



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ

ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΥ ΙΣΑΒΕΛΛΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Χ. ΓΑΝΤΕΣ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2001

Εισαγωγή

Από τη δεκαετία του '60 και μετά, οι στέγες από δίκτυα καλωδίων άρχισαν να κερδίζουν το ενδιαφέρον των πολιτικών μηχανικών και των αρχιτεκτόνων, ανοίγοντας νέους ορίζοντες στο πεδίο της μηχανικής και της αρχιτεκτονικής. Η ικανότητά τους να καλύπτουν πολύ μεγάλα ανοίγματα χωρίς ενδιάμεσες στηρίξεις και να παραλαμβάνουν φορτία πολύ μεγαλύτερα από το ίδιο βάρος, τις καθιστά ιδιαίτερα οικονομικές και πολλές φορές αποτελούν τη μοναδική λύση για τη στέγαση μεγάλων χώρων. Επιπλέον, με τις ασυνήθιστες μορφές τους, δίνουν πολύ όμορφα αισθητικά αποτελέσματα. Η εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών έκανε δυνατή την επίλυση μεγάλων συστημάτων μη γραμμικών εξισώσεων, και βοήθησε στην ανάπτυξη μεθόδων αντιμετώπισης της μη γραμμικής συμπεριφοράς των καλωδίων. Στην Ελλάδα το καλύτερο παράδειγμα καλωδιωτής στέγης αποτελεί η ανηρτημένη στέγη του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας στο Φάληρο, που κατασκευάστηκε το 1983.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παρουσιάσει τη συμπεριφορά των δικτύων καλωδίων, καθώς επίσης και τα βήματα που ακολουθούνται για την ανάλυση και μελέτη αυτών. Για τις αναλύσεις των διαφόρων παραδειγμάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα μη γραμμικής ανάλυσης CABLE3, που δίνεται από τους P. Broughton και P. Ndumbaro, ενώ η στέγη του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας χρησιμοποιήθηκε ως κοινό παράδειγμα, για να μπορεί να γίνει κάποια σύγκριση μεταξύ των διαφόρων μεθόδων ανάλυσης που παρουσιάζονται. Η εργασία χωρίζεται σε οκτώ κεφάλαια και τρία παραρτήματα, στα οποία γίνονται συνεχείς αναφορές.

Αναλυτικότερα, στα δύο πρώτα κεφάλαια της εργασίας γίνεται μια σύντομη παρουσίαση των καλωδιωτών κατασκευών και ειδικότερα των δικτύων καλωδίων, καθώς επίσης και κάποιες βασικές αρχές στις οποίες βασίζεται η λειτουργία και η μελέτη αυτών.

Στα επόμενα δύο κεφάλαια, το τρίτο και τέταρτο, αναφέρονται δύο μέθοδοι προκαταρκτικής ανάλυσης δικτύων καλωδίων σε στάδιο προμελέτης, η πρώτη προτείνεται από τον J.S.Gero, και η δεύτερη από τους J. Szabò, L. Kollar και M.V Pavlovic. Την κάθε μέθοδο ακολουθούν αριθμητικά παραδείγματα, καθώς επίσης και συγκριτικοί πίνακες με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις μεθόδους αυτές, και αυτών που προκύπτουν από τις αναλύσεις με το πρόγραμμα CABLE3.

Στο πέμπτο κεφάλαιο ξεκινάει η αναφορά στη σύγχρονη μεθοδολογία ανάλυσης των εφελκυσόμενων κατασκευών. Συγκεκριμένα, το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στην εύρεση σχήματος, που αποτελεί το πρώτο βήμα της ανάλυσης, αφού προσδιορίζεται η γεωμετρία του φορέα, η οποία θα ληφθεί ως αρχική για την περαιτέρω ανάλυση. Το κεφάλαιο που ακολουθεί αναφέρεται στη μη γραμμική ανάλυση που γίνεται, προκειμένου να υπολογιστούν οι παραμορφώσεις και οι εντάσεις που αναπτύσσονται στα δίκτυα καλωδίων και στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται μία αναφορά στη μη γραμμική δυναμική ανάλυση των κατασκευών αυτών.

Στο όγδοο κεφάλαιο δίνονται τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της στέγης του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας με τα προγράμματα Easy και CABLE3, καθώς επίσης και πίνακες με τα συγκριτικά αποτελέσματα των δύο προγραμμάτων.

Τέλος ακολουθούν τρία παραρτήματα. Στο πρώτο γίνεται μία παρουσίαση του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας με όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τις διάφορες αναλύσεις, καθώς επίσης και φωτογραφικό υλικό με όλες τις φάσεις κατασκευής της ανηρτημένης στέγης. Στο δεύτερο παράρτημα γίνεται μια περιγραφή των προγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν γι' αυτή την εργασία και ιδιαίτερα του προγράμματος CABLE3, ενώ στο τρίτο δίνονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων της στέγης του Σταδίου Ειρήνης και Φιλίας που έγιναν με το πρόγραμμα CABLE3 και που χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση με τις διάφορες μεθόδους.

I. ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΥ

Οκτώβριος 2001

Abstract

After the sixties, the cable net roofs began to stimulate the interest of civil engineers and architects, opening new horizons in the field of engineering and architecture. Their capacity to cover long spans without intermediate supports and to carry large loads, much larger than their self weight, renders them particularly economical and sometimes the only solution to roofing large spaces. Moreover, with their unusual forms, differ from all the other conventional structures, something that makes them extremely appealing. The evolution of the computers made possible the solving of large systems of nonlinear equations and assisted in developing the methods that deal with the nonlinear behaviour of the cables. In Greece the best example of cable net roof is the suspended roof of the Palais de Sport in Faliro that has been constructed in the 1983.

The purpose of this thesis is to present the behaviour of the cable net roofs, as well as the steps that one may follow for their analysis and study. For the analysis of the various examples, is used the program of nonlinear analysis CABLE3, that is suggested by P. Broughton and P. Ndumbaro. Furthermore, the roof of the Palais de Sport in Faliro is used as a common example for comparing the various methods of analysis presented. The thesis consists of eight chapters and three appendices.

The first two chapters present briefly the cable structures and especially the cable nets and also gives some basic principles on which is based the function and the study of this kind of structures.

The next two chapters, the third and fourth, are referring to two methods of preliminary analysis of cable nets, the first suggested by J.S.Gero, and the second by J. Szabò, L. Kollar and M.V Pavlovic. Every method is followed by numerical examples and comparative tables with the results of these methods and the results of the analysis with the program CABLE3.

From the fifth chapter begins an approach to the modern analysis of tensile structures. In particular, this chapter refers to formfinding, that constitutes the first step of the analysis, since it defines the geometry of the model, that will be taken into account as the initial shape for the further analysis. The chapter that follows focuses on the nonlinear

analysis that must be done in order to calculate the displacements and the tensions of the cables, whilst the seventh chapter introduces the nonlinear dynamic analysis of these structures.

The eighth chapter gives some important elements that have been used for the analysis of the cable net roof of the Palais de Sport with the programs Easy and CABLE3, and the comparative tables with the results of the two programs.

Finally, there are three appendices. The Palais de Sport is presented in the first one, with all the elements that are required for the various analysis, and there are also some photographs that show the different fases of the construction of the roof. The second appendix describes the programs that have been used for this thesis and especially the program CABLE3. The third one contains all the results of the analysis with the program CABLE3 that have been done for the roof of the Palais de Sport.

I. VASSILOPOULOU

October 2001