, το πρόβλημα των εκρήξεων παραμένει μόνιμα στην επικαιρότητα λαμβάνοντας χώρα τόσο σε αναπτυγμένες όσο και σε αναπτυσσόμενες χώρες ενώ ιδίως στην Ελλάδα κατέχει μία εκ των υψηλότερων θέσεων παγκοσμίως. Ωστόσο, η δράση των εκρήξεων από την πλευρά ενός μηχανικού ποτέ δεν είχε ευρύ πεδίο εφαρμογής στην Ελλάδα. Έτσι, η γνώση στο συγκεκριμένο αντικείμενο είναι περιορισμένη καθώς υπήρχαν περιορισμένες εφαρμογές που να την απαιτούν. Πλέον, όμως, η κατάσταση αυτή αλλάζει ριζικά αφού η έκρηξη αποτελεί μια συνήθη δράση που έχει βαρύνοντα ρόλο σε ένα έργο καθώς μπορεί να κρίνει την τελική διαστασιολόγηση ενός φορέα. Ο δε τρόπος δράσης της είναι διαφορετικός από αυτόν του σεισμού ή του ανέμου και με αυτόν τον τρόπο αποκτά ιδιαίτερη σημασία στον τρόπο μόρφωσης ενός στατικού συστήματος. Ενώ, ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι το θέμα των εκρήξεων είναι στενά συνδεδεμένο με την κοινωνία τόσο υπό τη σκοπιά της τρομοκρατίας όσο και υπό την σκοπιά των ατυχημάτων που οδηγούν σε εκρήξεις καθώς και στις δύο περιπτώσεις βαρύνοντα ρόλο παίζει ο ανθρώπινος παράγοντας και όχι τα φυσικά φαινόμενα. Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, λοιπόν, έρχεται να παρουσιάσει τις βασικές αρχές που διέπουν την έκρηξη ως δράση και να παράσχει τα κατάλληλα εφόδια για τον σχεδιασμό ενός έργου σε έκρηξη. Τα εφόδια αυτά μεταφράζονται τόσο σε εργαλεία, όπως τυπολόγια, πίνακες και διαγράμματα όσο και σε εφαρμογές απλοποιημένες αλλά και σύνθετες. Οι εφαρμογές αυτές βρίσκονται στην αιχμή των πλέον επίκαιρων τεχνολογικών προσπαθειών γύρω από την έκρηξη. Έτσι, γίνεται εμβάθυνση των τεχνολογικών γνώσεων στο πεδίο των εκρήξεων που είναι ένα από τα πλέον μείζονα προβλήματα της κοινωνίας ενώ γίνεται και σύγκριση των μεθόδων ανάλυσης μιας έκρηξης. Η διαδικασία είναι δυσχερής αφού τα βασικά σχεδιαστικά εργαλεία προστατεύονται εσωτερικά από τις χώρες που τα παράγουν, ωστόσο προτείνονται τεχνικές που δίνουν τη δυνατότητα ανάλυσης οποιουδήποτε είδους φορέα σε έκρηξη με εναλλακτικά μέσα.



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

MASTER THESIS
EMK ME 2017/02

Basic principles and design applications of structures subjected to explosions

Orestis Ioannou

Supervisor: Charis Gantes, Professor, National Technical University of Athens
Co-supervisor: Michalis Hadjioannou, Researcher - Engineer, Protection Engineering Consultants
March 2017

ABSTRACT

In the course of time, terrorist attacks using explosives keep increasing while conventional methods of attacking are limited. A potential terrorist has the ability to cause a more severe result with less effort through bombing. Simultaneously, accidental explosions are still a lurking danger. So, explosions are constantly on the news regarding both the developed and the developing countries while Greece specifically holds one of the highest positions in the list of the top rankings worldwide. However, from an engineering perspective, explosions never had actual application to greek projects. So, knowledge regarding explosions is limited since there were only few applications to demand it. Nevertheless, blast has become a common action nowadays and plays a significant role since it can determine the final design geometry and section properties of a structure. Furthermore, explosion is of paramount importance for the structural system as it has a different mode of action from the earthquake or the wind. An interesting fact is that explosions are closely related to society regarding both terrorism and accidents since the human element plays a key role and not the natural phenomena which apply to most occasions. So, this master thesis' main aim is to answer the most common questions regarding this issue, to present the general principles that form the action of explosions and to equip the potential designer with proper tools for structural mechanics use. More specifically, these tools are formulas, tables, diagrams and applications, both simple and complex. The applications do not only have educational side but also focus on current research since they are at the technological edge of the field of explosions. As a result, this thesis is an effort to enforce the technological knowledge in the field of explosions which is one of society's current needs as well as to present a comparison of the analysis methods of a structure subjected to blast loads and the designation of the most appropriate ones. However, the main methodologies are protected in terms of research and design for internal safety reasons in countries which have developed this type of technology. So applying an explosion to a structural element has become a tedious procedure and thus this thesis is a gives a large variety of examples and alternative tools in order to extract structural behavior under blast loading since the most commonly used tools worldwide are not disclosed to other countries such as Greece.