



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ**

**Διπλωματική εργασία του Γεώργιου Ι. Μαζανάκη
*Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών
με κριτήρια ευρωστίας***

Επιβλέπων : Αν. καθηγητής Ε.Μ.Π. Δρ. Χάρης Γαντές

Αθήνα 2011



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ**

Διπλωματική εργασία

Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών με κριτήρια ευρωστίας

Γεώργιος Ι. Μαζανάκης

Επιβλέπων : Αν. καθηγητής Ε.Μ.Π. Δρ. Χάρης Γαντές

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ευρωστία αποτελεί μία ιδιότητα των κατασκευών, χάριν της οποίας αντεπεξέρχονται σε κρίσιμα σενάρια, χωρίς την εμφάνιση βλαβών δυσανάλογων του αρχικού αιτίου. Αποτελεί γενικά μία νέα θεωρία, η οποία εφαρμόζεται με διαφορετικό τρόπο σε κάθε κατασκευή, διαθέτοντας όμως κάποιες βασικές αρχές. Εξαιτίας των πολλών διακλαδώσεων και πτυχών της, η ευρωστία αποτελεί ένα αρκετά πολύπλοκο έργο, το οποίο όμως βασίζεται πάνω σε απλές μεθόδους. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, παρουσιάζοντας και εφαρμόζοντας τις μεθόδους αυτές, θα προσπαθήσουμε να κατανοήσουμε την ευρύτερη θεωρία της ευρωστίας.

Στο πρώτο κεφάλαιο του παρόντος κειμένου γίνεται μία εισαγωγή στις πρακτικές της ευρωστίας. Αρχικά, παραθέτονται οι πιο διαδεδομένες από τις μεθοδολογίες που έχουν αναπτυχθεί για την ποσοτικοποίησή της. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά οι σημαντικότερες από τις μεθόδους τις οποίες χρησιμοποιεί η θεωρία, ενώ γίνεται και μία προσπάθεια κατηγοριοποίησής τους, ανάλογα με τον τρόπο που εφαρμόζονται.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της διπλωματικής αυτής εργασίας επεξηγείται η έννοια της προοδευτικής κατάρρευσης και οι σημαντικότεροι από τους κινδύνους που μπορούν να την προκαλέσουν. Η θεωρία της ευρωστίας προσπαθεί να εξαλείψει το φαινόμενο αυτό, το οποίο ξεκινά από ένα μικρό σχετικά αίτιο και καταλήγει σε μία ευρύτερη αστοχία. Για την καλύτερη κατανόηση του κινδύνου της προοδευτικής κατάρρευσης, γίνεται αναφορά σε πραγματικά παραδείγματα καταστροφών και στα αίτια τα οποία τα προκάλεσαν. Επίσης, για κάθε παράδειγμα δίνονται οι πιο ενδεδειγμένοι τρόποι με τους οποίους θα μπορούσε να είχε αποφευχθεί η συγκεκριμένη αστοχία ή όπου αυτό δεν είναι εφικτό, να είχαν μετριαστεί οι επιπτώσεις της.

Το τρίτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στην επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου ανάλυσης της θεωρίας της ευρωστίας. Αφού γίνεται μία σύντομη αναφορά στα πιο διαδεδομένα είδη αναλύσεων με την εις άτοπο απαγωγή, καταλήγουμε στη μη γραμμική ανάλυση μεγάλων παραμορφώσεων. Ο τρόπος με τον οποίο εξετάζεται η ιδιότητα της ευρωστίας είναι με τη μέθοδο της απώλειας ενός υποστυλώματος ή όπως είναι γνωστή στη διεθνή βιβλιογραφία «lost column analysis». Στη μέθοδο αυτή, δεν εξετάζουμε ξεχωριστά κάθε κίνδυνο που μπορεί να απειλήσει την κατασκευή, αλλά ασχολούμαστε με την κοινή επίπτωση όλων αυτών στο φορέα. Η κοινή αυτή επίπτωση είναι η απώλεια ενός ή περισσοτέρων υποστυλωμάτων. Με την παρούσα μέθοδο, η κατασκευή δεν εξασφαλίζεται μόνο έναντι της απώλειας ενός υποστυλώματος, αλλά εξοπλίζεται με τις βασικότερες αρχές της ευρωστίας. Ο φορέας, από τη στιγμή που είναι σε θέση να αναδιανείμει τα φορτία που του επιβάλλονται μετά την απώλεια μίας στήριξης, διαθέτει αρκετούς εναλλακτικούς δρόμους για την απόσβεση οποιασδήποτε φόρτισης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ένα συνηθισμένο κτιριακό έργο, το οποίο θα προσπαθήσουμε να εξοπλίσουμε με κάποιες από τις αρχές της ευρωστίας. Πρόκειται για ένα τετραώροφο μεταλλικό κτίριο γραφείων, το οποίο θα ελέγξουμε με τη μέθοδο της απώλειας υποστυλώματος. Για την περίπτωση αυτή προτείνονται διάφορες λύσεις προκειμένου να αντεπεξέλθει ικανοποιητικά η κατασκευή στο συγκεκριμένο κίνδυνο. Επιπλέον, γίνεται μία σύντομη αναφορά στο κόστος που θα έχουν αυτές οι προτάσεις σε σχέση με τη μηδενική λύση.

Στο πέμπτο κεφάλαιο προσπαθούμε να εξασφαλίσουμε την εύρωστη συμπεριφορά ενός έργου μεγάλης κλίμακας. Πρόκειται για μία προβλήτα 290 μέτρων, η οποία αποτελείται από έξι μεταλλικά δικτυώματα. Ο κύριος κίνδυνος που απειλεί το έργο είναι η πτώση ενός πλοίου πάνω σε μία από τις στηρίξεις των δικτυωμάτων.

Έτσι λοιπόν εφαρμόζεται και εδώ η μέθοδος της απώλειας στήριξης, εξασφαλίζοντας την κατασκευή έναντι όλων των κινδύνων που μπορεί να της στερήσουν ένα στήριγμα. Προτείνονται διάφορες λύσεις για την ενίσχυση του φορέα έναντι αυτών των κινδύνων, με τις οποίες η κατασκευή θα είναι πλέον σε θέση να αντεπεξέλθει και σε πολλά άλλα κρίσιμα σενάρια. Επιπρόσθετα, γίνεται πάλι μία παρουσίαση του κόστους που θα έχουν αυτές οι ενισχύσεις.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο της διπλωματικής παρουσιάζεται η συμπεριφορά ενός μεταλλικού στηθαίου ασφαλείας. Τα μεταλλικά στηθαία, τα οποία τοποθετούνται κατά μήκος των οδών, από τη φύση τους είναι εξοπλισμένα με τις βασικές αρχές της ευρωστίας. Μέσα απ' αυτό το κεφάλαιο, μελετώντας τη συμπεριφορά αυτών των στηθαίων, κατανοούνται καλύτερα οι στρατηγικές που χρησιμοποιεί η ευρωστία.



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

DIVISION OF STRUCTURAL ENGINEERING
LABORATORY OF STEEL STRUCTURES

Diploma Thesis

Design for robustness of steel structure

Mazanakis George

Supervisor: Dr. Charis Gantes, Assistant Professor N.T.U.A

ABSTRACT

Robustness is a structures' property, thanks to which they cope with critical scenarios without the occurrence of damages disproportionate to the original cause. It is generally a new theory, which applies differently in each structure, but has at the same time some common basic principles. Because of its many ramifications and aspects, design for robustness is a very complex process, that is based on simple methods. In this diploma thesis, we try to understand the broader theory of robustness by presenting and applying these methods.

The first chapter of the thesis consists of an introduction to the practices of robustness. Initially, it cites the most prevalent of the methodologies that have been developed to quantify robustness, and then summarizes the most important methods that are utilized by the theory. Subsequently, an attempt is made to categorize them, depending on how they are implemented.

In the second chapter the concept of progressive collapse and the most important risks that can cause it are explained. The theory of robustness attempts to eliminate this phenomenon, which starts from a relatively small event and results in a wider failure. In order to understand the risk of progressive collapse better, it continues with a reference to real examples of disasters and their causes. Additionally, for each example the most appropriate ways are presented in which this failure could have been avoided or, where this is not possible, its impact could have been mitigated.

The third chapter is dedicated to selecting the most appropriate method of analysis of the theory of robustness. Following a brief reference to the most popular types of analysis, we settle with the non-linear analysis of large deformations. We examine the status of robustness with the "lost column analysis". This method does not specifically address any risks that might threaten the structure, but deals with the common effect of all these. This common effect is the loss of one or more columns. With this method, the construction is not only guaranteed against the loss of a column, but equipped with the most basic principles of robustness. The body, since it is able to redistribute the loads imposed on it after a loss of support, has several alternative ways to recoup any charge.

The fourth chapter presents a typical building project, which we will try to equip with some of the principles of robustness. This includes a four-story metal office building, which will be checked with the "lost column analysis". In this case various solutions are presented in order for the structure to cope satisfactorily with the particular risk. Moreover, there is a brief reference to the cost that these recommendations have in relation to the zero option.

In the fifth chapter we try to ensure the robust behaviour of a large scale project. This is a pier 290 meters long, which consists of six steel trusses. The main risk to the project is a ship crashing on one of the supports of the truss. So by applying here the previous method, the structure is ensured against all threats that could deprive it of a support. Various solutions are proposed in order to strengthen the structure against these risks and make it able to cope with many other critical scenarios. Additionally, a presentation of the costs that such enhancements will have, follows.

In the sixth and final chapter of the thesis we examine the behavior of steel guardrails. The steel barriers that are placed along the roads, are equipped with the basic principles of robustness. Through this chapter, studying the behavior of these guardrails, we understand the methods of robustness better.