



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

**ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ
ΠΤΥΣΣΟΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΤΥΧΑΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ
ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΑΥΤΩΝ
ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

Διπλωματική εργασία της: ΚΟΝΙΤΟΠΟΥΛΟΥ ΕΥΦΡΟΣΥΝΗΣ

Επιβλέπων: Επ. Καθηγητής ΓΑΝΤΕΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ

ΣΥΝΟΨΗ

Οι πτυσσόμενες κατασκευές είναι προκατασκευασμένες κατασκευές, οι οποίες αποτελούνται από πλήθος ευθύγραμμων ράβδων συνδεδεμένων αρχικά σε μια κλειστή και συσκευασμένη οντότητα, με τη δυνατότητα να αναπτύσσονται στη συνέχεια σε στατικώς ευσταθείς δομικούς σχηματισμούς μεγάλων ανοιγμάτων, ικανούς για ανάληψη φορτίων.

Ακριβώς χάρη σε αυτή τη καινοτομική ιδιότητά τους, οι πτυσσόμενες κατασκευές παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των αντίστοιχων συμβατικών για ένα αρκετά ευρύ φάσμα εφαρμογών, από προσωρινά κτίσματα με ποικίλους σκοπούς (εκθέσεις, αποθήκευση κτλ), ικριώματα, καταλύματα για χρήση μετά από καταστάσεις επείγουσας ανάγκης

(σεισμοί, πλυμμήρες), έως και εφαρμογές στη διαστημική βιομηχανία.

Η λειτουργία των πτυσσόμενων κατασκευών βασίζεται στα λεγόμενα Στοιχεία-Τύπου-Ψαλιδιού, ζεύγη δηλαδή ράβδων συνδεδεμένων μεταξύ τους σε ένα ενδιάμεσο σημείο, έτσι ώστε να έχουν τη δυνατότητα σχετικής περιστροφής, ενώ ταυτόχρονα τα άκρα τους είναι αρθρωμένα στα άκρα άλλων ΣΤΨ. Πολλά ΣΤΨ συνδέονται μεταξύ τους για να σχηματιστούν μονάδες με κατόψεις κανονικών πολυγώνων. Κατ' επέκταση, πολλές μονάδες συνδέονται κατάλληλα, έτσι ώστε να σχηματιστούν επίπεδες ή καμπύλες πτυσσόμενες κατασκευές.

Βασική μελετητική απαίτηση αυτού του είδους των κατασκευών αποτελεί το γεγονός ότι είναι στατικώς ευσταθείς και ελεύθερες τάσεων τόσο στην εντελώς κλειστή, όσο και στην εντελώς αναπτυγμένη μορφή τους. Ωστόσο, σε ενδιάμεσες μορφές της διαδικασίας ανάπτυξης, υπάρχουν ασυμβατότητες ανάμεσα στα μήκη των μελών -οι οποίες υπακούουν σε συγκεκριμένες γεωμετρικές συνθήκες- οδηγούν στη δημιουργία εντάσεων, με αποτέλεσμα την εμφάνιση του φαινομένου του ακαριαίου λυγισμού, μέσω του οποίου οι κατασκευές σταθεροποιούνται στην τελική αναπτυγμένη μορφή τους. Η στατική απόκριση των πτυσσόμενων κατασκευών κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, συνεπάγεται μια έντονα μη-γραμμική συμπεριφορά ως προς τη γεωμετρία. Αντιθέτως, είναι απαραίτητο να επιτευχθεί γραμμικά ελαστική συμπεριφορά ως προς το υλικό, ούτως ώστε να μην αναπτυχθούν παραμένουσες τάσεις οι οποίες θα οδηγήσουν στη μείωση της δυνατότητας ανάληψης φορτίου στη φάση λειτουργίας.

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι αυτονόητο ότι ένα πολύ βασικό μέρος της μελέτης μιας πτυσσόμενης κατασκευής καταλαμβάνει ο γεωμετρικός σχεδιασμός αυτής. Δηλαδή η σωστή επιλογή του είδους και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των μονάδων της κατασκευής, ώστε αυτή να υλοποιεί την επιθυμητή λειτουργία και τον σκοπό για τον οποίο κατασκευάστηκε.

Αυτό το στάδιο της μελέτης αποτέλεσε τον πρωταρχικό στόχο αυτής της εργασίας, καθώς διατυπώνονται οι γεωμετρικοί περιορισμοί για το γεωμετρικό σχεδιασμό ενός τόξου ελλειπτικού σχήματος, δηλαδή ενός τόξου τυχαίας καμπυλότητας.

Η κατασκευή ενός μοντέλου σε κλίμακα 1:20 αποτελεί το δεύτερο βήμα αυτής της εργασίας.

Τέλος η πτυσσόμενη αυτή κατασκευή μελετάται στατικά στην αναπτυγμένη μορφή υπό φορτία λειτουργίας, όπου όλα τα στοιχεία έχουν γραμμική συμπεριφορά. Επιπλέον επιλέγεται μια από τις μονάδες και μελετάται κατά τη διάρκεια της αναδίπλωσης, όπου τα στοιχεία ακολουθούν μη γραμμική συμπεριφορά. Η στατική μελέτη πραγματοποιείται με τη βοήθεια προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων με κατάλληλη προσομοίωση του μοντέλου.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2001



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
DIVISION OF STRUCTURAL ENGINEERING
LABORATORY OF STEEL STRUCTURES

GEOMETRIC DESIGN OF DEPLOYABLE STRUCTURES WITH ARBITRARY CURVATURE AND THEIR STRUCTURAL ANALYSIS USING THE FINITE ELEMENT METHOD

Thesis by: KONITOPOULOU EFROSINI

Thesis Supervisor: Assist. Professor GANTES CHARALAMBOS

ABSTRACT

Deployable structures are space frames consisting of straight bars that are linked together in the factory into a compact bundle and can be unfolded into large, load bearing structures by simple articulation. Their major advantages are the small volume they occupy during storage and transportation, the ease and speed of erection, and their reusability. Due to these advantages, they offer viable alternatives for a wide range of potential applications, both in the temporary construction industry and in the aerospace industry.

The function of deployable structures is based on elements which are called scissors-like-elements(SLE). They consist of two straight bars that are connected to each other at an intermediate

point by pivotal connection which allows relative rotation of the bars about an axis that is perpendicular to their plane. At their ends the bars are hinged to end nodes of other scissors-like-elements. The basic building modules are assemblages of many SLEs. Each one of these modules is a small deployable structure by itself. Many of the basic building modules or 'units' can be connected to each other to form larger, flat or curved, deployable structures.

The deployable structures must be stable and stress-free in both the deployed and the collapsed configuration. However, the structural response during deployment is highly nonlinear, because there are length-incompatibilities due to the geometric constraints. On the contrary, the material of the deployable structure must behave linearly, in order to avoid residual stresses that could reduce the load bearing capacity.

Taking all the above statements into consideration, it is obvious that one of the most important parts of the deployable structures, is the geometric design, in another words the derivation of geometric constraints in order to achieve deployability.

The geometric design and the derivation of geometric constraints for an elliptical arch- an arch of non-constant geometry – is the objective of this study.

A small-scale model (1:20) is built, in order to verify the geometric design.

Then, is performed a structural analysis with the finite element method, both during deployment and in the deployed configuration under service loads.

Athens, February 2001