



Βασικός σχεδιασμός και βελτιστοποίηση δικτυωτού φορέα μεγάλου μήκους για διαστημικές εφαρμογές

Εργαστήριο Τεχνικής Μηχανικής και Ταλαντώσεων
Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών
Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Πατρών
Ιούλιος, 2020

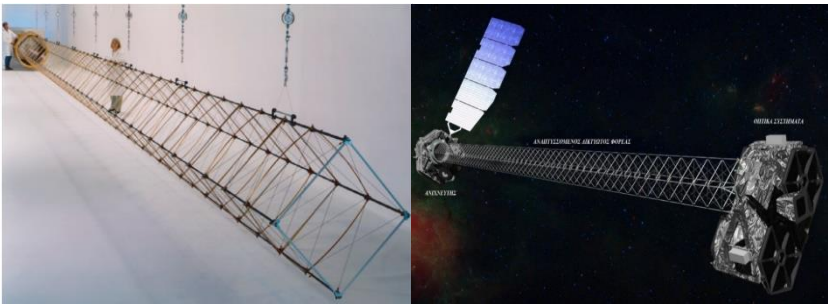
Ντότσικας Κωνσταντίνος, 246598

Επιβλέπων Καθηγητής: Κωστόπουλος Βασίλειος

Επιβλέπων Ερευνητής: Κοτζακόλιος Αθανάσιος

I. Περιγραφή του προβλήματος:

Οι αναπτυσσόμενες κατασκευές που χρησιμοποιούνται σε διαστημικές εφαρμογές αποτελούν κινητά συγκροτήματα μεγάλου μήκους τα οποία δεν αποσκοπούν στην κίνηση, αλλά στην επίτευξη διαφορετικών γεωμετρικών αναπαραστάσεων που προσδιορίζονται από τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται και ο όρος κατασκευές αντί των κινητήριων μηχανισμών. Η δυναμική συμπεριφορά τέτοιων κατασκευών καθίσταται κύριο αντικείμενο σχεδιασμού λόγω του μεγάλου μεγέθους, του μικρού βάρους και της υψηλής ευκαμψίας που παρουσιάζουν. Οι ιδιοσυχνότητες ταλάντωσης των αναπτυσσόμενων κατασκευών είναι αυστηρά περιορισμένες σε ένα μικρό εύρος τιμών τέτοιο ώστε να αποφευχθεί η σύζευξη με τις ιδιοσυχνότητες του διαστημοπλοίου.



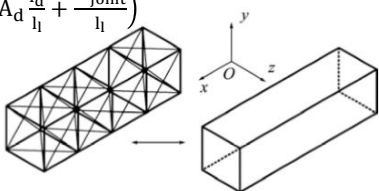
II. Αρχική προσέγγιση του προβλήματος :

Το πρόβλημα εύρεσης των ιδιοσυχνοτήτων του αρθρωτού δικτυωτού φορέα αρχικά προσεγγίζεται με την μέθοδο του ισοδύναμου συνεχούς μοντέλου (ECM). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται καθώς τέτοιου τύπου κατασκευές αποτελούνται από επαναλαμβανόμενα, ίδιας αρχιτεκτονικής, δικτυώματα. Με βάση την θεωρία της ισοδυναμίας της ενέργειας, το μέγεθος της ελαστικής ενέργειας παραμόρφωσης που μπορεί να αποθηκευτεί στο συνεχές μοντέλο πρέπει να είναι το ίδιο με αυτό του δικτυωτού φορέα όταν και τα δύο παραμορφώνονται πανομοιότυπα. Έτσι η συσχέτιση μεταξύ των γεωμετρικών και μηχανικών ιδιοτήτων των δυο μοντέλων μπορεί να πραγματοποιηθεί και εν συνεχεία και τα μητρώα δυσκαμψίας και μάζας του συνεχούς μοντέλου μπορούν να αναπτυχθούν. Επομένως βάση της θεωρίας του Euler, η εξίσωση εύρεσης των ιδιοσυχνοτήτων για πακτωμένη στο ένα άκρο δοκό και ελεύθερη στο άλλο θα δίνεται από:

$$f_n \approx \left\{ \frac{1}{2\pi} \right\} \left\{ \frac{3.664}{L^2} \right\} \sqrt{\frac{EI}{\rho}}$$

$$EI_{yy} = 2(E_I A_I + E_d A_d \sin^3 \gamma) R^2$$

$$m_{11} = 4 \left(\rho_I A_I + \rho_B A_B \frac{l_B}{l_I} + 2 \rho_d A_d \frac{l_d}{l_I} + \frac{m_{joint}}{l_I} \right)$$



III. Σύγκριση αποτελεσμάτων μεθόδου ισοδύναμου συνεχούς μοντέλου με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων:

Πριν χρησιμοποιηθεί η μέθοδος του ισοδύναμου συνεχούς μοντέλου για την στατιστική ανάλυση της επιρροής της μεταβολής των διαφόρων παραμέτρων της εξίσωσης των ιδιοσυχνοτήτων, πραγματοποιήθηκε των αποτελεσμάτων με αυτά της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων που παρέχει το πρόγραμμα Patran/Nastran, για εφαρμογή με 100 επαναλαμβανόμενα δικτυωτά στοιχεία (bays), με δομικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά που δίνονται στο παρακάτω πίνακα:

• **Πρώτη Ιδιοσυχνότητα ECM: 0.16108Hz**

Error = 2.75%

• **Πρώτη Ιδιοσυχνότητα FEM: 0,16552 Hz**

Μέλη	$A/10^{-5} \text{m}^2$	$I/10^{-3} \text{m}^4$	$\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	E/GPa	m/kg
Εγκάρσια	4.71	396.38	2 700	70	—
Διαμήκη	4.71	364.75	2 700	70	—
Καλώδια	1.77	538.66	7 800	200	—
Κόμβοι	—	—	—	—	0.1
Μηχανισμοί κλειδώματος	—	—	—	—	0.1

Επεξήγηση Όρων:

E_I: μέτρο Young των διαμηκών μελών

A_I: διατομή διαμηκών μελών

ρ_I: πυκνότητα διαμηκών μελών

No_bays: αριθμός χρησιμοποιούμενων δικτυωτών στοιχείων

E_B: μέτρο Young των εγκαρσίωνμελών

A_B: διατομή εγκαρσίωνμελών

ρ_B: πυκνότητα εγκαρσίωνμελών

Numb_of_zero_deg_plies: αριθμός χρησιμοποιούμενων στρώσεων

E_d: μέτρο Young των διαγωνίων καλωδίων

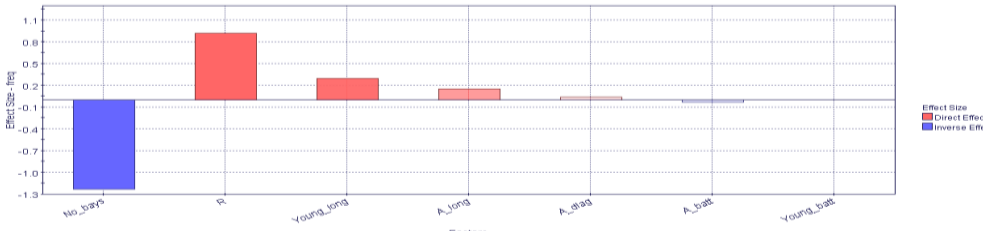
A_d: διατομή διαγωνίων καλωδίων

ρ_d: πυκνότητα διαγωνίων καλωδίων

fi: γωνία προσανατολισμού των ινών κάθε στρώσης

IV. Στατιστική ανάλυση της επιρροής της μεταβολής των παραμέτρων του φορέα στην δυναμική του απόκριση με χρήση του ECM:

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με χρήση του αντίστοιχου πακέτου modeFRONTIER και του υπολογιστικού προγράμματος matlab, που περιέχει τις εξισώσεις. Μέσω της χρήσης διαγραμμάτων συντελεστών συσχέτισης αποδεικνύεται ότι την μεγαλύτερη αρνητική επιρροή φέρει το μήκος της κατασκευής, ενώ θετική επιρροή στην δυναμική απόκριση παρουσιάζουν η ακτίνα διατομής του φορέα καθώς και το μέτρο Young και η διατομή των διαμηκών μελών του (struts). Παρακάτω δίνεται διάγραμμα δοκιμών T-Student από τη χρήση του πακέτου, που ποσοτικοποιεί τις προαναφερθέντες επιρροές.



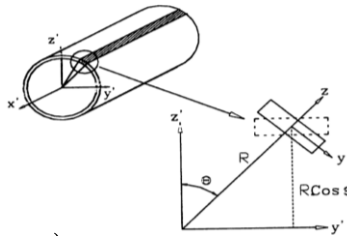
V. Υπολογισμός φαινομένου μέτρου ελαστικότητας κυλινδρικών λεπτότοιχων πολυστρώτων κατασκευών βάση της γενικής θεωρίας λεπτότοιχων πλακών

Έχοντας ως δεδομένη πλέον την επιρροή των διαμηκών μελών του φορέα και πιο συγκεκριμένα του μέτρου ελαστικότητας στην αξονική διεύθυνση, επιχειρείται με σκοπό την εισαγωγή επιπλέον παραμέτρων ο υπολογισμός του μέτρου μέσω τροποποίησης της κλασικής θεωρίας πολυστρώτων πλακών (CLT) για λεπτότοιχα κυλινδρικά πολύστρωτα στοιχεία. Το φαινόμενο μέτρο ελαστικότητας για τα στοιχεία αυτά προκύπτει από την εύρεση των μητρώων δυσκαμψίας [A B D], τα οποία υπολογίζονται όπως δείχνεται παρακάτω:

$$\bar{A}_{ij} = R \cdot \sum_{k=1}^n \left(\int_0^{2\pi} \bar{Q}_{ij}^k \cdot d\theta \right) (z_k - z_{k-1})$$

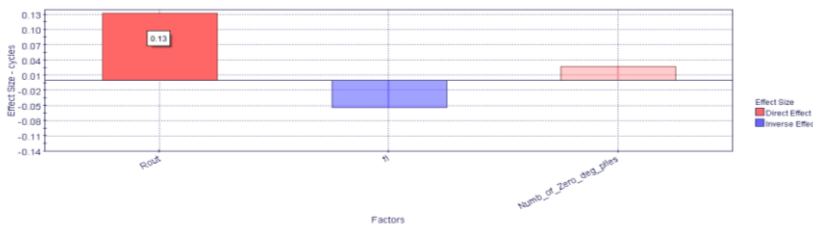
$$\bar{B}_{ij} = \frac{R}{2} \sum_{k=1}^n \left(\int_0^{2\pi} \bar{Q}_{ij}^k \cdot d\theta \right) (z_k^2 - z_{k-1}^2)$$

$$\bar{D}_{ij} = \frac{R}{3} \sum_{k=1}^n \left(\int_0^{2\pi} \bar{Q}_{ij}^k \cdot d\theta \right) (z_k^3 - z_{k-1}^3) + R^3 \sum_{k=1}^n \left(\int_0^{2\pi} \bar{Q}_{ij}^k \cdot \cos^2 \theta \cdot d\theta \right) (z_k - z_{k-1})$$



VI. Εισαγωγή επιπλέον παραμέτρων στην μέλετη ευαισθήσιας της δυναμικής απόκρισης του φορέα

Δεδομένων των εξισώσεων υπολογισμού του φαινομένου μέτρου ελαστικότητας των κυλινδρικών πολύστρωτων μελών του φορέα, δίνεται η δυνατότητα μέσω της χρήσης του προγράμματος modeFRONTIER και του προγράμματος Nastran (για τον υπολογισμό της πρώτης ιδιοσυχνότητας) για περεταίρω ανάλυση των παραμέτρων που επηρεάζουν την δυναμική απόκριση του φορέα. Πιο συγκεκριμένα στην εργασία επιλέχθηκαν να εξεταστούν παράμετροι όπως ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων στρώσεων και η γωνία προσανατολισμού αυτών, για χρησιμοποιούμενο ορθότροπο υλικό στρώσεων T300/5208 και για διάταξη πολυστρώτου στοιχείου $[\pm f_i_2/0_n/\pm f_i]$. Παρακάτω δίνεται διάγραμμα δοκιμών T-Student από τη χρήση του πακέτου, που ποσοτικοποιεί τις προαναφερθέντες επιρροές.



VII. Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική εργασία

- Τα γεωμετρικά και δομικά χαρακτηριστικά των διαμηκών μελών (struts) του φορέα επιδρούν σημαντικά στην δυναμική του συμπεριφορά, έτσι ο σχεδιασμός του κρίνεται μείζονος σημασίας
- Η παρούσα εργασία αποτελεί μια μελέτη που δίνονται να βοηθήσει τον σχεδιαστεί μηχανικό κατά την διαδικασία λήψης αποφάσεων
- Σε ένα μεταγενέστερο στάδιο εν μέσω του σχεδιασμού του προβλήματος στο modefrontier μπορεί να πραγματοποιηθεί η εκπαίδευση νευρικού δικτύου για την πρόβλεψη της δυναμικής συμπεριφοράς τέτοιων κατασκευών, εξοικονομώντας με αυτό τον τρόπο μεγάλο χρονικό διάστημα.

VIII. Αναφορές:

- G. Tibert, "Deployable Tensegrity Structures for Space Applications," Technology, p. 220, 2002, doi: 10.1016/0045-7949(89)90354-4.
- H. Guo, R. Liu, Z. Deng, and J. Zhang, "Dynamic characteristic analysis of large space deployable articulated mast," Procedia Eng., vol. 16, no. February 2000, pp. 716–722, 2011, doi: 10.1016/j.proeng.2011.08.1146.
- H. W. Guo, R. Q. Liu, and Z. Q. Deng, "Dynamic analysis and nonlinear identification of space deployable structure," J. Cent. South Univ., vol. 20, no. 5, pp. 1204–1213, 2013, doi: 10.1007/s11771-013-1603-y.
- "COMPARISON OF PLATE AND SHELL THEORY TO FEM RESYLTS.pdf."