



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

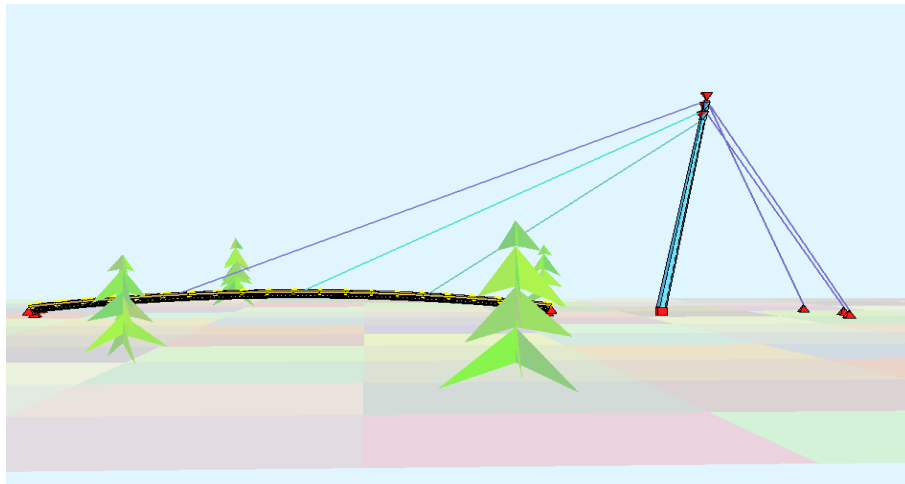
ΔΠΜΣ

“Δομοστατικός Σχεδιασμός και Ανάλυση Κατασκευών”

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΛΩΔΙΩΤΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ ΚΑΙ  
ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ



Βασιλόπουλος Β. Κωνσταντίνος

Επιβλέπων: Χαράλαμπος Γαντές, Επίκουρος Καθηγητής

Αθήνα

Ιανουάριος 2005

# **Προσομοίωση και ανάλυση καλωδιωτών γεφυρών και μεμονωμένου καλωδίου**

**Βασιλόπουλος Β. Κωνσταντίνος**

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η ολοένα και αυξανόμενη χρήση καλωδίων και γενικότερα στοιχείων εφελκυσμού στις κατασκευές πολιτικού μηχανικού (όπως καλωδιωτές γέφυρες, ιστοί και στέγαστρα) κάνουν απαραίτητη την σωστή προσομοίωση και ανάλυση αυτών των στοιχείων, καθώς παίζουν σημαντικό ρόλο στην στατική συμπεριφορά των φορέων που λαμβάνουν μέρος. Σκοπός αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας ήταν η ανάλυση της δομής, των τύπων και της μη γραμμικής στατικής συμπεριφοράς των καλωδίων καθώς και όλων των παραμέτρων που απαιτούνται κατά την διάρκεια ανάλυσης και προέντασης των καλωδίων σε μια καλωδιωτή γέφυρα. Έτσι έγιναν κάποιες αναλύσεις σε μεμονωμένα καλώδια με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων και σε μια ήδη κατασκευασμένη καλωδιωτή πεζογέφυρα. Για την ανάλυση της γέφυρας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SOFiSTiK (v.21), ενώ για την ανάλυση του μεμονωμένου καλωδίου χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ADINA (V8.02).

Το πρώτο κεφάλαιο της εργασίας ασχολείται με τον σχεδιασμό καλωδιωτών γεφυρών. Περιγράφονται τα είδη των καλωδιωτών γεφυρών με ιδιαίτερη έμφαση στις καλωδιωτές γέφυρες με ευθύγραμμο επικλινή καλώδια (cable-stayed bridges) και στη σύγχρονη τάση σχεδιασμού τους. Αναλύονται ξεχωριστά τα βασικά στοιχεία της γέφυρας (πυλώνας, κατάστρωμα, καλώδια) και δίνονται γενικά κριτήρια σχεδιασμού και διαμόρφωσης του κάθε στοιχείου. Τέλος δίνεται έμφαση στην στατική και δυναμική συμπεριφορά τέτοιων κατασκευών και στις δυνατότητες προσομοίωσης τους, καθώς και στους λόγους που έχουν οδηγήσει παγκοσμίως στην ευρεία χρήση και ανάπτυξη τέτοιων γεφυρών ακόμα και σε μεσαίου μεγέθους ανοίγματα.

Το δεύτερο κεφάλαιο ασχολείται με την τεχνολογία των καλωδίων. Αναφέρονται η δομή και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία καλωδίων καθώς και η δυνατότητα χρήσης καινούργιων υλικών και τεχνογνωσίας. Επίσης δίνονται αναλυτικά οι διάμετροι, τα μέτρα ελαστικότητας, τα βάρη και οι αντοχές όλων των τύπων καλωδίων που

χρησιμοποιούνται από μικρές κατασκευές έως μεγάλες καλωδιωτές γέφυρες. Ακόμα γίνεται αναφορά στους τρόπους αγκύρωσης των καλωδίων και παρουσιάζονται μέτρα προστασίας κυρίως έναντι διάβρωσης τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή σε ότι αφορά την ανάλυση των καλωδίων. Έτσι δίνονται αρχικά τύποι για γραμμική ανάλυση λαμβάνοντας υπόψη την κρέμαση της παραμορφωμένης μορφής των καλωδίων λόγω του ίδιου βάρους τους (catenary effects) και παρουσιάζεται ο τρόπος προδιαστασιολόγησης των καλωδίων έναντι μόνιμων και κινητών φορτίων καθώς και έναντι κόπωσης. Επίσης δίνονται οι συστάσεις του EC3 για την ανάλυση των καλωδίων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση ενός μεμονωμένου καλωδίου με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων για να κατανοηθεί καλύτερα η μη γραμμική συμπεριφορά του πριν, κατά την διάρκεια και μετά την διαδικασία προέντασης. Έτσι γίνονται γραμμικές, μη γραμμικές και ισοδύναμες γραμμικές αναλύσεις σε μια αρκετά ρεαλιστική προσομοίωση της διαδικασίας προέντασης αρχικά σε ευθύγραμμο καλώδιο και στην συνέχεια σε ένα καλώδιο με αρχική κρέμαση όπως συμβαίνει και στην πραγματικότητα λόγω του τρόπου ανέγερσης του καλωδίου (αρχικά μεγαλύτερο μήκος καλωδίου).

Στο πέμπτο κεφάλαιο χρησιμοποιείται το προσομοίωμα του τέταρτου κεφαλαίου για την πραγματοποίηση κάποιων παραμετρικών αναλύσεων, αρχικά με μεταβολή της διαμέτρου του καλωδίου και στην συνέχεια με μεταβολή της τιμής προέντασης, έτσι ώστε να διαπιστωθεί η επίδραση της μεταβολής αυτών των δύο στοιχείων στην δυσκαμψία των καλωδίων.

Το έκτο κεφάλαιο αφορά την διαδικασία προέντασης των καλωδίων σε μια καλωδιωτή γέφυρα. Έτσι γίνονται γραμμικές και μη γραμμικές λόγω γεωμετρίας αναλύσεις για την εύρεση της τιμής και της σειράς προέντασης των καλωδίων, ενώ χρησιμοποιείται και το προσομοίωμα του κεφαλαίου 4 για την εύρεση των παραμορφώσεων των καλωδίων και έλεγχο των αποτελεσμάτων. Έτσι εξακριβώνεται το πρόγραμμα προέντασης που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την γέφυρα.

# **Simulation and analysis of cable-stayed bridges and isolated cable**

**Vassilopoulos B. Konstantinos**

## **ABSTRACT**

The recent and rapid surge in the use of cables and in general prefabricated tension components in the field of civil and structural engineering (such as cable-stayed bridges, cable towers, nets and roofs) makes necessary the appropriate and correct simulation and analysis of these elements, as they play an important role in the overall static behavior of the structure. The purpose of this essay was to analyze the configuration, types and non-linear behavior of the cables, as well as all of the parameters that play an important role during the analysis and pre-tensioning of the cables in a cable-stayed bridge. So some analyses were performed in an isolated cable with finite elements and in an already constructed cable footbridge. For the analysis of the bridge SOFiSTiK software (v. 21) was used and for the cable the finite element software ADINA (v.802).

In the first chapter of this essay the design of cable-stayed bridges is presented. Firstly the types of cable-stayed bridges are introduced as well as the modern tendency of design. In order to disentangle somehow the multiple aspects of cable-stayed bridges, their basic load-bearing elements (cables, deck and pylons) are dealt with separately and some basic criteria of design and configuration of every element are given. Finally emphasis is given in the static and dynamic behavior and the possibilities of their simulation, as well as in the reasons, which have lead to the wide usage of such bridges even for medium spans.

The second chapter is about stay technology. The configuration and the materials from which cables are manufactured are described, as well as the possibility of new materials and knowledge about the making of cables. In this chapter the diameters, the strength, the self weight and the modulus of elasticity for every type of cable that is used in small or big construction are also given. Also the anchorage of cables and some measurements for protection especially against corrosion are presented.

In the third chapter a description is made about the analysis of cables. Firstly an idealized modulus of elasticity is introduced in order to take into account catenary effects in a linear analysis. Then the necessary preliminary design work for the strength of cables in the permanent state, under traffic loadings and the dimensioning of stays on fatigue basis is presented. Also guidelines from EC3 are given here.

In the fourth chapter an analysis with finite elements of an isolated cable is performed, in order to understand better the non-linear behavior of the cable before, during and after the procedure of pre-tensioning. Linear, non-linear and equivalent linear analyses are performed, simulating in a quite realistic manner the pre-tensioning procedure. Firstly the analysis is performed in a straight cable and afterwards in a cable with initial sag, as it is in reality because of the way of the erection of the cable (initially longer cable).

In the fifth chapter the model of the fourth chapter is used in order to perform some parametric analyses. Firstly the diameter of the cable is changed and then the same analysis is performed for the change of the value of the pre-tension of the cable, in order to see the role of the change of this two variables in the stiffness of the cable.

In the sixth chapter the pre-tensioning procedure of the cables in a cable-stayed bridge is performed. Linear and non linear analyses (geometric non-linearity) are performed, in order to find the sequence and the values of the pre-tension of the cables. Also the model of chapter four is used to extract the values of the strains of the cables and to check our results.