



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ, ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΤΥΣΣΟΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Διπλωματική Εργασία του: Κωνσταντίνου Αναγνωστόπουλου

Επιβλέπων: Λέκτορας Χαράλαμπος Γαντές

ΣΥΝΟΨΗ

Οι πτυσσόμενες κατασκευές είναι, στην πιο γενική τους μορφή, προκατασκευασμένα χωρικά πλαίσια αποτελούμενα από πολλές ευθείες ράβδους συνδεδεμένες μεταξύ τους αρχικά στο εργοστάσιο σαν μια συμπαγής δέσμη, έχουσα την δυνατότητα να αναπτυχθεί κατόπιν σε μεγάλων ανοιγμάτων φορείς, ικανούς για ανάληψη φορτίων. Λόγω αυτού του χαρακτηριστικού, προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές, μη-πτυσσόμενες κατασκευές για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, εκτεινόμενο από προσωρινές κατασκευές για διάφορους σκοπούς (αθλητικά ή εκθεσιακά κέντρα, αποθήκες κτλ.), σκαλωσιές, καταφύγια εκτάκτου ανάγκης έως αεροδιαστημικές εφαρμογές.

Το πρώτο μέρος αυτής της εργασίας αποτελείται από μία εκτεταμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση των πτυσσόμενων κατασκευών γενικότερα. Χωρίζεται σε δύο τμήματα: σε πτυσσόμενες κατασκευές για επίγειες εφαρμογές και πτυσσόμενες κατασκευές σχεδιασμένες για το διάστημα. Αποδίδει από τις πιο αρχικές κατασκευές που χρησιμοποιήθηκαν για την κατάκτηση του διαστήματος έως τις πιο πρόσφατες ιδέες, όπως επίσης και την ανάπτυξη των πτυσσόμενων κατασκευών για επίγειες μη συμβατικές εφαρμογές ειδικών απαιτήσεων.

Ακολουθώντας τη γενική βιβλιογραφική ανασκόπηση, μια ειδική κατηγορία πτυσσόμενων κατασκευών διερευνάται διεξοδικά: οι πτυσσόμενες κατασκευές που παρουσιάζουν το φαινόμενο του ακαριαίου λυγισμού. Αυτές οι κατασκευές βασίζονται στην ιδέα του αποκαλούμενου Στοιχείου-Τύπου-Ψαλιδιού (ΣΤΨ). Κάθε ΣΤΨ αποτελείται από δυο ραβδωτά μέλη συνδεδεμένα στη μέση ή έκκεντρα

από ένα πείρο που επιτρέπει μόνο τη σχετική στροφή των δυο μελών περί άξονα κάθετο στο κοινό επίπεδο τους, ενώ δεσμεύει κάθε άλλη σχετική μετακίνηση ή στροφή. Τα ΣΤΨ με τη σειρά τους, συνδυάζονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν επίπεδες ή καμπύλες βασικές πτυσσόμενες μονάδες σε σχήμα κανονικών πολυγώνων. Κατόπιν, αυτές οι βασικές μονάδες ενώνονται, ακολουθώντας συγκεκριμένους περιορισμούς, για να σχηματίσουν φορείς ικανούς για παραλαβή φορτίων.

Μια θεμελιώδης απαίτηση σχεδιασμού των εν λόγω πτυσσόμενων κατασκευών, είναι ότι οφείλουν να είναι ευσταθείς και ελεύθερες τάσεων τόσο στην πλήρως κλειστή όσο και στην πλήρως ανεπτυγμένη κατάστασή τους. Ωστόσο, στα ενδιάμεσα γεωμετρικά στάδια κατά την διαδικασία της αναπτύξεώς τους, ασυμβατότητες των μηκών των μελών – σύμφωνα με συγκεκριμένους γεωμετρικούς περιορισμούς – οδηγούν στην ανάπτυξη τάσεων, που έχουν σαν αποτέλεσμα το φαινόμενο του ακαριαίου λυγισμού που “κλειδώνει” τις κατασκευές στην τελική ανεπτυγμένη τους κατάσταση. Κατά συνέπεια, η δομική συμπεριφορά αυτών των κατασκευών χαρακτηρίζεται από γεωμετρικές μη γραμμικότητες, ενώ από την άλλη μεριά, η συμπεριφορά του υλικού πρέπει να παραμείνει γραμμικά ελαστική, έτσι ώστε οι τυχόν παραμένουσες τάσεις να μην απομειώσουν την ικανότητα ανάληψης των φορτίων λειτουργίας του φορέα.

Συνεπώς, όσον αφορά την ανάλυση, οι πτυσσόμενες κατασκευές οφείλουν να σχεδιάζονται για δύο τελείως διαφορετικές φορτικές καταστάσεις:

για τα φορτία λειτουργίας στην πλήρως ανεπτυγμένη τους μορφή, όπου η συμπεριφορά τους είναι γραμμική και επομένως η ανάλυση σχετικά απλή, και κατά την διάρκεια της διαδικασίας αναπτύξεώς τους, όπου η απόκρισή τους είναι γεωμετρικά μη γραμμική.

Όλα τα παραπάνω κάνουν τον σχεδιασμό αυτού του είδους πτυσσόμενων κατασκευών πολύ ενδιαφέρον, ενώ η αριθμητική τους προσομοίωση – εκτός του ότι είναι απαραίτητη – αποτελεί επιπλέον μία πρόκληση.

Στο τελευταίο μέρος αυτής της εργασίας αναλύεται ένα πτυσσόμενο σύστημα σκαλωσιάς που παρουσιάζει το φαινόμενο του ακαριαίου λυγισμού. Παρατίθεται κάθε φάση του σχεδιασμού του: από τα αρχικά θέματα γεωμετρικού σχεδιασμού, έως θέματα προσομοίωσης σε λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων, επιλογή υλικών και διατομών, μη γραμμική ανάλυση κατά την ανάπτυξή του και τελικά, την γραμμική ανάλυση υπό τα φορτία λειτουργίας. Ο σκοπός αυτής της εφαρμογής δεν είναι τίποτα άλλο παρά να αποδείξει την επιτευξιμότητα και τα πλεονεκτήματα αυτών των κατασκευών, και ταυτόχρονα, να κεντρίσει ιδέες για μελλοντικές εφαρμογές και προοπτικές.



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

REVIEW, CLASSIFICATION AND APPLICATIONS OF DEPLOYABLE STRUCTURES

Diploma Thesis of: *Konstantinos Anagnostopoulos*

Supervisor: *Lecturer Charalambos Gantes*

SYNOPSIS

The deployable structures are, in their more general form, prefabricated space frames consisting of many straight bars linked together initially in the factory as a compact bundle, having the possibility to be consecutively unfolded into large-span, load-bearing structural forms by simple articulation. Due to this characteristic feature, they offer significant advantages in comparison to conventional, non-deployable structures for a wide spectrum of applications, ranging from temporary structures that can be used for various purposes (athletic or exhibition centers, warehouses etc.), scaffolds, and shelters for victims in emergency situations (for example after earthquakes or floods), to the aerospace industry.

The first part of this work consists of an extensive literature review of deployable structures in general. It is divided into two sub-sections: deployable structures for earth-based applications and deployable structures for space applications. It illustrates from the very first deployable devices used to conquer space to the latest concepts, as well as the development of deployable structures for earth-based non-conventional applications with special requirements.

Following the general literature review, a special case of deployable structures is thoroughly investigated: the so-called Snap-Through Deployable Structures. These structures are based on the idea of the Scissor-Like-Element (SLE). Each SLE consists of two beams connected, in the middle or eccentrically, by a pivotal connection that allows only the relative rotation between the two beams about the

axis perpendicular to that plane, while all other relative motions are restrained. Several SLEs are combined together to form flat or curved basic deployable modules in the shape of regular polygons. In turn, these basic modules are connected together, following particular restrictions, to form assemblages that will bear the service loads.

A fundamental design requirement of the snap-through type deployable structures is that they are self-standing and stress-free both in their fully closed and in their fully deployed configuration. However, at intermediate geometric configurations during the deployment process, incompatibilities between the member lengths – according to specific geometric constraints– lead to the occurrence of strains and stresses resulting in a snap-through phenomenon that “locks” the structures in their final deployed configuration. The structural response during deployment is, hence, characterized by geometric non-linearities, while, on the other hand, the material behavior must remain linearly elastic, so that no residual stresses reduce the load bearing capacity of the deployed structure under service loads.

Consequently, as far as structural analysis is concerned, deployable structures ought to be designed for two completely different loading conditions:

1. under service loads in the deployed configuration, where the structural behavior is linear, thereupon the analysis is quite simple, and
2. during the deployment process, when the structural response is geometrically non-linear.

All the above makes the design of this type of deployable structures very interesting, while simulation and numerical modeling of the problem –apart from being necessary– also become quite a challenge.

In the last section of this work, a deployable scaffolding system that exhibits the snap-through behavior, is investigated. Every phase of its design is presented: from the initial geometric design issues, to modeling issues using finite element software, to the selection of materials and cross-sections, to its non-linear analysis during deployment and finally to its linear analysis under service loads. The scope of this application is nothing more than to prove the feasibility and the advantages of these structures, while at the same time, to stimulate ideas for future applications and perspectives.

Athens, January 1999