



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Δομοστατικός Σχεδιασμός και Ανάλυση των Κατασκευών»

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Εκτίμηση Δυναμικών Χαρακτηριστικών Γέφυρας Bailey και Διερεύνηση Μεθόδων Μείωσης των Επιδράσεων στο Φορέα



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Βασίλειος Δ. Παπαβασιλείου

Επιβλέπων: Ιωάννης Ραυτογιάννης

ΕΜΚ ΜΕ 2014/03

Αθήνα, Ιούλιος 2014

Παπαβασιλείου Β.Δ (2014).
Εκτίμηση Δυναμικών Χαρακτηριστικών Γέφυρας Bailey και Διερεύνηση Μεθόδων
Μείωσης των Επιδράσεων στο Φορέα
Μεταπτυχιακή Εργασία
ΕΜΚ ΜΕ 2014/03
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Papavasileiou V.D (2014).
Estimation of Dynamic Characteristics of Bailey Bridge and Investigation of the Methods
for the Reduction of Dynamic Response on the Structure
Postgraduate Thesis
SSI PT 2014/03
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	6
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	7
1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΟΣ ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	9
1.3 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	9
2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΕΦΥΡΑΣ BAILEY	11
2.1 ΓΕΝΙΚΑ	11
2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΕΦΥΡΑΣ BAILEY	11
2.3 ΧΑΛΥΒΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΛΙΚΩΝ ΓΕΦΥΡΑΣ BAILEY	17
2.4 ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ	19
2.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ BAILEY ΤΥΠΟΥ ΑΠΛΟΣ-ΑΠΛΟΣ 60 ΠΟΔΩΝ	21
3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ	23
3.1 ΓΕΝΙΚΑ	23
3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	23
4 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	44
4.1 ΓΕΝΙΚΑ	44
4.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΚΟΥ ΥΠΟ ΣΤΑΤΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ	44
4.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΚΟΥ ΥΠΟ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ	46
5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΟΡΕΑ ΜΕ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΡΑΒΔΩΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	48
5.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ	48
5.2 ΆΝΟΙΓΜΑ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ	49
5.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΣΤΟ SAP 2000	49
5.4 ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	50
5.5 ΜΟΡΦΕΣ ΦΟΡΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΑΥΤΩΝ	51
6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΜΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SAP2000	61
6.1 ΑΜΦΙΕΡΕΙΣΤΟΣ ΦΟΡΕΑΣ	61
6.2 ΦΟΡΕΑΣ ΔΥΟ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ	66
6.3 ΦΟΡΕΑΣ ΑΜΦΙΕΡΕΙΣΤΟΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΣΤΟ ΜΕΣΟ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ	68
6.4 ΦΟΡΕΑΣ ΑΜΦΙΕΡΕΙΣΤΟΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΣΤΑ L/4 ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ	73
6.5 ΦΟΡΕΑΣ ΑΜΦΙΕΡΕΙΣΤΟΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΣΤΑ L/2 ΚΑΙ L/4 ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ	78
6.6 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΕΠΙΛΥΣΕΩΝ	83
7 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	84
7.1 ΒΕΛΗ ΚΑΜΨΗΣ	84
7.2 ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	84
7.3 ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΙ ΚΑΙ ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ	84
7.4 ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΚΟΜΒΩΝ	86
7.5 ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΚΟΜΒΩΝ	88
7.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	90
8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	91
9 ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	92
10 ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	93
11 ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ	94
12 ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	95

**Εκτίμηση Δυναμικών Χαρακτηριστικών Γέφυρας Bailey και Διερεύνηση
Μεθόδων Μείωσης των Επιδράσεων στο Φορέα**
Παπαβασιλείου Β.Δ (Επιβλέπων: Ραυτογιάννης Ι.)

Περίληψη

Η γέφυρα Bailey είναι μεταλλική δικτυωτή και αποτελείται από προκατασκευασμένα τμήματα τα οποία συναρμολογούνται επί τόπου με κοχλίες και με πείρους. Σχεδιάστηκε, μελετήθηκε και αναπτύχθηκε στο Β' Παγκόσμιο Πόλεμο για να καλύψει τις επιχειρησιακές ανάγκες των Συμμάχων για τη γεφύρωση κωλυμάτων μεταβλητού ανοίγματος και ταυτόχρονα μεταβλητής φέρουσας ικανότητας των εδαφών.[1]

Η δυνατότητα κάλυψης μεγάλων ανοιγμάτων, κατασκευής και καθέλκυσης μόνο με τα χέρια την κατέστησαν δημοφιλή και η χρήση της επεκτάθηκε μέχρι τις μέρες μας σε πολλές χώρες για τη κάλυψη αναγκών εθνικών οδικών δικτύων.

Υπάρχουν γέφυρες οι οποίες έχουν καθελκυθεί τη δεκαετία του 80' και παραμένουν σε χρήση μέχρι και σήμερα χωρίς να έχει πραγματοποιηθεί καμία επέμβαση και συντήρηση. Ταυτόχρονα η αύξηση των φορτίων τα οποία διέρχονται από αυτές έχουν αυξηθεί με το πέρασμα του χρόνου και την εξέλιξη της αυτοκινητοβιομηχανίας. Αποτέλεσμα είναι η αύξηση αυτή να προκαλεί και τα ανάλογα αποτελέσματα επί των φορέων όπως είναι η αύξηση των δυναμικών μετακινήσεων με τις συνέπειες της.

Η αδυναμία αύξησης της φέρουσας ικανότητας στις περισσότερες περιπτώσεις, με την αύξηση της ακαμψίας της γέφυρας, οδήγησε στη αναζήτηση προτάσεων μείωσης των δυναμικών φαινομένων.

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES

POSTGRADUATE THESIS

Estimation of Dynamic Characteristics of Bailey Bridge and Investigation of the Methods for the Reduction of Dynamic Response on the Structure

Papavasileiou, V.D.(supervised by Raftoyiannis, I.G.)

Abstract

The Bailey bridge is a steel truss bridge composed of prefabricated parts which are assembled in situ with bolts and pins. Was Designed, studied and developed during the Second World War for the operational needs of the Allies in bridging barriers with variable span and simultaneously variable bearing capacity of soil.

The ability to bridging large spans, the construction and the launching only with hands made the bridge popular and its use was extended until today in many countries in order to cover the needs of National road networks.

There are bridges that have launched at the 80's and were remained in use until today without any intervention and maintenance. At the same time the increase of cargo that pass over them have increased with the passage of time and the evolution of the automobile. The result in this case is a magnification of the causes and effects depending on the structure such as the increase of dynamic response.

The weakness of the increase of the bearing capacity, in most cases, by increasing the rigidity of the bridge, led the researchers to searching proposals to reduce the dynamic phenomena.

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την εργασία αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω με σειρά «ιδιο-μορφικής» συμμετοχής :

Τον καθηγητή μου Ραυτογιάννη Ιωάννη για την αμέριστη συμπαράσταση και εμπιστοσύνη στα πεπραγμένα μου. Γνωρίζοντάς τον από το 2005 ως σπουδαστής της ΣΤΕΑΜΧ και στη συνέχεια φοιτήτης του ΕΜΠ και του μεταπτυχιακού τμήματος έχω δικαίωμα πλέον μετά από 9 χρόνια να τον αποκαλώ Δάσκαλο.

Τον προϊστάμενο μου κατά το έτος 2012, Μιχαήλ Κλούβα, ο οποίος όντας υποψήφιος Διδάκτορας του ΕΜΠ, μου πρότεινε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο πρόβλημα των δυναμικών φαινομένων στη γέφυρα τύπου Bailey. Αγόγγυστα μου παρείχε τις συμβουλές του στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που αντιμετώπιζα σε κάθε φάση αλλά επίσης και τη δυνατότητα να μελετήσω γέφυρες που ήταν ήδη σε χρήση.

Τους Καθηγητές στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα γιατί κατάφεραν να με πείσουν.

Τους φίλους οι οποίοι με βοήθησαν τόσο ψυχικά όσο και έμπρακτα.

Τους γονείς μου.

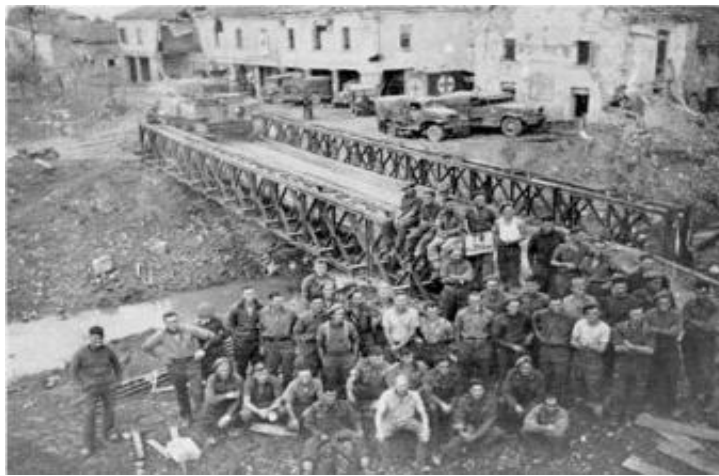
Τα παιδιά μου.

Τη γυναίκα μου.

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Κατά τη διάρκεια του Β'ΠΠ η βιομηχανική και τεχνολογική επανάσταση υπήρξε αλματώδης. Η ταχυστασία των εξελισσόμενων μηχανοκίνητων δυνάμεων μετέφερε τα πεδία μάχης σε μεγάλες αποστάσεις και σε εδάφη με πολλαπλά κωλύματα και είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της απαίτησης κάλυψης θεμάτων διοικητικής μέριμνας όπως ήταν για παράδειγμα οι αυξημένες ανάγκες καυσίμων και τροφίμων.



Φωτογραφία 1: Απλός Φορέας γέφυρας Bailey πάνω από το Ρέμα Riggosa κοντά στη Gambetolla κατελκούμενος από Λόχο Σακαπανέων των Συμμαχικών Δυνάμεων

Τα ανοίγματα προς κάλυψη παρουσίαζαν ποικιλία τόσο ως προς το μήκος όσο και προς τη φέρουσα ικανότητα των οχθών. Ο σχεδιασμός η μελέτη και η ανάπτυξη κατα περίπτωση νέων γεφυρών για την περιστασιακή κάλυψη των αναγκών ήταν εξαιρετικά δύσκολη για τους μηχανικούς του στρατού.

Η δικτυωτή γέφυρα Bailey ήταν μια πρωτοποριακή ιδέα η οποία αναπτύχθηκε για να καλύψει ανάγκες πολεμικών επιχειρήσεων.

Ο Sir Donald Bailey με την ομάδα του εμπνεύστηκε την ανάπτυξη μιας γέφυρας η οποία θα έπρεπε να έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- α. Να κατασκευάζεται με τα χέρια.
- β. Ο φορέας να κατασκευάζεται σε διάφορους τύπους ανάλογα με τις ανάγκες.
- γ. Όλες οι βιομηχανίες να είναι ικανές να κατασκευάσουν τα επιμέρους τμήματα της γέφυρας καθώς υπήρχε δυσκολία στο να ανταποκριθούν στις κατασκευαστικές απαιτήσεις.
- δ. Να μπορεί να μεταφερθεί με τα μεταφορικά της εποχής.

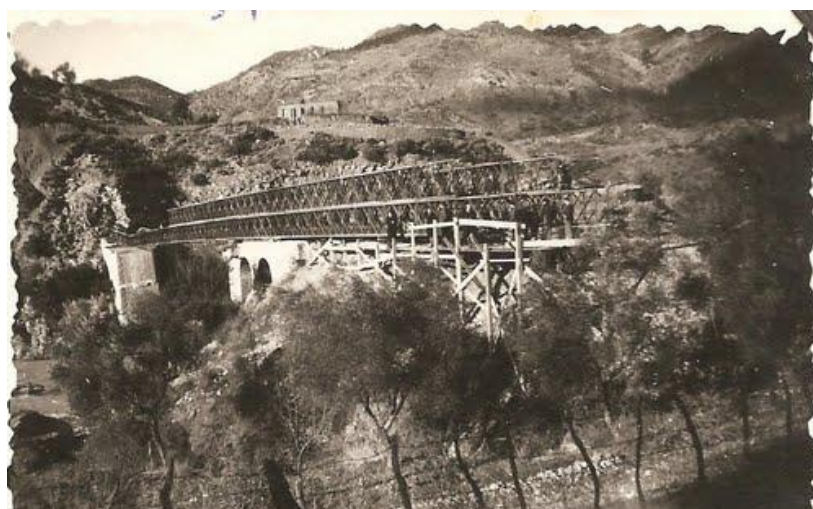


The Bailey Bridge Team 1941 .

Φωτογραφία 2: Η ομάδα σχεδιασμού και ανάπτυξης της γέφυρας Bailey

πηγή: <http://www.thinkdefence.co.uk/2012/01/uk-military-bridging-equipment-the-bailey-bridge/>

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά ωστόσο βρήκαν απήχηση τόσο στην ανασυγκρότηση των χωρών αμέσως μετά την λήξη του Β'ΠΠ όσο και στην σύγχρονη εποχή στα πλαίσια αντιμετώπισης εκτάκτων αναγκών.



Φωτογραφία 3: Καθέλκυση Διπλού-Τριπλού Φορέα μήκους 180 ποδών στο Θέρμο Αιτωλοακαρνανίας το 1954, κατά την ανασυγκρότηση της χώρας, για την αποκατάσταση κατεστραμμένης πετρόκτιστης τοξωτής από τις Γερμανικές Δυνάμεις

Με τα χρόνια όμως η αύξηση της μεταφορικής ικανότητας των οχημάτων είχε σαν αποτέλεσμα την οριακή φόρτιση των γεφυρών αυτών και την ανάπτυξη εντατικών μεγεθών και δυναμικών φαινομένων μεγαλύτερων από τα αναμενόμενα.



Φωτογραφία 4: Η γέφυρα του Θέρμου πρίν την τοποθέτηση του μεσοβάθρου



Φωτογραφία 5: Η γεφυρα μετά την τοποθέτηση μεσοβάθρου

Οι αυξημένες παραμορφώσεις καθώς και η ταλάντωση μετά το πέρασμα των προπερευόμενων οχημάτων προκαλούσαν στους χρήστες (οδηγούς οχημάτων) αίσθημα ανασφάλειας κατά τη διέλευση από τη γέφυρα.

1.2 Αντικειμενικός σκοπός και στόχοι της εργασίας

Αντικειμενικός σκοπός της εργασίας είναι αρχικά ο υπολογισμός των μηχανικών χαρακτηριστικών απλού φορέα 60 ποδών και στη συνέχεια η διερεύνηση της δυναμικής του συμπεριφοράς καθώς δεν υπάρχει καμία βιβλιογραφική αναφορά η οποία να πραγματεύεται τον υπολογισμό τους. Υπάρχουν δύο βιβλιογραφικές αναφορές [2],[3] οι οποίες αφορούν στα στοιχεία της γέφυρας και ερευνητική προσπάθεια διερεύνησης της φέρουσας ικανότητας με πειραματική διάταξη σε κλίμακα.

Με την εξαγωγή των αποτελεσμάτων επιδιώκεται η ταυτοποίηση του μοντέλου - φορέα πεπερασμένων ραβδωτών στοιχείων μέσω του λογισμικού Sap14 το οποίο αναπτύσσεται με σκοπό να αποτελέσει το βασικό πρότυπο δυναμικών επιλύσεων και ελέγχου επεμβάσεων επί αυτού.

Ο απλός φορέας μήκους 60 ποδών επιλέχθηκε με γνώμονα ότι είναι ο πιο απλός φορέας έχει φέρουσα ικανότητα φορτίου μέχρι 16 τόνους για κανονική διέλευση και 26,4 τόνους για επικίνδυνη.

1.3 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα εργασία αναπτύσσεται σε 7 συνολικά κεφάλαια.

Στο 1^ο Κεφάλαιο το εισαγωγικό γίνεται μια αναφορά στα ιστορικά δεδομένα και τη χρήση του φορέα της γέφυρας Bailey.

Στο 2^ο Κεφάλαιο περιγράφεται η γέφυρα Bailey και τα στοιχεία από τα οποία απαρτίζεται. Αναφέρονται οι τύποι γέφυρας που μπορούν να κατασκευαστούν. Γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί καθώς τα μέλη της γέφυρας είναι πρότυπα της Βρετανικής Χαλυβουργίας του 40'.

Στο 3^ο Κεφάλαιο αναπτύσσεται η διαδικασία, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις πεδίου καθώς επίσης και η βαθμονόμηση των επιταχυνσιομέτρων και τα αποτελέσματα αυτών. Αναλύεται επίσης η διαδικασία των υπολογισμών των ιδιοχαρακτηριστικών.

Στο 4^ο Κεφάλαιο αναπτύσσονται τα απαραίτητα θεωρητικά στοιχεία αποφεύγοντας να αναφερθούν τετριμμένες εξισώσεις αλλά εστιάζοντας στα στοιχεία τα οποία τόσο θεωρητικά όσο και πρακτικά μπορούν να συγκριθούν.

Στο 5^ο Κεφάλαιο αναπτύσσεται η λογική με την οποία σχεδιάστηκε ο φορέας των πεπερασμένων ραβδωτών στοιχείων και η πιστοποίηση της αξιοπιστίας αυτού.

Στο 6^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των επιλύσεων εστιάζοντας στα βέλη κάμψης τις επιταχύνσεις και τις μετατοπίσεις των κόμβων ενδιαφέροντος.

Στο 7^ο Κεφάλαιο πραγματοποιείται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αφορούν το κόμβο στο μέσο του φορέα.

2 Περιγραφή και Χαρακτηριστικά Γέφυρας Bailey

2.1 Γενικά

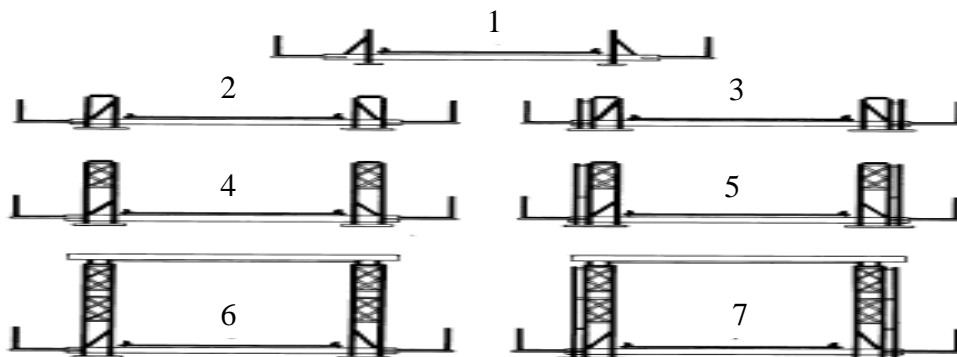
Στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας θα παρουσιασθεί κατά κύριο λόγο ο φορέας της γέφυρας Bailey 60 ποδών τύπου M2 από πλευράς υλικών, τρόπου σύνδεσης και φέρουσας ικανότητας. Οποιοσδήποτε άλλες πληροφορίες μπορούν να αναζητηθούν στη βιβλιογραφία [2].

2.2 Χαρακτηριστικά Γέφυρας Bailey

2.2.1 Τύποι Φορέα

Με το υλικό των συλλογών της γέφυρας Bailey μπορούν να κατασκευαστούν αμφιέριστοι και με κατάλληλη προσαρμογή συνεχείς φορείς. Οι αμφιέριστοι φορείς μπορούν να καλύψουν ανοίγματα από 30 πόδια (9,144 μέτρα) έως 210 πόδια(64,01 μέτρα). και έχουν φέρουσα ικανότητα πάνω από 100 τόνους, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες και συνδυασμούς ανοίγματος και τύπου φορέα.

Οι κύριες δοκοί του φορέα είναι δύο στα άκρα οι οποίοι ανάλογα με τις απαιτήσεις φέρουσας ικανότητας μορφοποιούνται στις γέφυρες των σκαριφημάτων της εικόνας 1 των οποίων ο χαρακτηρισμός φαίνεται στον πίνακα 1.



Εικόνα 1: Μορφές φορέα Bailey

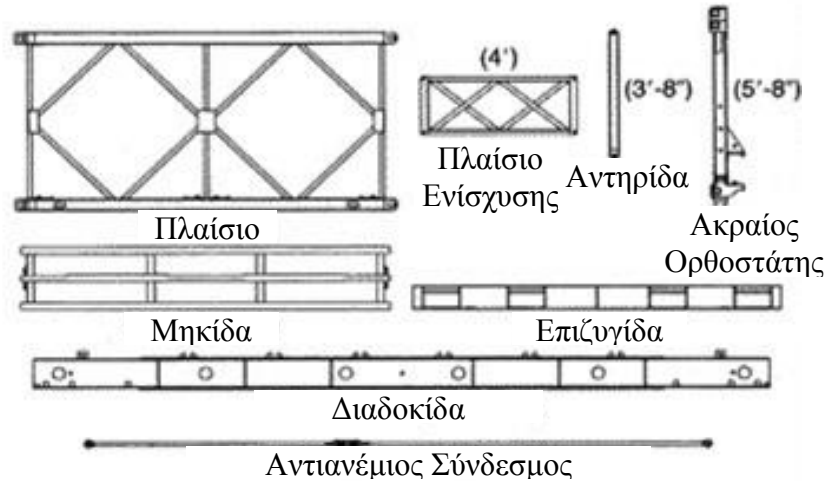
πηγή: FM 5-277-http://library.enlisted.info/field-manuals/series-1/FM5_277/CH1.PDF

A/A	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΝΤΜΗΣΗ
1	ΑΠΛΟΣ-ΑΠΛΟΣ	A/A
2	ΔΙΠΛΟΣ-ΑΠΛΟΣ	Δ/A
3	ΤΡΙΠΛΟΣ-ΑΠΛΟΣ	T/A
4	ΔΙΠΛΟΣ-ΔΙΠΛΟΣ	Δ/Δ
5	ΤΡΙΠΛΟΣ-ΔΙΠΛΟΣ	T/Δ
6	ΔΙΠΛΟΣ-ΤΡΙΠΛΟΣ	Δ/T
7	ΤΡΙΠΛΟΣ-ΤΡΙΠΛΟΣ	T/T

Πίνακας 1: Ονοματολογία φορέων Bailey

2.2.2 Εξαρτήματα-υλικά της συλλογής γέφυρας Bailey

Ο κάθε φορέας αποτελείται από τα ίδια εξαρτήματα με τη μόνη διαφορά ότι από φορέα σε φορέα αυξάνεται ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων τεμαχίων από κάθε ομάδα εξαρτημάτων.



Εικόνα 2:Κύρια μέρη και εξαρτήματα συλλογής γέφυρας Bailey

πηγή:FM 5-277

2.2.2.1 Πλαίσιο (Panel)

Πλαίσια(εικ.2-Panel) συνδεδεμένα μεταξύ τους με πείρους μορφοποιούν τις δικτυωτές δοκούς. Με διαστάσεις 10 πόδια μήκος (3,048 μέτρα) και ύψος 5 πόδια και 1 ίντσα (1,55 μέτρα) κατασκευάζονται γέφυρες με μήκος πολλαπλάσιο των 10 ποδών και μέγιστο ύψος δοκών 15 πόδια (4,65 μέτρα).

2.2.2.2 Διαδοκίδα (Transom)

Οι διαδοκίδες του φορέα (εικ 2 –M2 Transom) έχουν διατομή όπως αυτή του σκαριφήματος 3. Έχουν μήκος 6,07 μέτρα και στα πέλματα φέρουν ενισχύσεις με πλάκα ενίσχυσης. Το βάρος ανέρχεται σε 618 λίβρες (280 κιλά)

2.2.2.3 Μηκίδα (Stringer)

Οι μηκίδες (εικ 2) εδράζονται απλά επί των διαδοκίδων και κατανέμουν τα φορτία σ'αυτές. Έχουν διατομή όπως αυτή της (εικ.1), μήκος 4,22 μέτρα και πλάτη 0,56 μέτρα οι ακραίες (δύο στο σύνολο του σχηματιζόμενου καταστρώματος) και 0,546 μέτρα οι μεσαιές (τέσσερεις στο σύνολο του σχηματιζόμενου καταστρώματος). Έχουν βάρος 121 κιλά έκαστη.

2.2.2.4 Δίπλακες (Chess)

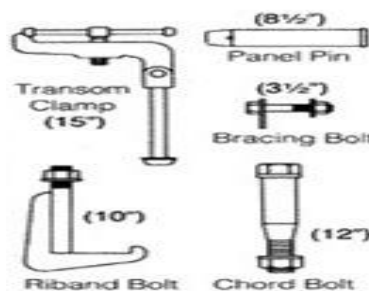
Οι δίπλακες είναι ξύλινα τεμάχια διαστάσεων μήκους 4,22 μέτρα, πλάτους 22 εκατοστά και πάχους 5 εκατοστά. Το βάρος του δε είναι 31 κιλά. Εδράζονται επί των μηκίδων και αποτελούν το κατάστρωμα έκαστης γέφυρας. Η σύνδεση τους με τις μηκίδες γίνεται στα άκρα αφού πρώτα τοποθετηθούν οι επιζυγίδες.

2.2.2.5 Επιζυγίδες(Ribands)

Οι επιζυγίδες (εικ2 –Riband) είναι χαλύβδινα τμήματα του καταστρώματος με διττή χρήση. Πρώτα για να συγκρατούν της δίπλακες σε επαφή με τις μηκίδες και κατά δεύτερο για να προστατεύουν τα πλαίσια από πρόσκρουση οχημάτων επι αυτών. Έχουν μήκος 10 πόδια (3,048 μέτρα) και βάρος 74 κιλά.

2.2.2.6 Υλικά Σύνδεσης

Διαφορα βλήτρα και πείροι χρησιμοποιούνται για τις συνδέσεις των εξαρτημάτων της γέφυρας.

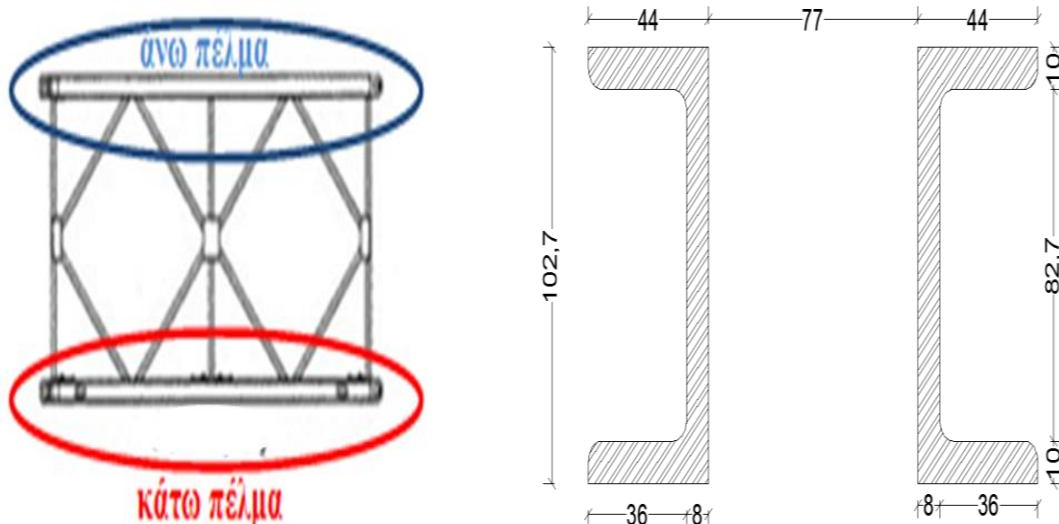


Εικόνα 3:Πείροι και βλήτρα σύνδεσης
πηγή:FM 5-277

2.2.3 Γεωμετρικά και μηχανικά στοιχεία διατομών

2.2.3.1 Διατομές πέλματος πλαισίου.

Έκαστο πέλαμα πλαισίου αποτελείται από δύο διατομές τύπου [(channel) με διαστάσεις όπως απεικονίζονται στα παρακάτω σχέδια.



Εικόνα 4:Απεικόνιση πλαισίου 10 ποδών

Σκαρίφημα 1: Διατομή άνω και κάτω πέλματος δοκού

Για το πέλμα χρησιμοποιούνται δύο διατομές για καθαρά πρακτικούς λόγους καθώς επι των δοκών έχουν συγκολληθεί τεμάχια που απαιτούνται για τις συνδέσεις καθ' ύψος. Με τη χρήση των δύο διατομών σε απόσταση μεταξύ τους 77 mm επιτυγχάνεται η απρόσκοπτη συγκόλληση των ορθοστατών και των χιαστί ενισχύσεων δημιουργώντας ταυτόχρονα άκαμπτους κόμβους δικτυώματος.

Έκαστη διατομή του άνω ή κάτω πέλματος του πλαισίου έχει εμβαδό:

$$2.2.3.1.1 \quad A_{(a-k)} \text{ πέλματος} = 3083,2 \text{ mm}^2.$$

$$2.2.3.1.2 \quad \text{Ροπή αδράνειας ισχυρού άξονα } I_{3-3} = 4549860 \text{ mm}^4 = 454,9860 \text{ cm}^4 = 4,55 * 10^{-6} \text{ m}^4.$$

$$2.2.3.1.3 \quad \text{Ροπή αδράνειας ασθενούς άξονα } I_{2-2} = 9123074 \text{ mm}^4 = 912,3074 \text{ cm}^4 = 9,21 * 10^{-6} \text{ m}^4.$$

$$2.2.3.1.4 \quad \text{Ροπή αδράνειας διατομής σύνθετης δικτυωτής δοκού.}$$

Η ροπή της σύνθετης δικτυωτής δοκού αποτελούμενης από τα πλαίσια των 10 ποδών υπολογίζεται με δύο (2) τρόπους προκειμένου να διαπιστωθεί η αξιοπιστία των μεθόδων.

2.2.3.1.4.1 Υπολογισμός ροπών δράνειας δοκού με τη κλασική θεωρητική μεθοδολογία

$$A_{\text{διατομής}} = 2 * A_{(a-k)} \text{ πέλματος} = 2 * 3083,2 \text{ mm}^2 = 6166,4 \text{ mm}^2.$$

$$I_{3-3} = 3,238 * 10^9 \text{ mm}^4 = 323825 \text{ cm}^4 = 0,003238 \text{ m}^4.$$

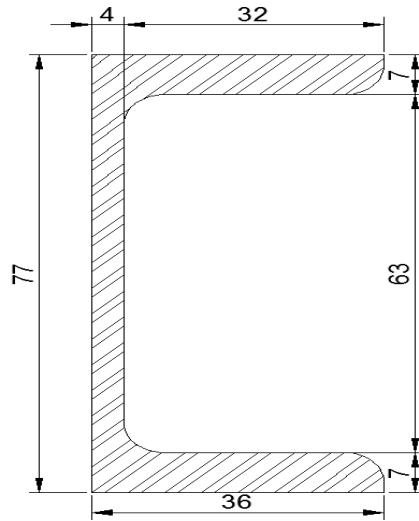
$$I_{2-2} = 18246147 \text{ mm}^4 = 1824,6147 \text{ cm}^4 = 1,125 * 10^{-5} \text{ m}^4.$$

2.2.3.1.4.2 Υπολογισμός σύμφωνα με τις διατάξεις του EC-3[7]

$$I_{\text{eff}} = 2 * A_f * \left(\frac{h_0}{2}\right)^2 = 0,5 * A_f * h_0^2 = 0,5 * 3083,2 * 1550^2 = 0,003704 \text{ m}^4.$$

Παρατηρείται μια διαφορά στο αποτέλεσμα των υπολογισμών της τάξης του 12,56% με μεγαλύτερη την υπολογιζόμενη σύμφωνα με τις διατάξεις του EC-3. Αυτή η διαφορά προκύπτει από το γεγονός ότι στη μέθοδο του EC-3 θεωρείται στον υπολογισμό όλο το εμβαδό των πελμάτων.

2.2.3.2 Διατομές ορθοστατών και διαγώνιων μελών πλαισίων
 Έκαστο εκ των ορθοστατών και διαγώνιων είναι της αυτής διατομής τύπου [(channel) με διαστάσεις όπως απεικονίζονται στο παρακάτω σκαρίφημα.

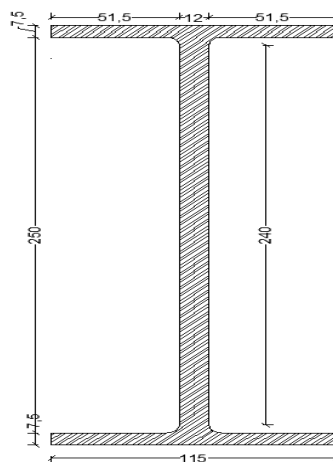


Σκαρίφημα 2: Διατομή ορθοστάτη και διαγώνιου μέλους πλαισίου

2.2.3.3 Διατομή διαδοκίδας

Η διαδοκίδα είναι διατομής σειράς IPN με τα παρακάτω χαρακτηριστικά τα οποία μετρήθηκαν επί τόπου με παχύμετρο:

- $G = 46,13 \text{ Kg/m}$
- $h = 265 \text{ mm}$
- $b = 115 \text{ mm}$
- $t_w = 12 \text{ mm}$
- $t_f = 7,5 \text{ mm}$
- $A = 45,7 \text{ cm}^2$
- $r_1 = 5 \text{ mm}$



Σκαρίφημα 3: Διατομή διαδοκίδας

2.2.4 Κατάταξη διατομών.

2.2.4.1 Διατομή πελμάτων (2xUPN)

Το όριο διαρροής ελήφθει κατόπιν των πειραματικών δεδομένων [7] $f_y=344$ MPa.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{344}} = 0,826 \quad \rightarrow \quad \frac{c}{t} = \frac{44}{10} = 4,4 < 9 * \varepsilon = 0,826$$

επομένως η διατομή είναι κατηγορίας 1.

2.2.4.2 Διατομή ορθοστατών και διαγωνίων πλαισίου(UPN)

$$\frac{c}{t} = \frac{36}{7} = 5,14 < 9 * \varepsilon = 0,826 \quad \text{επομένως η διατομή είναι κατηγορίας 1.}$$

2.2.4.3 Διατομή διαδοκίδας (IPN)

$$\frac{c}{t} = \frac{115-12}{7,5} = 6,87 < 9 * \varepsilon = 0,826 \quad \text{επομένως η διατομή είναι κατηγορίας 1.}$$

2.2.5 Υπολογισμός της διατμητικής δυσκαμψίας δοκού από πλαίσια Bailey.

Ο υπολογισμός της διατμητικής δυσκαμψίας της δικτυωτής δοκού του φορέα ακολουθεί τη παρακάτω πορεία [9]:

- α. Εφαρμόζεται στο φορέα μια μοναδιαία εγκάρσια δύναμη $V=1\text{kN}$.
- β. Προσδιορίζεται η ένταση στις ράβδους του δικτυώματος.
- γ. Προσδιορίζεται η πλευρική παραμόρφωση ενός φατνώματος του δικτυώματος από τη σχέση $\delta_s = \Sigma \int \frac{N^2}{EA} dx$. όπου N = αξονικές δυνάμεις των μελών του δικτυώματος λόγω της μοναδιαίας δύναμης και A = Αντίστοιχα εμβαδά των διατομών.
- δ. Η διατμητική παραμόρφωση του φατνώματος, ύψους a , δίνεται από τη σχέση $\varphi = \frac{\delta_s}{a}$.
- ε. Η διατμητική δυσκαμψία προσδιορίζεται από τη σχέση $S_V = \frac{V}{\varphi} = \frac{1}{\varphi}$ καθώς $V=1$.

Στη παρούσα εργασία για τον υπολογισμό της διατμητικής δυσκαμψίας χρησιμοποιείται ένα εκ των πλαισίων του φορέα το οποίο στηρίζεται με αρθρώσεις στους κόμβους αρχής (άνω και κάτω πέλμα) και φόρτιζεται με μοναδιαίο φορτίο 1 kN κόμβο της θέσης Α όπως φαίνεται στην εικόνα 5. Οι μετατοπίσεις των ακραίων κόμβων είναι αντίστοιχα $\delta_{s1} = 0,0476$ και $\delta_{s2} = 0,0433$ από όπου θεωρώντας τον μέσο όρο τους υπολογίζουμε :

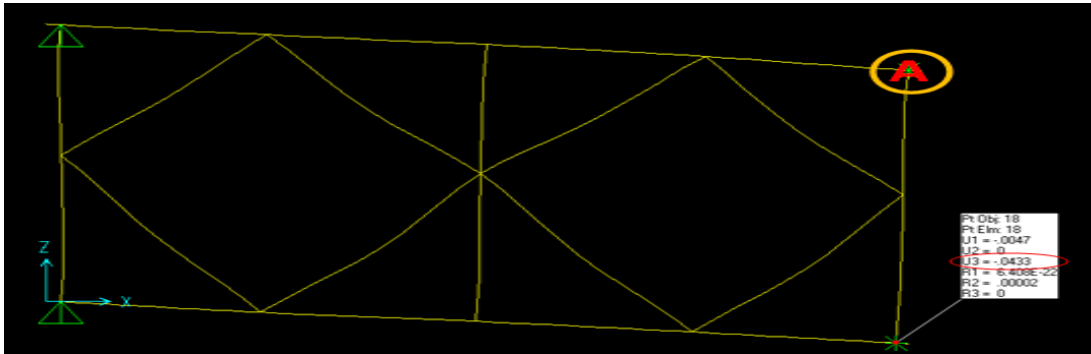
$$\delta_{\text{average}} = 0,04545\text{mm}$$

$$\varphi = \frac{\delta_s}{a} = \frac{0,04545}{2948} = 1,542 * 10^{-5}$$

Επομένως η διατμητική δυσκαμψία είναι $S_V = \frac{1}{\phi} = \frac{1}{1,542 \cdot 10^{-5}} = 64862,5 \text{ kN}$

Για λόγους ανάλυσης μπορούμε να αντικαταστήσουμε ένα δικτυωτό κορμό από ένα ολόσωμο ισοδύναμο πάχος (t_w)_{eq}.

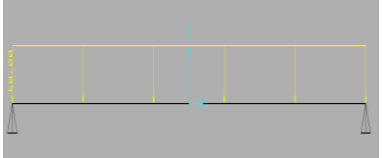
$$t_{w\text{eq}} = \frac{S_V}{G \cdot h_w} = \frac{64862,5 \text{ kN}}{75,5549 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \cdot 1550 \text{ mm}} = 0,55 \text{ mm}$$



Εικόνα 5: Επίλυση πλαισίου με το Sap14 για τον υπολογισμό του S_V

2.2.6 Μεγεθυντικός συντελεστής βέλους λόγω παραμορφώσεων εκ τεμνουσών σε δοκούς ενός ανοίγματος.

Στο πίνακα 2 παρατίθενται τα βέλη λόγω ροπών κάμψης και ο μεγεθυντικός συντελεστής βέλους όταν ληφθούν υπόψη τα έργα εκ τεμνουσών[9].

Σύστημα	Βέλη Εκ Ροπών W_M	Βέλη εκ Τεμνουσών W_V	$\frac{W_M + W_V}{W_M}$
	$\frac{5ql^4}{384EI}$	$\frac{ql^2}{8S_V}$	$1 + \frac{48EI}{5l^2S_V}$

Πίνακας 2: Μεγεθυντικός συντελεστής βέλους λόγω παραμορφώσεων εκ τεμνουσών

2.3 Χάλυβας κατασκευής εξαρτημάτων και υλικών γέφυρας Bailey

Η γέφυρα Bailey είναι μια κατασκευή με διαχρονική χρήση. Η σύλληψη της το 1943 με μελλοντική πρόβλεψη για την κάλυψη αναγκών αυξανόμενων φορτίων, με την εξέλιξη της βιομηχανίας, οδήγησε την Βρετανική Βιομηχανία Χάλυβα [4] στη βελτίωση των, μηχανικών χαρακτηριστικών του κράματος BS 968 1941 (War Emergency Standard), το οποίο είχε χαρακτηριστικά ίδια με αυτο του BS 548 1934, στο BS 968 No1 1943 (War Time Amendend).

Οι αυξημένες απαιτήσεις στις κατασκευές και ειδικά για το υλικό της γέφυρας Bailey οδήγησε στη συνέχεια το 1962 με την εφαρμογή νέων τεχνικών παρασκευής την ανάπτυξη του BS 968 1962 με βελτίωση στο όριο διαρροής. Στα πλαίσια της δοκού και στους οριζόντιους σύνδεσμους δυσκαμψίας (αντιανέμια) χρησιμοποιείται χάλυβας BS 968

και στα υπόλοιπα χρησιμοποιείται χάλυβας BS 15. Για τους πείρους των πλαισίων χρησιμοποιείται κράμα χάλυβα με μολυβδαίνιο-μαγγάνιο για την επίτευξη υψηλών αντοχών [5]. Λεπτομέρειες παρουσιάζονται στο πίνακα 2.

BS 15					
	πάχος υλικού σε inches	πάχος υλικού σε mm	Όριο διαρροής σε ton/sq.in	Όριο διαρροής σε Mpa	σmax εφελκυσμού (Mpa)
έως	0.75	19.05	16	220.64	455.07
έως	1.5	38.1	15	206.85	
πάνω από	1.5	38.1	14.75	203.4025	
BS 968 1941					
	1.25	31.75	23	317.17	592.97
	1.75	44.45	22	303.38	
	2.25	57.15	21	289.59	
	2.75	69.85	20	275.8	
πάνω από	2.75	69.85	19	262.01	
BS 968 1943					
μέχρι	0.75	19.05	21	289.59	565.39
πάνω από	0.75	19.05	19	262.01	537.81
BS 968 1962					
	0.625	15.875	23	317.17	537.81
	1.25	31.75	22.5	310.275	
	2	50.8	22	303.38	

Πίνακας 3:Χρησιμοποιούμενοι τύποι χάλυβα στα εξαρτήματα γέφυρας Bailey

Η εταιρία παραγωγής του υλικού της Bailey χρησιμοποιεί σήμερα χάλυβα υψηλής αντοχής με όριο διαρροής στα 50.000 psi /344 Mpa (ASTM A242) με αυξημένες αντοχές στις επίδραση των περιβαλλοντικών επιδράσεων.

Λόγω της αδυναμίας λήψης δοκιμών (coupons) από το υλικό της γέφυρας, τόσο για πρακτικούς όσο και για οικονομικούς λόγους θα χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα προγενέστερης εργασίας [7] που αφορά γέφυρα Bailey στο Πακιστάν.

Όσο αφορά το μέτρο ελαστικότητας αυτό υπολογίστηκε με τη εκτέλεση δοκιμών σε δοκίμια τα οποία ελήφθησαν από πλαίσια του ίδιου έτους κατασκευής με αυτά της υπόψη εργασίας.

Ο μέσος όρος των εργαστηριακών αυτών μετρήσεων είναι :

Για το μέτρο ελαστικότητας	:	E=30.000 Ksi ήτοι 206,8 GPa.
Για το φορτίο διαρροής των πελμάτων πάνελ:	:	P=min:90 κN max:110 κN
Για το όριο διαρροής	:	f _y =50 Ksi/344 MPa
Για το όριο θραύσης	:	f _u = 78 Ksi/540 MPa

Ιδιότητα	Υλικό	Μονάδα	Τιμή
E:μέτρο ελαστικότητας	Steel BS 968	Gpa	206,8
f _y :τάση διαρροής	Steel BS 968	Mpa	344
f _u : τάση θραύσης	Steel BS 968	Mpa	540

Πίνακας 4:Πίνακας μέσωσ όρων παραδοχών ιδιοτήτων χάλυβα BS968

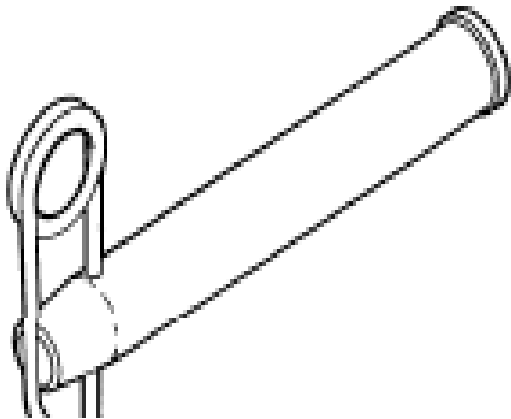
2.4 Λεπτομέρειες σύνδεσης των διαφόρων τμημάτων

2.4.1 Γενικά

Η σύνδεση των διαφόρων τμημάτων της γέφυρας Bailey γίνεται είτε με πείρους είτε με κοχλίες. Στη παραγραφο αυτή παρουσιάζονται οι κυριότερες των συνδέσεων συγκεκριμένα οι κυριότερες και πιο κρίσιμες από εξ αυτών.

2.4.1.1 Σύνδεση Πλαισίων.

Η σύνδεση των πλαισίων υλοποιείται με πείρους (panel pins)



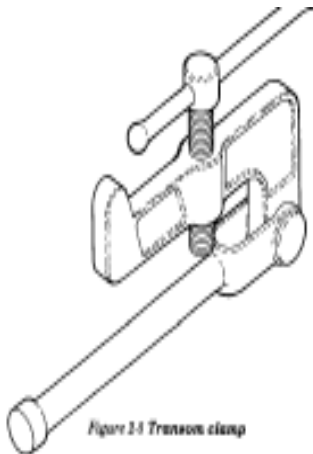
Εικόνα 6: Πείρος Σύνδεσης Πλαισίων
πηγή: FM 5-277



Εικόνα 7: Πείρος στη θέση σύνδεσης

2.4.1.2 Σύνδεση διαδοκίδων

Η σύνδεση των διαδοκίδων πραγματοποιείται με το συνδετήρα διαδοκίδας. Πρόκειται για ένα εξάρτημα το οποίο συγκρατεί την διαδοκίδα στο πέλμα του με σύνδεση πέλματος και ορθοστάτη και έχει βάρος 3,2 κιλά..



Εικόνα 8: Συνδετήρας Διαδοκίδας



Φωτογραφία 6: Λεπτομέρεια από σύνδεση διαδοκίδας

2.4.1.3 Σύνδεση Δίπλακας

Η σύνδεση της δίπλακας με τις μηκίδες γίνεται με απλή έδραση επί αυτών (φωτο 8).

2.4.1.4 Σύνδεση μηκίδας με επιζυγίδα

Η σύνδεση της μηκίδας με την επιζυγίδα γίνεται με το βλήτρο επιζυγίδας όταν το υλικό είναι της συλλογής γέφυρας. Συνήθως στη γεφύρωση κωλυμάτων οι οποίες πραγματοποιήθηκαν από την τοπική αυτοδιοίκηση παρατηρούνται αυτοσχέδιες επεμβάσεις.



Φωτογραφία 7: Αυτοσχέδιες Επιζυγίδες σε Τριπλό-Διπλό Φορέα στο Θέρμο Αιτωλοακαρνανίας



Φωτογραφία 8: Κατάστρωμα με επιζυγίδες της συλλογής γέφυρας Bailey

2.4.1.5 Σύνδεση των οριζόντιων συνδέσμων δυσκαμψίας

Η σύνδεση των στοιχείων αυτών γίνεται σε χιαστί διάταξη ανά δύο και συνδέονται με τα πλαίσια του αυτού κάθε φορά στοιχείου με πείρους όπως φάνεται στη φωτογραφία.

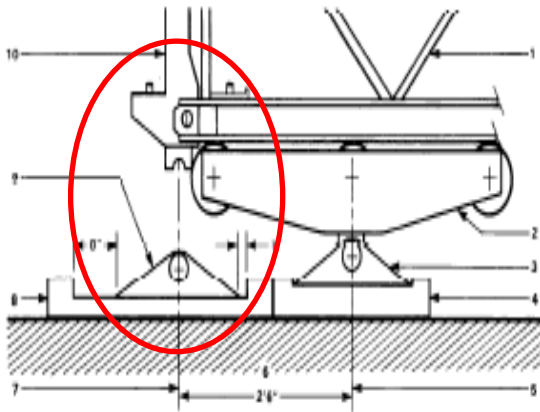


Φωτογραφία 9: Λεπτομέρεια σύνδεσης αντιανεμιών συνδέσμων

2.4.1.6 Έδραση γέφυρας

Η έδραση της γέφυρας πραγματοποιείται με την τοποθέτηση ορθοστατών στα τέσσερα ανεξάρτητα άκρα και τη κατασκευή εσχάρας. Βασικό μειονέκτημα είναι ότι με την διαδικασία αυτή σε ασταθή εδάφη είναι δυνατό να προκληθούν διαφορικές καθιζήσεις.

Το πρόβλημα αυτό έχει αποκατασταθεί στη μετεξέλιξη της γέφυρας Bailey που είναι η τύπου Mabey-Johnson



Εικόνα 9: Λεπτομέρεια έδρασης της γέφυρας μέσω ορθοστάτη στη πλάκα έδρασης.



Εικόνα 10: Λεπτομέρεια έδρασης απλού φορέα 60 ποδών

2.5 Περιγραφή του φορέα Bailey τύπου ΑΠΛΟΣ-ΑΠΛΟΣ 60 ποδών

2.5.1 Γενικά

Για την πραγματοποίηση των δυναμικών μετρήσεων προκειμένου να πιστοποιηθεί το μοντέλο των ραβδωτών πεπερασμένων στοιχείων καθελκύθηκε φορέας τύπου απλός – απλός συνολικού μήκους 60 ποδών (18,288 μέτρα).



Φωτογραφία 10: Εγκατεστημένος φορέας απλός-απλός 60 ποδών

2.5.2 Στατικό Προσωμοίωμα και γεωμετρικά χαρακτηριστικά γέφυρας

Πρόκειται για ισοστατικό (αμφιέρειστο) φορέα ο οποίος στα άκρα του φέρει δύο δικτυωτές δοκούς, αποτελούμενες από μια σειρά πλαισίων κατα πλάτος και μία σειρά πλαισίων καθ' ύψος συνολικού μήκους 60 ποδών (6 πλαίσια των 10 ποδών έκαστη), μορφής δικτυώματος ρόμβου με παράλληλα ευθύγραμμα πέλματα..

Για την καθέλκυση του χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της προώθησης με τη χρήση προβόλου αποτελούμενου από τρία πλαίσια κατά μήκος ο οποίος αποσυναρμολογήθηκε με τη σταδιακή προώθηση του φορέα επί των ταλαντευόμενων κυλίστρων κατασκευής. Το δε ωφέλιμο πλάτος αυτής είναι 3,81 m μεταξύ των επιζυγίδων.



Φωτογραφία 11:Ωφέλιμο πλάτος γέφυρας 3,81 m

2.5.3 Φέρουσα Ικανότητα γέφυρας βάσει εγχειριδίου

Από τη γέφυρα αυτή σύμφωνα με τα δεδομένα του εγχειριδίου [2] μπορούν να διέλθουν μόνο οχήματα και όχι ερπυστριοφόρα σε κανονική διέλευση. Γενικότερα από απλούς φορείς σε κανονική διέλευση και μήκη μεγαλύτερα από 30 πόδια πρέπει να αποφεύγεται η διέλευση ερπυστριοφόρων. Πάνω από τη γέφυρα των 60 ποδών επιτρέπεται η διέλευση οχημάτων μέχρι κλάση οχήματος 20 όπου με μια καθαρά εμπειρική σχέση προκύπτει ότι αναλογεί σε βάρος μέχρι 16 τόνους (20/1,25).

3 Μετρήσεις δυναμικών χαρακτηριστικών στο πεδίο

3.1 Γενικά

Προκειμένου να κατασκευαστεί αξιόπιστο προσομοίωμα πεπερασμένων ραβδωτών στοιχείων κρίθηκε απαραίτητο να υπολογιστούν πειραματικά οι καμπτικές κατα κύριο λόγο ιδιοσυχνότητες του φορέα καθώς και η απόκριση σε διάφορες εξωτερικές φορτίσεις. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν στο φορέα δοκιμές ελεύθερης ταλάντωσης (free vibrations) καθώς και μετρήσεις ταλαντώσεων περιβάλλοντος (Ambient Vibration Tests) με τη χρήση δύο ιδιοκατασκευασμένων επιταχυνσιόμετρων προκειμένου να γίνει επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων [10].

3.2 Περιγραφή χρησιμοποιούμενου υλικού

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων επιτάχυνσης δεν κατέστη δυνατό να χρησιμοποιηθούν πιστοποιημένοι καταγραφείς καθώς τόσο η χρονική περίοδος όσο και το κόστος χρήσης ήταν απαγορευτικό για το επίπεδο της μεταπτυχιακής εργασίας. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε να κατασκευαστούν επιταχυνσιόμετρα με δυνατότητες μετρήσεων από $\pm 2g$ έως $\pm 16g$. Τα επιταχυνσιόμετρα αυτά εντάσσονται στη κατηγορία MEMS (MicroelectroMEchanical Systems).

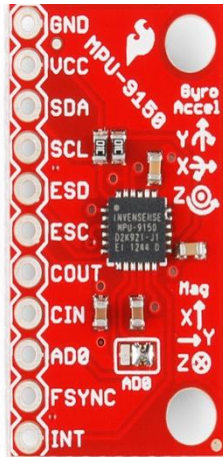
Στα πλεονεκτήματα χρήσης αυτών των συστημάτων μπορούν να καταχωρηθούν τόσο η δυνατότητα εύκολης πρόσβασης σε αυτά όσο και το σχετικά χαμηλό τους κόστος. Υπάρχει δυνατότητα προγραμματισμού με τη χρήση λογισμικού ελεύθερης πρόσβασης και χρήσης.

Στα μειονεκτήματα των συστημάτων μπορούν αναφερθούν η δυσκολία στη επεξεργασία των δεδομένων καταγραφής καθώς όλη η διαδικασία γίνεται από τον χρήστη.

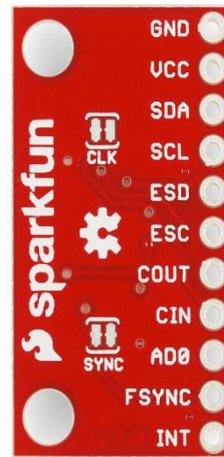
3.2.1 Μονάδα μέτρηση αδρανειακών δεδομένων (IMU-Inertial Measurement Unit)

Προκειμένου να καταγραφούν τα απαραίτητα δεδομένα ανάλυσης χρησιμοποιήθηκε η μονάδα μέτρησης (ηλεκτρονική πλακέτα) MPU-9150 [11] της εταιρίας Sparkfun με δυνατότητα ταυτόχρονης καταγραφής:

- α. Θερμοκρασίας Περιβάλλοντος
- β. Επιταχύνσεων σε τρεις άξονες
- γ. Γωνιακή επιτάχυνση (Gyroscope) σε τρεις άξονες
- δ. Προσανατολισμού (Compass) τρεις άξονες



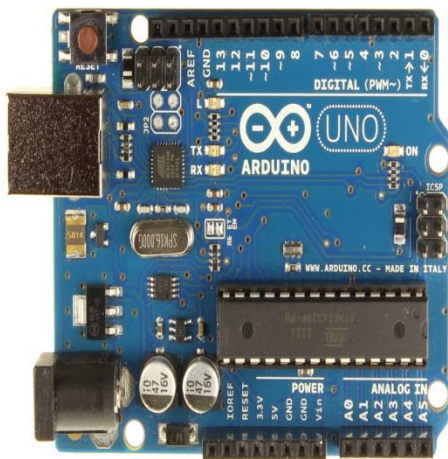
Φωτογραφία 12:MPU 9150 εμπρόσθια όψη



Φωτογραφία 13:MPU 9150 οπίσθια όψη

3.2.2 Μονάδα μικροελεγκτών

Προκειμένου οι μονάδες μέτρησης αδρανειακών δεδομένων να καταστούν λειτουργικές απαιτείται ο έλεγχός από τη μονάδα Arduino Uno R3[12]. Η συγκεκριμένη μονάδα τροφοδοτείται είτε από φορτιστή μέγιστης παροχής 9 Volts είτε από θύρα USB.



Φωτογραφία 14: Arduino Uno R3 εμπρόσθια όψη



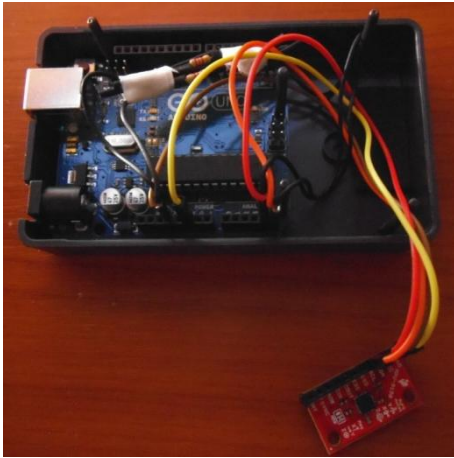
Φωτογραφία 15:Arduino Uno R3 οπίσθια όψη

Το λογισμικό διασύνδεσης με υπολογιστή παρέχεται δωρεάν καθώς και ο κώδικας προγραμματισμού [13] του αισθητήρα.

3.2.3 Συναρμολόγηση του συστήματος

Η συναρμολόγηση του συγκεκριμένου συστήματος παρουσιάζει ένα βαθμό δυσκολίας καθώς για έργα ρομποτικής υπάρχουν έτοιμα σχέδια συναρμολόγησης ενώ για μια απλή χρήση ως αισθητήρα με τη χρήση IMU είναι δύσκολα προσβάσιμα. Στον ιστότοπο συζήτησης της Arduino παρέχονται πληροφορίες σύνδεσης οι οποίες ωστόσο δεν δίνουν μετρήσιμα αποτελέσματα από τον αισθητήρα. Μια αποτελεσματική επίλυση του προβλήματος επευτεύχθει με τη συνδεσμολογία που παρέχεται σε αντίστοιχο σύστημα καταγραφής ανθρωποκίνησης[14]. Με τις πληροφορίες από το συγκεκριμένο άρθρο

κατασκευάστηκαν δύο MEMS τα οποία ονομάστηκαν COM12 και COM15 από τις θέσεις που κατέλαβαν στις αντίστοιχες θύρες επικοινωνίας με τον Η/Υ.



Φωτογραφία 16: Συνδεσμολογία Αισθητήρα MEMS



Φωτογραφία 17: Η πλακέτα Arduino τοποθετημένη σε κατάλληλο κουτί

Πραγματοποιήθηκαν συγκολλήσεις των καλωδίων με αντιστάσεις καθώς και στέρεη σύνδεση του αισθητήρα μέσα στο κουτί συναρμολόγησης.

3.2.4 Λογισμικό συλλογής δεδομένων

Για τη συλλογή και αποθήκευση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό MeganoLink Pro το οποίο έχει τη δυνατότητα πολυκάναλης καταγραφής.

Αρχικά τα δύο συστήματα COM 12 και COM15 ρυθμίστηκαν μέσω της διεπαφής (interface) του Arduino να καταγράφουν με ρυθμό 115200 Baudrate. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι σε κάθε δευτερόλεπτο καταγράφονται 115200 χαρακτήρες. Σε συνδυασμό με το πλήθος των δεδομένων που ήταν απαραίτητο να καταγράφονται είχε σαν αποτέλεσμα να έχουμε καταγραφή στα 54 Hz. Λόγω της απαίτησης να υπάρχουν όσο το δυνατόν περισσότερα δεδομένα καταγραφής αφαιρέθηκε από το σύστημα η καταγραφή των ενδείξεων του γυροσκοπίου και της πυξίδας αυξάνοντας τη δυνατότητα καταγραφής στα 285 Hz. Παρέχεται επίσης η δυνατότητα καταγραφής με ένδειξη χρόνου προκειμένου να χρησιμοποιούνται ίδιες χρονοσειρές στα δείγματα. Αρχικά όμως για να πραγματοποιηθεί μια σχετικά βαθμονομημένη συλλογή δεδομένων (calibrated) ακολουθήθηκαν οι παρακάτω διαδικασίες:

3.2.4.1 Δοκιμή ανατροπής (Tumble Test)

Η βαθμονόμηση των καταγραφικών συστημάτων είναι σχετικά μια λεπτή διαδικασία και απαιτεί εξειδικευμένα όργανα. Στο επίπεδο όμως της μεταπτυχιακής και για λόγους χαμηλού κόστους (αυτή είναι και μια από τις αρχές της ανάπτυξης της συγκεκριμένης εργασίας) η βαθμονόμηση πραγματοποιήθηκε με μια απλή διαδικασία η οποία στηρίζεται στην αρχή της επιτάχυνσης της βαρύτητας. Η διαδικασία υιοθετήθηκε από την αντίστοιχη η οποία ακολουθείται σε εργοστασιακά καταγραφικά δεδομένων[15]

3.2.4.1.1 Κατασκευή έδρας ελέγχου

Για την αποφυγή κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης της επίδρασης ταλαντώσεων στο σύστημα καταγραφής κατασκευάστηκε τριγωνική έδρα (πλάκα μαρμάρινη πάχους 5 εκατοστών). Η διαμόρφωση της έγινε τριγωνική με σκοπό να αποφευχθεί η μεγάλη επιφάνεια επαφής με το έδαφος.



Φωτογραφία 18:Βάση Έδρας Ελέγχου



Φωτογραφία 19:Σημεία Στήριξης Έδρας Ελέγχου

Η οριζοντίωση της έδρας επετεύχθει με το σύστημα των τριών μεταβλητών καθ' ύψος κοχλιών και με μετρήσεις με αλφάδι και στάθμη από όργανο χωροβάτη. Το όργανο του χωροβάτη αρχικά μηδενίστηκε στις τρεις θέσεις του και στη συνέχεια τοποθετήθηκε στην έδρα.



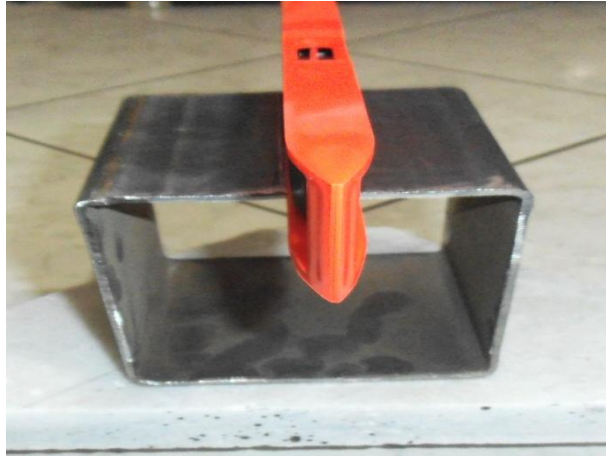
Φωτογραφία 20:Οριζοντίωση Έδρας Ελέγχου



Φωτογραφία 21:Οριζοντίωση με τη χρήση της στάθμης χωροβάτη

3.2.4.1.2 Κατασκευή μεταλλικού πλαισίου ελέγχου

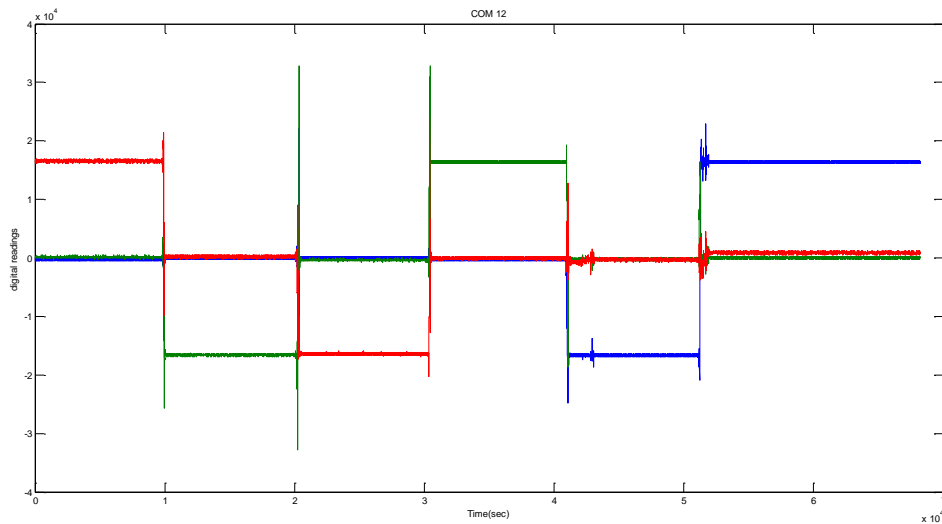
Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η δοκιμή ανατροπής αποκόπηκε τεμάχιο από κοιλοδοκό διατάσεων 10X10X10 cm.



Φωτογραφία 22:Μεταλλικό πλαίσιο ελέγχου(10x10x10 cm)

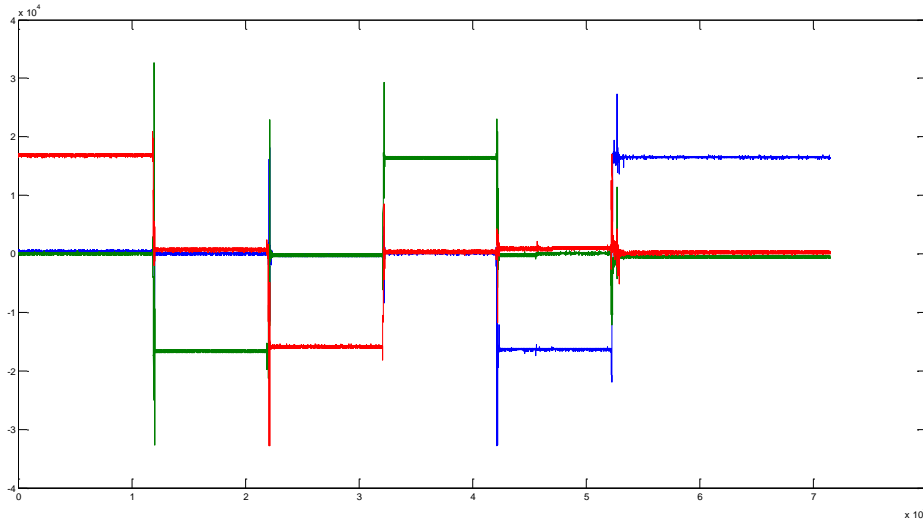
3.2.4.1.3 Συλλογή αποτελεσμάτων

Σε κάθε περίπτωση ελέγχθηκε από ένα σύστημα τη φορά. Τοποθετήθηκε τόσο το COM12 όσο και το COM15 στο εσωτερικό του μεταλλικού πλαισίου, στερεώθηκε σε αυτό και άρχισε η διαδικασία συλλογής αποτελεσμάτων με διάρκεια ενός λεπτού σε κάθε θέση.



Διάγραμμα 1: Αποτελέσματα καταγραφής συστήματος COM12 μεταξύ 1g και -1g

Στο διάγραμμα 3 παρατηρείται ότι όταν μια ένδειξη π.χ κόκκινη γραμμή είναι στη θέση 16384 (digital output) το σύστημα στον αντίστοιχο άξονα αντιστοιχεί σε ένδειξη $\pm 1g$. Ενώ στους άλλους άξονες οι ενδείξεις είναι μηδενικές. Γεγονός το οποίο διακρίνεται καθαρά στο παραπάνω διάγραμμα. Παρομοίως για το COM15 :



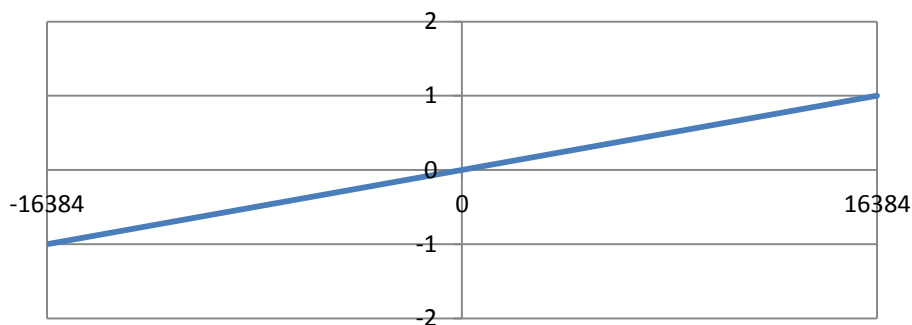
Διάγραμμα 2: Αποτελέσματα καταγραφής συστήματος COM15 μεταξύ 1g και -1g

Αφοτου έγινε η συλλογή των αποτελεσμάτων τα αποτελέσματα μεταφέρθηκαν σε φύλλο επεξεργασίας Excel. Απομονώθηκαν τα δεδομένα σε κάθε κατάσταση 0g ή $\pm 1g$ σε ξεχωριστά φύλλα επεξεργασίας προκειμένου να υπολογιστούν οι συντελεστές οι οποίοι καθορίζουν και την εξίσωση βαθμονόμησης των συσκευών. Η επιτάχυνση δίνεται σε σχέση με τα δεδομένα τα οποία καταγράφονται από τα συστήματα από τη γραμμική εξίσωση:

$$y = ax + \beta$$

Εξίσωση 1: Γραμμική σχέση επιτάχυνσης ψηφιακών δεδομένων

Τα συγκεκριμένα συστήματα τα οποία κατασκευάστηκαν έχουν δυνατότητα καταγραφής 16 bit και με την αναγραφόμενη στις προδιαγραφές τους μέτρηση $\pm 2g$ σημαίνει ότι οι για τις $2^{16}=65.536$ δυνατότητες απόθηκευσης δεδομένων οι μετρήσεις $\pm 2g$ αντιστοιχούν σε ± 32.768 . Αυτό συνεπάγεται ότι το $\pm 1g$ αντιστοιχεί σε ± 16.384 δυνατότητες απόδοσης καταχωρήσεων. Πρακτικά αυτό αποδίδεται με το παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 3: Ιδανική Γραμμική Απεικόνιση Επιτάχυνσης -Ψηφιακών Καταγραφών

Στη πράξη οι κατασκευαστικές ατέλειες είναι αυτές οι οποίες καθορίζουν τόσο τον συντελεστή κλίσης a όσο και το συντελεστή μετατόπισης από το κεντρικό σημείο περιστροφής β . Από όλες τις καταγραφές στο $\pm 1g$ (± 16384) υπολογίζονται οι μέσοι όροι αυτών των καταγραφών κατά περίπτωση και στη συνέχεια υπολογίζονται οι μέσοι όροι των καταγραφών για τις καταστάσεις της μηδενικής βαρύτητας (καθετότητα στον άξονα της βαρύτητας). Στη περίπτωση καθετότητας του άξονα ελέγχου στον άξονα της βαρύτητας υπάρχει ένα εύρος τιμών οι οποίες αντιστοιχούν σε μηδενικές καταγραφές και

για το λόγο αυτό υπολογίζονται μέσοι όροι για διάφορες μέγιστες και ελάχιστες τιμές ($\pm 500, \pm 400, \pm 300$) και στη συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος όρος αυτών.

Προκειμένου τώρα για κάθε άξονα να υπολογιστεί ο συντελεστής κλίσης(scale factor) α και μετατόπισης (offset) β πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω υπολογισμοί :

$$\alpha = \frac{\text{μέσος όρος ψηφιακών καταγραφών για } +1g - \text{μέσος όρος ψηφιακών καταγραφών για } -1g}{32768}$$

β : μέσος όρος ψηφιακών καταγραφών για άξονα κάθετο στον άξονα βαρύτητας

Με τη παραπάνω διαδικασία προέκυψαν οι εξισώσεις βαθμονόμησης για κάθε ένα από τα κατασκευασμένα συστήματα καταγραφής βάση της παρακάτω αρχής : $\frac{\text{output}_{x,y,z} - \beta_{x,y,z}}{a_{x,y,z}}$

COM 12	COM 15
$A_x = \frac{\text{output}_x - 108,91}{16518}$	$A_x = \frac{\text{output}_x - 62,75}{16404}$
$A_y = \frac{\text{output}_y - 28,72}{16456}$	$A_y = \frac{\text{output}_y - 80,72}{16480}$
$A_z = \frac{\text{output}_z - 87,89}{16457}$	$A_z = \frac{\text{output}_z - 198,03}{16324}$

Πίνακας 5: Πίνακας εξισώσεων βαθμονόμησης συστημάτων καταγραφής

Μετά τη συλλογή των δεδομένων από τα συστήματα, αυτά βαθμονομούνται με τις παραπάνω εξισώσεις. Μετατρέπονται στη συνέχεια σε χρονοσειρές για επεξεργασία στο MatLab.

3.2.5 Διαδικασία συλλογής δεδομένων

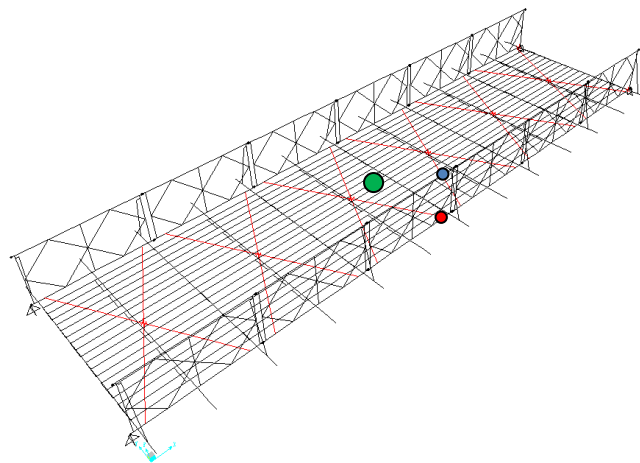
Η διαδικασία με τη οποία πραγματοποιήθηκε η συλλογή των δεδομένων ακολούθησε τη λογική ότι με τη χρήση δύο μόνο συσκευών καταγραφής μπορούσε να επευτευχθεί στη καλύτερη περίπτωση “*Output only Modal Analysis*”. Πραγματοποιήθηκαν πολλές προκαταρκτικές δοκιμές προκειμένου να διαπιστωθεί τόσο η λειτουργία των συσκευών όσο και η ορθότητα των δεδομένων. Για τον υπολογισμό της πρώτης καμπτικής ιδιοσυχνότητας πραγματοποιήθηκαν δοκιμές ελεύθερης ταλάντωσης με διαφορετικές σε κάθε περίπτωση τεχνικές.

3.2.5.1 Δοκιμής Ελεύθερης Ταλάντωσης Τύπου 1

Με τον όρο Δ.Ε.Τ τύπου 1 χαρακτηρίζεται η διαδικασία με την οποία πραγματοποιήθηκε η δοκιμή. Πάνω στο φορέα της γέφυρας τοποθετήθηκε βάρος 173 Kgr το οποίο προήλθε από την μεταλλική βάση έδρασης του φορέα. Το βάρος αυτό ανακλεινόταν υπό γωνία 45° από δύο άτομα και στη συνέχεια αφηνόταν ελεύθερο επί του φορέα. Συνολικό υπολογιζόμενο βάρος ανερχόταν σε 340 Kgr. Το μειονέκτημα σε αυτή τη περίπτωση διαπιστώθηκε ότι ήταν η παραμονή του βάρους στο φορέα αλλοίωνε το αποτέλεσμα.

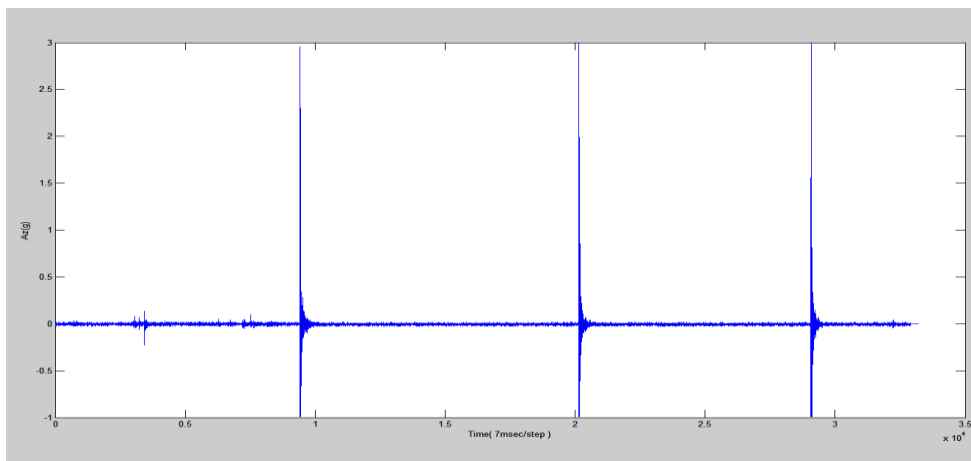


Φωτογραφία 23: Βάρος δοκιμής υπό γωνία



Σκαρίφημα 4: Απεικόνιση θέσης διέγερσης και θέσεων επιταχυνσιομέτρων

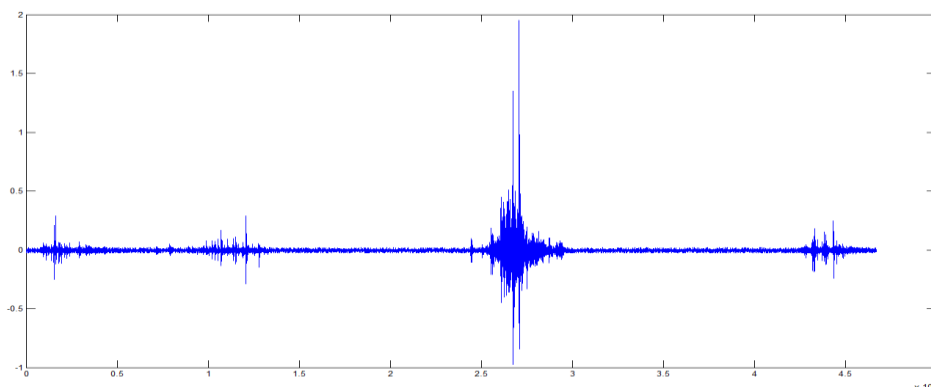
Η απεικόνιση των δεδομένων για τριπλή επανάληψη στον άξονα Z είναι η παρακάτω:



Διάγραμμα 4: Απεικόνιση δεδομένων δοκιμής στον άξονα Z για το πάνω πέλμα

3.2.5.2 Δοκιμή Εξαναγκασμένης Ταλάντωσης (Ambient Vibration Test)

Δοκιμές τέτοιου τύπου περιλαμβάνουν καταγραφές από τους φορείς για μεγάλο κατά κύριο λόγο χρονικό διάστημα και κάτω την επίδραση των συνθηκών περιβάλλοντος και την απρόσκοπτη διέλευση οχημάτων. Στη παρούσα εργασία οι δοκιμές τέτοιου τύπου πραγματοποιήκαν με την καταγραφή από τη διέλευση οχημάτων καθώς τόσο τα καταγραφικά όσο και οι καιρικές συνθήκες δεν ευνοούσαν καταγραφή περιβάλλοντος.

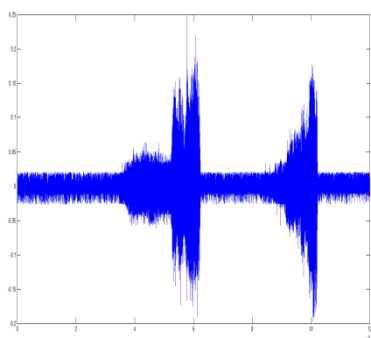


Διάγραμμα 5: Δείγμα καταγραφής διέλευσης οχήματος από τη γέφυρα

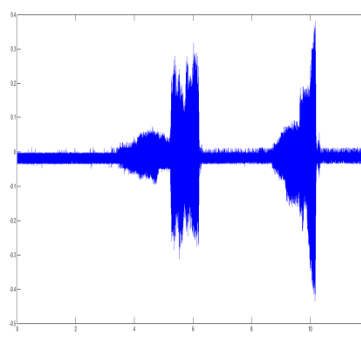
Οι καταγραφές οι οποίες ελήφθησαν με τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιήθηκαν με δύο τρόπους είτε για την ανάλυση με την μέθοδο της απεικόνισης της φασματικής πυκνότητας του σήματος για την καθαρή ελεύθερη ταλάντωση (μετά την έξοδο του οχήματος από τη γέφυρα) είτε με την απεικόνιση της cross spectral density όπου είχαμε δύο ταυτόχρονες καταγραφές μιας στο επιθυμητό σημείο εύρεσης των δυναμικών χαρακτηριστικών και μιας στο σημείο αναφοράς (reference point).

3.2.5.3 Δοκιμές εισόδου –εξόδου σήματος (Frequency Response Test)

Για την πραγματοποίηση της δοκιμής αυτής και λόγω αδυναμίας εξεύρεσης συσκευής παραγωγής συχνοτήτων χρησιμοποιήθηκε δονητικός οδοστρωτήρας ο οποίος παρήγαγε τα εδαφικά κύματα τα οποία στη συνέχεια καταγράφηκαν από τα δύο συστήματα COM12 και COM15 ως εισερχόμενο σήμα και εξερχόμενη απόκριση της κατασκευής.



Διάγραμμα 6: Σήμα εισόδου καταγεγραμμένο από το COM15



Διάγραμμα 7: Σήμα απόκρισης από το COM12

Το σύστημα καταγραφής COM15 τοποθετήθηκε στη βάση έδρασης της δοκού A (φώτο 13) ενώ το σύστημα COM12 στο μέσο της δοκού και στο κάτω πέλμα.

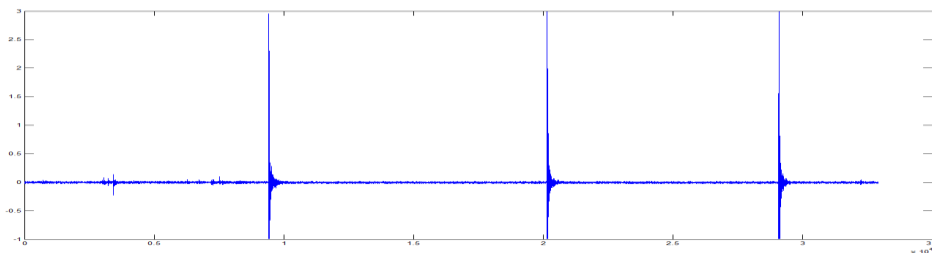
3.2.6 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων καταγραφών

Όλες οι πειραματικές μετρήσεις έγιναν με σκοπό να καταγραφεί κατά κύριο λόγο η πρώτη ιδιοσυχνότητα και αν καθίστατο δυνατό να γίνει μια ανάλυση μόνο με τη χρήση δύο εξαγώμιμων αποτελεσμάτων από κάθε πειραματική διέγερση. Σε κάθε περίπτωση τόσο λόγω της έδρασης όσο και των ιδιοκατασκευασμένων συστημάτων καταγραφής εισέρχεται 'θόρυβος' στα καταγραφέντα σήματα. Αυτό έχει ως συνέπεια κατά την ανάλυση τους να παρουσιάζεται μια θορυβώδης πυκνότητα φάσματος.

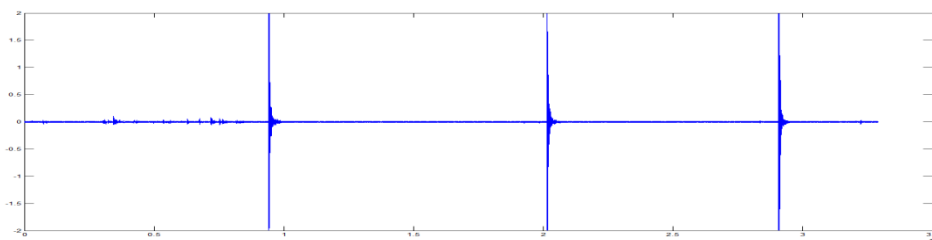
Προκειμένου να αποφευχθεί μια εκτεταμένη και κοπιώδης προσπάθεια αφαίρεσης του 'θορύβου' η οποία δεν αποτελεί και αντικείμενο αυτής της εργασίας, αυτό το οποίο κρίθηκε ως η καταλληλότερη λύση για την απόκτηση των δυναμικών χαρακτηριστικών του φορέα ήταν να μελετηθεί μόνο το τμήμα των σημάτων το οποίο ανταποκρινόταν στη ελεύθερη ταλάντωση.

3.2.6.1 Δοκιμή 1

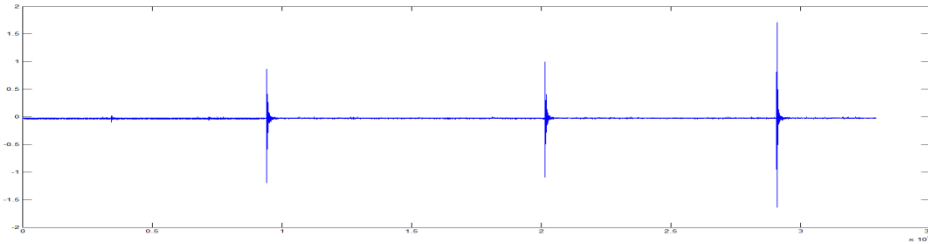
Σε αυτή τη δοκιμή τα δύο συστήματα καταγραφής τοποθετήθηκαν στο πάνω(COM12) και κάτω(COM15) πέλμα της σύνθετης δικτυωτής δοκού B και βάρος 173 Kg ελευθερώθηκε στο μέσο της γέφυρας. Τα αποτελέσματα της καταγραφής δίνονται στα παρακάτω διαγράμματα όπου είναι εμφανής η τριπλή επανάληψη της διέγερσης:



Διάγραμμα 8: Δοκιμή 1 στον άξονα Z



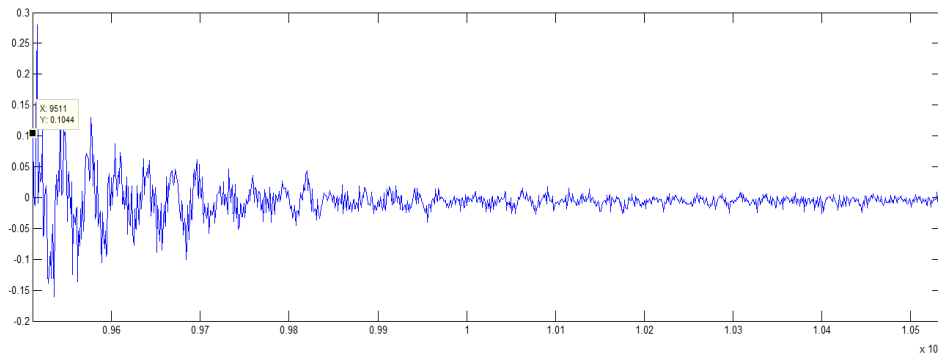
Διάγραμμα 9: Δοκιμή 1 στον άξονα Y



Διάγραμμα 10: Δοκιμή 1 στον άξονα X

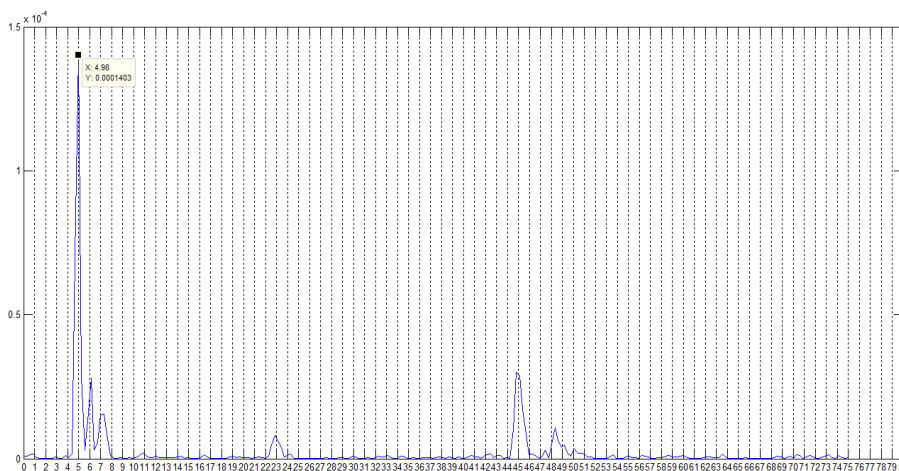
Η τριπλή επανάληψη της διαδικασίας διέγερσης πραγματοποιήθηκε με γνώμονα να διαπιστωθεί η αξιοπιστία του πειράματος κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων σε κάθε σημείο διέγερσης αποκόπτεται το τμήμα της καθαρής ελεύθερης ταλάντωσης όπως το αντίστοιχο του παρακάτω διαγράμματος.



Διάγραμμα 11: Απεικόνιση της επιτάχυνσης στον άξονα Z κατά την ελεύθερη ταλάντωση από καταγραφή 9511 έως 10535

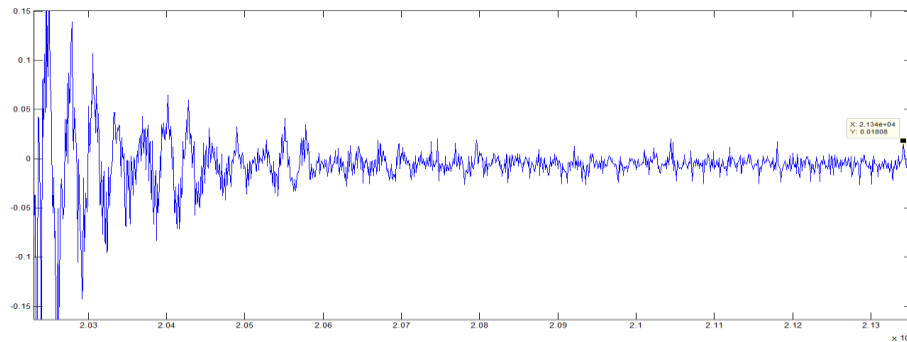
Έτσι με τον τον τρόπο αυτό γίνεται η ανάλυση των δυναμικών χαρακτηριστικών του φορέα με τον κώδικα psdf.m όπως αυτός αναπτύχθηκε από τους διδάσκοντες του μεταπτυχιακού μαθήματος Πειραματική Αντισεισμική Τεχνολογία. Η γραφική απεικόνιση της φασματικής πυκνότητας του πρώτου από τα καταγραφέντα σήματα διέγερσης δίνεται στο παρακάτω διάγραμμα



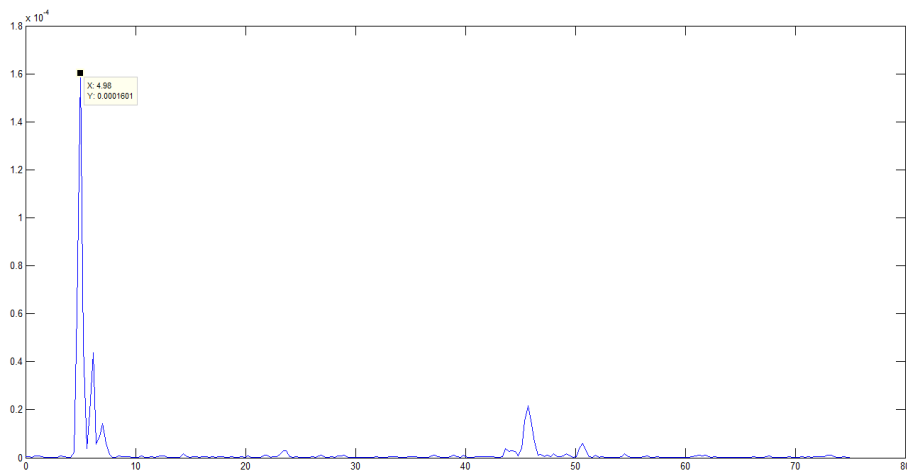
Διάγραμμα 12: Απεικόνιση της f, S_k για την 1^η διέγερση για τον άξονα Z του COM12

Παρατηρείται εμφανώς μια καθαρή απεικόνιση της ιδιοσυχνότητας της πρώτης ιδιομορφής στα 4,98 Hz. Οι υπόλοιπες κορυφές θα μπορούσαν να αποδώσουν την 3^η και

5^η ιδιοσυχνότητα καθώς προσεγγίζουν τις θεωρητικές τιμές των αντίστοιχων ιδιοσυχνοτήτων.

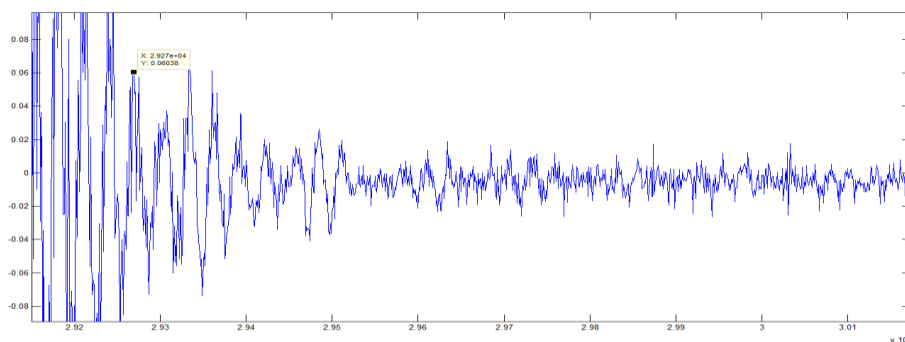


Διάγραμμα 13: Απεικόνιση της επιτάχυνσης στον άξονα Z κατά την ελεύθερη ταλάντωση από καταγραφή 20230 έως 21254

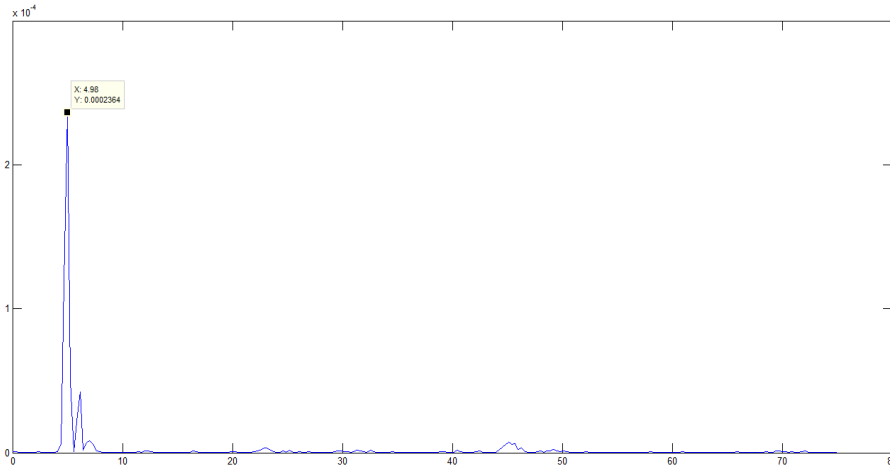


Διάγραμμα 14: Απεικόνιση της f , Sk για τη 2^η διέγερση για τον άξονα Z του COM12

Είναι και στη περίπτωση καθαρή η αποτύπωση της ιδιοσυχνότητα της πρώτης ιδιομορφής με χαρακτηριστική τιμή 4,98 Hz.



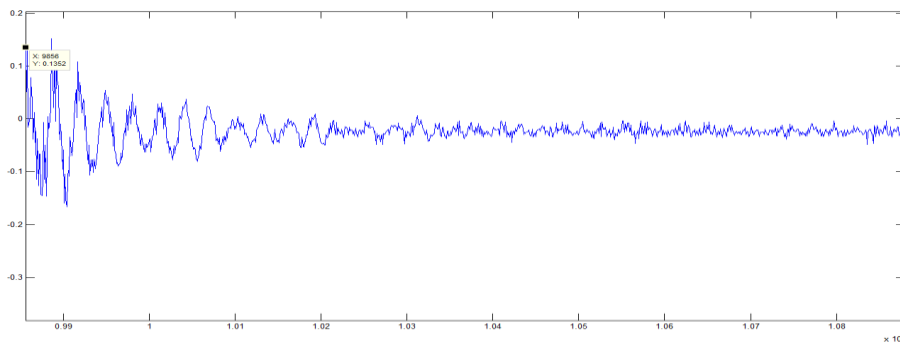
Διάγραμμα 15: Απεικόνιση της επιτάχυνσης στον άξονα Z κατά την ελεύθερη ταλάντωση από καταγραφή 20230 έως 21254



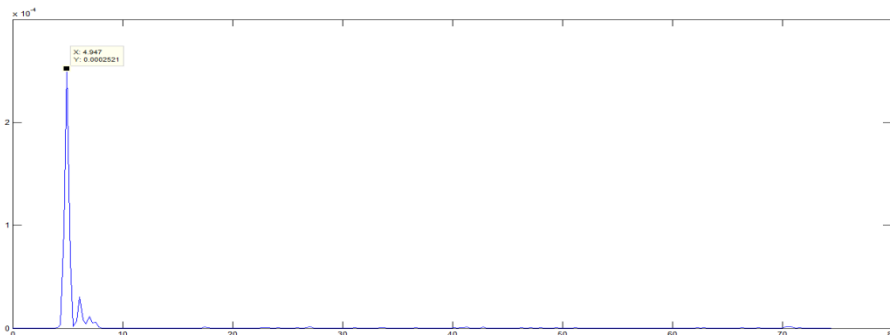
Διάγραμμα 16: Απεικόνιση της f , S_k για την 3^η διέγερση για τον άξονα Z του COM12

Συνοψίζοντας διαπιστώνεται ότι για τη δοκιμή 1 για το COM12, το οποίο τοποθετήθηκε στο επάνω πέλμα της δοκού, η ιδιοσυχνότητα της πρώτης ιδιομορφής μιας και αυτή στην ουσία καταγράφηκε είναι και για τις τρεις περιπτώσεις 4,98 Hz.

Για το COM15 τα αποτελέσματα των καταγραφών είναι οπτικά περισσότερο «καθαρά» όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα με καθαρή την κατάσταση της απόσβεσης. Αυτό είναι αποτέλεσμα της θέσης στην οποία είναι τοποθετημένο το σύστημα καταγραφής, κάτω πέλμα της δοκού, με αποτέλεσμα να αποφεύγονται υψισυχνα φαινόμενα ταλάντωσης του πέλματος όπως συμβαίνει στη περίπτωση του άνω πέλματος κατά τη κρούση του βάρους επι του φορέα.

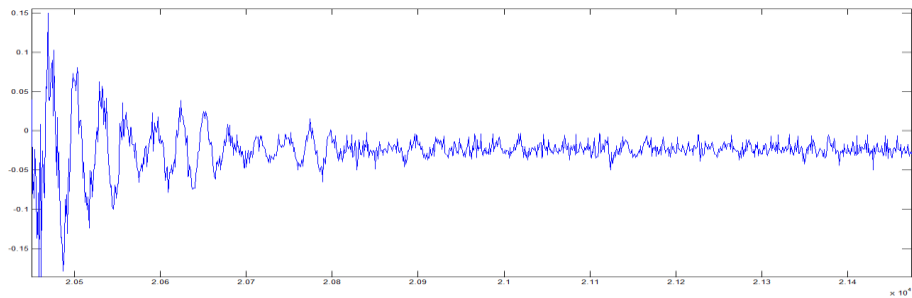


Διάγραμμα 17: Απεικόνιση της επιτάχυνσης στον άξονα Z του COM15 κατά την ελεύθερη ταλάντωση της 1^{ης} καταγραφής

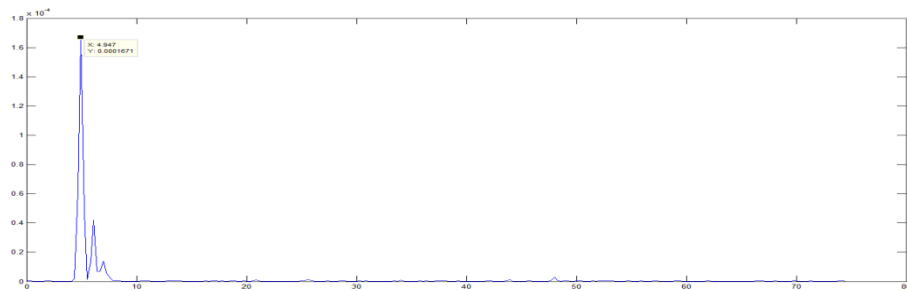


Διάγραμμα 18: Απεικόνιση της f , S_k για τη 1^η διέγερση για τον άξονα Z του COM15

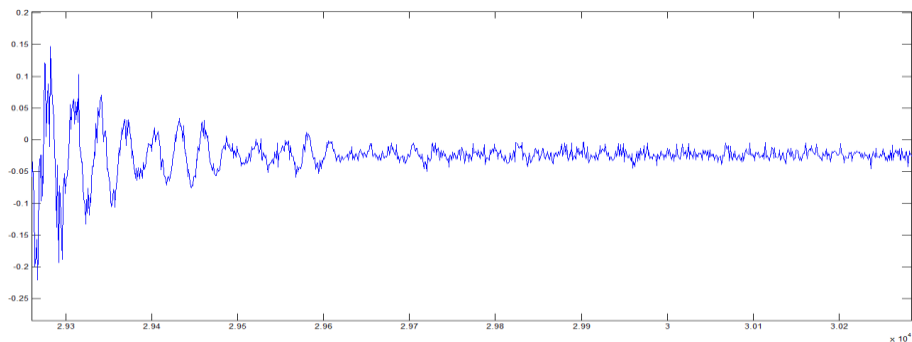
Παρατηρείται μια πιο καθαρή απεικόνιση της ιδιοσυχνότητας με μικρότερη σχετικά τιμή στα 4,947 Hz.



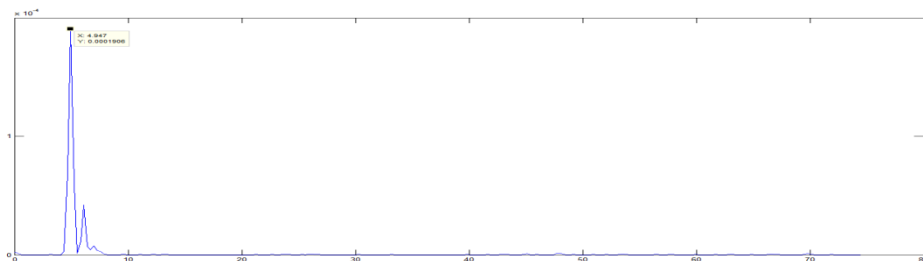
Διάγραμμα 19: Απεικόνιση της επιτάχυνσης στον άξονα Z του COM15 κατά την ελεύθερη ταλάντωση της 2^{ης} καταγραφής



Διάγραμμα 20: Απεικόνιση της f , S_k για τη 2^η διέγερση για τον άξονα Z του COM15



Διάγραμμα 21: Απεικόνιση της επιτάχυνσης στον άξονα Z του COM15 κατά την ελεύθερη ταλάντωση της 3^{ης} καταγραφής

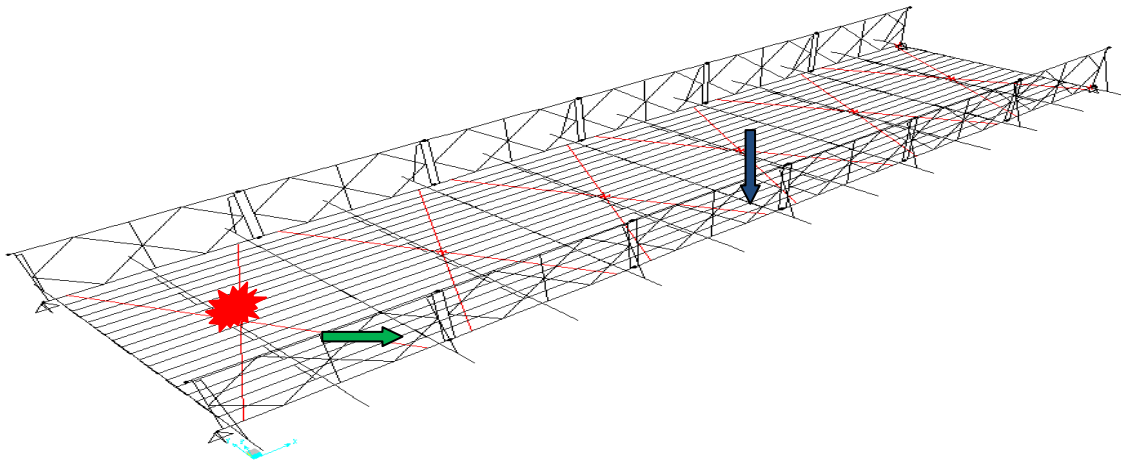


Διάγραμμα 22: Απεικόνιση της f , S_k για τη 3^η διέγερση για τον άξονα Z του COM15

Και σε αυτή τη περίπτωση και οι τρεις καταγραφές αποδόθηκαν από το σύστημα καταγραφής με τα ίδια χαρακτηριστικά και καμπτική ιδιοσυχνότητα 4,947 Hz μικρότερη κατά 0,66% από τις καταγραφές του πάνω πέλματος.

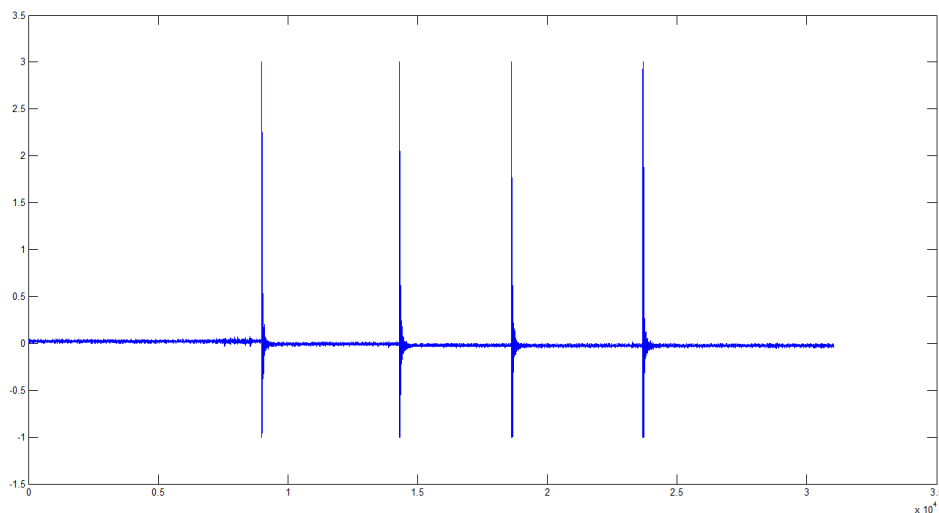
3.2.6.2 Δοκιμή 2

Η δοκιμή αυτή πραγματοποιήθηκε με το ίδιο βάρος που χρησιμοποιήθηκε και στη δοκιμή 1 με θέση διέγερσης την εικονιζόμενη με κόκκινο χρώμα και τα συστήματα καταγραφής στις αντίστοιχες θέσεις όπου με πράσινο βέλος τοποθετείται το σύστημα COM15 και με μπλε σκούρο βέλος το COM12.



Εικόνα 11: Διάταξη 2ης Δοκιμής

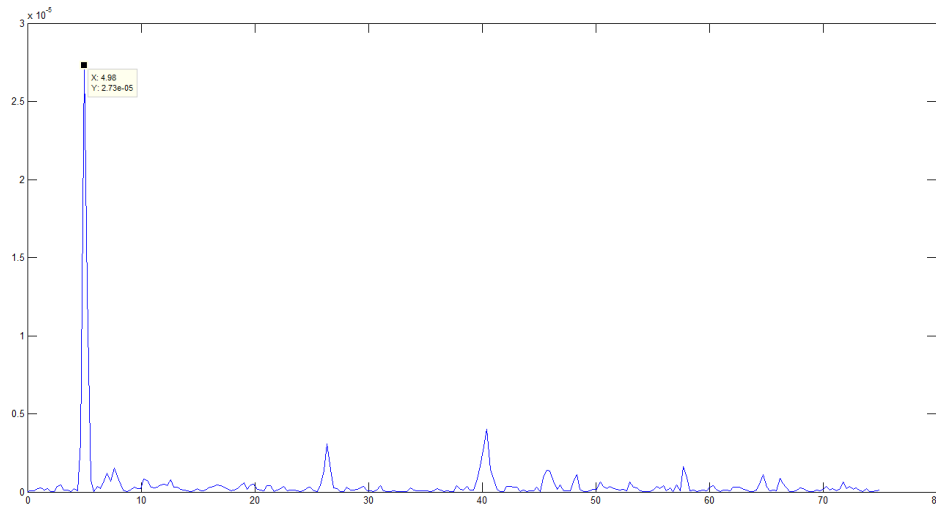
Ένας από τους απότερους σκοπούς ήταν να γίνει Ιδιομορφική Ανάλυση με αποτελέσματα εξόδου και μόνο κάνοντας χρήση του κώδικα csdf.m όπως αυτός αναπτύχθηκε από τους διδάσκοντες του μεταπτυχιακού μαθήματος Πειραματική Αντισεισμική Τεχνολογία.



Διάγραμμα 23: Δοκιμή 2 στον άξονα Z

Για την ανάλυση του σήματος στη περίπτωση αυτή και πάλι χρησιμοποιείται το τμήμα της ελεύθερης ταλάντωσης και απο τα δύο συστήματα. Επιλέγεται τμήμα δεδομένων το ίδιο προκειμένου να εφαρμοστεί ο κώδικας csdf.m. Αυτό το οποίο αναμένεται είναι να παρουσιάζεται η 1^η 2^η 3^η και οι λοιπές ιδιοσυχνότητες παρά το γεγονός ότι η διέγερση δεν

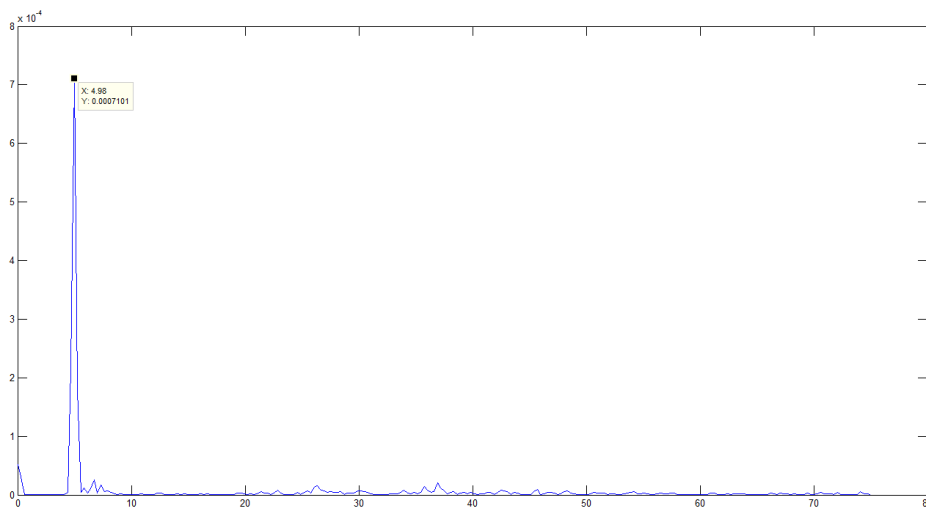
πραγματοποιείται και με την καλύτερη των προϋποθέσεων καθώς το βάρος διέγερσης παραμένει επί του φορέα και είναι σχετικά μικρό ανάλογα με το ίδιο βάρος του φορέα.



Διάγραμμα 24: Απεικόνιση της cross correlation (f , S_k) για τη 1^η διέγερση για τον άξονα Z

Παρατηρούνται τρεις κορυφές που αντιστοιχούν σε συχνότητες $1^{ης} = 4,98$ Hz, $2^{ης} = 26,37$ Hz, $3^{ης} = 40,43$ Hz. Η πρώτη και η τρίτη κορυφή καταγράφονται από το COM12 και η δεύτερη από το COM15.

Ανάλυση στο τμήμα της ελεύθερης ταλαντώσης του COM12 δίνει το διάγραμμα 25.

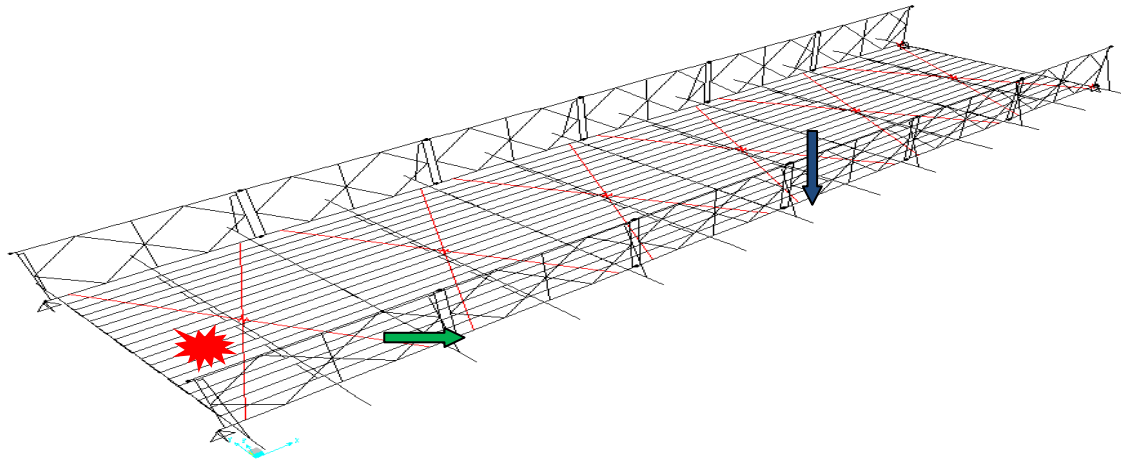


Διάγραμμα 25: Απεικόνιση της f , S_k για τη 2^η διέγερση για τον άξονα Z του COM12

3.2.6.3 Δοκιμή 3^η

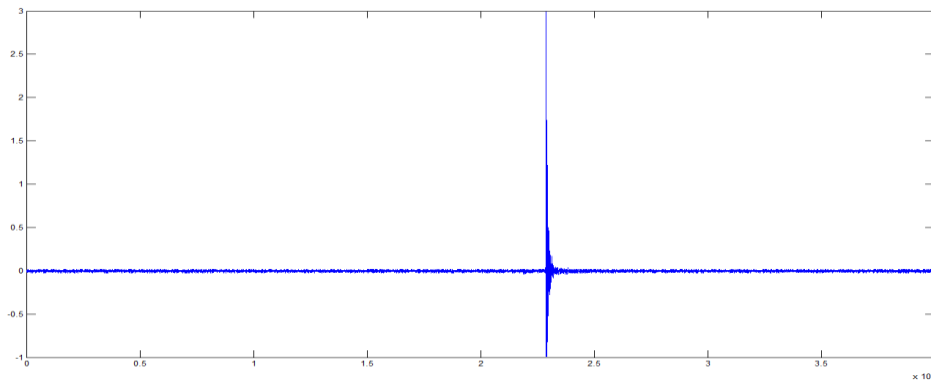
Η δοκιμή αυτή πραγματοποιήθηκε με τα συστήματα καταγραφής τοποθετημένα στο κάτω πέλαμα της σύνθετης δοκού και η διέγερση με το βάρος έγινε στην άκρη του

φορέα προκειμένου να αποφευχθεί η επιδραση του στα δυναμικά χαρακτηριστικά της δοκού.

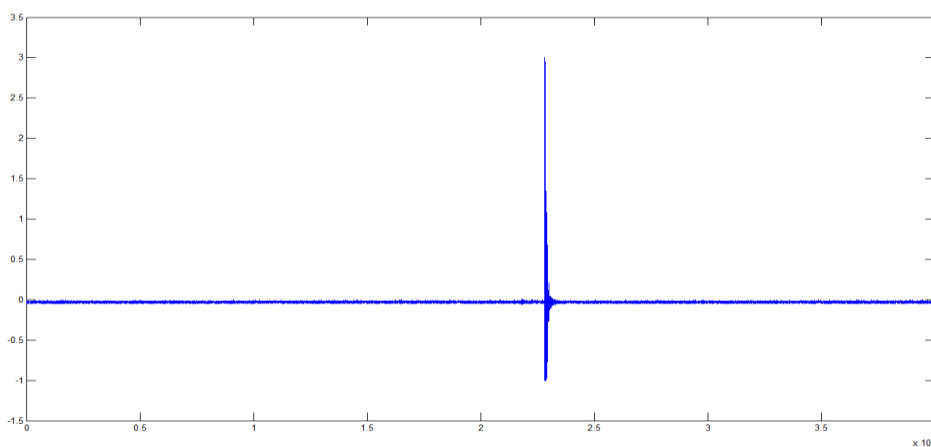


Εικόνα 12: Απεικόνιση διάταξης δοκιμής 3^{ης}

Τα σήματα τα οποία κατεγράφησαν είναι για κάθε ένα από τα συστήματα :



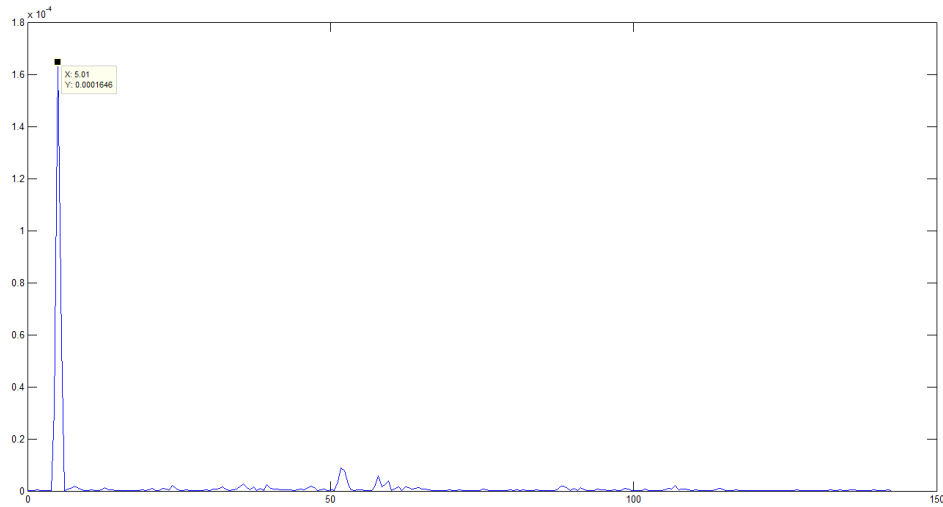
Διάγραμμα 26: Καταγραφέν σήμα δοκιμής 3 στο COM12



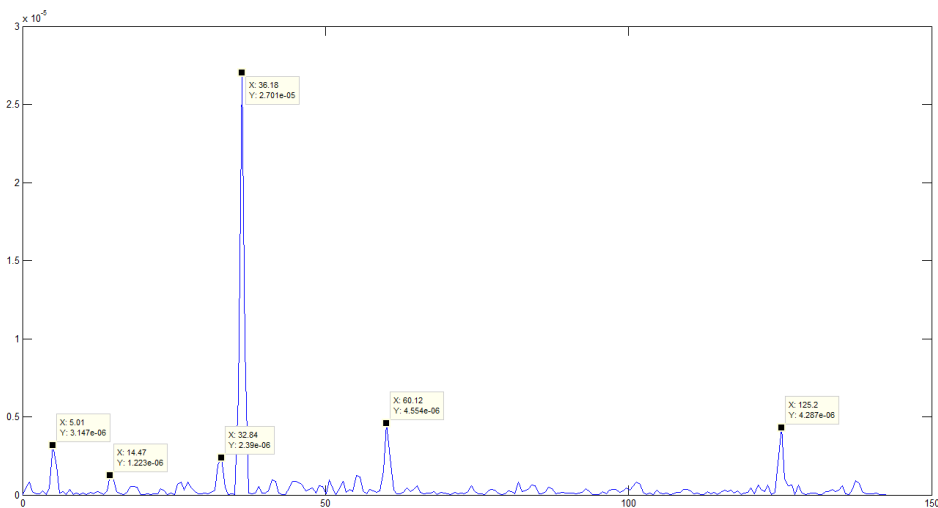
Διάγραμμα 27: Καταγραφέν σήμα δοκιμής 3 στο COM15

Από την ανάλυση του σήματος στο μέσο του φορέα διαπιστώνεται ότι η ιδιοσυχνότητα της πρώτης ιδιομορφής μιας και αυτή είναι που καταγράφεται στην υπόψη θέση είναι 5,01Hz μεγαλύτερη δηλαδή από αυτής των δοκιμών 1 και 2. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το

γεγονός ότι στη περίπτωση το βάρος δεν παραμένει πάνω στο φορέα στο σημείο της καταγραφής και δεν επιδρά στην ταλάντωση.



Διάγραμμα 28: Απεικόνιση της f , S_k για τη διέγερση για τον άξονα Z του COM12

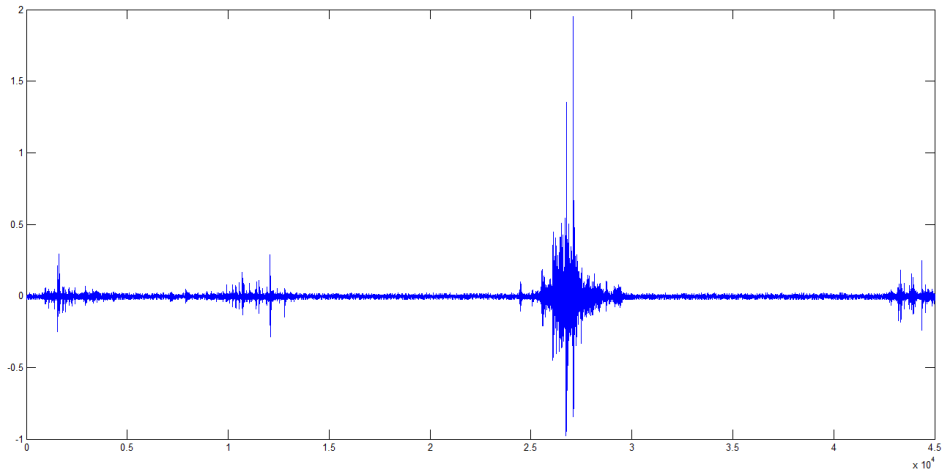


Διάγραμμα 29: Απεικόνιση της f , S_k για τη διέγερση για τον άξονα Z του COM15

Στο COM15 καταγράφηκε και η συχνότητα 5,01 Hz και η δεσπόζουσα συχνότητα 36,18 Hz η οποία πιθανώς αφορά στη 2 ιδιομορφή.

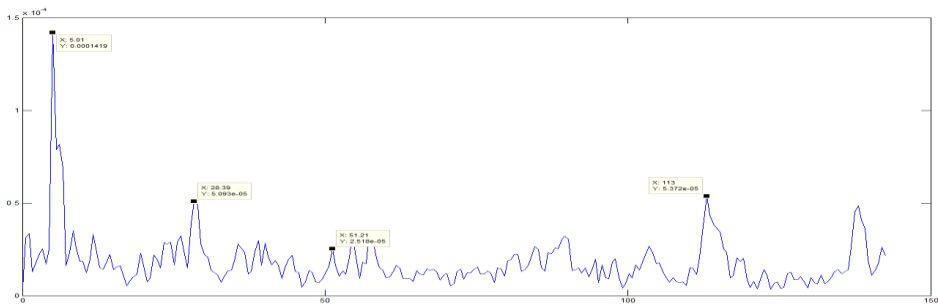
3.2.6.4 Δοκιμή 4^η

Η δοκιμή αυτή εντάσσεται στις δοκιμές τύπου επίδρασης περιβάλλοντος και πραγματοποιήθηκε με τη διέλευση οχήματος από το φορέα και με τα συστήματα καταγραφής στα σημεία της δοκιμής 3.



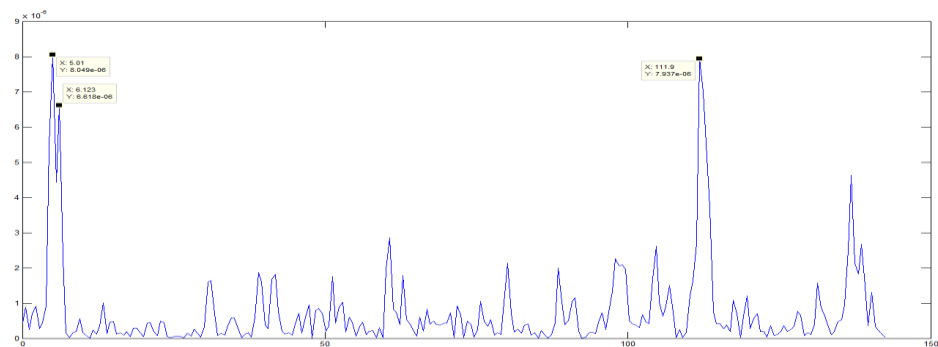
Διάγραμμα 30: Καταγραφέν σήμα για τη δοκιμή 4 στο COM12

Από τη δοκιμή αυτή ήταν δύσκολο να αξιοποιηθεί το σήμα κατά την ανάλυση καθώς ο εισερχόμενος θόρυβος είχε μεγάλη επίδραση στην ανάλυση. Αυτό όμως το οποίο μπορεί να διαπιστωθεί είναι ότι ο φορέας παρά τις συσφίξεις τις οποίες είχε πραγματοποιήσει το συνεργείο στις θέσεις σύνδεσης παρέμενε σε ένα ποσοστό “χαλαρός” και για το λόγο αυτό το καταγραφέν σήμα είχε μεγάλο θόρυβο. Και στη περίπτωση όμως αυτή διαπιστώνεται ότι η δεσπόζουσα ιδιοσυχνότητα είναι 5,01 Hz.



Διάγραμμα 31: Απεικόνιση της f , S_k για τη διέγερση για τον άξονα Z του COM12

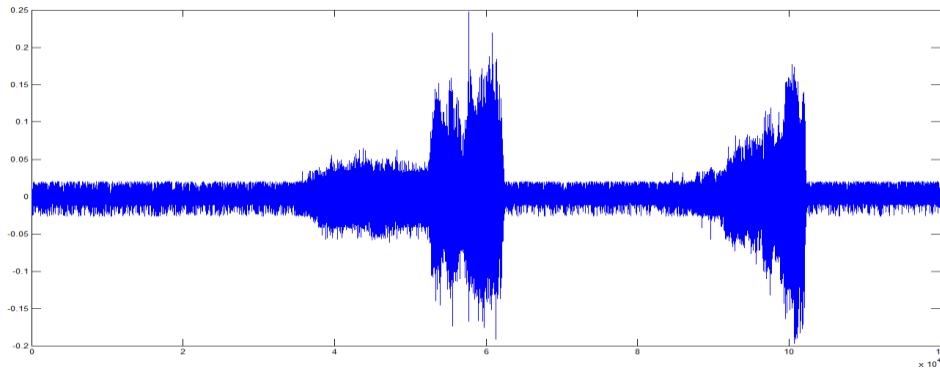
Στο επόμενο διάγραμμα παρατηρούμε την ανάλυση σήματος για άλλη δοκιμή ανάλογη της 4^{ης} στην οποία παρά το γεγονός ύπαρξης θορύβου διαπιστώνεται ότι η πρώτη δεσπόζουσα ιδιοσυχνότητα είναι η 5,01 Hz.



Διάγραμμα 32: Απεικόνιση της f , S_k για διέγερση ανάλογη με της δοκιμής 4 για τον άξονα Z του COM12

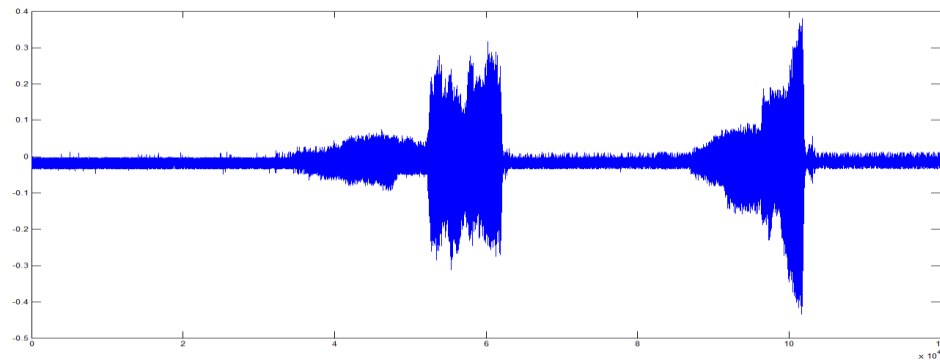
3.2.6.5 Δοκιμή 5^η

Η δοκιμή αυτή πραγματοποιήθηκε προκειμένου να γίνει ανάλυση σήματος με τον κώδικα frf.m. Ένας οδοστρωτήρας με δυνατότητα δόνησης τοποθετήθηκε έξω και κοντά στο φορέα και προκάλεσε δόνηση του εδάφους έδρασης με 25 Hz. Τα δύο συστήματα τοποθετήθηκαν το μεν COM15 στη βάση έδρασης της δοκού Β και το COM12 στο μέσο της δοκού Β. Το εισαχθέν σήμα καταγράφηκε και ήταν κατά τον άξονα Ζ:



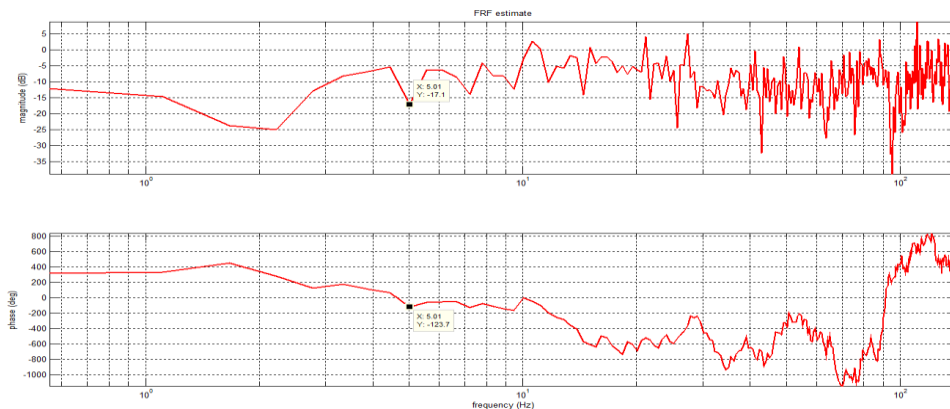
Διάγραμμα 33:Input Signal

ενώ το εξαχθέν σήμα ήταν :



Διάγραμμα 34:Output Signal

πραγματοποιώντας ανάλυση του σήματος μέσω του κώδικα frf.m έχουμε:



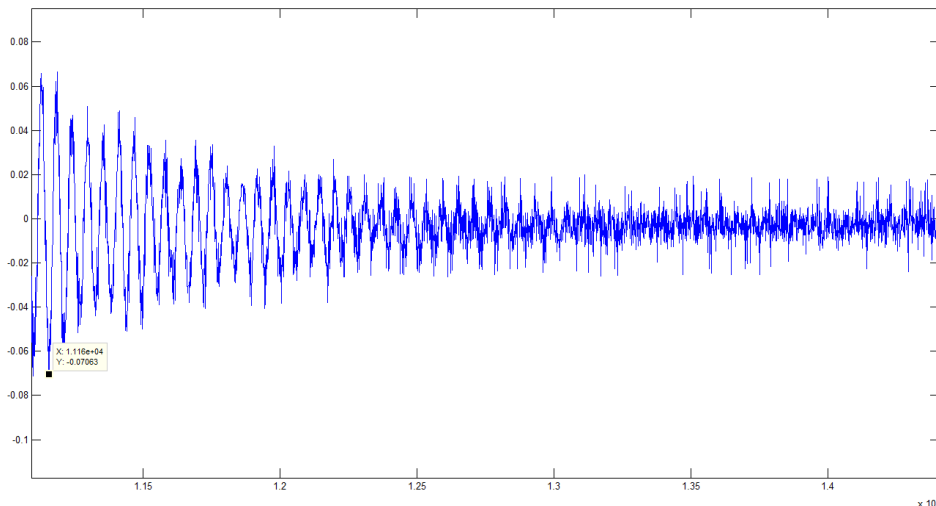
Διάγραμμα 35: Διαγράμματα Bode

3.2.6.6 Pick Picking Method

Στην περίπτωση αυτή για την εύρεση των ιδιοσυχνοτήτων ακολουθείται η διαδικασία επιλογής κορυφών (PPM-Peak Picking Method). Ο τρόπος συλλογής των δεδομένων με την εφαρμογή μιας εδαφικής διέγερσης στα 25Hz περίπου οδήγησε στην είσοδο και την απόκριση του φορέα υψισυχνων σημάτων. Η συγκεκριμένη διέγερση δεν ενεργοποιεί πρακτικά καμία ιδιομορφή παρα μόνο αποκαλύπτει όλο το φάσμα των ‘περιεχόμενων ‘ ιδιοσυχνοτήτων με προφανή την παρουσία των υψηλότερων εξ αυτών. Παρά ταύτα εντοπίστηκε και η συχνότητα 5,01 Hz με χαρακτηριστικά ιδιοσυχνότητας καθώς είναι μια κορυφή και ταυτόχρονα η διαφορά φάσης μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι περίπου 180° καθώς καταγράφεται ένδειξη επιτάχυνσης. Για καταγραφές μετακινήσεων η διαφορά φάσης είναι 90° [16]. Παρα το γεγονός της ύπαρξης θορύβου και αδυναμίας ευχερέστερης συλλογής των επιθυμητών αποτελεσμάτων το συγκεκριμένο σήμα εισόδου χρησιμοποιείται στη συνέχεια στην ανάλυση του φορέα με πεπερασμένα ραβδωτα στοιχεία προκειμένου να διαπιστωθεί ανα η απόκριση είναι η ίδια με αυτή του σήματος εξόδου ή κατα πόσο πλησιάζει το αρχικό.

3.2.6.7 Υπολογισμός απόσβεσης

Ο υπολογισμός της απόσβεσης θα ήταν ευκολότερος και περισσότερο αξιόπιστος από τα διαγράμματα Bode καθώς για τον υπολογισμό του ακολουθείται συγκεκριμένη πιστοποιημένη διαδικασία. Παρά ταύτα όμως ακολουθήθηκε η διαδικασία υπολογισμού της απόσβεσης από τις καταγραφές της επιτάχυνσης κατά την ελεύθερη ταλάντωση στην οποία διαπιστώθηκε θεμελιώδης καμπτική ταλάντωση ίση με 5,01 Hz.



Διάγραμμα 36: Διάγραμμα Καταγραφής επιτάχυνσης κατά τον άξονα Z

Από το παραπάνω διάγραμμα και με την απαραίτητη προσαρμογή καμπύλης υπολογίστηκε:

$$T_D = \frac{0,49 - 0,084}{3 - 1} = 0,203 \text{ sec}$$

$$\zeta = \frac{1}{2\pi(2)} \ln \frac{0,05325}{0,03778} = 0,027 \text{ ή } 2,7\%$$

4 Θεωρητικό Μέρος

4.1 Γενικά

Στο θεωρητικό μέρος της παρούσας εργασίας επιδιώκεται να παρουσιαστούν οι εξισώσεις και το υπόβαθρο τα οποία χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά του φορέα τόσο σε δυναμική όσο και στατική απόκριση.

4.2 Χαρακτηριστικά δοκού υπό στατική φόρτιση

Η εξέταση της συμπεριφοράς του φορέα υπό τα στατικά φορτία χρησιμοποιείται προκειμένου να αξιολογηθεί κατά πόσο τα φορτία της στατικής φόρτισης ταυτοποιούνται από τις μετρήσεις στο πεδίο και την επίλυση του αναλυτικού προσομοιώματος με κατάλληλο λογισμικό.

4.2.1 Βέλος Κάμψης της δοκού

Ο φορέα της γέφυρας προκειμένου να υπολογιστούν τα χαρακτηριστικά του θεωρείται ότι αποτελεί μονοδιάστατο σύστημα με κατανομημένη μάζα m_x (εξ 2). Η κατανομημένη μάζα υπολογίζεται με γνώμονα ότι κάθε πλήρες στοιχείο μήκους 3,048 m έχει βάρος 2,76 τόνους (\pm) όταν αυτή καθεκλύεται με τα υλικά της συλλογής της, αυτό συνεπάγεται συνολικό ίδιο βάρος γέφυρας $2,76*6=16,56$ τόννοι ή 165,6 kN.

$$q_x = \frac{165,6 \text{ kN}}{18,288 \text{ m}} = 9,06 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (\text{εξ } 2)$$

$$m_x = \frac{9,06 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}} = 0,924 \text{ kNm}^{-1} \text{ sec}^2 \quad (\text{εξ } 3)$$

Το μέτρο ελαστικότητας λήφθηκε όπως αναφέρεται στη παράγραφο 2.3 ίσο με $E=206,8$ GPa.

Η συνολική ροπή αδράνειας I της δοκού ισούται με το άθροισμα των δύο σύνθετων δικτυωτών δοκών η οποία υπολογίστηκε με δύο μεθόδους:

$$I_{\text{eff}} = 0,003704 \text{ m}^4 \quad \text{σύμφωνα με τον EC-3} \quad (\text{εξ } 4)$$

$$I_{3-3} = 0,003238 \text{ m}^4 \quad \text{με τη κλασσική θεωρία} \quad (\text{εξ } 5)$$

Από τη εξίσωση $W_m = \frac{5ql^4}{384EI}$ για τα βέλη εκ ροπής και τις εξ 2,3,4 προκύπτει:

$$W_{\text{meff}} = \frac{5*9,06*18,288^4}{384*206800000*(2*0,003704)} = 0,009 \text{ m ή } 9 \text{ mm.} \quad (\text{εξ } 6)$$

$$W_{\text{m3-3}} = \frac{5*9,06*18,288^4}{384*206800000*(2*0,003238)} = 0,01 \text{ m ή } 10 \text{ mm.} \quad (\text{εξ } 7)$$

Εδώ θα πρέπει να προστεθεί και το αρχικό βέλος κάμψης e_0 το οποίο προκαλείται από την ανοχή των οπών σύνδεσης των πλαισίων και το οποίο προσδιορίζεται από τη σχέση [7]:

$$e_0 = \frac{0,5L\delta_0}{h \cdot \cos a} \quad (\text{εξ } 8)$$

L: Μήκος γέφυρας

δ_0 : Ανοχή οπών = 1 mm

h: Ύψος δικτυώματος

a: γωνία που σχηματίζουν οι διαγώνιοι ράβδοι του δικτυώματος = 45°

$$e_0 = 8,34 \text{ mm} \quad (\text{εξ } 9)$$

Προκειμένου να υπολογιστεί το βέλος κάμψης σε πραγματικές συνθήκες θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και το βέλος το προερχόμενο από την επίδραση των τεμνουσών δυνάμεων. Η εξίσωση από την οποία προκύπτει το βέλος εκ τεμνουσών

$$W_v = \frac{ql^2}{8S_v} \quad (\text{εξ } 10)$$

Επομένως $W_v = 6 \text{ mm}$

Συνολικό βέλος κάμψης προκύπτει ίσο με $\delta_{\text{tot}} = 23,34 \text{ mm}$ από άθροισμα των εξισώσεων 5 και 8 ενώ από το άθροισμα των εξισώσεων 6 και 8 ίσο με $\delta_{\text{tot}} = 24,34 \text{ mm}$.

Στο πεδίο μετρήθηκε το βέλος κάμψης με τρεις διαφορετικούς τρόπους, με νήμα το οποίο τανύστηκε στο πάνω πέλαμα των πλαισίων, με αναλογικό χωροβάτη και γεωδαιτικό σταθμό Leica.

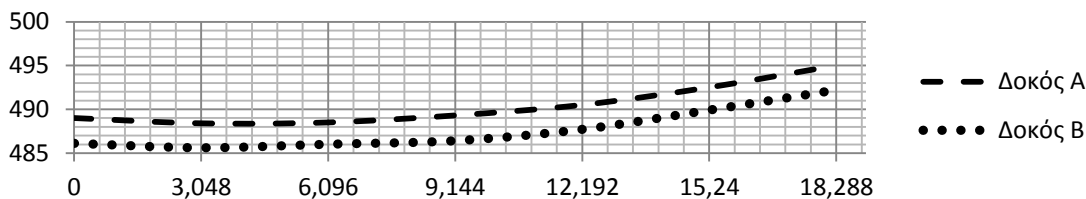


Φωτογραφία 24: Βέλος κάμψης με τη χρήση νήματος



Φωτογραφία 25: Μέτρηση βελών με τη χρήση αναλογικού χωροβάτη

Το μετρούμενο βέλος κάμψης ήταν 27 mm και στα δύο πλαίσια με το νήμα και 27 mm και 27,5 mm αντίστοιχα με τη χρήση του αναλογικού και ψηφιακού χωροβάτη. Με τη χρήση των χωροβατών διαπιστώθηκε ότι μεταξύ τους και τα τέσσερα σημεία έδρασης παρουσιάζαν μια υψομετρική διαφορά 6 περίπου εκατοστών.



Διάγραμμα 37: Σχετικές παραμορφώσεις δοκών λόγω ίδιου βάρους χωρίς προσαρμογή



Διάγραμμα 38: Παραμορφώσεις δοκών λόγω ίδιου βάρους μετά από προσαρμογή

Παρατηρείται μικρή διαφορά 2,83 mm στις πραγματικές μετρήσεις από τις θεωρητικά υπολογιζόμενες γεγονός το οποίο είναι απολύτως φυσιολογικό καθώς στις μετρήσεις πεδίου οι συσφίξεις στα επιμέρους τμήματα του φορέα δεν ήταν επιμελημένες και είχε σαν αποτέλεσμα μερική χαλάρωση του φορέα.

4.3 Χαρακτηριστικά δοκού υπό δυναμική φόρτιση

Προκειμένου να μπορεί να είναι εφικτή η ιδιομορφική ανάλυση του φορέα είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν οι ιδιομορφές και ιδιοσυχνότητες του. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους είτε με βάση τη θεωρία είτε από πειραματικά δεδομένα όπως αναπτύχθηκε προηγουμένως.

4.3.1 Ιδιομορφές και ιδιοσυχνότητες της δοκού

Ο ρεαλιστικός προσδιορισμός των ιδιομορφών και των ιδιοσυχνοτήτων ενός φορέα είναι μια διαδικασία η οποία απαιτεί πειραματικά δεδομένα τα οποία λαμβάνονται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες διέγερσης και με ταυτόχρονη καταγραφή σε συγκεκριμένα σημεία του φορέα. Σε θεωρητικό επίπεδο ο προσδιορισμός των ιδιομορφών και των ιδιοσυχνοτήτων και για το επίπεδο της εργασίας αυτής θα ληφθεί υπόψη μόνο η καμπτική ταλάντωση και συγκεκριμένα η πρώτη εκ των ιδιομορφών προκειμένου ταυτόχρονα να υπάρχουν αξιοποιήσιμα αποτελέσματα για την πιστοποίηση και του μοντέλου ραβδωτών πεπερασμένων στοιχείων. Ο υπολογισμός των ιδιοσυχνοτήτων δίνεται από τη σχέση :

$$\omega_n = \frac{n^2 \cdot \pi^2}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \quad (\text{εξ } 11)$$

όπου για την υπόψη περίπτωση είναι

$$E=206,8 \text{ GPa}$$

$$\Sigma I_{3-3} = 0,006476 \text{ m}^4$$

$$m_x = 0,924 \text{ kNm}^{-1}\text{sec}^2$$

$$L=18,288 \text{ m}$$

$$\text{επομένως } \omega_n = 35,55 \cdot n^2$$

$\omega_1=35,55 \text{ rad/sec}$	$T_1=0,177 \text{ sec}$	$f_1=5,65 \text{ sec}^{-1}$
$\omega_2=142,2 \text{ rad/sec}$	$T_1=0,044 \text{ sec}$	$f_1=22,72 \text{ sec}^{-1}$
$\omega_3=319,95 \text{ rad/sec}$	$T_1=0,0196 \text{ sec}$	$f_1=50,92 \text{ sec}^{-1}$

Πίνακας 6: Θεωρητικές τιμές των 3 πρώτων καμπτικών ιδιομορφών

Παρατηρούμε ότι ο θεωρητικός υπολογισμός των ιδιοσυχνοτήτων παρουσιάζει διαφορά με αυτή η οποία έχει υπολογιστεί από τα πειράματα. Η διαφορά είναι 11,32 % και οφείλεται προφανώς στο γεγονός ότι η μια έχει υπολογιστεί χωρίς απόσβεση και η άλλη με απόσβεση καθώς στηρίζεται σε πειραματικά δεδομένα.

5 Ανάλυση Φορέα Με Πεπερασμένα Ραβδωτά Στοιχεία

Η γέφυρα Bailey είναι ένας φορέας ο οποίος αναπτύχθηκε για την κάλυψη αναγκών κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες καθέλκυσης και λειτουργίας. Παρα το γεγονός ότι από τη συλληψη μέχρι την παραγωγή της ήταν προαπαιτούμενο η χρήση της να είναι βραχυπρόθεσμη ωστόσο μέχρι σήμερα βρίσκεται σε λειτουργία σε πολλές περιπτώσεις αγγίζοντας τα 60 χρόνια αδιάκοπης χρήσης της. Μελέτες οι οποίες έχουν γίνει κατά το παρελθόν εστίαζαν στη συμπεριφορά των πλαισίων καθώς και αυτά είναι τα κυριότερα των μερών μιας τέτοιας γέφυρας και οποιαδήποτε αστοχία σε αυτά οδηγεί αναπόφευκτα και σε αστοχία του φορέα.

Η αδυναμία εξεύρεσης νέου υλικού σε Εθνικό επίπεδο και το υψηλό κόστος προμήθειας από το εξωτερικό καθιστά επιτακτική την ανάγκη για μια προσέγγιση η οποία αποσκοπεί στην συντήρηση και ενίσχυση μερών της εκάστοτε γέφυρας σε μια προσπάθεια να αναιρεθούν οι παθογενειές της. Είναι εξαιρετικά δύσκολο δε σε κάθε περίπτωση παρά την όποια δυνατότητα αντικατάστασης τμήματος από πλευράς υλικού να πραγματοποιηθεί αυτή απρόσκοπτα. Είναι δύσκολο έως αδύνατο σε πολλές περιπτώσεις να αντικατασταθεί ή να ενισχυθεί τμήμα της γέφυρας χωρίς προηγούμενα να αποκαθελκυσθεί και να ξαναεπανοτοποθετηθεί.

Πρωταρχικός σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναπτυχθεί ένα μοντέλο πεπερασμένων ραβδωτών στοιχείων στο επίπεδο του πιο απλού φορέα απλού –απλού να πιστοποιηθεί μέσω και των αποτελεσμάτων των πειραμάτων και στη συνέχεια να αποτελέσει εργαλείο για τις ποιοεσδήποτε επεμβάσεις σε γέφυρες τέτοιου τύπου.

Η παλαιότητα του υλικού σε συνδυασμό με την καταπόνηση την οποία έχει υποστεί γίνεται προσπάθεια να ληφθούν υπόψη μέσα από πληροφορίες μελετών από τις οποίες είναι ελάχιστες οι δημοσιευμένες. Ωστόσο θεωρείται μέσα από τη διεθνή πρακτική και την συνάφεια σε κάθε περίπτωση των αποτελεσμάτων ότι επιτυγχάνεται καλή προσέγγιση της κατάστασης του φορέα στην υφιστάμενη του κατάσταση.

Οι παραδοχές οι οποίες και αναλύονται στη συνέχεια είναι πολυεπίπεδες και πραγματοποιείται κάθε φορά προσπάθεια επιβεβαίωσης της ορθότητας στη χρήση αυτών.

5.1 Γεωμετρία του φορέα

Προκειμένου η ανάλυση με τα πεπερασμένα ραβδωτά στοιχεία να είναι αξιοποιήσιμη ως προς τα αποτελέσματα όλα τα γεωμετρικά στοιχεία της γέφυρας μετρήθηκαν με όργανα ακριβείας πχ. παχύμετρα. Στη συνέχεια αυτά επιβεβαιώθηκαν με σχέδια παλαιότερης εργασίας [7]. Η μέτρηση και η επιβεβαίωση των στοιχείων της γέφυρας έγινε γιατί υπάρχουν διάφοροι τύποι με παραπλήσιες ιδιότητες κατασκευασμένες από διαφορετικές εταιρίες(πχ Βρετανικές ή Αμερικάνικες και σήμερα Κινεζικές). Όλα τα στοιχεία παρά τις γενικές πρότυπες, για την εποχή κατασκευής τους, διατομές φέρουν και ενισχύσεις ο οποίες είναι δύσκολο να προσομοιωθούν στα γραμικά πεπερασμένα ραβδωτά στοιχεία.

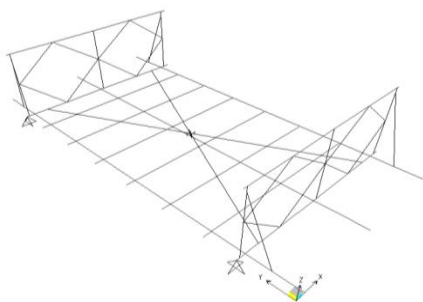
Όλα τα στοιχεία τοποθετήθηκαν κεντροβαρικά και οι κόμβοι σε στοιχεία τα οποία στη πραγματικότητα συνδέονται με λεπίδες σχηματίστηκαν με την λεπτομέρεια των διαστάσεων τους όπως ορίζει και ο EC-3.

5.2 Άνοιγμα του φορέα

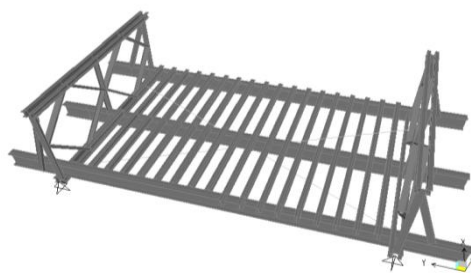
Ο υπόψη φορέα κατασκευάστηκε σε μήκος 18,288 m(60 πόδια) για δύο λόγους, πρώτον γιατί η έδραση του στο πεδίο ήταν ασφαλής και εξασφαλισμένη η ορθή λειτουργία της σε μήκη μεταξύ 30 και 60 ποδών και δεύτερον λόγο αυτού του μήκους θα ήταν πιο εύκολη η διέγερση της καμπτικής ταλάντωσης σε σχέση με τον στιβαρό φορέα των 30 ποδών.

5.3 Διαδικασία σχεδιασμού του φορέα στο Sap 2000

Η διαδικασία σχεδιασμού και τελικής μορφής του φορέα στηρίχθηκε στην δυνατότητα πολλαπλασιασμού ενός πρότυπου το οποίο σχεδιάστηκε. Μιας και όλα τα τμήματα ή αλλιώς πλήρη στοιχεία του φορέα έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά σχεδιάστηκε ένα πλήρες στοιχείο και στη συνέχεια πολλαπλασιάστηκε σε 6 τμήματα. Αυτή είναι και η βασική επιδίωξη της εργασίας, η ανάπτυξη ενός προτύπου το οποίο να ανταποκρίνεται όσο το δυνατό πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.



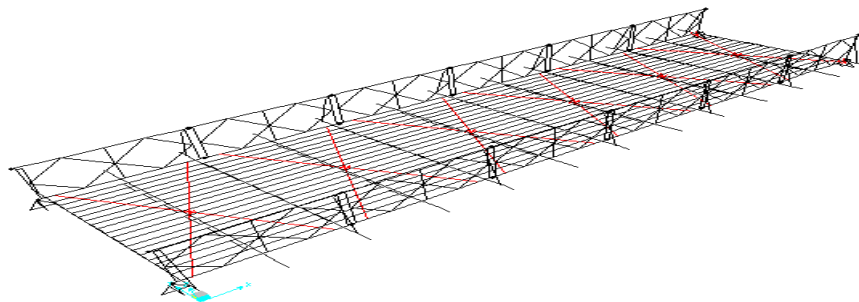
Εικόνα 13: Πρότυπο μοντέλο πλήρους στοιχείου φορέα απλού απλού



Εικόνα 14: Πρότυπο μοντέλο πλήρους στοιχείου φορέα απλού απλού σε 3D

Όλα τα στοιχεία έχουν τοποθετηθεί στις θέσεις που είναι τοποθετημένα και στο φορέα ενώ οι συνδέσεις τους έχουν θεωρηθεί είτε αρθρώσεις μεταξύ των πλαισίων με ελευθέρωση της ροπής στον κύριο άξονα είτε ως πακτώσεις κατά περίπτωση. Για παράδειγμα η σύνδεση των διαδοκίδων με τα πλαίσια γίνεται με βλήτρα σύνδεσης. Ο τρόπος όμως της πραγματοποίησης της σύνδεσης μπορεί να θεωρηθεί πάκτωση με ελάχιστη απόκλιση από την πραγματικότητα. Αποκλίσεις από τη θεώρηση μπορούν να προκύψουν εφόσον οι συνδέσεις δεν γίνουν με επιμέλεια και παραμείνουν χαλαρές. Η παραδοχή είναι ότι οι συνδέσεις είναι καλά επιμελημένες.

Για την σύνδεση των διαδοκίδων με την αντηρίδα προκειμένου να προσομοιωθεί τόσο η θέση όσο και η δυσκαμψία των μελών προσομοιώθηκε και ένας κοχλίας στην σύνδεση ως άκαμπτο μέλος.



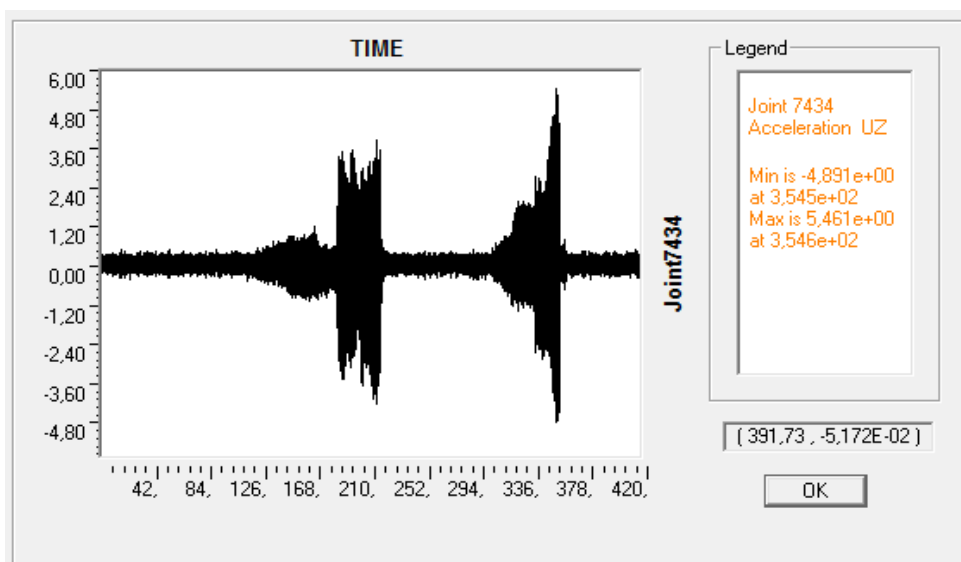
Εικόνα 15: Φορέας 6 πλήρων στοιχείων 18,288 m (60 ποδών)

Για τους αντιανέμιους συνδέσμους δυσκαμνίας δεν χρησιμοποιήθηκε διατομή χάλυβα αλλά πραγματοποιήθηκε σύνδεση με στοιχείο LINK δύο κόμβων.

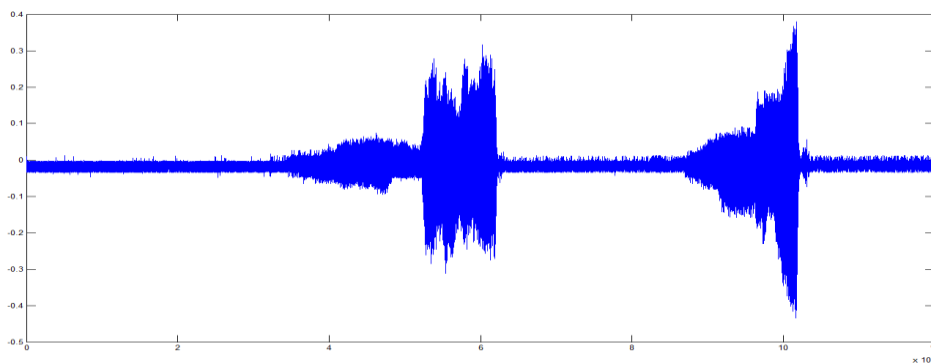
5.4 Πιστοποίηση της αξιοπιστίας του φορέα των πεπερασμένων στοιχείων

Προκειμένου να πιστοποιηθεί η αξιοπιστία του σχεδιαζόμενου με το λογισμικό φορέα πραγματοποιήθηκε ανάλυση χρονοϊστορίας με δεδομένη χρονοϊστορία αυτή που έχει προκύψει από το πείραμα της παραγράφου [3.2.6.5](#) για το COM15.

Για την εισαγωγή των δεδομένων στο Sap2000 προκειμένου να γίνει η ανάλυση τα δεδομένα μεταφέρθηκαν σε ένα αρχείο κειμένου με συγκεκριμένη μορφή. Λεπτομέρειες της διαδικασίας περιέχονται στην βιβλιογραφία [17]. Δημιουργήθηκε μια νέα συνάρτηση οποία πραγματοποιεί και την εισαγωγή του σήματος εισόδου στο φορέα. Το αποτέλεσμα της ανάλυσης δίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:

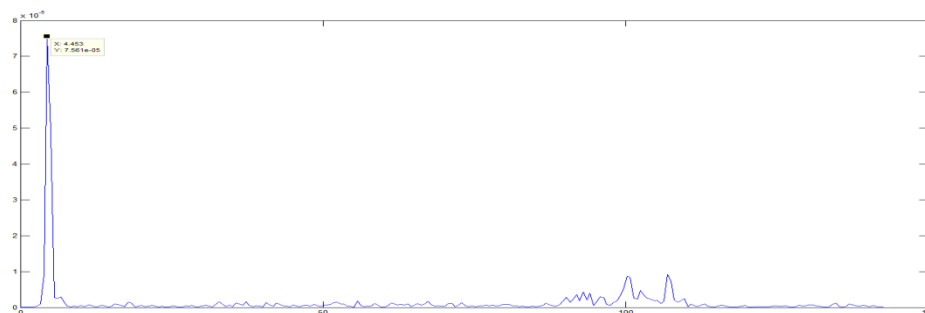


Εικόνα 16: Το σήμα εξόδου σε mm/sec² μετά την ανάλυση με το Sap2000



Διάγραμμα 39: Το σήμα εξόδου από την πειραματική καταγραφή

Παρατηρείται μια αρχικά οπτική ταύτιση με το πραγματικό σήμα εξόδου με τη διαφορά όμως ότι στο σήμα προσομοίωσης δεν εντοπίζεται τόσο μεγάλο πρόβλημα «θορύβου». Η ανάλυση του σήματος στο τμήμα που αντιστοιχεί στην ελεύθερη ταλάντωση με τον κώδικα psdf.m δίνει το ακόλουθο αποτέλεσμα:



Διάγραμμα 40: Απεικόνιση της f , S_k για το σήμα προσομοίωσης των πειραματικών δεδομένο με το Sap 2000

Προφανής η ύπαρξη δεσπόζουσας ιδιοσυχνότητας η οποία αντιστοιχεί σε 4,453 Hz. Η αντίστοιχη πρώτη καμπτική ιδιοσυχνότητα από την ιδιομορφική ανάλυση είναι 4,392 Hz. Η πρώτη καμπτική ιδιοσυχνότητα η οποία προκύπτει από τη θεωρία χωρίς απόσβεση είναι 5,65 Hz και από την ανάλυση των υπολοίπων πειραμάτων είναι 5,01 Hz.

Η διαφορά της προκύπτουσας ιδιοσυχνότητας της ιδιομορφικής ανάλυσης του λογισμικού με την ανάλυση του εξερχόμενου σήματος παρουσιάζει μια διαφορά 1,37% μικρότερη και από αυτή η οποία παρουσιάζεται μεταξύ των πραγματικών αποτελεσμάτων και αυτής της θεωρίας (11,33 %).

Κρίνεται λοιπόν ότι το μοντέλο πάνω στο οποίο πραγματοποιούνται οι προσομοιώσεις των πραγματικών φορτίσεων παρουσιάζει αξιοπιστία στα αποτελέσματα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς του παρά το γεγονός ότι η διαφορά μεταξύ των ιδιοσυχνοτήτων πραγματικής και αναλυτικής (5,01 και 4,354) είναι 11,11 %.

5.5 Μορφές Φορέων και Διαδικασία Φόρτισης αυτών

Η επίλυση του φορέα περιλαμβάνει συνδυασμούς φορτίσεων προκειμένου να ελεγχθεί τόσο η κατάσταση λειτουργικότητας όσο και η κατάσταση αστοχίας. Ταυτόχρονα πραγματοποιείται και ανάλυση χρονοϊστορίας με δεδομένη χρονοϊστορία αυτή που έχει προκύψει από το πείραμα της παραγράφου 3.2.6.5

Το κινητό φορτίο P_i ($i=1,2,3$) στη περίπτωση αυτή είναι ένα φορτηγό όχημα η κλάση του οποίου μεταβάλλεται σύμφωνα με τον κανονισμό [2]. Στο κανονισμό ορίζεται ότι οι περιπτώσεις φόρτισης της γέφυρας με κινητό φορτίο είναι τρεις.

Η κανονική κυκλοφορία προβλέπει την κίνηση οχημάτων επί του φορέα σε αποστάσεις 27 m και επιτρεπόμενη κλάση οχήματος 20 χωρίς όριο ταχύτητας.

Η μετα προσοχής κυκλοφορία προβλέπει την κίνηση οχήματος με ταχύτητα 12,5 Km/h σε απόσταση 47 m μεταξύ τους με άξονα κίνησης επί του κέντρου του καταστρώματος και επιτρεπόμενη κλάση 30.

Η επικίνδυνη κυκλοφορία προβλέπει την κίνηση ενός μόνο οχήματος με ταχύτητα 4,2 Km/h με άξονα κίνησης επί του κέντρου του καταστρώματος και επιτρεπόμενη κλάση 33.

5.5.1 Συνδυασμοί Φόρτισης για τον αμφιέριστο φορέα

Οι συνδυασμοί φόρτισης που πραγματοποιήθηκαν ελέγχουν ταυτόχρονα τόσο την λειτουργικότητα όσο και την κατάσταση αστοχία σε σχέση με τα καθοριζόμενα όρια κλάσης οχημάτων και κίνησης επί του φορέα.

5.5.1.1 Συνδυασμός 1 (COMB1)

$$1,00*DEAD + 1,00*O1_20_20$$

όπου DEAD: τα μόνιμα φορτία στη γέφυρα.

O1_20_20: το κινητό φορτίο 1_κλάσης 20_ ταχύτητα κίνησης 20 Km/h.

5.5.1.2 Συνδυασμός 2 (COMB2)

$$1,00*DEAD + 1,00*O1_20_30$$

όπου DEAD: τα μόνιμα φορτία στη γέφυρα.

O1_20_30: το κινητό φορτίο 1_κλάσης 20_ ταχύτητα κίνησης 30 Km/h.

5.5.1.3 Συνδυασμός 3 (COMB3)

$$1,00*DEAD + 1,00*O1_20_40$$

όπου DEAD: τα μόνιμα φορτία στη γέφυρα.

O1_20_40: το κινητό φορτίο 1_κλάσης 20_ ταχύτητα κίνησης 40 Km/h.

5.5.1.4 Συνδυασμός 4 (COMB4)

$$1,00*DEAD + 1,00*O1_20_50$$

όπου DEAD: τα μόνιμα φορτία στη γέφυρα.

O1_20_50: το κινητό φορτίο 1_κλάσης 20_ ταχύτητα κίνησης 50 Km/h.

5.5.1.5 Συνδυασμός 5 (COMB5)

$$1,00*DEAD + 1,00*O1_20_60$$

όπου DEAD: τα μόνιμα φορτία στη γέφυρα.

O1_20_60: το κινητό φορτίο1_κλάσης 20_ταχύτητα κίνησης 60 Km/h.

5.5.1.6 Συνδυασμός 6 (COMB6)

$$1,00*DEAD + 1,00*O1_20_70$$

όπου DEAD: τα μόνιμα φορτία στη γέφυρα.

O1_20_70: το κινητό φορτίο1_κλάσης 20_ταχύτητα κίνησης 70 Km/h.

5.5.1.7 Συνδυασμός (COMB7)

$$1,00*DEAD + 1,00*O1_20_80$$

όπου DEAD: τα μόνιμα φορτία στη γέφυρα.

O1_20_80: το κινητό φορτίο1_κλάσης 20_ταχύτητα κίνησης 80 Km/h.

5.5.1.8 Συνδυασμός (COMB8)

$$1,00*DEAD + 1,00*O1_20_90$$

όπου DEAD: τα μόνιμα φορτία στη γέφυρα.

O1_20_90: το κινητό φορτίο1_κλάσης 20_ταχύτητα κίνησης 90 Km/h.

5.5.1.9 Συνδυασμός (COMB9)

$$1,00*DEAD + 1,00*O1_20_100$$

όπου DEAD: τα μόνιμα φορτία στη γέφυρα.

O1_20_100:το κινητό φορτίο1_κλάσης 20_ταχύτητα κίνησης 100 Km/h.

5.5.1.10 Συνδυασμός (COMB10)

$$1,00*DEAD + 1,00*O2_30_12,5$$

όπου DEAD: τα μόνιμα φορτία στη γέφυρα.

O1_30_12,5:το κινητό φορτίο2_κλάσης 30_ταχύτητα κίνησης 12,5 Km/h.

5.5.1.11 Συνδυασμός (COMB11)

$$1,00*DEAD + 1,00*O2_30_20$$

όπου DEAD: τα μόνιμα φορτία στη γέφυρα.

O1_30_20:το κινητό φορτίο2_κλάσης 30_ταχύτητα κίνησης 20 Km/h.

5.5.1.12 Συνδυασμός (COMB12)

$$1,00*DEAD + 1,00*O2_30_25$$

όπου DEAD: τα μόνιμα φορτία στη γέφυρα.

O1_30_25:το κινητό φορτίο2_κλάσης 30_ταχύτητα κίνησης 25 Km/h.

5.5.1.13 Συνδυασμός (COMB13)

$$1,00*DEAD + 1,00*O2_30_50$$

όπου DEAD: τα μόνιμα φορτία στη γέφυρα.

O1_30_50:το κινητό φορτίο2_κλάσης 30_ταχύτητα κίνησης 50 Km/h.

5.5.1.14 Συνδυασμός (COMB14)

$$1,00*DEAD + 1,00*O3_33_4,2$$

όπου DEAD: τα μόνιμα φορτία στη γέφυρα.

O3_33_4,2:το κινητό φορτίο3_κλάσης 33_ταχύτητα κίνησης 4,2 Km/h.

5.5.1.15 Συνδυασμός (COMB15)

$$1,00*DEAD + 1,00*O3_33_8,4$$

όπου DEAD: τα μόνιμα φορτία στη γέφυρα.

O3_33_8,4:το κινητό φορτίο3_κλάσης 33_ταχύτητα κίνησης 8,4 Km/h.

5.5.1.16 Συνδυασμός (COMB16)

$$1,00*DEAD + 1,00*O3_33_20$$

όπου DEAD: τα μόνιμα φορτία στη γέφυρα.

O3_33_20:το κινητό φορτίο3_κλάσης 33_ταχύτητα κίνησης 50 Km/h.

5.5.1.17 Συνδυασμός (COMB17)

$$1,00*DEAD + 1,00*O1_20_50+Response Spectrum$$

όπου DEAD: τα μόνιμα φορτία στη γέφυρα.

O1_20_50:το κινητό φορτίο1_κλάσης 20_ταχύτητα κίνησης 50 Km/h.

Response Spectrum: Ανάλυση σε επίπεδο φάσματος και συνδυασμός των μετακινήσεων με SRSS.

5.5.1.18 Συνδυασμός (COMB18)

$$1,25*DEAD + 1,25*O3_33_4,2$$

όπου DEAD: τα μόνιμα φορτία στη γέφυρα.

O3_33_4,2:το κινητό φορτίο3_κλάσης 33_ταχύτητα κίνησης 4,2 Km/h.

Ο παραπάνω συνδυασμός προέκυψε από το γεγονός ότι ο κανονισμός χρήσης της γέφυρας αναφέρει ότι στη περίπτωση αυτή η φέρουσα ικανότητα αυξάνει κατά 25% και για το λόγο αυτό προσαυξήθηκε κατά 25% ο συνδυασμός COMB14.

5.5.1.19 Συνδυασμός (COMB19)

$$1,35*DEAD + 1,00*O3_33_4,2$$

όπου DEAD: τα μόνιμα φορτία στη γέφυρα.

O3_33_4,2:το κινητό φορτίο3_κλάσης 33_ταχύτητα κίνησης 4,2 Km/h.

5.5.2 Συνδυασμοί Φόρτισης για φορέα δύο ανοιγμάτων

Ο φορέας δύο ανοιγμάτων σχεδιάστηκε στη λογική του ελέγχου των μετακινήσεων με την τοποθέτηση βάρου στο μέσο του φορέα (μεσόβαθρο). Είναι μια εκ των επιλογών τις οποίες έχει ο επιβλέπων καθώς ένα μεσόβαθρο για τη Bailey μπορεί να κατασκευαστεί από τα πλαίσια αυτής και κάποια λοιπά παρελκόμενα.

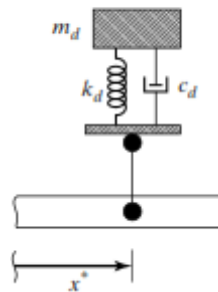
Οι συνδυασμοί είναι ακριβώς οι ίδιοι με του αμφιέρειστου φορέα προκειμένου να γίνει αξιολόγηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων. Ωστόσο σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι δυνατή η κατασκευή ενός μεσοβάθρου.

5.5.3 Συνδυασμοί Φόρτισης για αμφιέρειστο φορέα με αποσβεστήρα μάζας.

Στα πλαίσια της σύγχρονης αντιμετώπισης των προβλημάτων της δυναμικής καταπόνησης των γεφυρών με αποσβεστήρες στον αμφιέρειστο αρχικό φορέα τοποθετήθηκαν αποσβεστήρες μάζας. Οι υπόψη αποσβεστήρες είναι τύπου tuned mass dampers και ενεργοποιούνται σε μια μόνο κατεύθυνση. Στη περίπτωση αυτή ενεργός παραμένει ο κατακόρυφος άξονας.

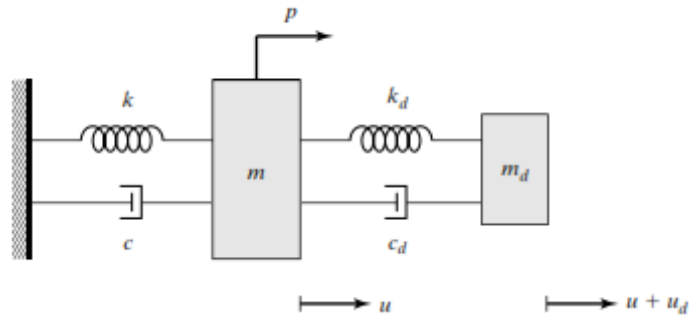
5.5.3.1 Θεωρία Σχεδιασμού Αποσβεστήρων Μάζας [18]

Οι αποσβεστήρες μάζας είναι συστήματα αποτελούμενα από μια μάζα ένα ελατήριο και ένα αποσβεστήρα (τύπου αμορτισέρ) τα οποία τοποθετούμενα πάνω σε μια κατασκευή επιτυγχάνουν να μειώνουν την δυναμική απόκριση των φορέων.



Σχήμα 1: Tuned Mass Damper

Η συχνότητα κίνησης του συστήματος προσεγγίζει την i -ιδιοσυχνότητα ταλάντωσης του φορέα. Παίζει σημαντικό ρόλο δηλαδή το που τοποθετείται και με ποια δυνατότητα κίνησης ο αποσβεστήρας.



Σχήμα 2: Μονοβάθμιο σύστημα με αποσβεστήρα

Από τη θεωρία είναι γνωστά:

$$\omega^2 = \frac{k}{m}$$

$$c = 2\xi\omega m$$

$$\omega_d^2 = \frac{k_d}{m_d}$$

$$c_d = 2\xi_d\omega_d m_d$$

$$\bar{m} = \frac{m_d}{m}$$

όπου d είναι ο δείκτης αναφοράς για τον αποσβεστήρα και \bar{m} είναι η αναλογία μάζας του φορέα και του αποσβεστήρα.

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις που περιγράφουν τη κίνηση του συστήματος και του αποσβεστήρα κάτω από την επιβολή ενός περιοδικού φορτίου $p = \hat{p} \sin \Omega t$ η διαδικασία καταλήγει στην έκφραση της ισοδύναμης απόσβεσης ξ_e :

$$\xi_e = \frac{\bar{m}}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{2\xi}{\bar{m}} + \frac{1}{2\xi_d} \right)^2}$$

5.5.3.2 Σχεδιασμός του αποσβεστήρα μάζας για το φορέα λογιζόμενου ως απλά εδραζόμενου.

Στη περίπτωση αυτή οι ιδιομορφές και ιδιοσυχνότητες δίνονται από τις σχέσεις

$$\Phi_n(x) = \sin \frac{n\pi x}{L}$$

$$\omega_n^2 = \frac{EI}{\rho_m} \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2$$

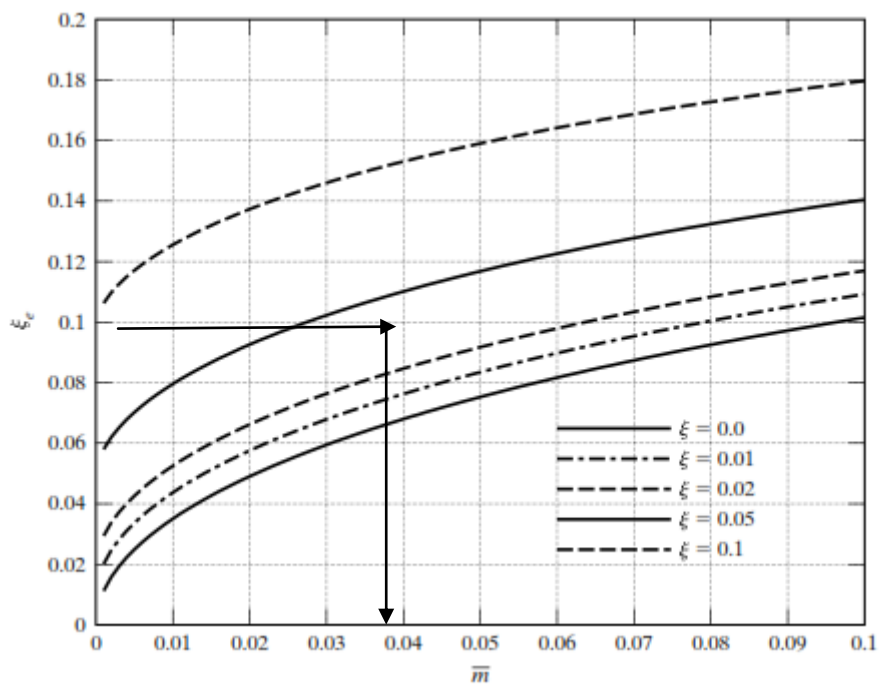
$$\overline{m}_{ie} = \frac{L\rho m}{2}$$

$$\overline{k}_{ie} = \frac{EIL}{2} \left(\frac{\pi}{4}\right)^4$$

όπου \overline{m}_{ie} και \overline{k}_{ie} είναι η μάζα και ακαμψία του συστήματος στην i-ιδιομορφή.

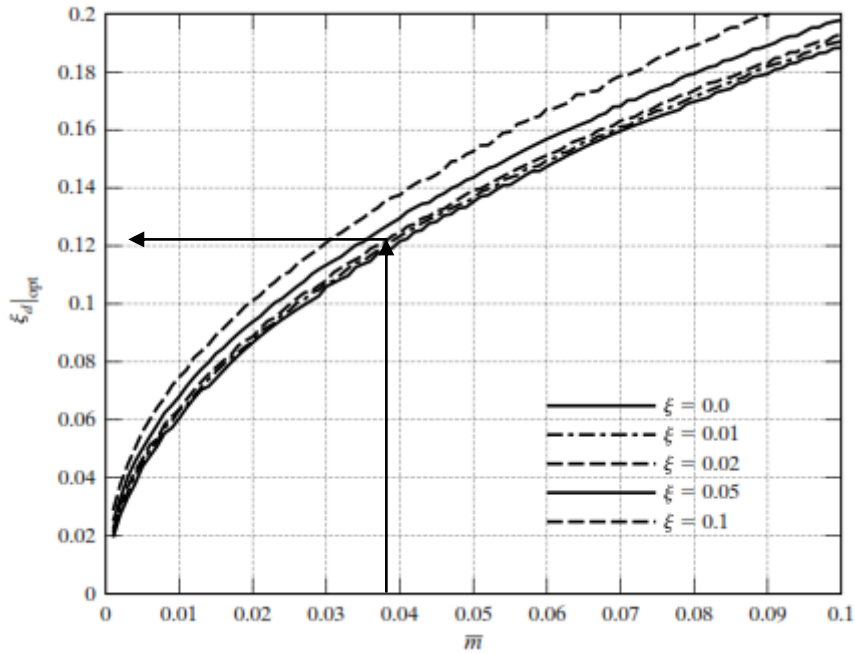
Μέσα από τη διαδικασία η οποία καθορίζεται για την 1^η ιδιομορφή θεωρώντας ότι η απόσβεση του συστήματος του αμφιέρειστου φορέα είναι περίπου $\xi=0,03$ (0,027 είχε υπολογιστεί) και λαμβάνοντας $\xi_e=0,1$ (10%) από το διάγραμμα 39 προκύπτει ότι απαιτείται η

$$\overline{m}_1=0,035 \text{ επομένως } m_d = 0,035m_1$$



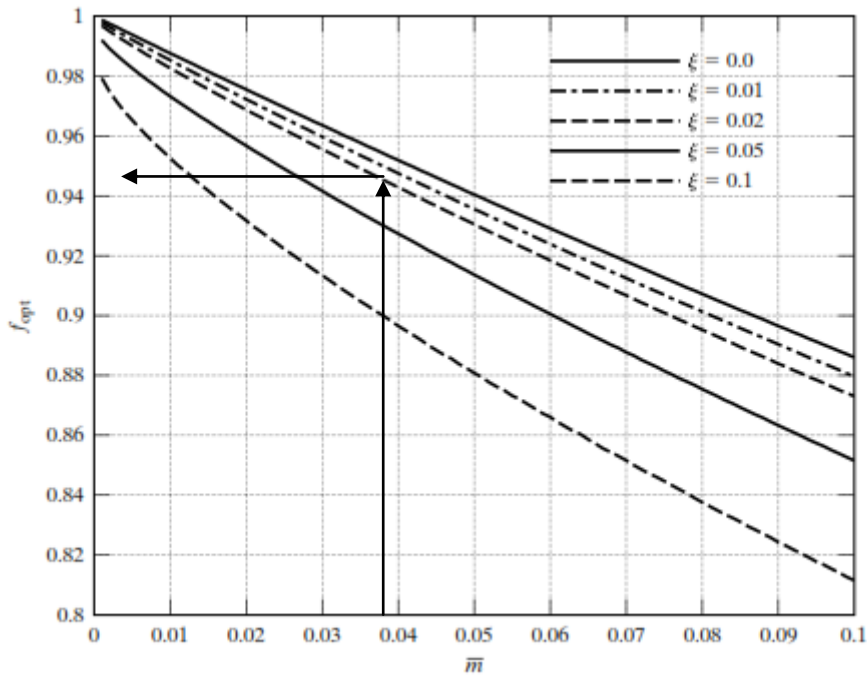
Διάγραμμα 41: Ισοδύναμη απόσβεση σε σχέση με τη μάζα i-ιδιομορφής

Οι άλλες παράμετροι σχετιζόμενες με το $\overline{m}_1=0,035$ είναι η ξ_{opt} η οποία λαμβάνεται από το διάγραμμα 40 και ισούται με 0,12.



Διάγραμμα 42:Βέλτιστη απόσβεση του αποσβεστήρα σε σχέση με τη μάζα

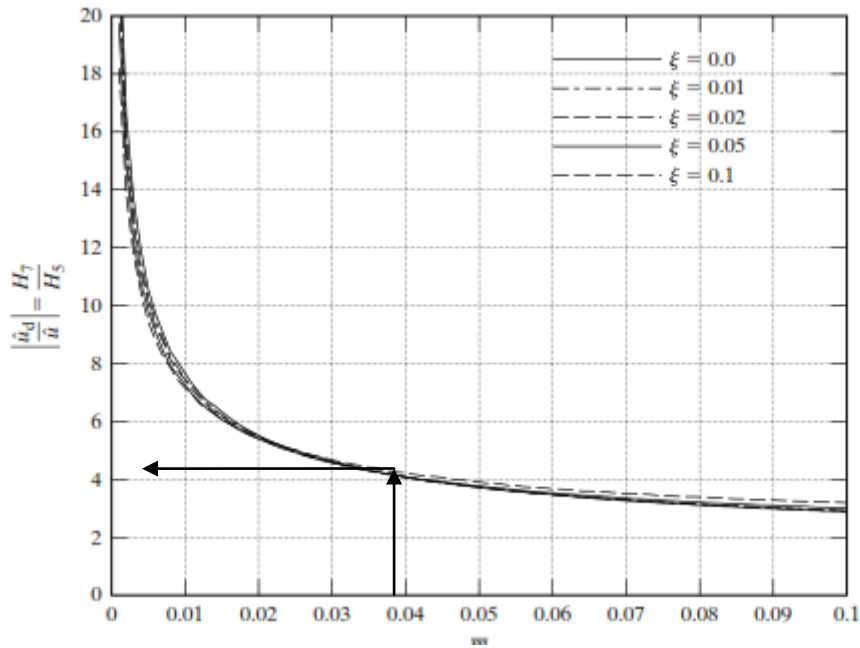
Η βέλτιστη ιδιοσυχνότητα λειτουργίας του αποσβεστήρα δίνεται από τη σχέση $f_{opt} = \frac{\omega_d}{\omega_i}$ και ο συσχετισμός με την μάζα από το διάγραμμα 41



Διάγραμμα 43:Βέλτιστη συχνότητα λειτουργίας του αποσβεστήρα

Από το διάγραμμα λοιπόν προκύπτει ότι $f_{opt} = 0,95$ περίπου.

Ο δε λόγος των μετακινήσεων του αποσβεστήρα στο σημείο εφαρμογής με το σημείο αυτό δίνεται από το διάγραμμα 42



Διάγραμμα 44: Λόγος μετατοπίσεων αποσβεστήρα – φορέα

Είναι προφανές ότι αποσβεστήρας παρουσιάζει μετακινήσεις 4,2 φορές μεγαλύτερες από αυτές του σημείου εφαρμογής.

Συνοψίζοντας για τον αποσβεστήρα ο οποίος τοποθετήθηκε στο μέσο του φορέα(L/2) αναλαμβάνοντας τη μείωση των δυναμικών επιδράσεων στη 1^η ιδιομορφή έχουμε :

$$\xi = 0,027 \sim 0,03$$

$$\xi_e = 0,1$$

$$\xi_{opt} = 0,12$$

$$m_d = 0,035 m_1 = 0,035 * (16500/2) = 288,75 \text{ kg}$$

$$\omega_d = 0,95 \omega_1 = 0,95 * 29,098 \text{ rad/sec} = 27,61 \text{ rad/sec} (\omega_1: \text{όπως προέκυψε από το πρόγραμμα})$$

$$k_d = \omega_d^2 m_d = 27,61^2 * 288,75 = 223961 \text{ N/m}$$

$$c_d = 2 \xi_{opt} \omega_d m_d = 1930 \text{ Nsec/m}$$

Ο αποσβεστήρας δεν τοποθετήθηκε στο μέσο του καταστρώματος αλλά στα άκρα σχεδιαζόμενος στο πρόγραμμα μετα παραπάνω χαρακτηριστικά στο μισό σε κάθε σύστημα. Πρέπει να τονιστεί ότι η ανάλυση είναι ελαστική και τα συστήματα των αποσβεστήρων σχεδιάστηκαν ακριβώς έτσι. Στα δεδομένα του αποσβεστήρα αποδόθηκε ως k_d αλλά μεταφράστηκε σε k_s ελατηρίου.

Για την 2^η ιδιομορφή (L/4) ή (3L/4) ακολουθώντας τη προηγούμενη διαδικασία προκύπτουν

$$\xi = 0,027 \sim 0,03$$

$$\xi_e = 0,1$$

$$\xi_{opt} = 0,12$$

$$m_d = 0,035 m_2 = 0,035 * (16500/2) = 288,75 \text{ kg}$$

$$\omega_d = 0,95 \omega_2 = 0,95 * 56,73 \text{ rad/sec} = 53,9 \text{ rad/sec}$$

$$k_d = \omega_d^2 m_d = 53,9^2 * 288,75 = 840000 \text{ N/m}$$

$$c_d = 2 \xi_{opt} \omega_d m_d = 3735 \text{ Nsec/m}$$

Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι οι γωνιακές ταχύτητες των ιδιοσυχνοτήτων είναι αυτές οι οποίες προκύπτουν από την επίλυση του αρχικού αμφιέρειστου φορέα.

Ο σχεδιασμός των αποσβεστήρων είναι μια διαδικασία η οποία απαιτεί μεγάλη επιμέλεια και πειραματικές μετρήσεις. Ωστόσο με τη χρήση του μοντέλου των πεπεραμένων στοιχείων διαπιστώνεται ότι είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί μια ικανοποιητική προσομοίωση της διαδικασίας.

6 Αποτελέσματα Αναλύσεων με λογισμικό Sap2000

Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν σε 5 συνολικά φορείς όπως έχουν αναφερθεί διεξοδικά στις προηγούμενες παραγράφους. Για κάθε έναν από τους φορείς γίνονται μετρήσεις των μετακινήσεων στις θέσεις L/4 και L/2 και υπολογισμοί των εντατικών μεγεθών στα κρίσιμα σημεία.

6.1 Αμφιέρειστος Φορέας

6.1.1 Βέλος Κάμψης

Το υπολογιζόμενο βέλος στην περίπτωση αυτή είναι 7,3 mm (18% διαφορά από τη θεωρητική προσέγγιση).

6.1.2 Ιδιοσυχνότητες

Οι ιδιοσυχνότητες οι οποίες προέκυψαν δίνονται στο παρακάτω πίνακα.

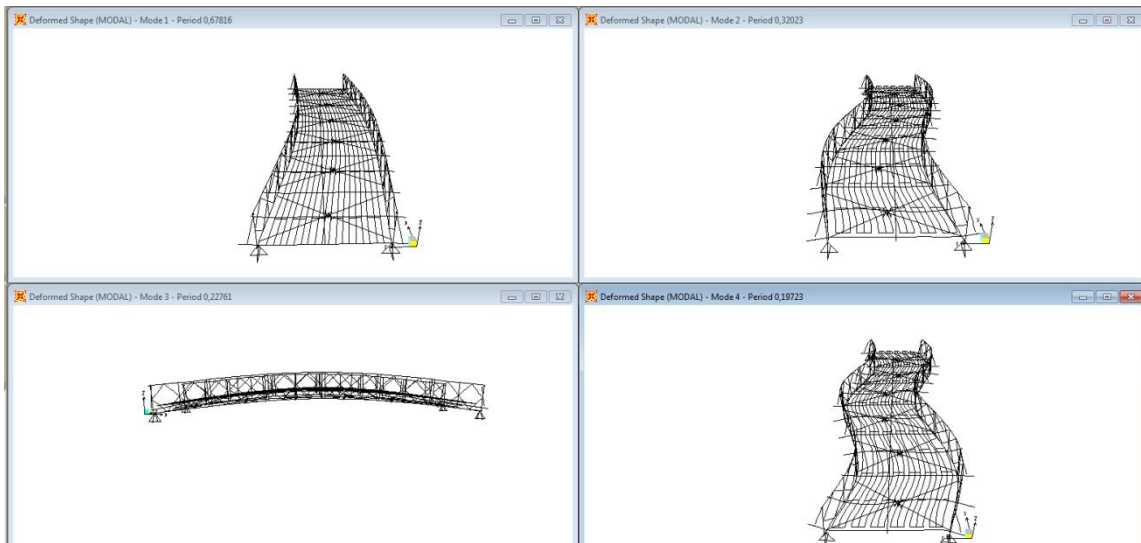
Ιδιομορφή	T(sec)	f(cyc/sec)	ω (rad/sec)
1	0,678157	1,4746	9,2651
2	0,320233	3,1227	19,621
3	0,227609	4,3935	27,605
4	0,19723	5,0702	31,857
5	0,188529	5,3042	33,327
6	0,143838	6,9523	43,682
7	0,138059	7,2433	45,511
8	0,135877	7,3596	46,242
9	0,128908	7,7575	48,742
10	0,121359	8,24	51,773
11	0,116205	8,6055	54,07
12	0,115389	8,6663	54,452

Πίνακας 7: Ιδιοχαρακτηριστικά Φορέα

Από την παρατήρηση του πίνακα διαπιστώνεται ότι η πρώτη ιδιομορφή δεν είναι η καμπτική, η οποία εντοπίζεται στη τρίτη ιδιομορφή, αλλά η πλάγια.

Το γεγονός της ύπαρξης γειτνιαζόντων ιδιομορφών με τα ιδιοχαρακτηριστικά εκάστης μπορεί να επιβεβαιωθεί και από τις αναλύσεις των σημάτων τα οποία συλλέχθηκαν κατά τις πειραματικές μετρήσεις με γνώμονα πάντα την απόκλιση αυτών λόγω θορύβου.

6.1.3 Ιδιομορφές



Εικόνα 17: Οι 4 πρώτες ιδιομορφές

Παρατηρείται ότι η πρώτη και δεύτερη και τέταρτη ιδιομορφή είναι πλάγιες ενώ μόνο η τρίτη καμπτική.

6.1.4 Εντατικά μεγέθη

Τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται στο φορέα αξιολογούνται σχετικά όσο αφορά μόνο τα πλαίσια και τις διαδοκίδες καθώς είναι τα στοιχεία τα οποία αν αστοχήσουν προκαλείται και κατάρρευση του φορέα με τα συνακόλουθά τους.



Εικόνα 18: Κατάρρευση γέφυρας στη Κόστα Ρίκα το 2012

πηγή: www.INSideCostaRica.com



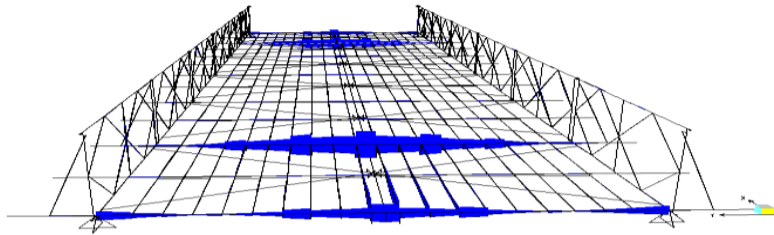
Εικόνα 19: Κατάρρευση γέφυρας στην Ινδία

πηγή: www.google.com

Μετά τον έλεγχο της κατηγορίας των διατομών βρέθηκε ότι όλες ανήκουν στην κατηγορία 1. Μπορεί έτσι να χρησιμοποιηθεί η πλαστική αντοχή αυτών. Για λόγους ασφάλειας και για να υπάρχει η δυνατότητα αντικατάστασης στοιχείων μετά από βλάβη λαμβάνεται υποψη η ελαστική αντοχή. Αντικατάσταση είναι δύσκολη αλλά πραγματοποιήσιμη στα περισσότερα των στοιχείων εκτός από τα πλαίσια τα οποία και θα πρέπει να αποκαθελκυσθεί ο φορέας για να αντικατασταθούν.

6.1.4.1 Έλεγχος σε ροπή

Για τον έλεγχο σε αντοχή λόγω ροπών μελετήθηκε η συμπεριφορά κυρίως των πλαισίων και των διαδοκίδων καθώς αστοχία σε οποιοδήποτε στοιχείο απο αυτά οδηγεί σε κατάρρευση του φορέα. Ωστόσο ο έλεγχος γίνεται σε επίπεδο ελαστικής ροπής αντοχής καθώς οποιαδήποτε πλαστική συμπεριφορά του φορέα καθιστά αδύνατη την αντικάσταση μελών του. Διαπιστώθηκε ότι κρίσιμοι είναι οι συνδυασμοί COMB18 και COMB19 στους οποίους αστοχούν οι τρίτες σε σειρά διαδοκίδες των πρώτων σε κάθε σειρά πλαισίων.



Εικόνα 20: Οι ροπές στις θέσεις αστοχίας

6.1.4.2 Έλεγχος σε Διάτμηση

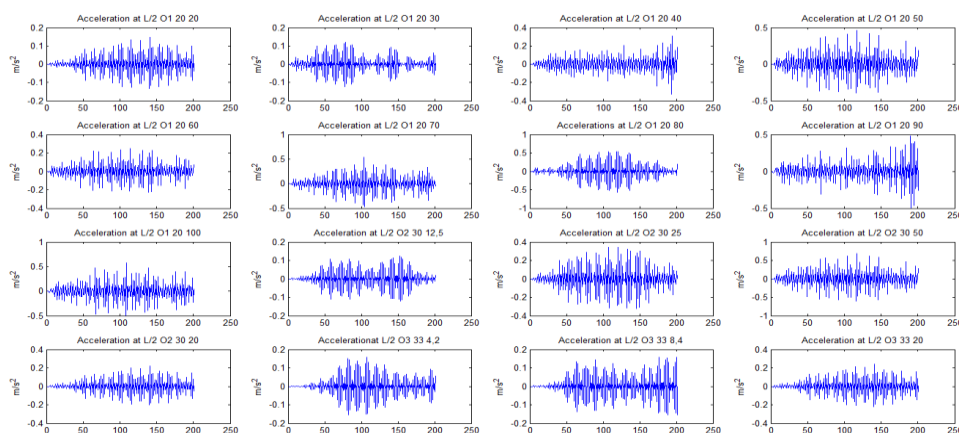
Από τον έλεγχο σε διάτμηση διαπιστώθηκε ότι όλες οι διαδοκίδες στην αρχή και στο τέλος του φορέα αστοχούν καθώς δέχονται όλο το φορτίο χωρίς να υπάρχει δυνατότητα διανομής. Αυτό δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα καθώς στις αντιστοιχες θέσεις στον πραγματικό φορέα τοποθετούνται 2 διαδοκίδες γι'αυτον ακριβώς το λόγο.

6.1.4.3 Έλεγχος αξονικών δυνάμεων

Δεν παρατηρήθηκε πρόβλημα σε κανένα στοιχείο του φορέα.

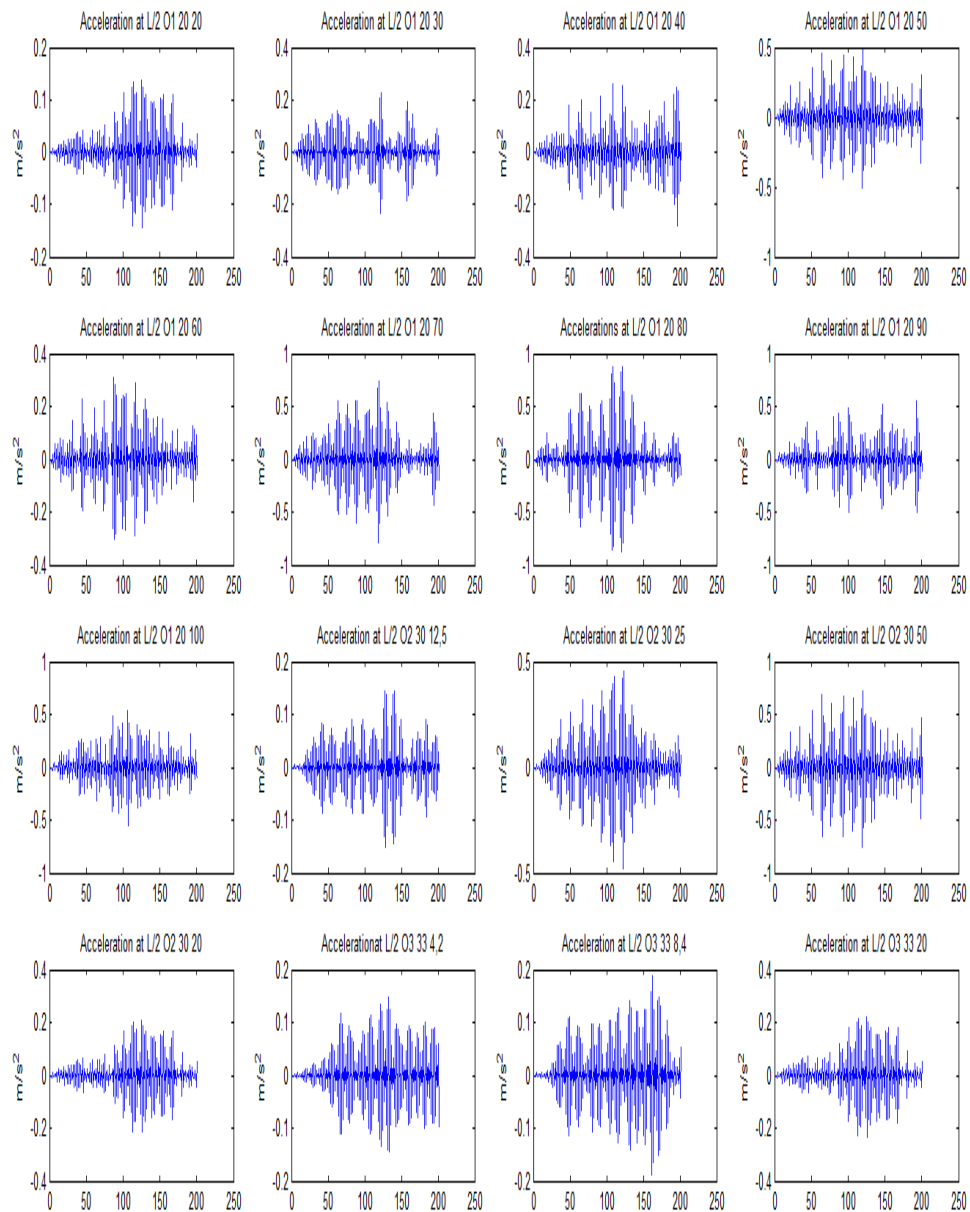
6.1.5 Επιταχύνσεις Κόμβων

Η κατακόρυφη επιτάχυνση των κόμβων τόσο του κεντρικού όσο και του κόμβου στα L/4 δίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.



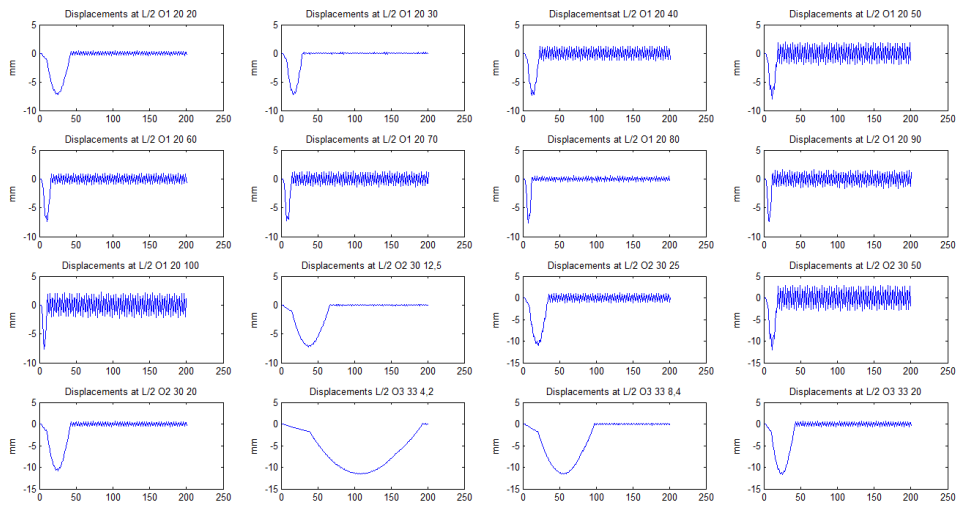
Διάγραμμα 45: Συνολικό διάγραμμα επιταχύνσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στο μέσο της δοκού

Παρατηρείται στο διάγραμμα των O1_20_80 μια συνεκτική μορφή στις επιταχύνσεις

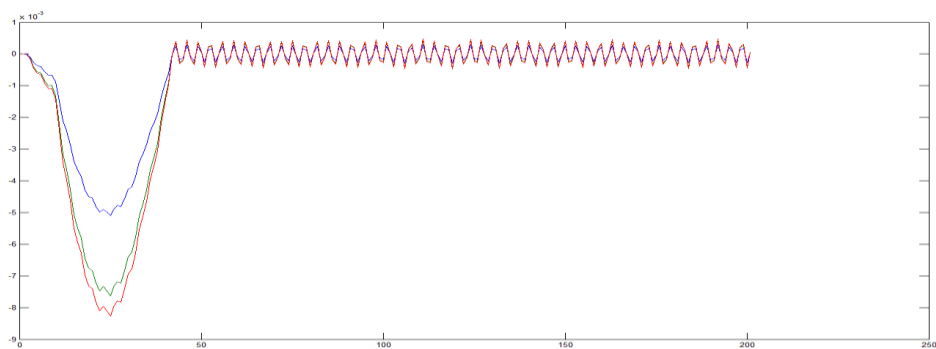


Διάγραμμα 46: Συνολικό διάγραμμα επιταχύνσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στο L/4 της δοκού

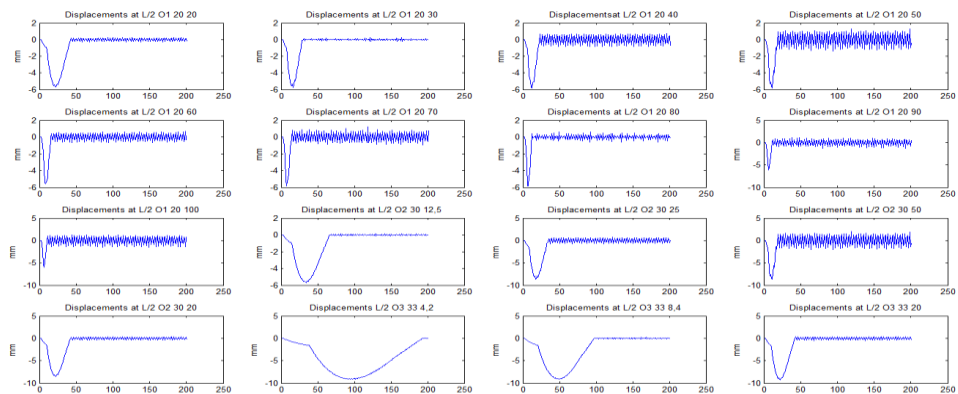
6.1.6 Μετατοπίσεις κόμβων



Διάγραμμα 47: Συνολικό διάγραμμα μετατοπίσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στο L/2 της δοκού



Διάγραμμα 48: Σύγκριση των βελών στο μέσο της δοκού για τα τρία διαφορετικά οχήματα με ταχύτητα 20Km/h



Διάγραμμα 49: Συνολικό διάγραμμα μετατοπίσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στα L/4 της δοκού

6.2 Φορέας Δύο Ανοιγμάτων

6.2.1 Βέλος Κάμψης

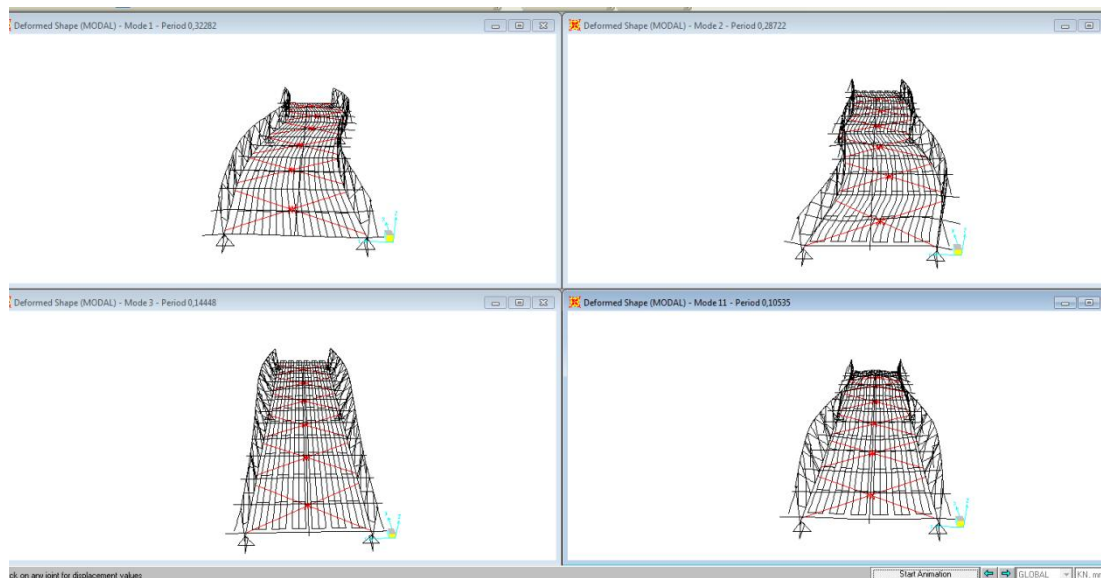
Στη περίπτωση αυτή το βέλος κάμψης μηδενίζεται στο μέσο του φορέα.

6.2.2 Ιδιοσυχνότητες

Ιδιομορφή	T(sec)	f(cyc/sec)	ω (rad/sec)
1	0,322819	3,0977	19,463
2	0,287224	3,4816	21,876
3	0,144478	6,9214	43,489
4	0,142638	7,0108	44,05
5	0,135667	7,371	46,313
6	0,134992	7,4078	46,545
7	0,128983	7,753	48,713
8	0,124458	8,0349	50,485
9	0,116447	8,5876	53,957
10	0,114322	8,7472	54,96
11	0,105354	9,4918	59,639
12	0,10192	9,8116	61,648

Πίνακας 8: Ιδιοχαρακτηριστικά φορέα δύο ανοιγμάτων

6.2.3 Ιδιομορφές



Εικόνα 21: Οι 4 πρώτες ιδιομορφές του φορέα

6.2.4 Εντατικά μεγέθη

6.2.4.1 Έλεγχος σε ροπή

Από τον έλεγχο προέκυψε ότι το πρώτο πλαίσιο αστοχεί στη περίπτωση του συνδυασμού COMB18 όπως και στη περίπτωση του αμφιέριστου φορέα, χωρίς ωστόσο να εντοπίζεται κάποιο άλλο στοιχείο με αστοχία.

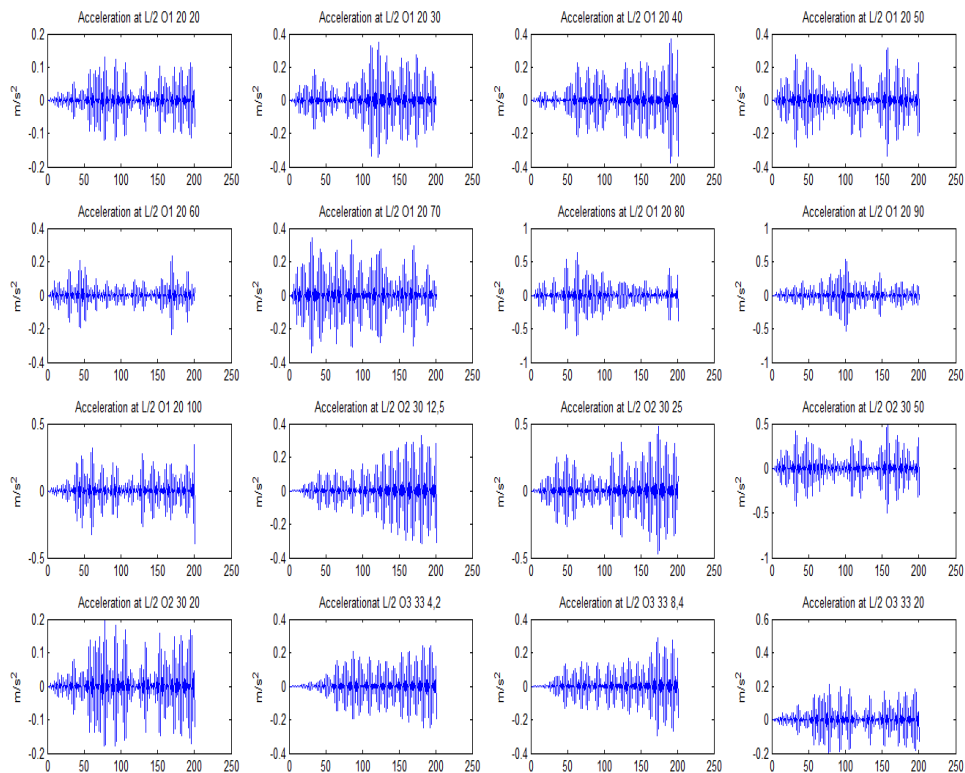
6.2.4.2 Έλεγχος σε διάτμηση

Και στη περίπτωση αυτή πρόβλημα εντοπίζεται στις πρώτες διαδοκίδες σε κάθε άκρο του φορέα, πρόβλημα το οποίο στη πραγματικότητα αποκαθίσταται με τη τοποθέτηση διπλής διαδοκίδας. Αν και ο συνδυασμός είναι εξαιρετικά σπάνιος να συμβεί.

6.2.4.3 Έλεγχος των αξονικών δυνάμεων.

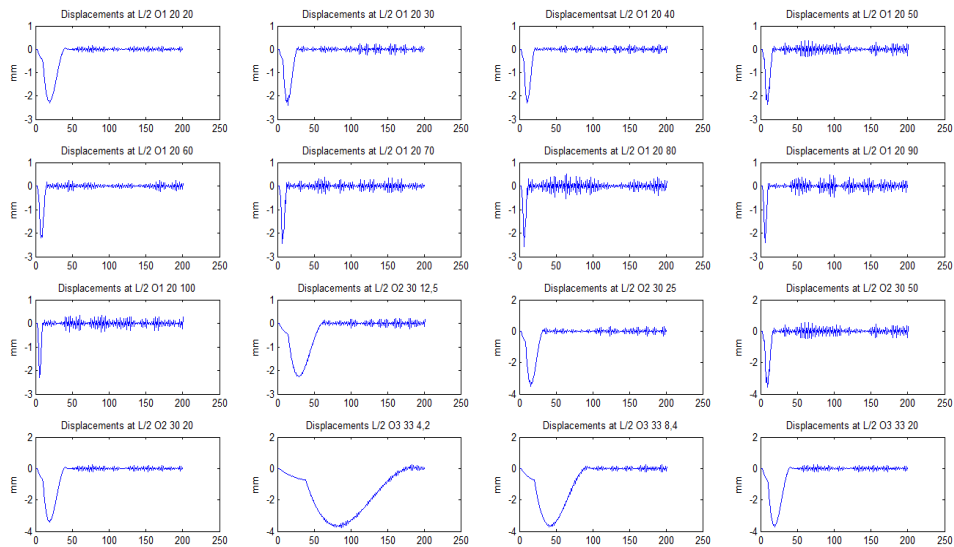
Δεν παρατηρείται πρόβλημα στα στοιχεία του φορέα.

6.2.5 Επιταχύνσεις Κόμβων



Διάγραμμα 50: Συνολικό διάγραμμα επιταχύνσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στο L/4 της δοκού

6.2.6 Μετατοπίσεις κόμβων



Διάγραμμα 51: Συνολικό διάγραμμα μετατοπίσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στα L/4 της δοκού

6.3 Φορέας αμφιέρειστος με σύστημα απόσβεσης στο μέσο του φορέα

6.3.1 Βέλος Κάμψης

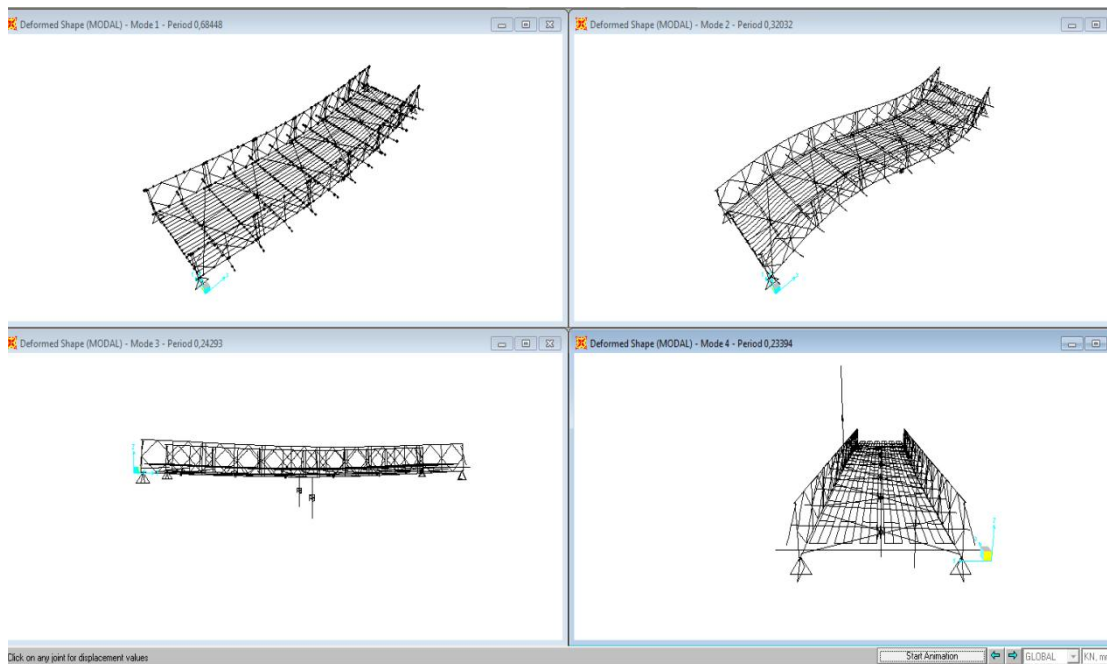
Στη περίπτωση αυτή το βέλος κάμψης ισούται με αυτό του αρχικού φορέα με αμελητέα διαφορά λόγω του προσθετου βάρους.

6.3.2 Ιδιοσυχνότητες

Ιδιομορφή	T(sec)	f(cyc/sec)	ω (rad/sec)
1	0,684482	1,461	9,1795
2	0,320315	3,1219	19,616
3	0,242931	4,1164	25,864
4	0,233938	4,2746	26,858
5	0,214386	4,6645	29,308
6	0,198927	5,027	31,585
7	0,184559	5,4183	34,044
8	0,143799	6,9542	43,694
9	0,138202	7,2358	45,464
10	0,135886	7,3591	46,238
11	0,128917	7,757	48,738
12	0,121324	8,2424	51,788

Διάγραμμα 52: Ιδιοχαρακτηριστικά φορέα ενός ανοίγματος με αποσβεστήρα

6.3.3 Ιδιομορφές



Εικόνα 22: Οι 4 πρώτες ιδιομορφές του φορέα

Παρατηρείται ότι με τη χρήση του αποσβεστήρα έχουν τροποποιηθεί οι ιδιομορφές 3 και 4 του φορέα.

6.3.4 Εντατικά μεγέθη

6.3.4.1 Έλεγχος σε ροπή

Δε παρατηρείται διαφορά από την επίλυση του αμφιέρειστου φορέα.

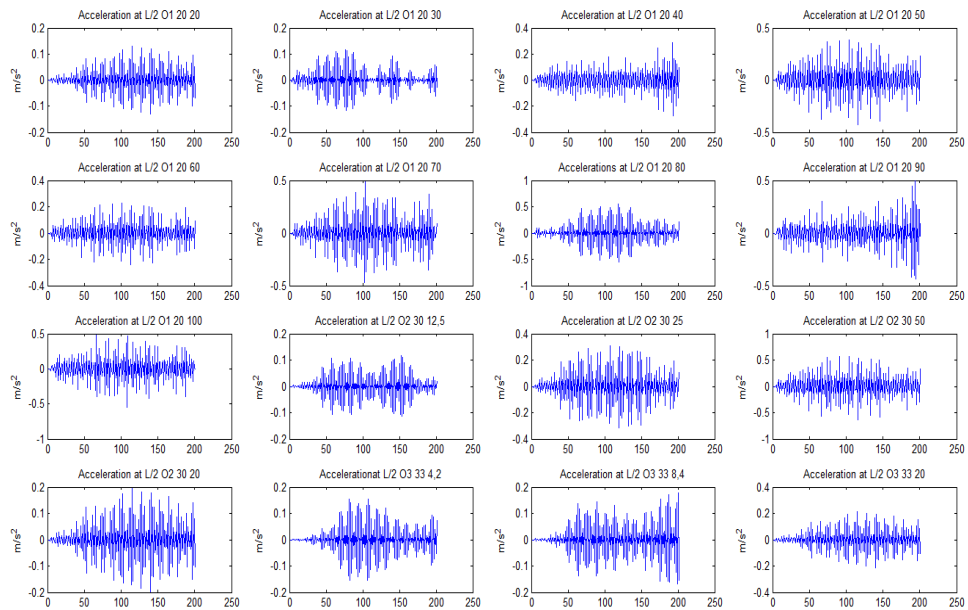
6.3.4.2 Έλεγχος σε διάτμηση

Δε παρατηρείται διαφορά από την επίλυση του αμφιέρειστου φορέα.

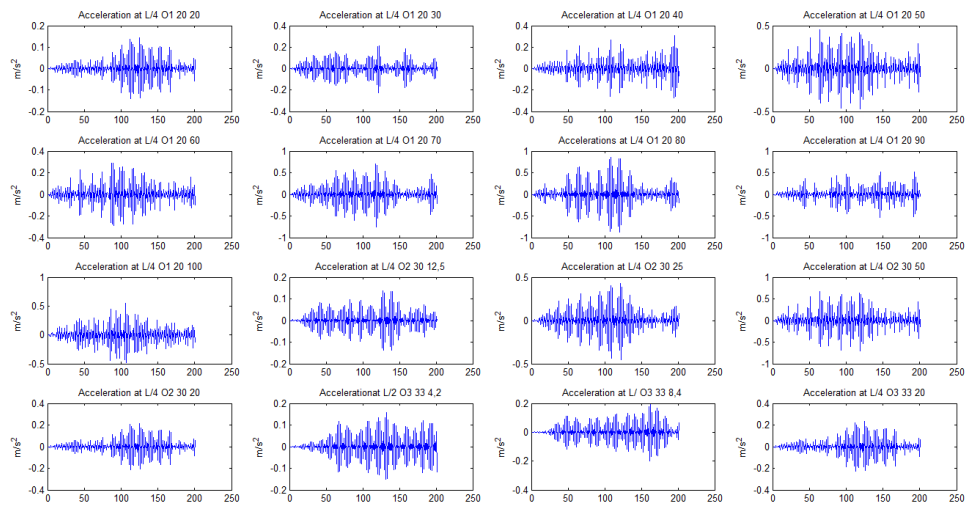
6.3.4.3 Έλεγχος των αξονικών δυνάμεων.

Δε παρατηρείται διαφορά από την επίλυση του αμφιέρειστου φορέα.

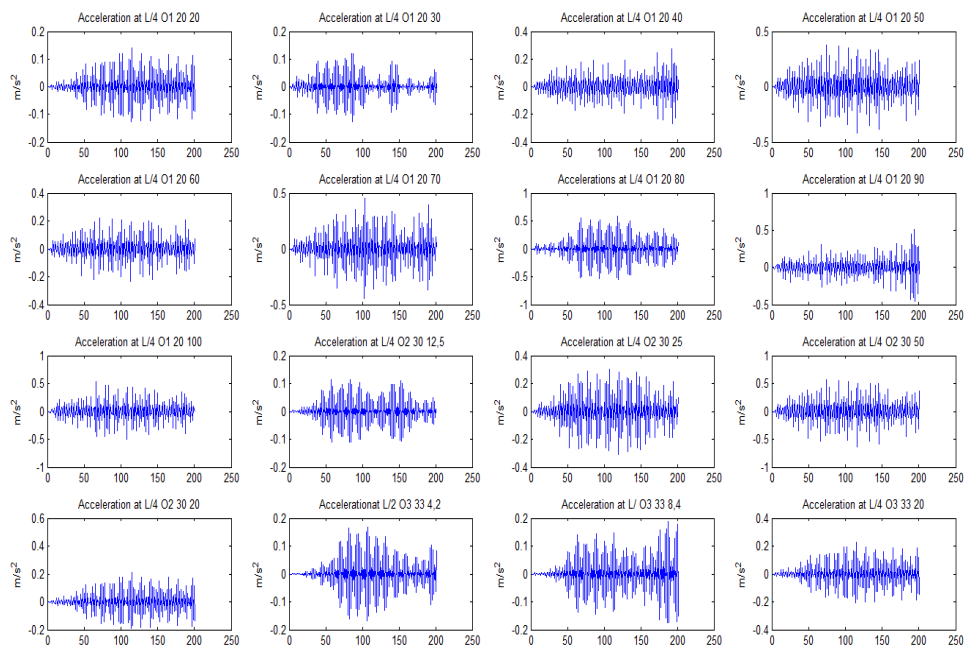
6.3.5 Επιταχύνσεις Κόμβων



Διάγραμμα 53: Συνολικό διάγραμμα επιταχύνσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στο L/2 της δοκού

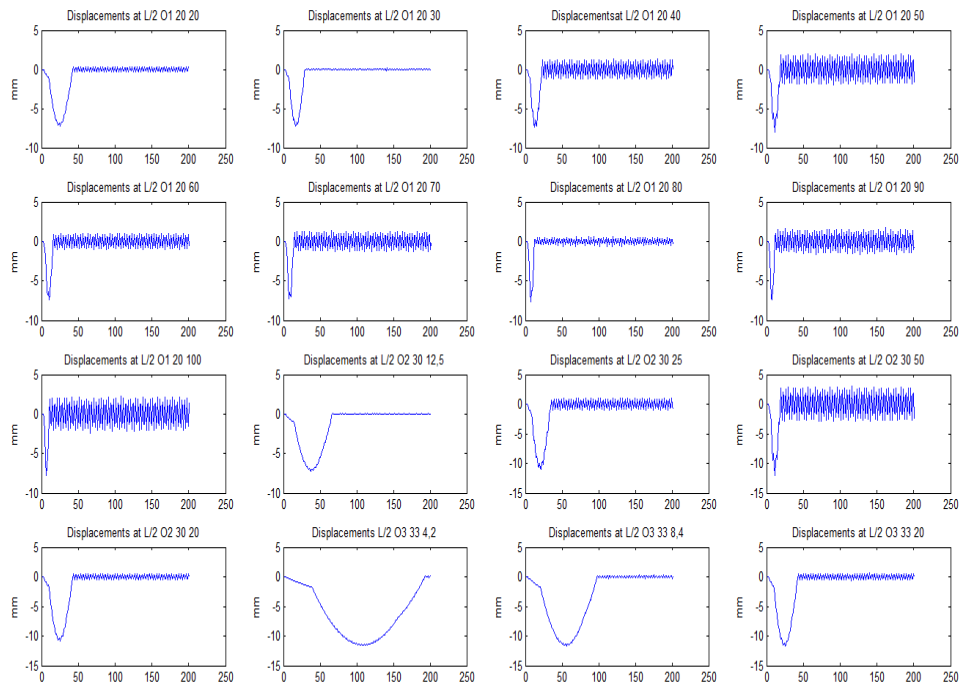


Διάγραμμα 54: Συνολικό διάγραμμα επιταχύνσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στο L/4 της δοκού

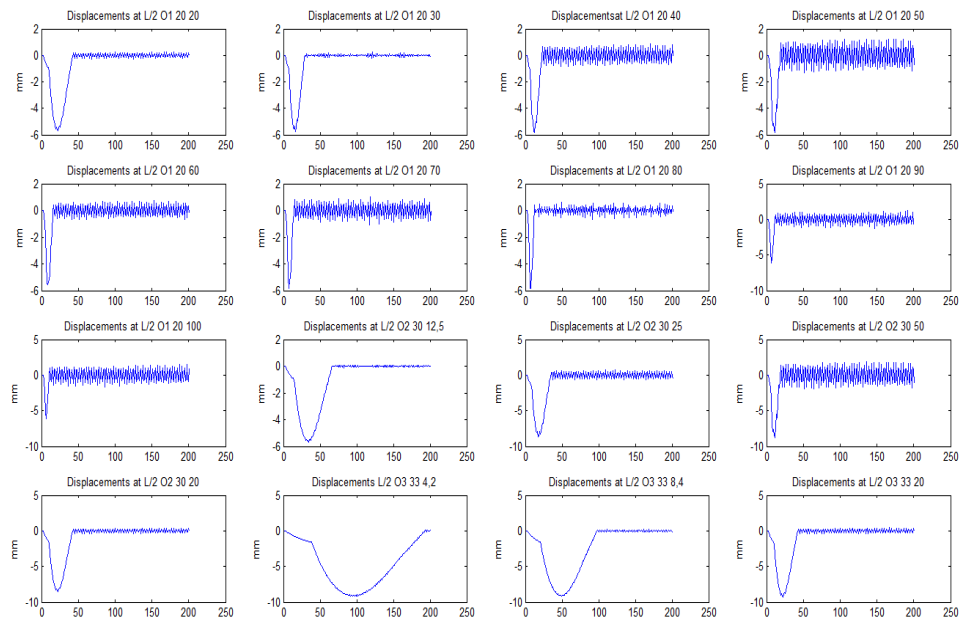


Διάγραμμα 55: Συνολικό διάγραμμα επιταχύνσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στο L/2της δοκού για τη μάζα του TMB

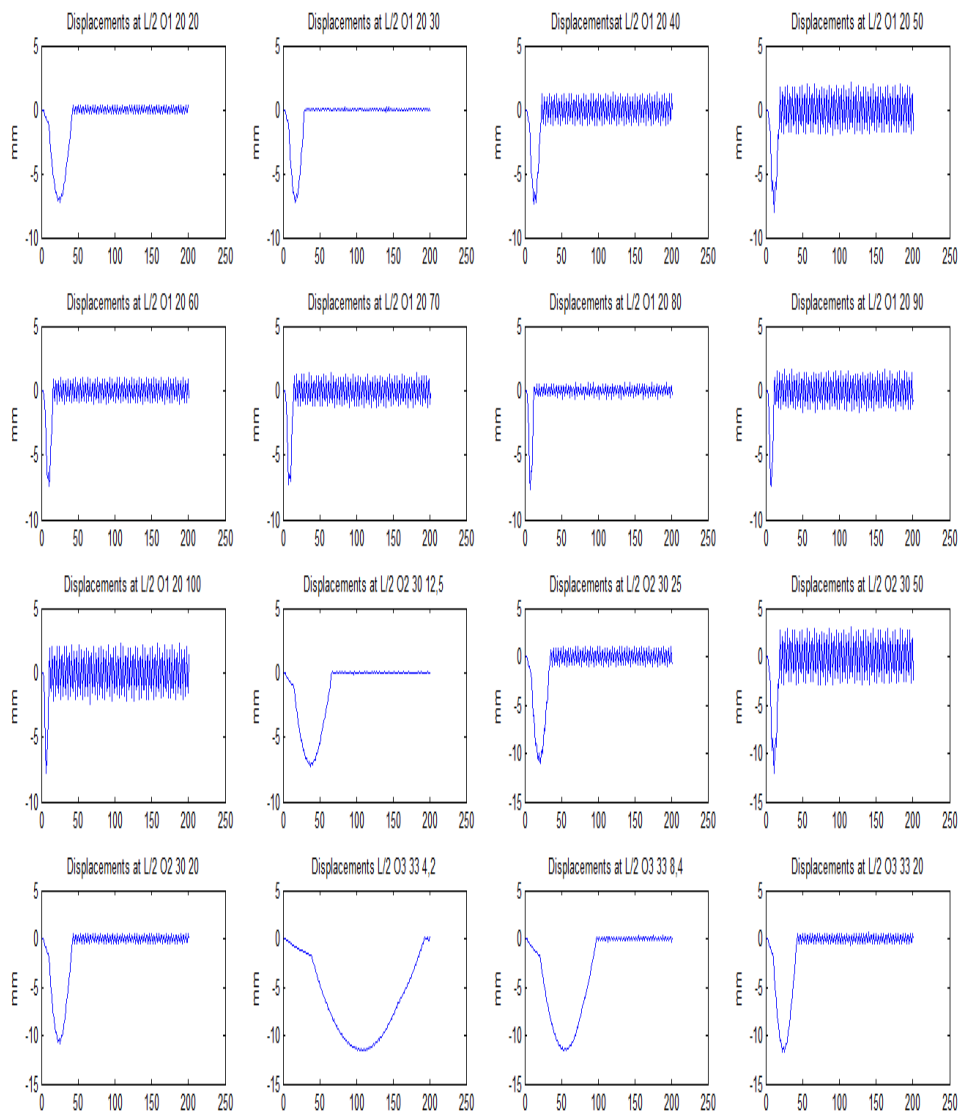
6.3.6 Μετατοπίσεις κόμβων



Διάγραμμα 56: Συνολικό διάγραμμα μετατοπίσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στο μέσο της δοκού



Διάγραμμα 57: Συνολικό διάγραμμα μετατοπίσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στα L/4 της δοκού



Διάγραμμα 58: Συνολικό διάγραμμα μετατοπίσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στα L/2 της δοκού στο σύστημα απόσβεσης

6.4 Φορέα αμφιέρειστος με σύστημα απόσβεσης στα L/4 του φορέα

6.4.1 Βέλος Κάμψης

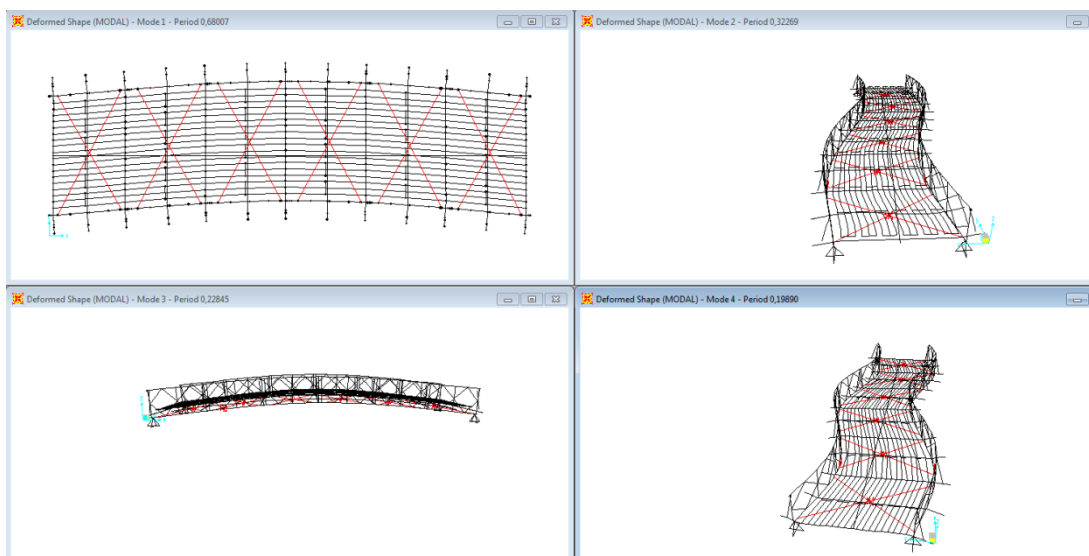
Στη περίπτωση αυτή το βέλος κάμψης ισούται με αυτό του αρχικού φορέα με αμελητέα διαφορά λόγω του προσθετου βάρους.

6.4.2 Ιδιοσυχνότητες

Ιδιομορφή	T(sec)	f(cyc/sec)	ω (rad/sec)
1	0,680066	1,4704	9,2391
2	0,322686	3,099	19,472
3	0,228446	4,3774	27,504
4	0,198898	5,0277	31,59
5	0,189733	5,2706	33,116
6	0,143935	6,9476	43,653
7	0,138477	7,2214	45,374
8	0,135972	7,3545	46,21
9	0,128967	7,7539	48,719
10	0,123041	8,1274	51,066
11	0,120194	8,3199	52,275
12	0,118304	8,4528	53,111

Διάγραμμα 59: Ιδιοχαρακτηριστικά φορέα ενός ανοίγματος με αποσβεστήρα στα L/4

6.4.3 Ιδιομορφές



Εικόνα 23: Οι 1^η-2^η 3^η-και 4^η ιδιομορφές του φορέα

6.4.4 Εντατικά μεγέθη

6.4.4.1 Έλεγχος σε ροπή

Δε παρατηρείται διαφορά από την επίλυση του αμφιέρειστου φορέα.

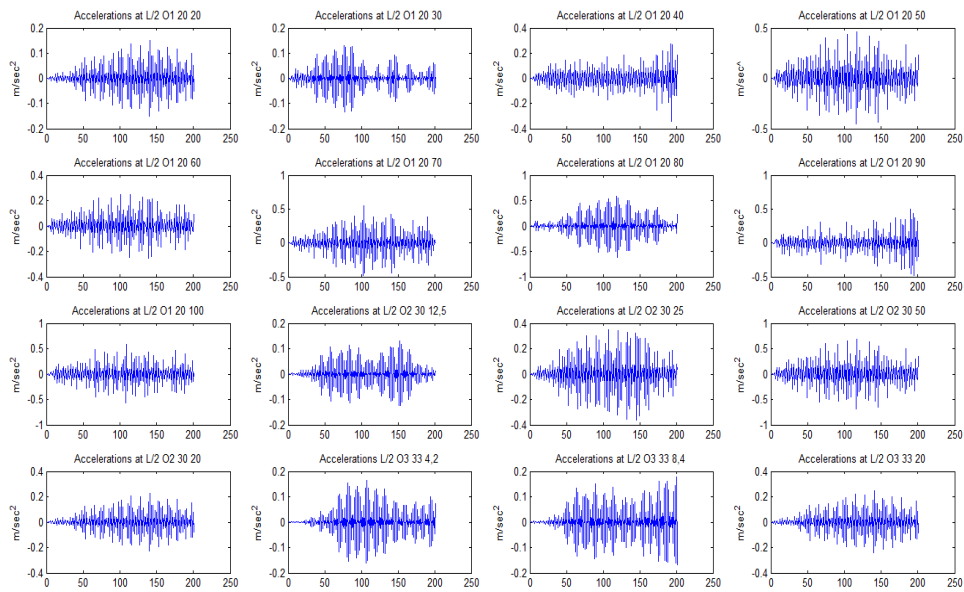
6.4.4.2 Έλεγχος σε διάτμηση

Δε παρατηρείται διαφορά από την επίλυση του αμφιέρειστου φορέα.

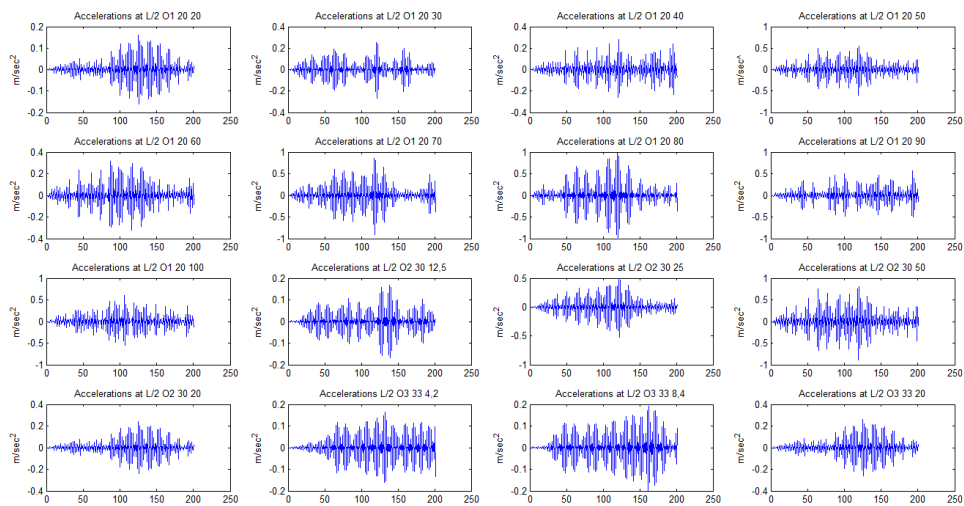
6.4.4.3 Έλεγχος των αξονικών δυνάμεων.

Δε παρατηρείται διαφορά από την επίλυση του αμφιέρειστου φορέα.

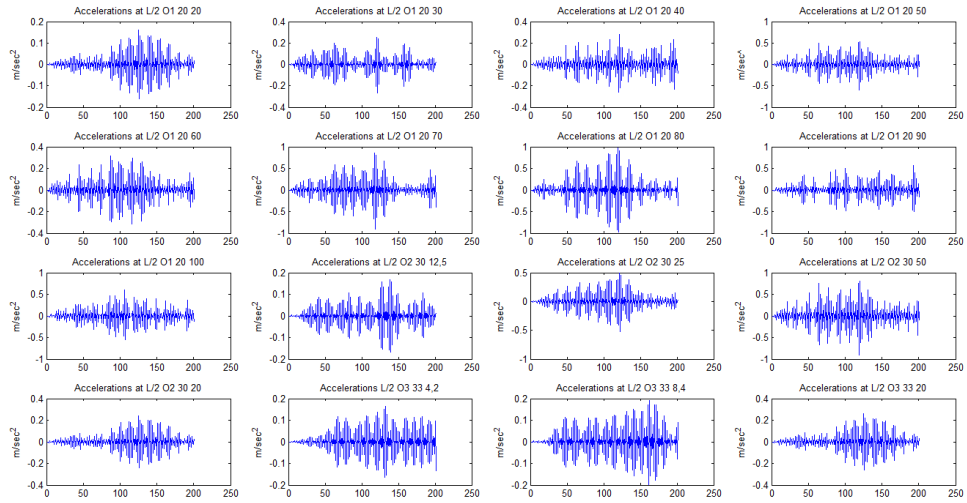
6.4.5 Επιταχύνσεις Κόμβων



Διάγραμμα 60: Συνολικό διάγραμμα επιταχύνσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στο L/2 της δοκού

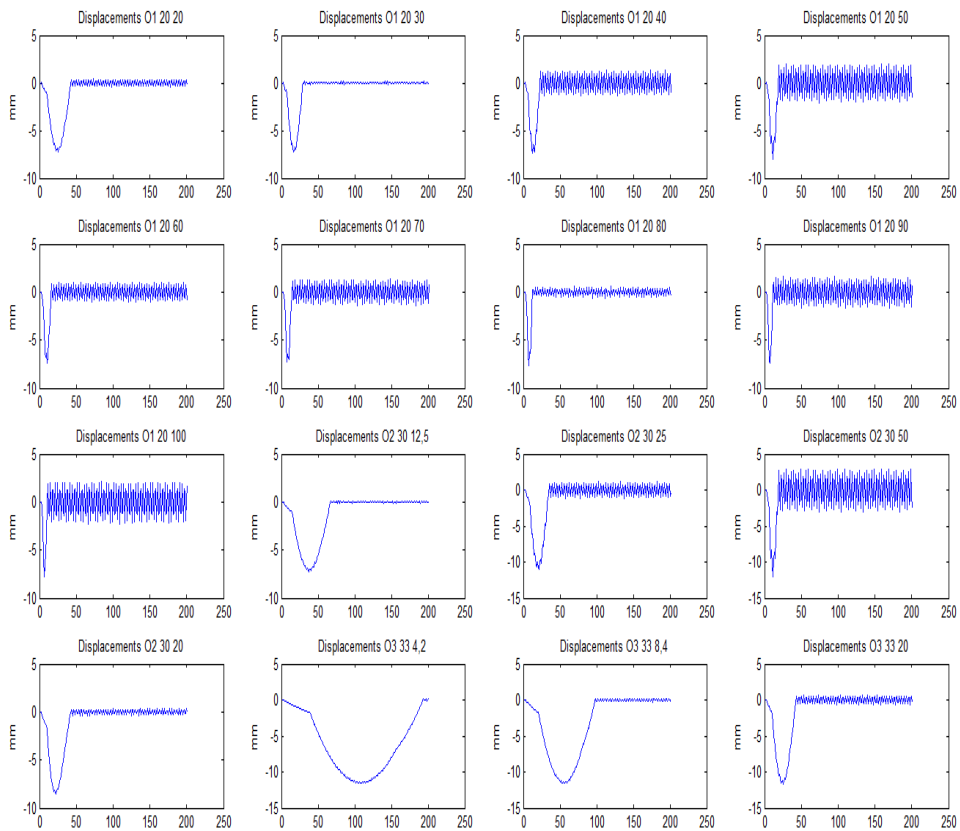


Διάγραμμα 61: Συνολικό διάγραμμα επιταχύνσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στο L/4 της δοκού

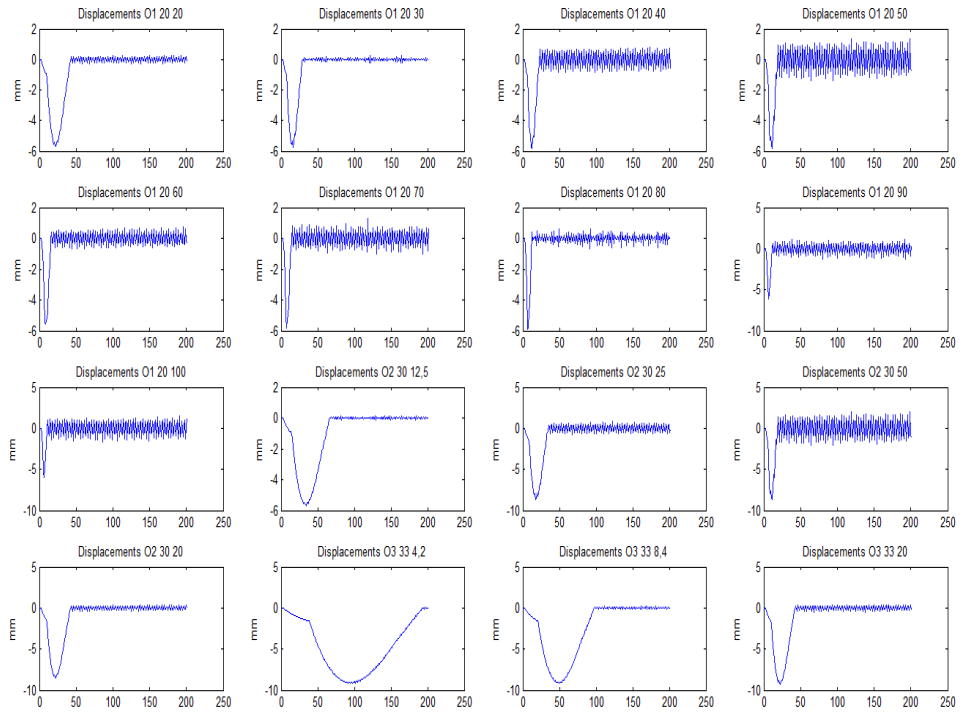


Διάγραμμα 62: Συνολικό διάγραμμα επιταχύνσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στο L/4 της δοκού για τη μάζα του TMB

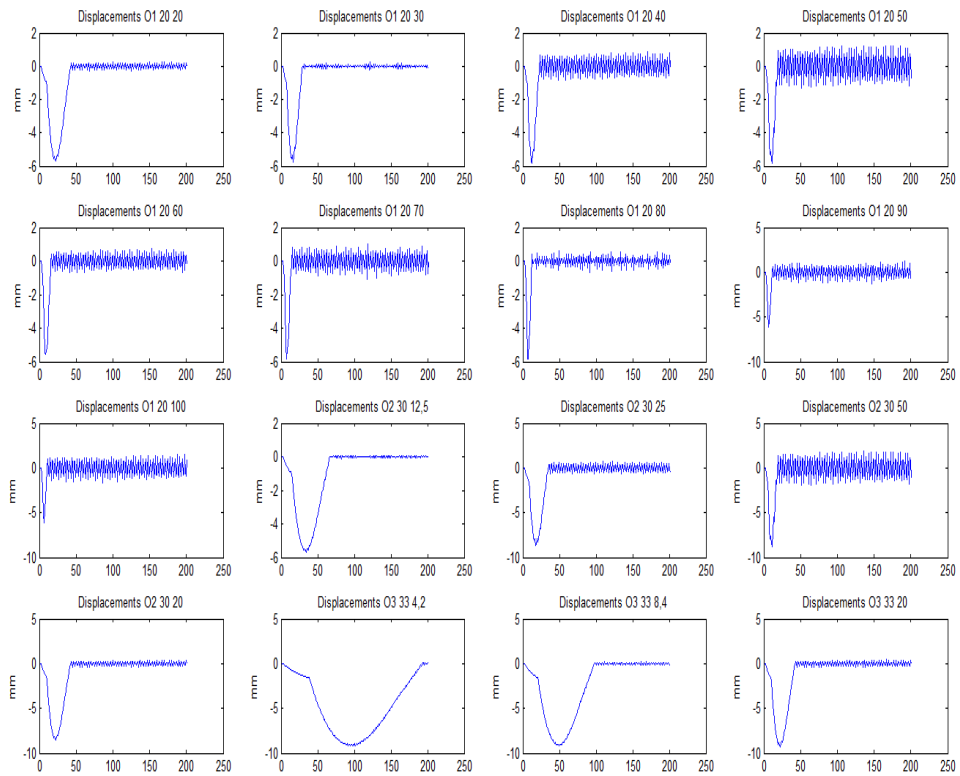
6.4.6 Μετατοπίσεις κόμβων



Διάγραμμα 63: Συνολικό διάγραμμα μετατοπίσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στο μέσο της δοκού



Διάγραμμα 64: Συνολικό διάγραμμα μετατοπίσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στα L/4 της δοκού



Διάγραμμα 65: Συνολικό διάγραμμα μετατοπίσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στα L/4 της δοκού για το TMB

6.5 Φορέα αμφιέρειστος με σύστημα απόσβεσης στα L/2 και L/4 του φορέα

6.5.1 Βέλος Κάμψης

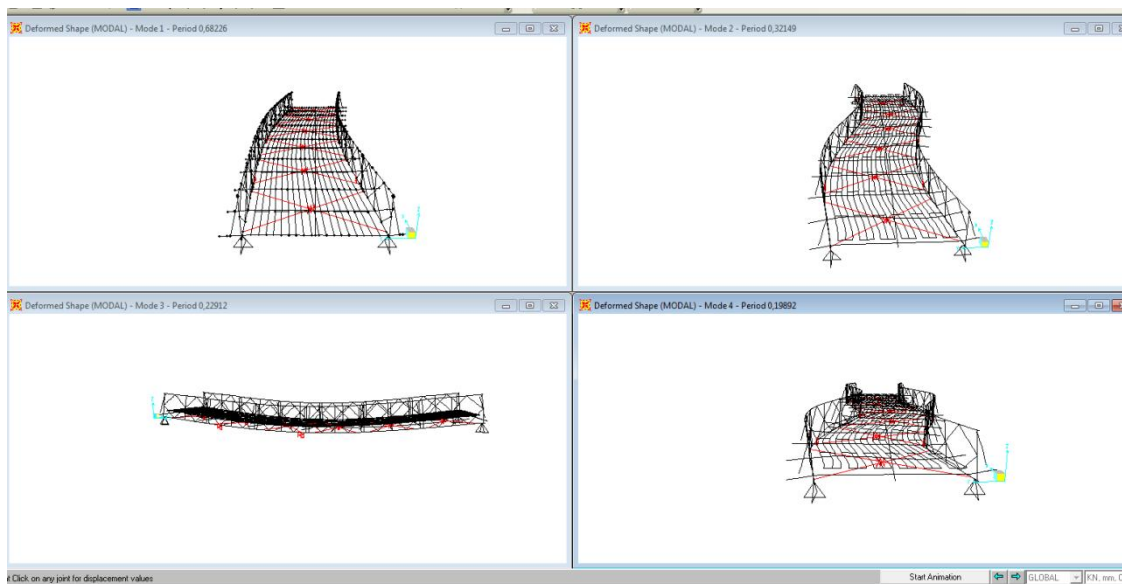
Όμοια με προηγούμενα δεν παρουσιάζει μεταβολή από τον αρχικό φορέα.

6.5.2 Ιδιοσυχνότητες

Ιδιομορφή	T(sec)	f(cyc/sec)	ω (rad/sec)
1	0,682263	1,4657	9,2093
2	0,32149	3,1105	19,544
3	0,22912	4,3645	27,423
4	0,198923	5,0271	31,586
5	0,190711	5,2435	32,946
6	0,143973	6,9458	43,642
7	0,138336	7,2288	45,42
8	0,13593	7,3567	46,224
9	0,128926	7,7564	48,735
10	0,12182	8,2088	51,578
11	0,116629	8,5742	53,873
12	0,115509	8,6573	54,396

Διάγραμμα 66: Ιδιοχαρακτηριστικά φορέα ενός ανοίγματος με αποσβεστήρα στα L/4 και L/2

6.5.3 Ιδιομορφές



Εικόνα 24: Οι 1^η -2^η 3^η-και 4^η ιδιομορφές του φορέα

6.5.4 Εντατικά μεγέθη

6.5.4.1 Έλεγχος σε ροπή

Δε παρατηρείται διαφορά από την επίλυση του αμφιέρειστου φορέα.

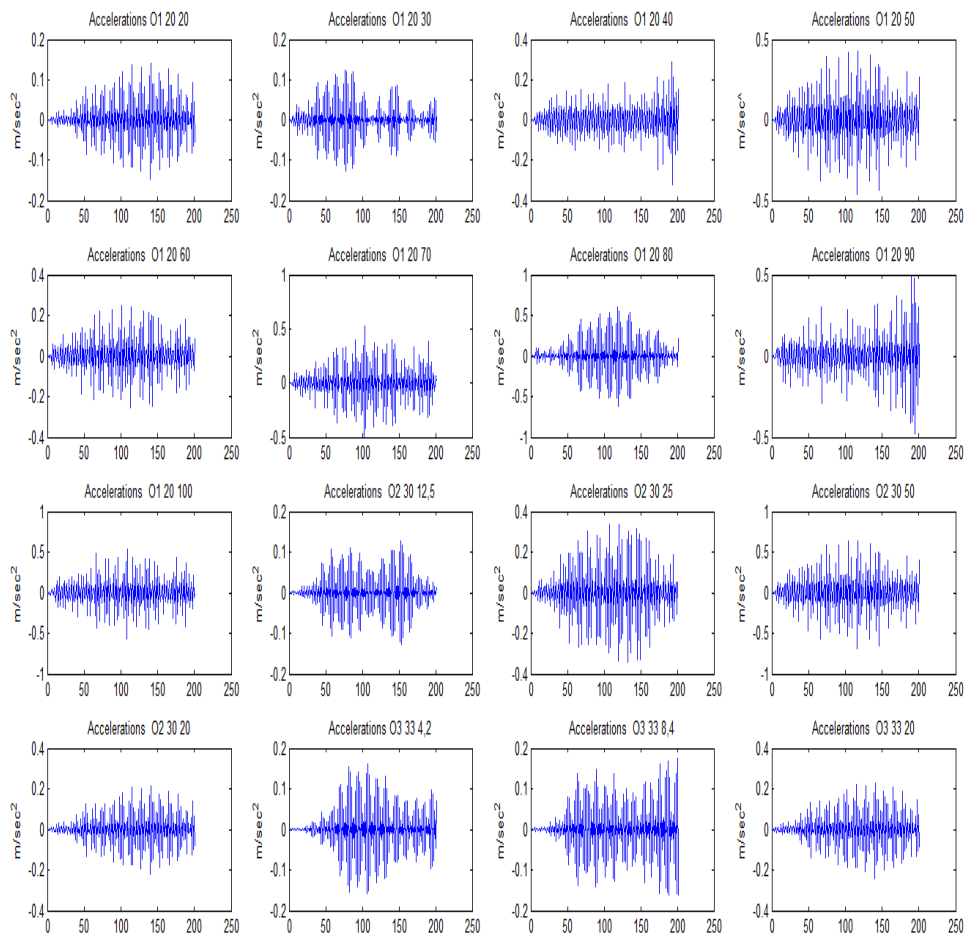
6.5.4.2 Έλεγχος σε διάτμηση

Δε παρατηρείται διαφορά από την επίλυση του αμφιέρειστου φορέα.

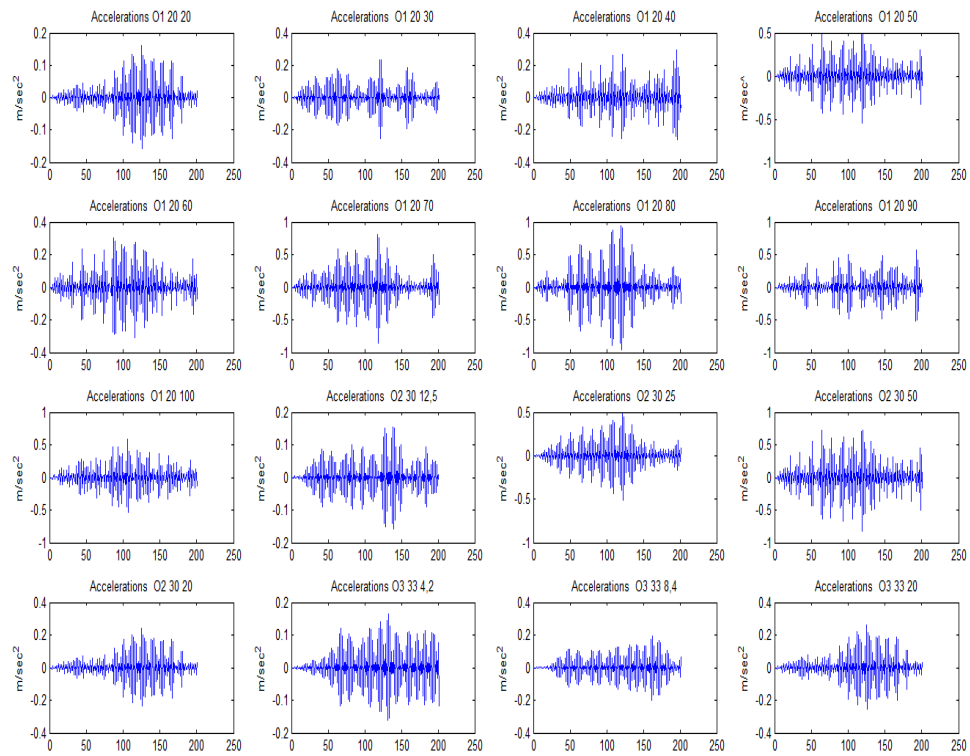
6.5.4.3 Έλεγχος των αξονικών δυνάμεων.

Δε παρατηρείται διαφορά από την επίλυση του αμφιέρειστου φορέα.

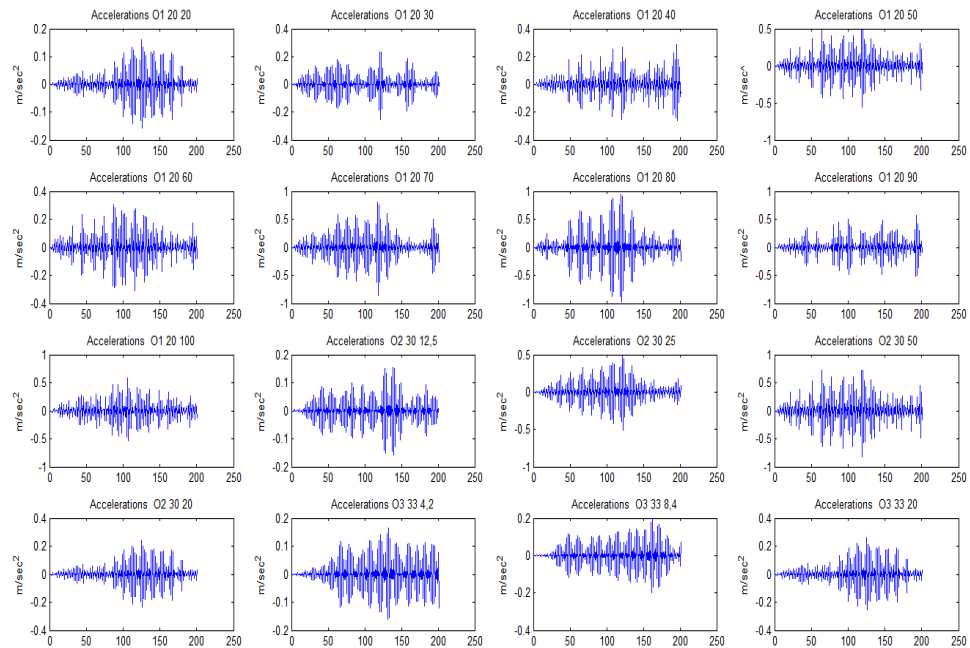
6.5.5 Επιταχύνσεις Κόμβων



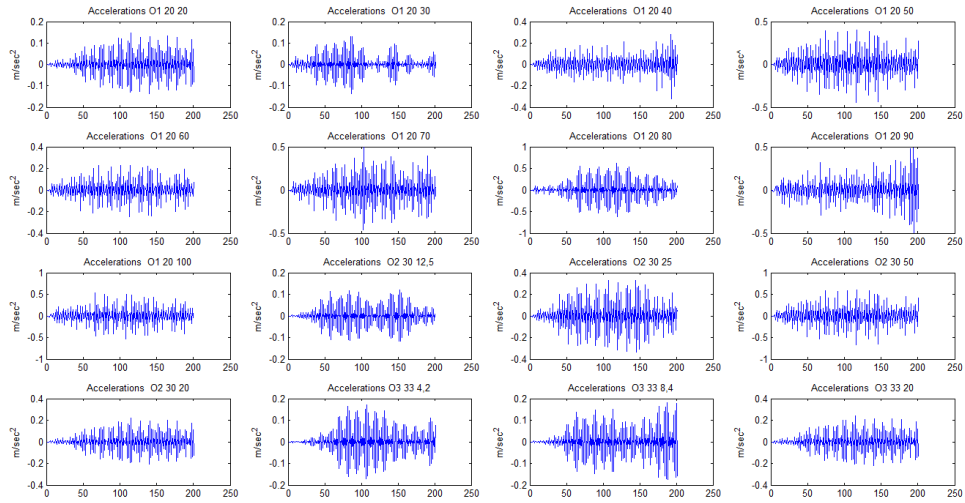
Διάγραμμα 67: Συνολικό διάγραμμα επιταχύνσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στο L/2 της δοκού



Διάγραμμα 68: Συνολικό διάγραμμα επιταχύνσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στο L/4 της δοκού

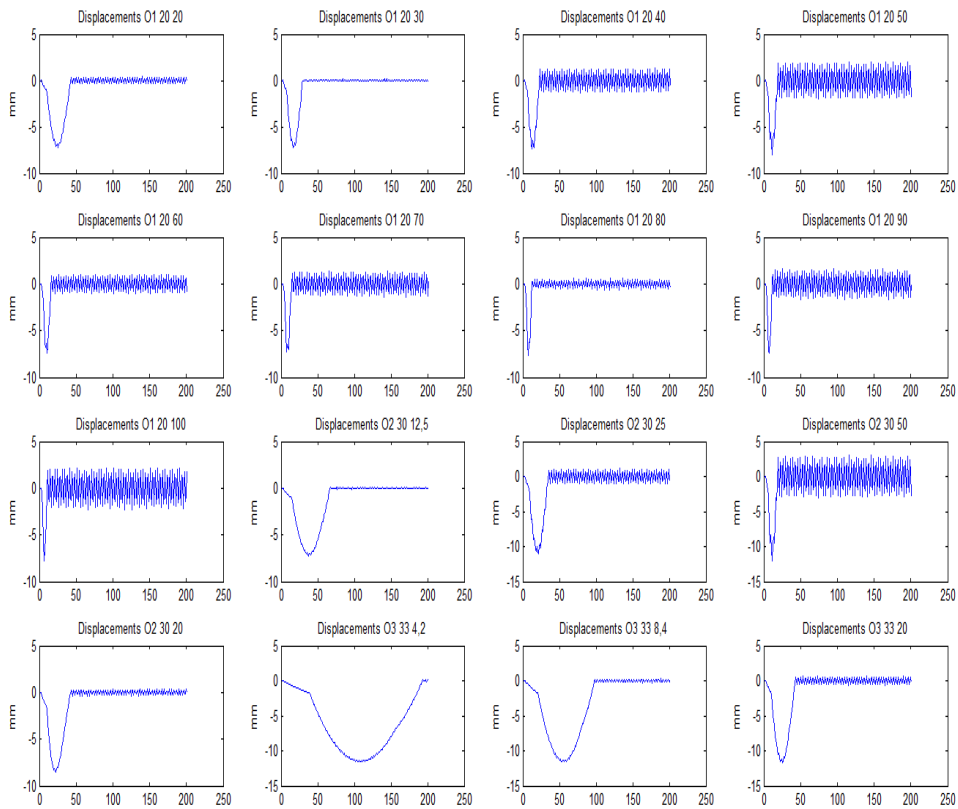


Διάγραμμα 69: Συνολικό διάγραμμα επιταχύνσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στο L/4 της δοκού για τη μάζα του TMB

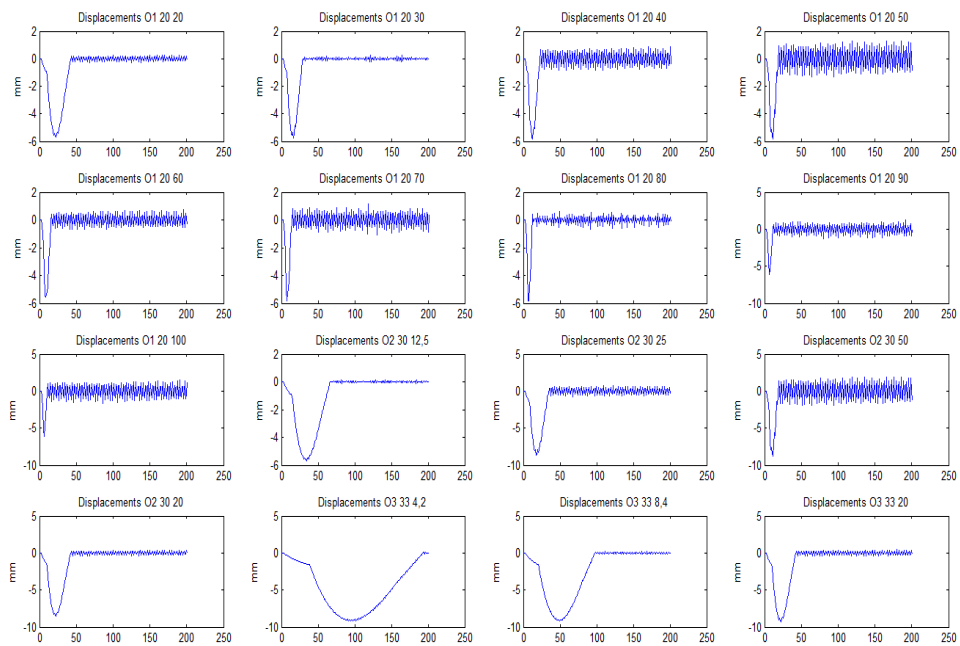


Διάγραμμα 70: Συνολικό διάγραμμα επιταχύνσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στο $L/2$ της δοκού για τη μάζα του TMB

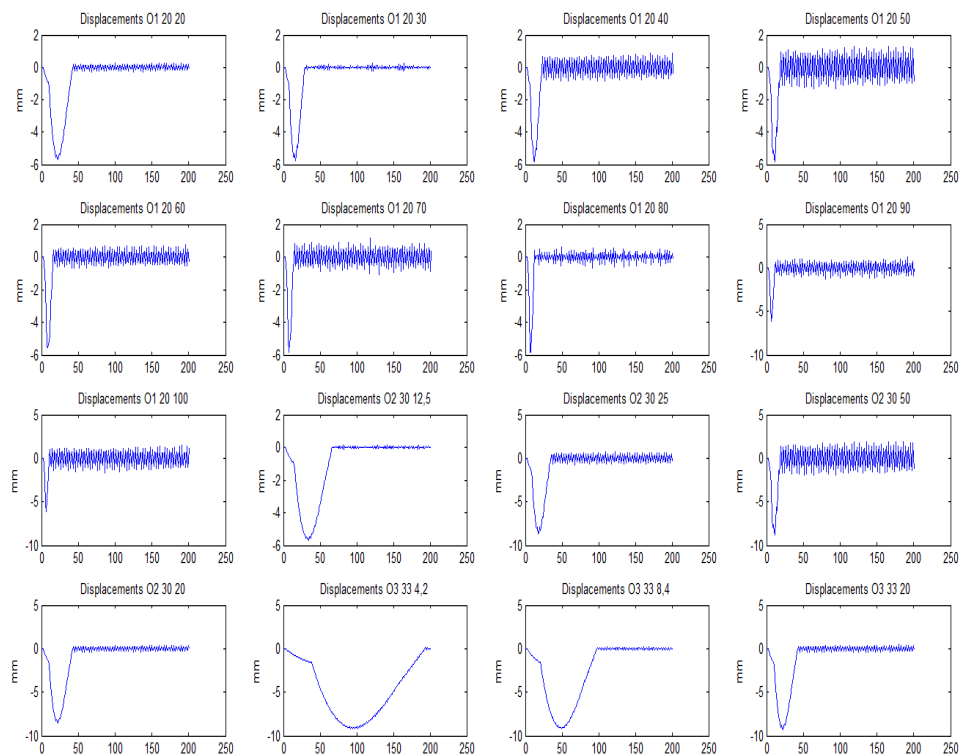
6.5.6 Μετατοπίσεις κόμβων



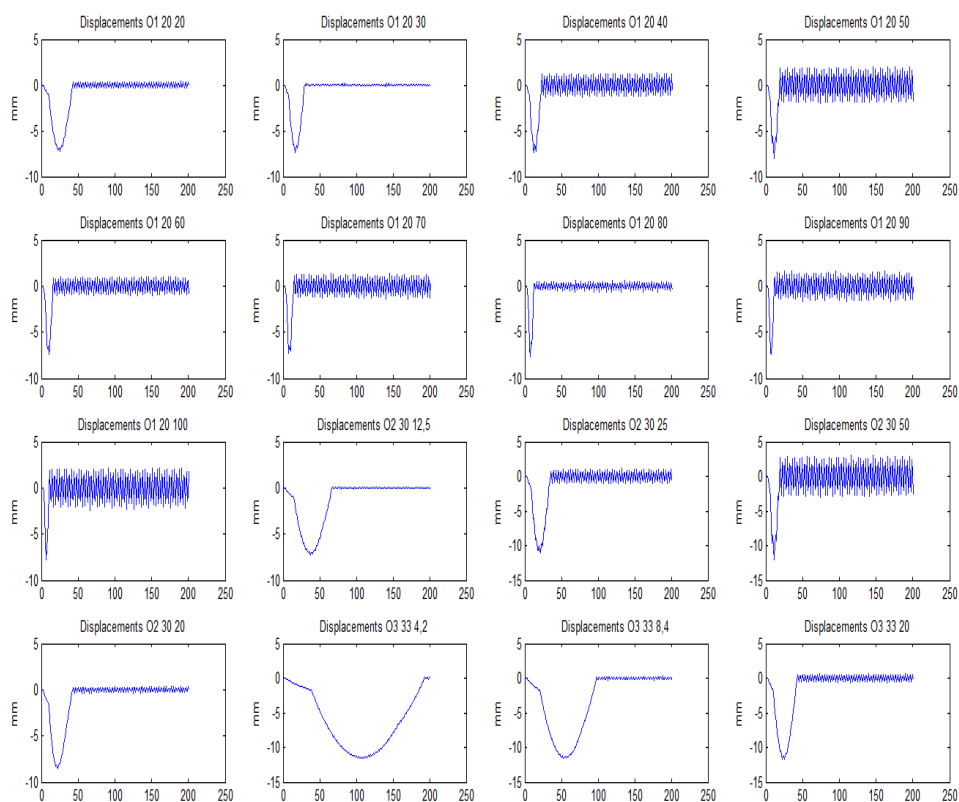
Διάγραμμα 71: Συνολικό διάγραμμα μετατοπίσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στο μέσο της δοκού



Διάγραμμα 72: Συνολικό διάγραμμα μετατοπίσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στα L/4 της δοκού



Διάγραμμα 73: Συνολικό διάγραμμα μετατοπίσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στα L/4 της δοκού για το TMB



Διάγραμμα 74: Συνολικό διάγραμμα μετατοπίσεων στον άξονα Z για όλες τις δυναμικές φορτίσεις στα $L/2$ της δοκού για το TMB

6.6 Παραδοχές Επιλύσεων

Η κίσηση των φορέων γίνεται επί του άξονα του φορέα χωρίς αλλαγή στη διεύθυνση κίνησης.

Δε λαμβάνεται υπόψη η τραχύτητα του καταστρώματος του φορέα, το οποίο αποτελείται από ξύλινες δίπλακες, γεγονός το οποίο αυξάνει τη δυναμική απόκριση του.

7 Αξιολόγηση των Αποτελεσμάτων

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις πραγματικές μετρήσεις όσο και τα αποτελέσματα της ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία.

7.1 Βέλη Κάμψης

Το βέλος κάμψης το οποίο μετρήθηκε στον εγακτεστημένο φορέα βρέθηκε ίσο με 27 mm. Από τη θεωρία της ομοιόμορφα φορτισμένης δοκού υπολογίστηκε στη παράγραφο [4.2.1](#) ίσο με 9 ή 10 mm. Το αντίστοιχο βέλος κάμψης από την ανάλυση των πεπερασμένων στοιχείων είναι 7,5 mm διαφορά 16,6%. Ωστόσο δεν λαμβάνεται υπόψη η ανοχή των οπών σύνδεσης και η επίδραση των τεμνουσών. Συνυπολογιζόμενα και αυτά το βέλος κυμαίνεται από 23 έως 24 mm.

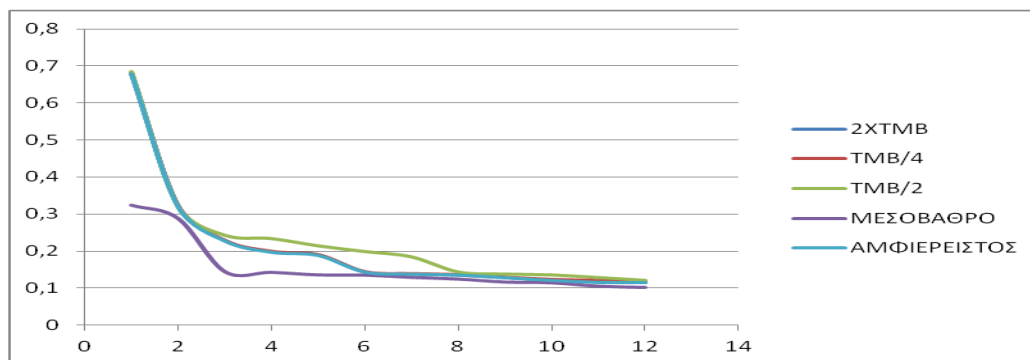
7.2 Εντατικά μεγέθη

Διαπιστώθηκε ότι ο φορέας παρουσιάζει αστοχία σε διαδοκίδες σε σπάνιες φορτίσεις ενώ αστοχία στις διαδοκίδες στην είσοδο και την έξοδο του φορέα δεν λαμβάνεται υπόψη καθώς στο φορέα δεν προσομοιώθηκε η δεύτερη διαδοκίδα που χρησιμοποιείται σε ζεύγος για την έδραση του. Με τις φορτίσεις όπως αυτές πραγματοποιήθηκαν δε παρουσιάζεται αστοχία παρόλα αυτά τα μέλη του φορέα με τις κυκλικές φορτίσεις υφίστανται κόπωση η οποία δεν ελέγχθηκε για κάθε ένα μέλος ξεχωριστά.

7.3 Ιδιοπερίοδοι και ιδιομορφές

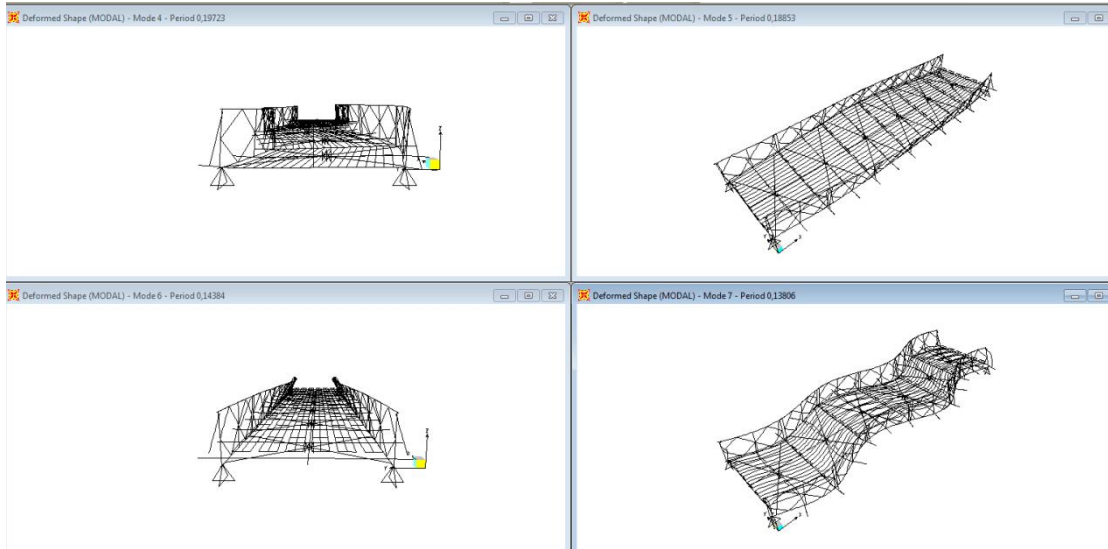
Ο φορέας όπως διαπιστώθηκε παρουσιάζει σε κύριαρχη μορφή τις πλάγιες μορφές ταλάντωσης εκτός από τη τρίτη σε κάθε μια των περιπτώσεων (εκτός του φορέα δύο ανοιγμάτων) η οποία είναι καμπτική.

Η λογική της εργασίας είναι να διαπιστωθεί πως οι διάφοροι τρόποι μείωσης των δυναμικών φαινομένων μπορεί να επιδράσει στις ιδιοπεριόδους και στις μετακινήσεις των κόμβων του μέσου. Για το λόγο αυτό η επέμβαση στο φορέα έγινε επί των δύο σύνθετων δικτυωτών δοκών και με τέτοιο τρόπο ώστε να ενεργούν επί της κατακόρυφης καμπτικής ταλάντωσης του.



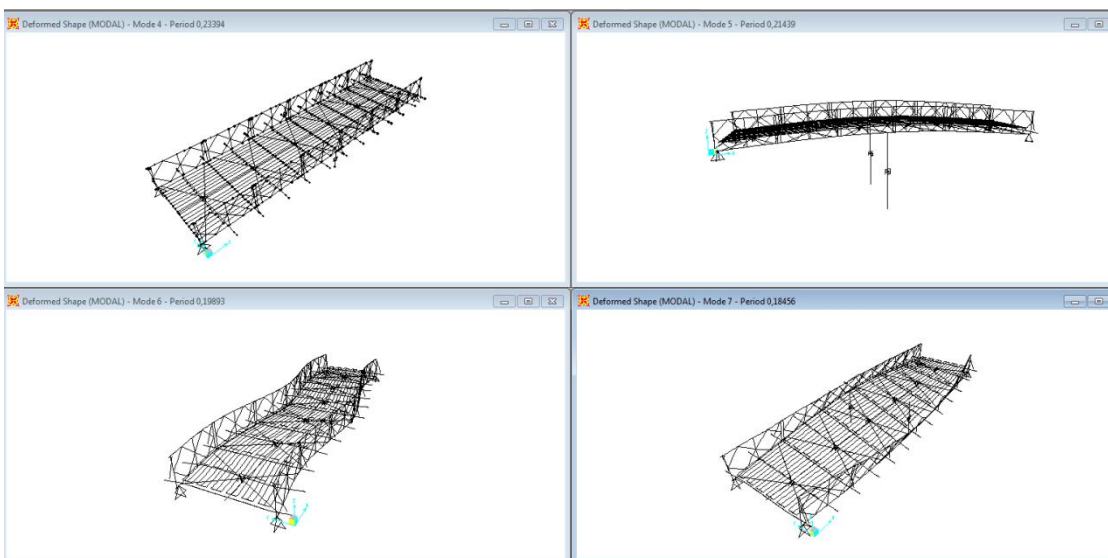
Διάγραμμα 75: Σύγκριση των ιδιοπεριόδων κατακόρυφης καμπτικής ταλάντωσης

Στο διάγραμμα 75 απλά παρατίθενται ότι η ιδιοπερίοδος του φορέα με το μεσόβαθρο καθώς δεν έχουν συγκριτικό αποτέλεσμα με τις άλλες μορφές των φορέων. Από το διάγραμμα είναι προφανές ότι η διάταξη η οποία έχει αποτέλεσμα στην μεταβολή των ιδιοχαρακτηριστικών είναι το σύστημα του αποσβεστήρα μάζας τοποθετημένο στο μέσο της δοκού. Επίσης διαπιστώνεται ότι επηρεάζονται οι ιδιομορφές από την 3 έως την 7.



Εικόνα 25: Ιδιομορφές 4,5,6,7 του αμφιέριστου φορέα

Παρατηρείται από τις ιδιομορφές ότι παρά το γεγονός ότι φαίνονται να είναι πλάγιες παρουσιάζουν και στρέψη στο μέσο η οποία αποσβένει με τη χρήση του αποσβεστήρα.

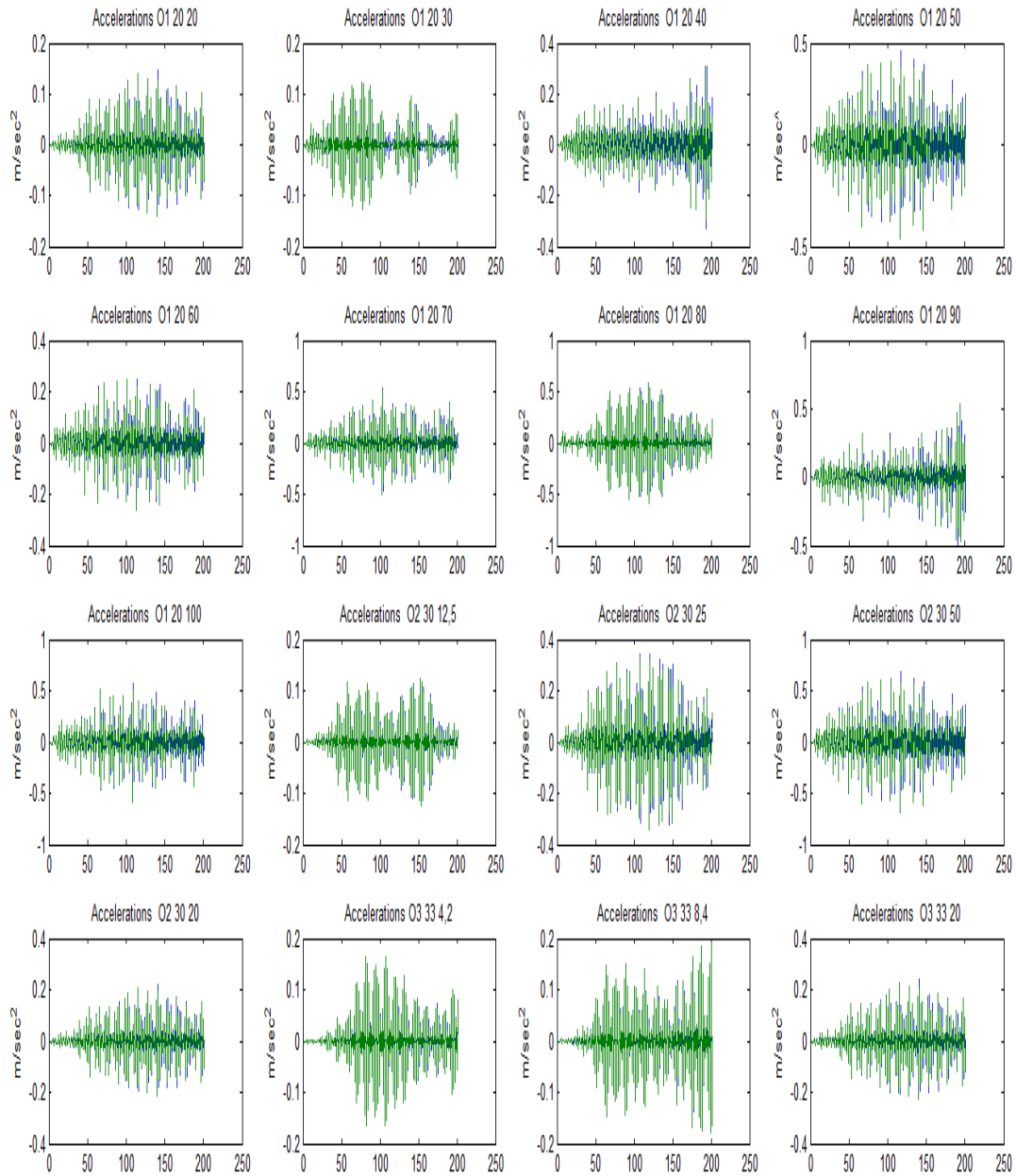


Εικόνα 26: Ιδιομορφές 4,5,6,7 με τη χρήση αποσβεστήρα στο μέσο

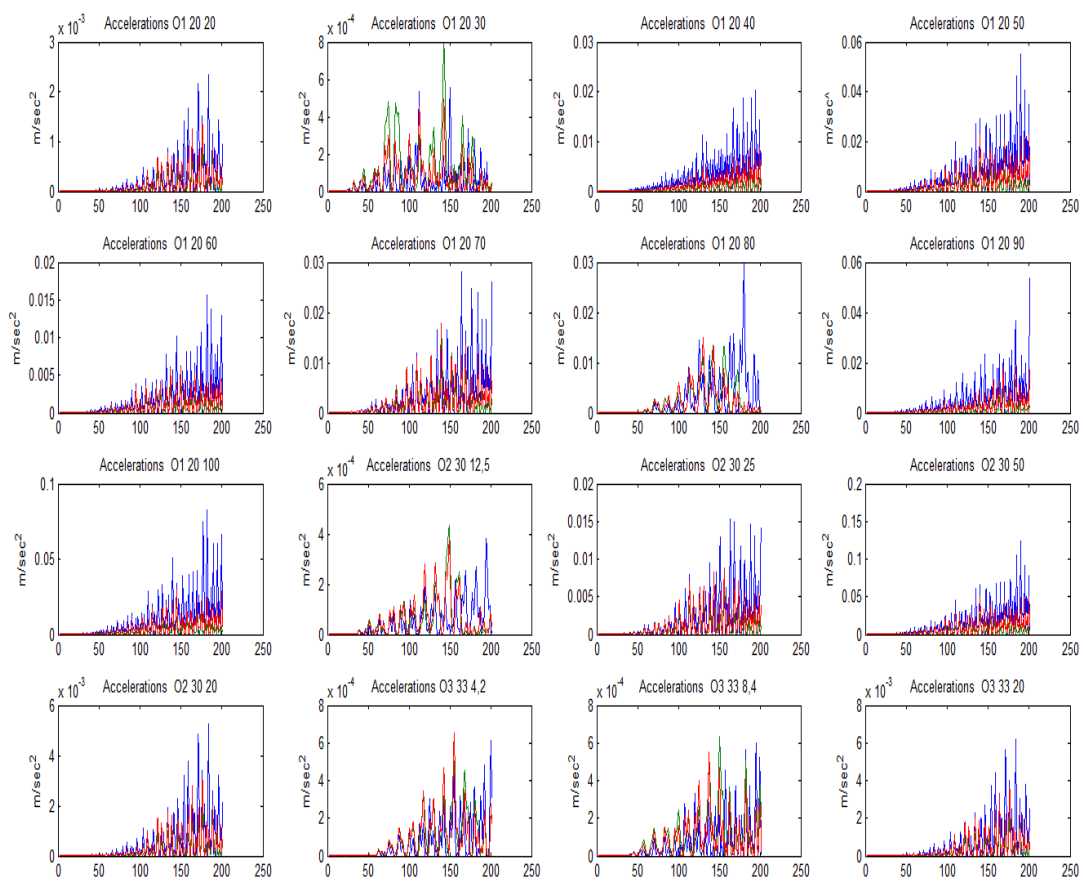
Είναι προφανής η μεταβολή των ιδιομορφών και ταυτόχρονα η 5^η ιδιομορφή μεταβάλλεται σε κατακόρυφη καμπτική.

7.4 Επιταχύνσεις κόμβων

Οι επιταχύνσεις των κόμβων του μέσου παρουσιάζονται στο παρακάτω συγκριτικό διάγραμμα μεταξύ των φορτίσεων του αμφιέριστου φορέα και του φορέα με τον αποσβεστήρα στο μέσο της δοκού.



Διάγραμμα 76: Συγκριτικό διάγραμμα κατακόρυφων επιταχύνσεων για το μέσο του φορέα (Αμφιέριστος-TMB/L2)

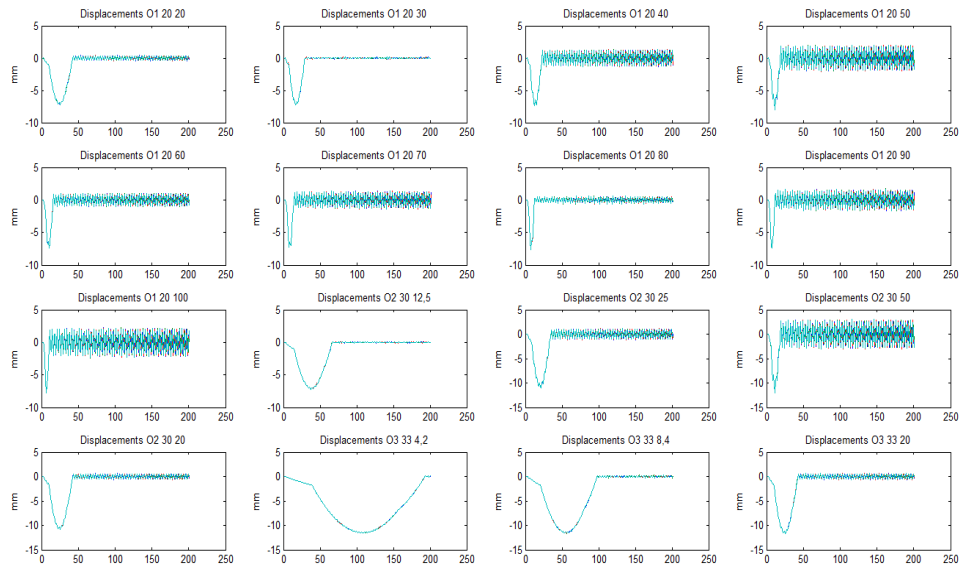


Διάγραμμα 77: Συγκριτικό διάγραμμα τετραγώνων των διαφορών

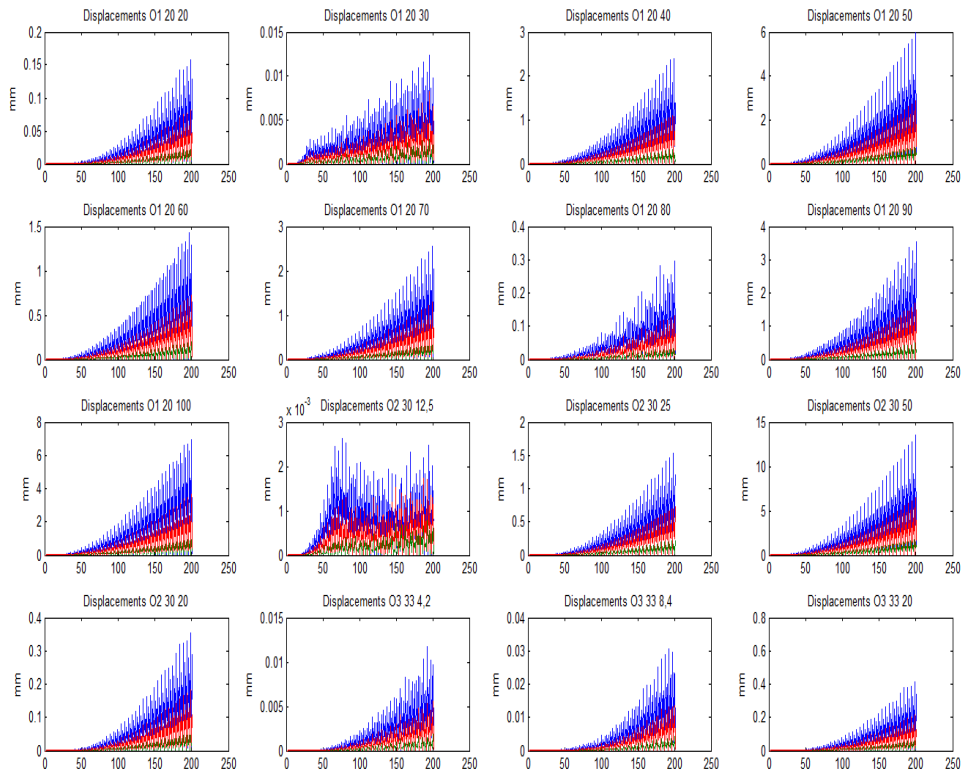
Παρατηρείται από το διάγραμμα των διαφορών των τετραγώνων των επιταχύνσεων των τριών φορέων με τον αρχικό αμφιέριστο ότι η τοποθέτηση του αποσβεστήρα στο μέσο είναι αποδοτικότερη καθώς σε κάθε χρονική στιγμή των φορτίσεων είναι μικρότερη από τις άλλες δύο περιπτώσεις με τους αποσβεστήρες στα $L/4$ και συνδυασμού στα $L/4$ και $L/2$.

7.5 Μετακινήσεις Κόμβων

Εδώ παρουσιάζεται η μετατόπιση του μέσου του φορέα ανάλογα με τις φορτίσεις και τη σύγκρισή τους με τον αρχικό φορέα.



Διάγραμμα 78: Συγκριτικό διάγραμμα κατακόρυφων μετακινήσεων για το μέσο του φορέα για όλες τις φορτίσεις

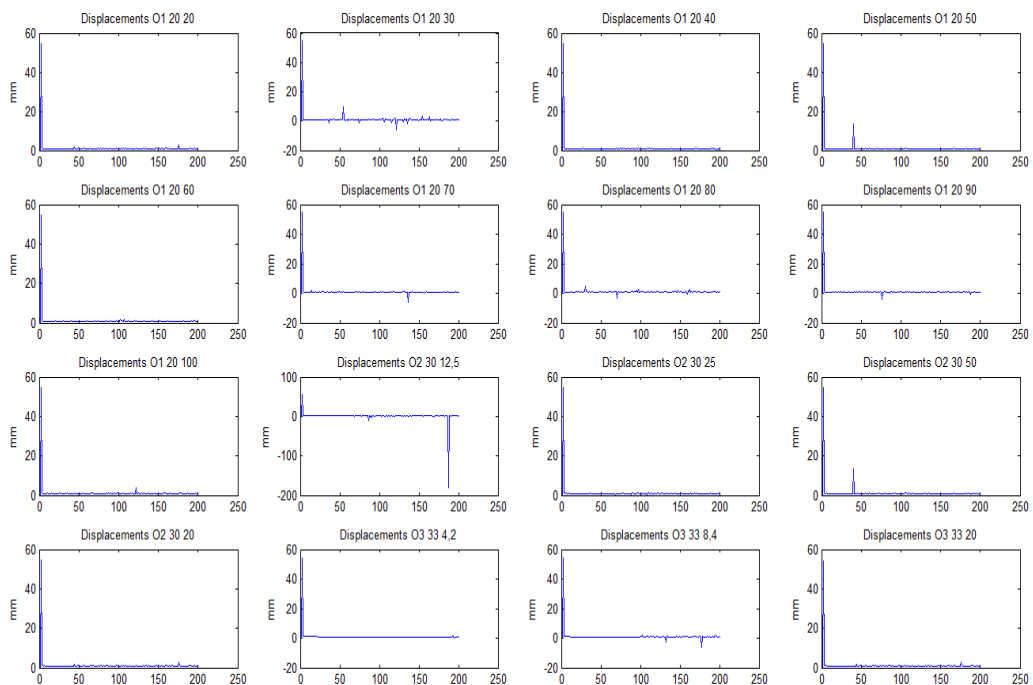


Διάγραμμα 79: Συγκριτικό διάγραμμα τετραγώνων των διαφορών

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται το τετράγωνο της διαφοράς των μετατοπίσεων του μεσαίου κόμβου του φορέα στην αρχική του κατάσταση από αυτή η

οποία προκύπτει στη συνέχεια με τη τοποθέτηση των συστημάτων απόσβεσης. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι η τοποθέτηση του συστήματος απόσβεσης μάζας είναι αποδοτικότερο σε κάθε μια των περιπτώσεων όταν τοποθετείται στα $L/2$ με τα ανάλογα χαρακτηριστικά του που απαιτούνται από το σχεδιασμό. Ο συνδυασμός των αποσβεστήρων στο μέσο και στα $L/4$ θα μπορούσε να είναι αποδοτικότερος αλλά κατά το σχεδιασμό προτιμήθηκε να αποδοθούν χαρακτηριστικά του μέσου όρου του αθροίσματος των απαιτήσεων στις δύο αυτές θέσεις. Απο πλευράς απόδοσης βρίσκεται μεταξύ του του συστήματος στη θέση $L/2$ και και του συνδυασμού στις θέσεις $L/2$ και $L/4$.

Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων 78 και 79 παρατηρείται ότι μεγαλύτερες μειώσεις των μετακινήσεων παρουσιάζονται στις φορτίσεις με την μεγαλύτερη απόκριση στο τμήμα της ελεύθερης ταλάντωσης. Ένα παράδοξο εντοπίζεται στην απόκριση του φορέα στη περίπτωση φόρτισης O1_20_80 που ενώ αναμένεται στη διάρκεια της ελεύθερης ταλάντωσης μεγάλη διακύμανση αυτή ταυτίζεται με διακύμανση χαμηλής ταχύτητας κινούμενου οχήματος. Η μεγαλύτερη απόσβεση παρατηρείται στην φόρτιση για όχημα κλάσης 30 με ταχύτητα 50 χιλιομέτρων.



Διάγραμμα 80: Διάγραμμα σχετικών μετακινήσεων κόμβου μέσου και κόμβου αποσβεστήρα

Παρατηρούμε ότι η σχετική μετακίνηση του κόμβου του αποσβεστήρα και του κόμβου του μέσου του φορέα είναι σχεδόν ένα προς ένα με διάφορες διακυμάνσεις. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με το λόγο των μετακινήσεων ο οποίος υπολογίστηκε σε 4,2. Η διαφορά αυτή μπορεί να οφείλεται είτε στο γεγονός ότι η μάζα του αποσβεστήρα είναι σχετικά μικρή είτε το ελαστικό ελατήριο του συστήματος είναι πολύ δύσκαμπτο και δεν ενεργοποιείται η ταλάντουμενη μάζα. Χαρακτηριστική πάντως είναι η ενεργοποίηση του αποσβεστήρα στις περιπτώσεις φορτίσεων οι οποίες παρουσιάζουν σχετικά μικρές διακυμάνσεις στον αμφιέρεστο φορέα. Προκειται για ένα γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το πρόβλημα εντοπίζεται στο σχεδιασμό του αποσβεστήρα και στα χαρακτηριστικά που του αποδόθηκαν.

7.6 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας διαπιστώνεται ότι η αντιμετώπιση των δυναμικών φαινομένων και τον επιδράσεων στο φορέα της γέφυρας Bailey είναι εφικτή με τον κατάλληλο σχεδιασμό των συστημάτων απόσβεσης.

Στη παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια να μειωθεί η επίδραση των κατακόρυφων δυναμικών φαινομένων ενώ από τις επιλύσεις του φορέα προέκυψαν και κυριάρχες πλάγιες ιδιομορφές οι οποίες χρήζουν αντιμετώπισης. Η κίνηση των οχημάτων ορίστηκε στο λογισμικό να γίνεται σταθερά επί του άξονα του φορέα. Οποιαδήποτε μεταβολή στη διεύθυνση κίνησης, η πρόσκρουση επί των επιζυγίδων, ο άνεμος σε σχετικά μεγάλου ανοίγματος φορείς είναι δυνατό να ενεργοποιήσει και αυτές τις ιδιομορφές.

Μέσα από τις πειραματικές μετρήσεις, την πιστοποίηση της αξιοπιστίας τους και ταυτόχρονα την ανάπτυξη του μοντέλου των πεπερασμένων ραβδωτών στοιχείων, με επαλήθευση των πειραματικών αποτελεσμάτων, υπάρχει πλέον η δυνατότητα να πραγματοποιηθεί πλήθος φορτίσεων σε διαφορετικού τύπου φορείς ποικίλων ανοιγμάτων.

Με τις πληροφορίες οι οποίες μπορούν να συλλεχθούν υπάρχει η δυνατότητα να σχεδιαστούν παθητικά συστήματα απόσβεσης τα οποία να προσαρμόζονται εύκολα και απλά επί των φορέων.

Η αποδοτικότερη τοποθέτηση του συστήματος είναι στο μέσο των δοκών του φορέα.

8 Βιβλιογραφία

1. Robberts L.D, *The Bailey:The Amazing, All-Purpose Bridge*
2. *Department of the Army(DOA).(1986),Bailey Bridges FM 5-277,Washington D.C*
3. King W.S,Duan L.,*Experimental Investigations of Bailey Bridges*,J. Bridge.Eng 2003.8:334-339
4. Bates W., (1991) *Historical Structural Steelwork Handbook*, London,BCSA.
5. A302/A302M – 12,(2014), *Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Manganese-Molybdenum and Manganese-Molybdenum-Nickel*
6. Y.Y. Chen et al., *Corrosion resistance and mechanical properties of low-alloy steels under atmospheric conditions*, Corrosion Science 47 (2005) 1001–1021
7. Associated Consulting Engineers L.T.D, *Evaluation of Bailey Bridge at Arduu (Kunar River)*,Lahore, Pakistan, 1990.
8. EN 1993-2:2004,EUROCODE 3,Design of steel structures,Part 2:Steel Bridges
9. Βάγιας Ι. Κ., Σιδηρές Κατασκευές, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 2009
10. Yousaf E.,(2007),*Output only Modal Analysis*, Master Thesis, Karlskrona, Sweden
11. "9 Degrees of Freedom- MPU-9150." *9 Degrees of Freedom*. Sparkfun Electronics, <<https://www.sparkfun.com/products/11486>> (τελευταία προσπέλαση 18/4/14)
12. "Arduino - ArduinoBoardUno." *Arduino - ArduinoBoardUno*. Arduino <<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>> (τελευταία προσπέλαση 18/4/14)
13. <http://playground.arduino.cc/Main/MPU-9150> (τελευταία προσπέλαση 18/4/14)
14. Wilkins N.,(2013),*Hardware connection between Arduino and IMU*,Michigan State University.
15. Calibration Instructions,Calibrating 3-axis accelerometer,Gulf Coast Data Concepts,<<http://www.gcdataconcepts.com/calibration.html>>, (τελευταία προσπέλαση 20/4/14)
16. Μουζακης Χ.Π, Ντερτιμάνης Β.Κ,Πειραματική Αντισεισμική Τεχνολογία,Βοηθητικές Σημειώσεις, ΕΜΠ,Αθήνα 2011.
17. "Time History Analysis With Recorded Accelerograms" <www.slideshare.net/alexpalm/time-history-analysis-with-recorded-accelerograms>, (τελευταία προσπέλαση 6/7/14)
18. Connor J. J.,(2002) , *Introduction to Structural Motion Control-(Chapter 4 page 217-285)*, Pearson Education, Inc, New Jersey(2003)
19. Spyrakos C.C. et al., *Condition assessment and retrofit of a historic steel-truss railway bridge*,
20. A.K. Chopra, *Dynamics of Structures*, Prentice-Hall, New Jersey, 2001.
21. Meo M, Zumpano G, Meng X, Cosser E, Roberts G, Dodson A. *Measurements of dynamic properties of a medium span suspension bridge by using the wavelet transforms*. Mech Syst Signal Process 2006;20(July (5)):1112–33.
22. Maragakis M, Douglas BM. Full-scale field failure tests of railway bridge. ASCE Journal of Bridge Engineering 2001;5:356–62.

9 Κατάλογος Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1:ΜΟΡΦΕΣ ΦΟΡΕΑ BAILEY.....	11
ΕΙΚΟΝΑ 2:ΚΥΡΙΑ ΜΕΡΗ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ BAILEY	12
ΕΙΚΟΝΑ 3:ΠΕΙΡΟΙ ΚΑΙ ΒΛΗΤΡΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ.....	13
ΕΙΚΟΝΑ 4:ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ 10 ΠΟΔΩΝ	13
ΕΙΚΟΝΑ 5:ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΜΕ ΤΟ SAP14 ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ SV	17
ΕΙΚΟΝΑ 6:ΠΕΙΡΟΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....	19
ΕΙΚΟΝΑ 7: ΠΕΙΡΟΣ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ	19
ΕΙΚΟΝΑ 8:ΣΥΝΔΕΤΗΡΑΣ ΔΙΑΔΟΚΙΔΑΣ	19
ΕΙΚΟΝΑ 9:ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΕΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΜΕΣΩ ΟΡΘΟΣΤΑΤΗ ΣΤΗ ΠΛΑΚΑ ΕΔΡΑΣΗΣ.....	21
ΕΙΚΟΝΑ 10:ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΕΔΡΑΣΗΣ ΑΠΛΟΥ ΦΟΡΕΑ 60 ΠΟΔΩΝ	21
ΕΙΚΟΝΑ 11:ΔΙΑΤΑΞΗ 2ΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ.....	37
ΕΙΚΟΝΑ 12: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ 3 ^{ΗΞ}	39
ΕΙΚΟΝΑ 13: ΠΡΟΤΥΠΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΛΗΡΟΥΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ΦΟΡΑ ΑΠΛΟΥ ΑΠΛΟΥ	49
ΕΙΚΟΝΑ 14: ΠΡΟΤΥΠΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΛΗΡΟΥΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ΦΟΡΑ ΑΠΛΟΥ ΑΠΛΟΥ ΣΕ 3D	49
ΕΙΚΟΝΑ 15:ΦΟΡΕΑΣ 6 ΠΛΗΡΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ 18,288 Μ(60 ΠΟΔΩΝ)	50
ΕΙΚΟΝΑ 16:ΤΟ ΣΗΜΑ ΕΞΟΔΟΥ ΣΕ ΜΜ/SEC ² ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΟ SAP2000	50
ΕΙΚΟΝΑ 17: ΟΙ 4 ΠΡΩΤΕΣ ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ	62
ΕΙΚΟΝΑ 18:ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ ΓΕΦΥΡΑΣ ΣΤΗ ΚΟΣΤΑ ΡΙΚΑ ΤΟ 2012	62
ΕΙΚΟΝΑ 19:ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ ΓΕΦΥΡΑΣ ΣΤΗΝ ΙΝΔΙΑ.....	62
ΕΙΚΟΝΑ 20:ΟΙ ΡΟΠΕΣ ΣΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ	63
ΕΙΚΟΝΑ 21:ΟΙ 4 ΠΡΩΤΕΣ ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ.....	66
ΕΙΚΟΝΑ 22: ΟΙ 4 ΠΡΩΤΕΣ ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ	69
ΕΙΚΟΝΑ 23: ΟΙ 1 ^Η -2 ^Η 3 ^Η -ΚΑΙ 4 ^Η ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ.....	74
ΕΙΚΟΝΑ 24: ΟΙ 1 ^Η -2 ^Η 3 ^Η -ΚΑΙ 4 ^Η ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ.....	78
ΕΙΚΟΝΑ 25: ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ 4,5,6,7 ΤΟΥ ΑΜΦΙΕΡΕΙΣΤΟΥ ΦΟΡΕΑ	85
ΕΙΚΟΝΑ 26:ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ 4,5,6,7 ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΠΟΣΒΕΤΗΡΑ ΣΤΟ ΜΕΣΟ.....	85

10 Κατάλογος πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΦΟΡΕΩΝ BAILEY	11
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΜΕΓΕΘΥΝΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΒΕΛΟΥΣ ΛΟΓΩ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΕΚ ΤΕΜΝΟΥΣΩΝ	17
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΟΙ ΤΥΠΟΙ ΧΑΛΥΒΑ ΣΤΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΓΕΦΥΡΑΣ BAILEY	18
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ	29
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ 3 ΠΡΩΤΩΝ ΚΑΜΠΤΙΚΩΝ ΙΔΙΟΜΟΡΦΩΝ	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΙΔΙΟΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΟΡΕΑ	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΙΔΙΟΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΟΡΕΑ ΔΥΟΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ	66

11 Κατάλογος Φωτογραφιών

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 1: ΑΠΛΟΣ ΦΟΡΕΑΣ ΓΕΦΥΡΑΣ BAILEY ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΟ ΡΕΜΑ RIGGOSA ΚΟΝΤΑ ΣΤΗ GAMBETOLLA ΚΑΘΕΛΚΟΥΜΕΝΟΣ ΑΠΟ ΛΟΧΟ ΣΑΚΑΠΑΝΕΩΝ ΤΩΝ ΣΥΜΜΑΧΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ.....	7
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 2: Η ΟΜΑΔΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ BAILEY	8
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 3: ΚΑΘΕΛΚΥΣΗ ΔΙΠΛΟΥ-ΤΡΙΠΛΟΥ ΦΟΡΕΑ ΜΗΚΟΥΣ 180 ΠΟΔΩΝ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟ ΑΙΤΩΛΩΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ ΤΟ 1954, ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΣΥΓΚΡΟΤΗΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ, ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΕΣΤΡΑΜΕΝΗΣ ΠΕΤΡΟΚΤΙΣΤΗΣ ΤΟΞΩΤΗΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΓΕΡΜΑΝΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ.....	8
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 4: Η ΓΕΦΥΡΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΥ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΒΑΘΡΟΥ	9
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 5: Η ΓΕΦΥΡΑ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΜΕΣΟΒΑΘΡΟΥ	9
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 6: ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΑΠΟ ΣΥΝΔΕΣΗ ΔΙΑΔΟΚΙΔΑΣ.....	19
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 7: ΑΥΤΟΣΧΕΔΙΕΣ ΕΠΙΖΥΓΙΔΕΣ ΣΕ ΤΡΙΠΛΟ-ΔΙΠΛΟ ΦΟΡΕΑ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟ ΑΙΤΩΛΩΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ.....	20
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 8: ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ ΜΕ ΕΠΙΖΥΓΙΔΕΣ ΤΗΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ BAILEY	20
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 9: ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΑΝΤΙΑΝΕΜΙΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ	20
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 10: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΟΣ ΦΟΡΕΑΣ ΑΠΛΟΣ-ΑΠΛΟΣ 60 ΠΟΔΩΝ.....	21
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 11: ΩΦΕΛΙΜΟ ΠΛΑΤΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ 3,81 Μ.....	22
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 14: MPU 9150 ΕΜΠΡΟΣΘΙΑ ΟΨΗ	24
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 15: MPU 9150 ΟΠΙΣΘΙΑ ΟΨΗ	24
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 16: ARDUINO UNO R3 ΕΜΠΡΟΣΘΙΑ ΟΨΗ.....	24
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 17: ARDUINO UNO R3 ΟΠΙΣΘΙΑ ΟΨΗ.....	24
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 18: ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ MEMS.....	25
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 19: Η ΠΛΑΚΕΤΑ ARDUINO ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΗ ΣΕ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟ ΚΟΥΤΙ	25
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 20: ΒΑΣΗ ΎΔΡΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	26
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 21: ΣΗΜΕΙΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΎΔΡΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	26
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 22: ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΣΗ ΎΔΡΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	26
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 23: ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΧΩΡΟΒΑΤΗ	26
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 24: ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ(10x10x10 CM).....	27
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 25: ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΥΠΟ ΓΩΝΙΑ	30
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 26: ΒΕΛΟΣ ΚΑΜΨΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΝΗΜΑΤΟΣ	45
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ 27: ΜΕΤΡΗΣΗ ΒΕΛΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥ ΧΩΡΟΒΑΤΗ.....	45

12 Κατάλογος Διαγραμμάτων

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ COM12 ΜΕΤΑΞΥ 1G ΚΑΙ -1G	27
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ COM15 ΜΕΤΑΞΥ 1G ΚΑΙ -1G	28
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3: ΙΔΑΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ -ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ	28
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΟΚΙΜΗΣ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ ΓΙΑ ΤΟ ΠΑΝΩ ΠΕΛΜΑ	30
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5: ΔΕΙΓΜΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΗ ΓΕΦΥΡΑ.....	31
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6: ΣΗΜΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΟ ΑΠΟ ΤΟ COM15.....	31
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7: ΣΗΜΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ COM12	31
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8: ΔΟΚΙΜΗ 1 ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ.....	32
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9: ΔΟΚΙΜΗ 1 ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ	32
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10: ΔΟΚΙΜΗ 1 ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ	33
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ ΑΠΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ 9511 ΕΩΣ 10535	33
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ F, SK ΓΙΑ ΤΗΝ 1 ^Η ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ ΤΟΥ COM12	33
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ ΑΠΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ 20230 ΕΩΣ 21254	34
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ F, SK ΓΙΑ ΤΗ 2 ^Η ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ ΤΟΥ COM12.....	34
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ ΑΠΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ 20230 ΕΩΣ 21254	34
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ F, SK ΓΙΑ ΤΗΝ 3 ^Η ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ ΤΟΥ COM12.....	35
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 17: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ ΤΟΥ COM15 ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ ΤΗΣ 1 ^Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ.....	35
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ F, SK ΓΙΑ ΤΗ 1 ^Η ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ ΤΟΥ COM15.....	35
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 19: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ ΤΟΥ COM15 ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ ΤΗΣ 2 ^Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ.....	36
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 20: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ F, SK ΓΙΑ ΤΗ 2 ^Η ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ ΤΟΥ COM15.....	36
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 21: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ ΤΟΥ COM15 ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ ΤΗΣ 3 ^Η ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ.....	36
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 22: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ F, SK ΓΙΑ ΤΗ 3 ^Η ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ ΤΟΥ COM15.....	36
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 23: ΔΟΚΙΜΗ 2 ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ.....	37
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 24: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ CROSS CORRELATION (F, SK) ΓΙΑ ΤΗ 1 ^Η ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ	38
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 25: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ F, SK ΓΙΑ ΤΗ 2 ^Η ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ ΤΟΥ COM12.....	38
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 26: ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΝ ΣΗΜΑ ΔΟΚΙΜΗΣ 3 ΣΤΟ COM12	39
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 27: ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΝ ΣΗΜΑ ΔΟΚΙΜΗΣ 3 ΣΤΟ COM15	39
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 28: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ F, SK ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ ΤΟΥ COM12	40
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 29: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ F, SK ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ ΤΟΥ COM15.....	40
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 30: ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΝ ΣΗΜΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ 4 ΣΤΟ COM12	41
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 31: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ F, SK ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ ΤΟΥ COM12.....	41
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 32: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ F, SK ΓΙΑ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΑΝΑΛΟΓΗ ΜΕ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ 4 ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ ΤΟΥ COM12.....	41
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 33: INPUT SIGNAL	42
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 34: OUTPUT SIGNAL	42
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 35: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ BODE	42
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 36: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ	43
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 37: ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΔΟΚΩΝ ΛΟΓΩ ΙΔΙΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ.....	46
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 38: ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΔΟΚΩΝ ΛΟΓΩ ΙΔΙΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ.....	46
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 39: ΤΟ ΣΗΜΑ ΕΞΟΔΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ.....	51
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 40: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ F, SK ΓΙΑ ΤΟ ΣΗΜΑ ΠΡΟΣΜΟΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩ ΜΕ ΤΟ SAP 2000	51
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 41: ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΑΖΑ Ι-ΙΔΙΟΜΟΡΦΗΣ	57
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 42: ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΑΖΑ	58
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 43: ΒΕΛΤΙΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ	58
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 44: ΛΟΓΟΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ – ΦΟΡΕΑ	59

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 76: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΣΟ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ (ΑΜΦΙΕΡΕΙΣΤΟΣ-ΤΜΒ/L2)	86
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 77: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ	87
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 78: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΣΟ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ	88
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 79:ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ.....	88
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 80:ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΟΜΒΟΥ ΜΕΣΟΥ ΚΑΙ ΚΟΜΒΟΥ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ.....	89