



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ
ΕΡΓΑΣΙΑ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΞΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Π. ΑΔΑΜΑΚΟΣ



ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ : Δρ. ΧΑΡΗΣ ΓΑΝΤΕΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ
Dr. CYRIL DOUTHE, ΜΕΤΑΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ, LCPC
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2010



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

LABORATORY OF STEEL STRUCTURES

POST-
GRADUATE
THESIS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF STRUCTURAL
BEHAVIOR OF STEEL ARCHES

STUDENT

KONSTANTINOS P. ADAMAKOS



SUPERVISORS : Dr. CHARIS GANTES, ASSOCIATE PROFESSOR, NTUA
Dr. CYRIL DOUTHE, POST- DOVTORATE RESEARCHER, LCPC
OCTOBER 2010



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
LABORATORY OF METAL STRUCTURES

POST-GRADUATE DIPLOMA THESIS

Experimental investigation of structural behavior of steel arches

KONSTANTINOS P. ADAMAKOS

SUPERVISORS: Dr. CHARIS GANTES, ASSOCIATE PROFESSOR NTUA

Dr. CYRIL DOUTHE, POST-DOCTORAL RESEARCHER

OCTOBER 2010

ABSTRACT

The present thesis has as main purpose to investigate the existence and significance of two special phenomena which occur in curved beams and especially in arches. These phenomena refer to the residual stresses created by the curving process and the out of plane stresses and strains created by the curvature of the curved beams.

The first chapter introduces the thesis and describes previous research in similar issues. Chapter 2 presents an analytical study, where the static behavior of the arch, the calculation of the out of plane stresses and strains and that of the residual stresses are presented.

Chapter 3 presents the process followed in order to choose what was necessary for the experiment. This includes the geometry of arches, the material, the supports and the general set-up of the experiment. In this section, all selected parameters are shown, followed by documentation.

Chapter 4 presents a first set of numerical analyses. All appropriate analyses take place; including linear, geometrical- nonlinear and completely nonlinear analyses, with and without imperfections. These analyses are used to estimate the behavior of the arches and the loads which will be applied in the experiment.

Results from the previous numerical analyses are taken into account to design each member of the whole experiment. Chapter 5 presents the appropriate checks, according to Eurocode 3, for all members of the experimental set-up. Among others, the arches, the connections (welded and bolted) and the supports are checked.

Chapter 6 is a brief description of the devices used in the laboratory for the experiment. These devices are strain gages, LVDT, measures, computers etc. The general characteristics and properties of each device are referred, including the range, the accuracy and the error of each one.

Chapter 7 is the most important one, presenting all the measured magnitudes; strains, loads, displacements, and deformations are presented, commented and compared to numerical and theoretical results. The numerical analyses refer to the shell element models, taking all results from ADINA software, while the theoretical analyses refer to beam models, the results of which are modified by appropriate relations in order to calculate the estimated magnitudes. The comparison of the equilibrium paths, of the longitudinal and of the transverse strains is presented.

Finally, chapter 8 presents the conclusions that can be drawn from the thesis and describe some helpful suggestions of engineering interest. These suggestions include more complicated checks than those of Eurocode 3 and some ideas for future research.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΞΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Π. ΑΔΑΜΑΚΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: ΧΑΡΗΣ ΓΑΝΤΕΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Dr. CYRIL DOUTHE, ΜΕΤΑΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ

ΟΚΤΩΒΡΗΣ 2010

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία έχει ως στόχο να διερευνήσει την ύπαρξη και την επίδραση κάποιων φαινομένων που παρουσιάζονται σε μεταλλικές καμπύλες δοκούς. Τα φαινόμενα αυτά είναι οι παραμένουσες τάσεις που δημιουργούνται από την διαδικασία καμπύλωσης των τόξων, καθώς επίσης και οι εκτός επιπέδου τάσεις και παραμορφώσεις που προκαλούνται από την καμπυλότητα των καμπύλων δοκών.

Στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια εισαγωγή στην εργασία, περιγράφοντας τον στόχο της, αλλά και παρουσιάζοντας περιληπτικά τις προσπάθειες άλλων ερευνητών στο αντικείμενο αυτό.

Το δεύτερο κεφάλαιο με τη σειρά του, παρουσιάζει μια αναλυτική εργασία για τον υπολογισμό - εκτίμηση της συμπεριφοράς των τόξων, αλλά και τον υπολογισμό των παραμενουσών και των εκτός επιπέδου τάσεων και παραμορφώσεων.

Το τρίτο κεφάλαιο δίνει μια πλήρη περιγραφή των μεθόδων με τις οποίες επιλέχθηκαν όλες οι απαραίτητες παράμετροι για την πραγματοποίηση του πειράματος. Μεταξύ άλλων, οι παράμετροι αυτές αφορούν στην γεωμετρία των τόξων, το είδος των στηρίξεων κ.α. περιλαμβάνοντας και αιτιολόγηση για κάθε επιλογή.

Το τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζει τις πρώτες αριθμητικές αναλύσεις με τη βοήθεια του λογισμικού ADINA, όπου περιλαμβάνονται γραμμικές και μη γραμμικές αναλύσεις, τόσο γεωμετρίας όσο και υλικού. Επίσης παρουσιάζονται αναλύσεις με και χωρίς την επίδραση ατελειών.

Στο κεφάλαιο 5 χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα από τις προηγούμενες αναλύσεις για τον σχεδιασμό και τον έλεγχο κάθε μέλους που συμμετέχει στα πειράματα. Μεταξύ άλλων, τα τόξα, οι συνδέσεις, κοχλιωτές και συγκολλητές, καθώς επίσης και οι στηρίξεις είναι αυτά τα οποία ελέγχονται για καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας.

Το έκτο κεφάλαιο περιλαμβάνει μια σύντομη περιγραφή των μηχανημάτων και των μέσων, τα όποια χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση των πειραμάτων και τις οποιεσδήποτε μετρήσεις που έγιναν. Περιλαμβάνονται γενικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες των μηχανημάτων καθώς και στοιχεία όπως η ακρίβεια, το εύρος και το σφάλμα κάθε συσκευής.

Το έβδομο κεφάλαιο παραθέτει όλα τα αποτελέσματα των πειραμάτων, όπως μετρούμενες τάσεις, μετατοπίσεις, παραμορφώσεις, φορτία κ.α. τόσο για τα τόξα όσο και για το υλικό τους. Τα παραπάνω αποτελέσματα συγκρίνονται με αναλυτικά και αριθμητικά αποτελέσματα από το λογισμικό ADINA και από σχέσεις που παρουσιάζονται στο δεύτερο κεφάλαιο.

Τέλος, το κεφάλαιο 8 κάνει μια γρήγορη αναφορά στα συμπεράσματα που μπορεί να εξάγει κανείς από τα αποτελέσματα και τις συγκρίσεις ολόκληρης της εργασίας, και παραθέτει κάποιες προτάσεις στα ενδιαφέροντα του πολιτικού μηχανικού. Οι προτάσεις αυτές περιέχουν κάποιους περαιτέρω ελέγχους που υποχρεούται να κάνει κανείς για να βρίσκεται υπέρ της ασφαλείας, όσο και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.