



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
“ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ”
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Μεταπτυχιακή Εργασία

Διερεύνηση της σεισμικής συμπεριφοράς
κτιρίων από οπτοπλινθοδομή σε περιοχές
με χαμηλή σεισμικότητα

ΜΗΤΣΗ Ν. ΙΩΑΝΝΑ

Επιβλέπων Καθηγητής
Χ. ΜΟΥΖΑΚΗΣ, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, 2014

Ευχαριστίες

Για την εκπόνηση αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον κ. Χ. Μουζάκη, Επίκουρο Καθηγητή Ε.Μ.Π., για την ανάθεση, την ενθάρρυνση και τις πολύτιμες καθοδηγήσεις του καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους γονείς μου και την αδερφή μου, για την πολύτιμη ηθική τους υποστήριξη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία διερευνάται η σεισμική συμπεριφορά μονώροφων και διώροφων κτιρίων από οπτοπλινθοδομή σε περιοχές με χαμηλή σεισμικότητα και υπολογίζονται η συνάρτηση απόκρισης συχνότητας (frf) καθώς και τα ιδιομορφικά χαρακτηριστικά τους (συχνότητα και απόσβεση).

Η παρατήρηση και η εξαγωγή συμπερασμάτων βασίστηκε στα πειραματικά αποτελέσματα που προέκυψαν ύστερα από δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου με στόχο τη διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της ενίσχυσης σε κτίρια από οπτοπλινθοδομή, προκειμένου να αυξηθεί η αντοχή τους κάτω από σεισμικές δράσεις (απαιτήσεις του EC8) χωρίς να αλλάζουν οι τυπικές διαδικασίες της κατασκευής.

Για τον υπολογισμό των ιδιομορφικών χαρακτηριστικών των κατασκευών χρησιμοποιήθηκε το μαθηματικό πρόγραμμα Matlab, τα αποτελέσματα του οποίου παρουσιάζονται αναλυτικά στο δεύτερο και τρίτο κεφάλαιο.

Επίσης έγινε προσομοίωση των κατασκευών με το πρόγραμμα SAP2000 και από την ιδιομορφική ανάλυση εξάγαμε τη θεμελιώδη συχνότητα των κατασκευών.

Τελικός στόχος της εργασίας ήταν η αποτίμηση και η σύγκριση των κατασκευών από οπτοπλινθοδομή, όσον αφορά την αντοχή τους, τη σεισμική συμπεριφορά τους και τον τρόπο αστοχίας, ανάλογα με τη μέθοδο ενίσχυσης που πραγματοποιήσαμε.

Summary

The main topic of the current study is the response of a single and two story structures made of masonry in low seismicity regions, and in addition the frequency response function (frf) and the modal characteristics (frequency and damping) are estimated.

The observation and the inference were based on the experimental results of tests that was carried out on the laboratory of Antiseismic Technology in NTUA, in order to investigate the efficiency of reinforcement and isolation at masonry buildings in order to increase their resistance under seismic actions (requirements of EC8) without changing the typical housing construction processes.

For the calculation of modal characteristics of structures, we used the mathematical program Matlab, the results of which are presented in detail in the second and third chapter.

Moreover we simulated the constructions with logismic SAP2000 and from the modal analysis we extracted the fundamental frequency of the structures.

The last goal of the project was to assess and compare the structures of masonry, with regard to durability, seismic behavior and failure modes, depending on the method of strengthening.

π ε ρ ι ε χ ό μ ε ν α

Περιεχόμενα

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1	ΓΕΝΙΚΑ	1
1.2	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	2
1.3	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ Matlab	5
1.3.1	<i>Υπολογισμός Ιδιομορφών</i>	5
1.3.2	<i>Υπολογισμός λόγου απόσβεσης (ζ)</i>	8
1.3.3	<i>Υπολογισμός γωνιακών παραμορφώσεων</i>	9

2 ΔΙΩΡΟΦΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

2.1	ΔΙΩΡΟΦΗ ΑΟΠΛΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ	10
2.1.1	<i>Γενικά</i>	10
2.1.2	<i>Παρουσίαση Αποτελεσμάτων</i>	12
2.2	ΔΙΩΡΟΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΠΛΕΓΜΑ Armanet	30
2.2.1	<i>Δοκίμιο Α (Με σεισμική μόνωση)</i>	30
2.2.1.1	<i>Παρουσίαση Αποτελεσμάτων</i>	32
2.2.2	<i>Δοκίμιο Β (Χωρίς σεισμική μόνωση)</i>	42
2.2.2.1	<i>Παρουσίαση Αποτελεσμάτων</i>	44

3 ΜΟΝΩΡΟΦΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

3.1	ΜΟΝΩΡΟΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΠΛΕΓΜΑ	58
3.1.1	<i>Γενικά</i>	58
3.1.2	<i>Παρουσίαση Αποτελεσμάτων</i>	59
3.2	ΜΟΝΩΡΟΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΜΕ frp	69
3.2.1	<i>Γενικά</i>	69
3.2.2	<i>Παρουσίαση αποτελεσμάτων</i>	70

4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

4.1	Υλικά	80
4.2	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	82
4.2.1	Διώροφη άοπλη κατασκευή μη ενισχυμένη	82
4.2.2	Μονώροφη ενισχυμένη κατασκευή με προκατασκευασμένο πλέγμα χάλυβα (<i>Murfor by Bekaert, Belgium</i>)	83
4.2.3	Μονώροφη ενισχυμένη κατασκευή με ίνες αραμιδίου (<i>frp</i>)	85
4.2.4	Διώροφη κατασκευή ενισχυμένη με μεταλλικό πλέγμα (<i>Armamet</i>) εξωτερικά της τοιχοποιίας	87

5 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1	Σύγκριση διώροφων κατασκευών με βάση την ενίσχυση	89
5.1.1	Σύγκριση ιδιομορφών	89
5.1.2	Σύγκριση μέγιστων γωνιακών παραμορφώσεων	91
5.2	Σύγκριση διώροφων κατασκευών με βάση την σεισμική μόνωση της βάσης	91
5.3	Σύγκριση μονώροφων κατασκευών με βάση την ενίσχυση	92
5.3.1	Σύγκριση ιδιομορφών	92
5.3.2	Σύγκριση μέγιστων γωνιακών παραμορφώσεων	94
5.4	Σύγκριση μονώροφων – διώροφων κατασκευών από οπτοπλινθοδομή	95

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

96

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η τοιχοποιία αποτελεί ένα από τα πιο βασικά δομικά υλικά στις Βορειοδυτικές χώρες της Ευρώπης. Τα περισσότερα κτίσματα σε χώρες όπως η Γερμανία, η Αυστρία και η Ολλανδία είναι κατασκευασμένα με οπτόπλινθους. Η φέρουσα τοιχοποιία παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, όπως είναι η ανθεκτικότητα σε διάρκεια, η πυροπροστασία, η μεγάλη θερμοχωρητικότητα, η ταχύτητα στην κατασκευή, η ηχομόνωση.

Παρόλα τα πλεονεκτήματα όμως, οι κατασκευές από άοπλη τοιχοποιία παρουσιάζουν ένα σημαντικό μειονέκτημα, τη μειωμένη εφελκυστική αντοχή, το οποίο τις καθιστά τρωτές σε υποβολή σεισμικής διέγερσης. Η ανάγκη ελαχιστοποίησης των επιπτώσεων των σεισμών, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη μεθόδων ενίσχυσης και βελτίωσης των μηχανικών χαρακτηριστικών της άοπλης τοιχοποιίας.

Επιπροσθέτως, λαμβάνοντας υπόψη τις διατάξεις του Ευρωκώδικα EC8 και αρκετούς νέους εθνικούς κώδικες, οι απαιτήσεις σχεδιασμού για κατασκευή από άοπλη τοιχοποιία έχουν γίνει πολύ πιο περιοριστικές από εκείνες που όριζαν οι προηγούμενοι εθνικοί κανονισμοί. Υπό αυτές τις συνθήκες, η χρήση των κοινών κατασκευών τοιχοποιίας, από μονό τοίχωμα και διάτρητο οπτόπλινθο μπορεί να περιοριστεί δραστικά, με σημαντικές επιπτώσεις τόσο για τις εθνικές βιομηχανίες παραγωγής οπτόπλινθων τοιχοποιίας όσο και για το εμπόριο και τη κατασκευή τοιχοποιίας. Για τον λόγο αυτό προτείνονται μέθοδοι που εξετάζουν την ενίσχυση και τη μόνωση της τοιχοποιίας ώστε να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα σεισμικής αντοχής της κατασκευής νέων κατοικιών από τοιχοποιία χωρίς να αλλάζουν οι σημερινές διαδικασίες κατασκευής.

Χαρακτηριστικές τεχνικές ενίσχυσης των κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία είναι η κατασκευή μανδυνών οπλισμένου σκυροδέματος, η χρήση ενεμάτων, η εφαρμογή προέντασης, η εξωτερική ενίσχυση με τη χρήση μεταλλικών στοιχείων καθώς και η χρήση ινοπλισμένων πολυμερών ή FRP (σύνθετα υλικά). Σκοπός όλων αυτών των τεχνικών είναι η αύξηση της εφελκυστικής αντοχής της κατασκευής.

1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

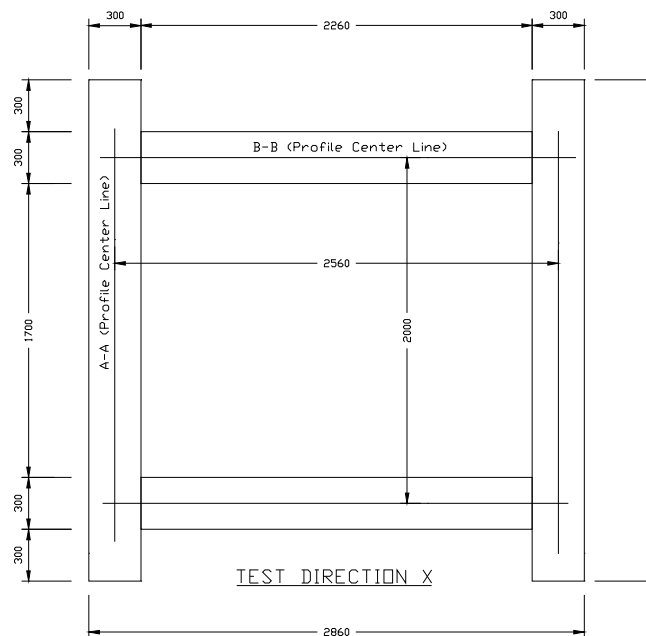
Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία διερευνά την σεισμική συμπεριφορά μονώροφων και διωρόφων κτιρίων από οπτοπλινθοδομή σε περιοχές με χαμηλή σεισμικότητα. Τα πειράματα ήταν συνολικά πέντε και πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν για να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης σε κτίρια από οπτοπλινθοδομή, προκειμένου να αυξηθεί η αντοχή τους κάτω από σεισμικές δράσεις (απαιτήσεις του EC8) χωρίς να αλλάζουν οι τυπικές διαδικασίες της κατασκευής.

Για τον λόγο αυτό υπολογίστηκαν οι συναρτήσεις απόκρισης συχνότητας των κατασκευών (frf), τα ιδιομορφικά χαρακτηριστικά τους (ιδιοσυχνότητα και απόσβεση) και οι γωνιακές παραμορφώσεις (*interstory drift*) των πρώτων ορόφων. Η απόκριση συχνότητας μιας κατασκευής αποκαλύπτει το πώς συμπεριφέρεται υπό τη παρουσία σεισμικής διέγερσης γωνιακής ταχύτητας ω (συχνότητας f).

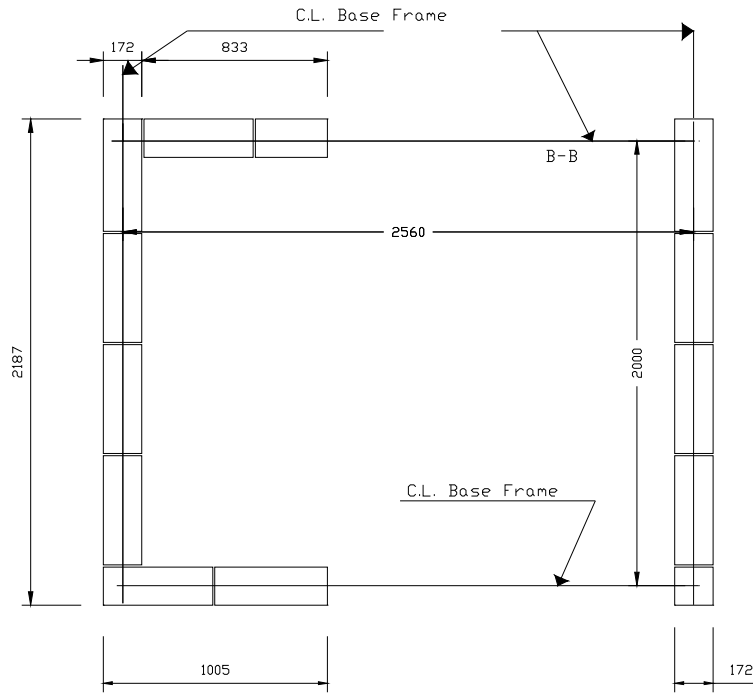
Για την εξαγωγή των συγκεκριμένων αποτελεσμάτων και για τα πέντε δοκίμια, χρησιμοποιήθηκε το μαθηματικό πρόγραμμα Matlab.

Επίσης, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση των κατασκευών στο λογισμικό SAP2000 και από την ιδιομορφική ανάλυση εξάγαμε τη θεμελιώδη συχνότητα στην οποία οι κατασκευές παρουσιάζουν μεταφορική και στροφική μετατόπιση.

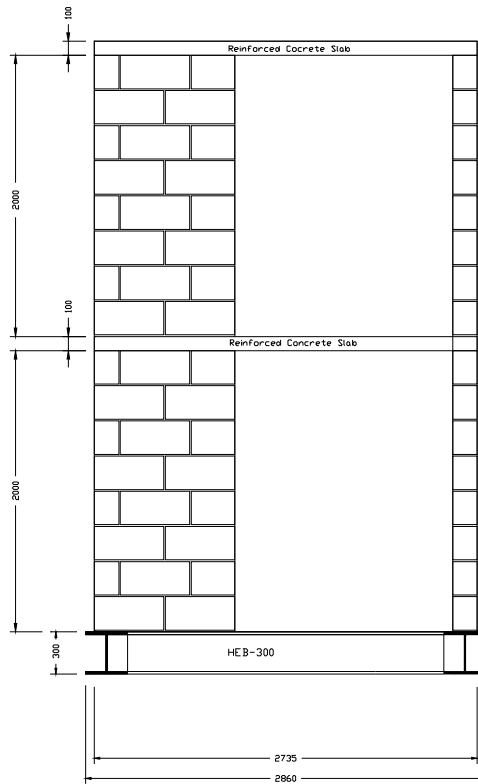
Στις εικόνες που ακολουθούν, διακρίνονται τα σχέδια των κατασκευών, στις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι σεισμικές δοκιμές.



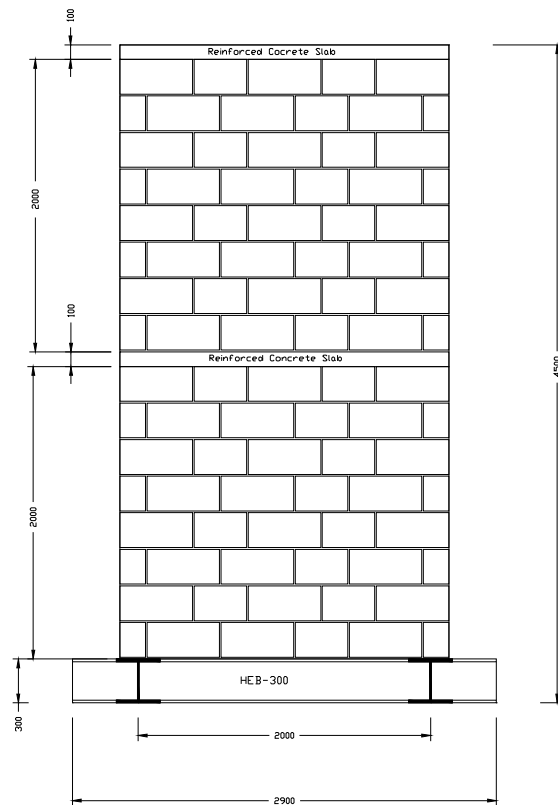
Εικόνα 1: Μεταλλική Βάση



Εικόνα 2: Πρώτος και δεύτερος όροφος



Εικόνα 3: Ανατολική πλευρά της κατασκευής



Εικόνα 4: Βόρεια πλευρά της κατασκευής

Τα πέντε πειράματα αφορούν πέντε ξεχωριστές περιπτώσεις ενίσχυσης της κατασκευής από οπτοπλινθοδομή, όπως διακρίνεται και παρακάτω:

Δοκίμιο 1

Διώροφη άοπλη κατασκευή μη ενισχυμένη

Δοκίμιο 2

Μονώροφη κατασκευή ενισχυμένη εσωτερικά με προκατασκευασμένο πλέγμα χάλυβα (Murfor by Bekaert, Belgium).

Δοκίμιο 3

Μονώροφη κατασκευή ενισχυμένη εσωτερικά με ίνες αραμιδίου (Twaron – Aramid fiber mesh by Batgrid)

Δοκίμιο 4

Διώροφη κατασκευή ενισχυμένη με μεταλλικό πλέγμα (Armanett by Bekaert) εξωτερικά της τοιχοποιίας στην οποία πραγματοποιήθηκαν δύο επιμέρους πειράματα:

- i. **Δοκίμιο 4-A:** Τοποθετήθηκαν εφένδρανα στη βάση της κατασκευής.
- ii. **Δοκίμιο 4-B:** Χωρίς σεισμική μόνωση στη βάση της κατασκευής

Στα παραπάνω πειράματα εφαρμόστηκαν διάφορα μεγέθη σεισμικής διέγερσης κατά άξονα χ (μονοαξονική φόρτιση), προκειμένου να εξαχθούν τα απαιτούμενα συμπεράσματα.

Οι κατασκευές υπόκεινται σε ημιτονοειδές λογαριθμικό σήμα σεισμού (sine sweep) καθώς και σε τυχαίου περιεχόμενου συχνοτήτων (random tests) σήμα σεισμού, με

εξάιρεση το Δοκίμιο 1, το οποίο υπόκειται μόνο σε τυχαίου περιεχομένου συχνοτήτων σήμα σεισμού.

Η σεισμική τράπεζα που είχε τοποθετηθεί στο εργαστήριο περιλάμβανε πλήρη ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου και απόκτησης δεδομένων από 64 κανάλια, από τα οποία λάβαμε τις επιταχύνσεις και τις μετατοπίσεις σε κάθε δοκιμή από τα αντίστοιχα επιταχυνσιόμετρα και αποστασιόμετρα.

Οι τεχνητές χρονοϊστορίες που εφαρμόστηκαν, ανταποκρίνονται στο Φάσμα 2 του Ευρωκώδικα 8.

1.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MATLAB

1.3.1 Υπολογισμός Ιδιομορφών

Για να υπολογιστούν σε κάθε πείραμα και σε κάθε δοκιμή η συνάρτηση απόκρισης συχνότητας (frf) της κατασκευής καθώς και οι αντίστοιχες μεταφορικές και στροφικές ιδιομορφές χρησιμοποιήθηκε το μαθηματικό πρόγραμμα Matlab.

Στην αρχή εισαγάγαμε όλες τις τιμές των επιταχυνσιόμετρων σε πίνακες matrix. Σε κάθε πίνακα αφαιρέθηκε η μέση τιμή με την ακόλουθη εντολή :

$A_iX = A_iX - \text{mean}(A_iX)$

όπου $i=1,2,3,4,5,6,7,8$ ανάλογα με την ονομασία του επιταχυνσιόμετρου.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε σε κάθε πείραμα το αντίστοιχο αρχείο (editor) που δημιουργήθηκε, η γενική μορφή του οποίου είναι η ακόλουθη:

```
function [AXcor, AiXcor, AjXcor, AkXcor, AnXcor]=dip2 (AX, AiX, AjX, AkX, AnX)
Fs=100;
load AX
t=0:1/Fs:(1/Fs)*(length(AX)-1);
[B,Y]=butter(6,0.3/50,'high');
[Z,K]=butter(6,49.95/50,'low');
AXhpf1=filter(B,Y,AX);
AXhpf=filter(Z,K,AXhpf1);
fitobject=fit(t',AXhpf,'poly1');
AXcor=AXhpf-fitobject(t');
load AiX
AiXhpf1=filter(B,Y,AiX);
AiXhpf=filter(Z,K,AiXhpf1);
fitobject1=fit(t',AiXhpf,'poly1');
AiXcor=AiXhpf-fitobject1(t');
load AjX
AjXhpf1=filter(B,Y,AjX);
AjXhpf=filter(Z,K,AjXhpf1);
fitobject2=fit(t',AjXhpf,'poly1');
AjXcor=AjXhpf-fitobject2(t');
load AkX
AkXhpf1=filter(B,Y,AkX);
AkXhpf=filter(Z,K,AkXhpf1);
fitobject3=fit(t',AkXhpf,'poly1');
AkXcor=AkXhpf-fitobject3(t');
load AnX
```

```

AnXhpf1=filter(B,Y,AnX);
AnXhpf=filter(Z,K,AnXhpf1);
fitobject4=fit(t',AnXhpf,'poly1');
AnXcor=AnXhpf-fitobject4(t');
metINP=AXcor;
metOUT=[(AiXcor+AjXcor)/2 (AkXcor+AnXcor)/2];
for k=1:2
    metOUTrel(:,k)=metOUT(:,k)-metINP;
end
Vrel=cumtrapz(t,metOUTrel);
Vrelhpf=filter(B,Y,Vrel);
Drel=cumtrapz(t,Vrelhpf);
strINP=AXcor;
strOUT=[(AiXcor-AjXcor) (AkXcor-AnXcor)];
for k=1:2
    strOUTrel(:,k)=strOUT(:,k)-strINP;
end

```

Στις μονώροφες κατασκευές υπάρχουν μόνο δύο τιμές επιταχυνσιομέτρων, ενώ στην κατασκευή με τη σεισμική μόνωση στη βάση (Δοκίμιο 4-A) έχουν τοποθετηθεί επιπλέον δύο επιταχυνσιόμετρα στη βάση της κατασκευής, οπότε οι τιμές των επιταχυνσιομέτρων – δεδομένων εισόδου αυξάνονται σε έξι.

Οι βασικές εντολές που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω :

i. Butterworth filter design

Για να καθοριστεί το εύρος των τιμών που μας ενδιαφέρουν, χρησιμοποιήθηκε ένα υψιπερατό (highpass) και ένα βαθυπερατό (lowpass) φίλτρο με την ακόλουθη εντολή:

```
[z,p,k] = butter(n,Wn,'ftype')
```

όπου Wn είναι η συχνότητα αποκοπής και λαμβάνει τιμές από 0 έως 1.

Πιο συγκεκριμένα στη δική μας ανάλυση:

- `[B,Y] = butter(6,0.3/50,'high')` για το υψιπερατό φίλτρο
- `[Z,K] = butter(6,49.95/50,'low')` για το βαθυπερατό φίλτρο

Τα φίλτρα αυτά χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε πίνακα τιμών των επιταχυνσιομέτρων, σε κάθε δοκιμή και σε κάθε πείραμα.

ii. Fitobject

Για τη σωστή μορφή των διαγραμμάτων των τιμών των επιταχυνσιομέτρων και τον μηδενισμό της μόνιμης απόκλισης (offset), χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη εντολή

```
AiXcor=AiXhpf-fitobject1(t')
```

Όπου AiXhpf είναι ο πίνακας τιμών του κάθε επιταχυνσιομέτρου ύστερα από την εφαρμογή των φίλτρων

και

```
fitobject1=fit(t',AiXhpf,'poly1')
```

όπου 'poly1' η γραμμική χαρακτηριστική καμπύλη πολωνύμου.

iii. Συνάρτηση απόκρισης συχνότητας (frf)

Για τον υπολογισμό της συνάρτησης απόκρισης συχνότητας (frf) καθώς και των ιδιοχαρακτηριστικών της κατασκευής, σε κάθε πείραμα και σε κάθε δοκιμή, θέσαμε ως δεδομένο εισόδου την σεισμική διέγερση (metINP – strINP, για τις μεταφορικές και στροφικές ιδιομορφές αντίστοιχα). Ως δεδομένο εξόδου λαμβάνουμε τη σχετική μέση τιμή των επιταχυνσιομέτρων σε κάθε όροφο (metOUTrel).

Δεδομένο εισόδου

Οι τιμές της επιτάχυνσης του σεισμού

metINP= AXcor και

strINP=AXcor

Δεδομένο εξόδου

- Μεταφορικές Ιδιομορφές **metOUT**

Το ημίθροισμα των τιμών των επιταχυνσιομέτρων που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο

- Στροφικές Ιδιομορφές **strOUT**

Η διαφορά των τιμών των επιταχυνσιομέτρων που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο

Η εντολή που χρησιμοποιήθηκε για να εξαγάγουμε τα διαγράμματα frf είναι :

```
frf([metINP metOUTrel (:,x)],Fs,NFFT,NOVERLAP)
```

και

```
frf([strINP strOUTrel (:,x)],Fs,NFFT,NOVERLAP)
```

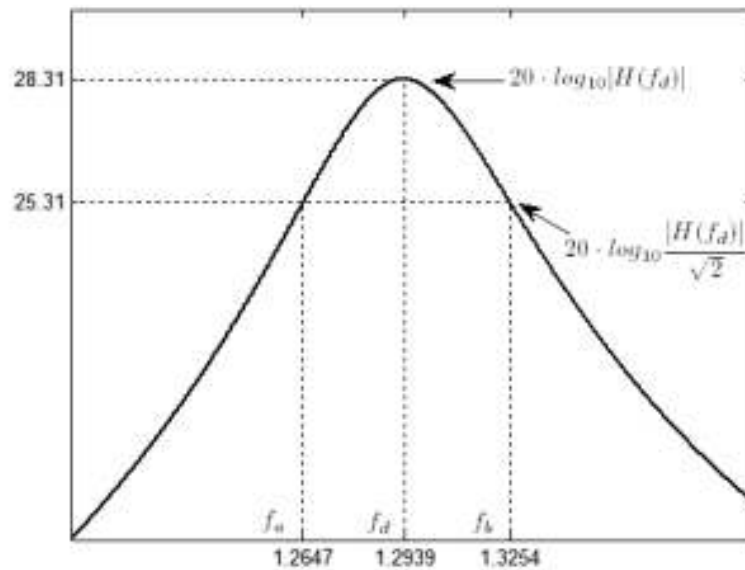
όπου

- ✓ **metINP, strINP** τα δεδομένα εισόδου
- ✓ **metOUTrel, strOUTrel** οι σχετικές τιμές που υπολογίστηκαν αντίστοιχα με τις ακόλουθες εντολές

$$\text{metOUTrel} = \text{metOUT} - \text{metINP}$$

$$\text{strOUTrel} = \text{strOUT} - \text{strINP}$$
- ✓ x τα διάφορα επίπεδα
- ✓ F_s η συχνότητα δειγματοληψίας (Sampling frequency) που είναι ίση με 100Hz.
- ✓ NFFT το μήκος της FFT (Fast Furrier Transform), της οποίας η τιμή πρέπει να είναι δύναμη του 2 (Στην ανάλυση που πραγματοποιήθηκε είναι ίση με 64)
- ✓ NOVERLAP ο αριθμός των δειγμάτων που επικαλύπτει κάθε τμήμα

1.3.2 Υπολογισμός λόγου απόσβεσης (ζ)



Για τον υπολογισμό του λόγου απόσβεσης εκτελούνται τα παρακάτω βήματα:

1. Μεγεθύνεται το διάγραμμα απόκρισης συχνότητας στη κορυφή ενδιαφέροντος (εκεί που παρουσιάζεται η ιδιοπερίοδος f_d)
2. Καταγράφονται οι τιμές της αποσβενυμένης φυσικής συχνότητας και του πλάτους απόκρισης στην κορυφή.
3. Από την τιμή πλάτους της κορυφής αφαιρούνται 3dB και από την τιμή που προκύπτει χαράσσεται μια ευθεία παράλληλη στον άξονα συχνοτήτων. Η ευθεία αυτή τέμνει την απόκριση συχνότητας σε δύο σημεία. Από τα σημεία αυτά χαράσσονται δύο κάθετες ευθείες προς τον άξονα των συχνοτήτων και σημειώνονται οι αντίστοιχες συχνότητες f_a και f_b .
4. Ο λόγος απόσβεσης υπολογίζεται από τη σχέση

$$\zeta_{nl} = 100 \times \frac{f_{bi} - f_{ai}}{2 \times f_{di}} \quad (\%)$$

1.3.3 Υπολογισμός γωνιακών παραμορφώσεων

Οι μέγιστες γωνιακές παραμορφώσεις ενός κτιρίου (interstory drift) αποτελούν κριτήριο αστοχίας στην επιβολή σεισμικής δράσης, για το λόγο αυτό θα πρέπει να περιορίζονται μεταξύ των τιμών που επιβάλλει ο κανονισμός.

Ο γενικός τύπος για τον υπολογισμό της γωνιακής παραμόρφωσης ενός ορόφου δίνεται από την εξίσωση

$$\Delta = \frac{\delta_j - \delta_i}{H_{ij}} \%$$

όπου: $\delta_j - \delta_i$ η σχετική μετακίνηση δύο διαδοχικών ορόφων και H_{ij} το ύψος μεταξύ των δύο ορόφων.

Στα τέσσερα πειράματα στα οποία είχαμε εμφάνιση ρηγματώσεων και θλιπτικής αστοχίας, υπολογίστηκαν στην αντίστοιχη δοκιμή οι γωνιακές παραμορφώσεις του 1^{ου} ορόφου, στο μαθηματικό πρόγραμμα Matlab.

Για τον υπολογισμό χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες εντολές

```
D1rel=D1-DX;  
D2rel=D2-DX;  
interstoryDrift=[D1rel/2000 D2rel/2000]*100;
```

Κεφάλαιο 2

Διώρφες
Κατασκευές

2. ΔΙΩΡΟΦΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι διώροφες κατασκευές που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα. Υπολογίζονται οι τιμές των ιδιοχαρακτηριστικών της κάθε διώροφης κατασκευής και παρουσιάζονται τα διαγράμματα των συναρτήσεων απόκρισης συχνότητας (frf) και των γραμμικών παραμορφώσεων των πρώτων ορόφων.

2.1 ΔΙΩΡΟΦΗ ΑΟΠΛΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ

2.1.1 Γενικά

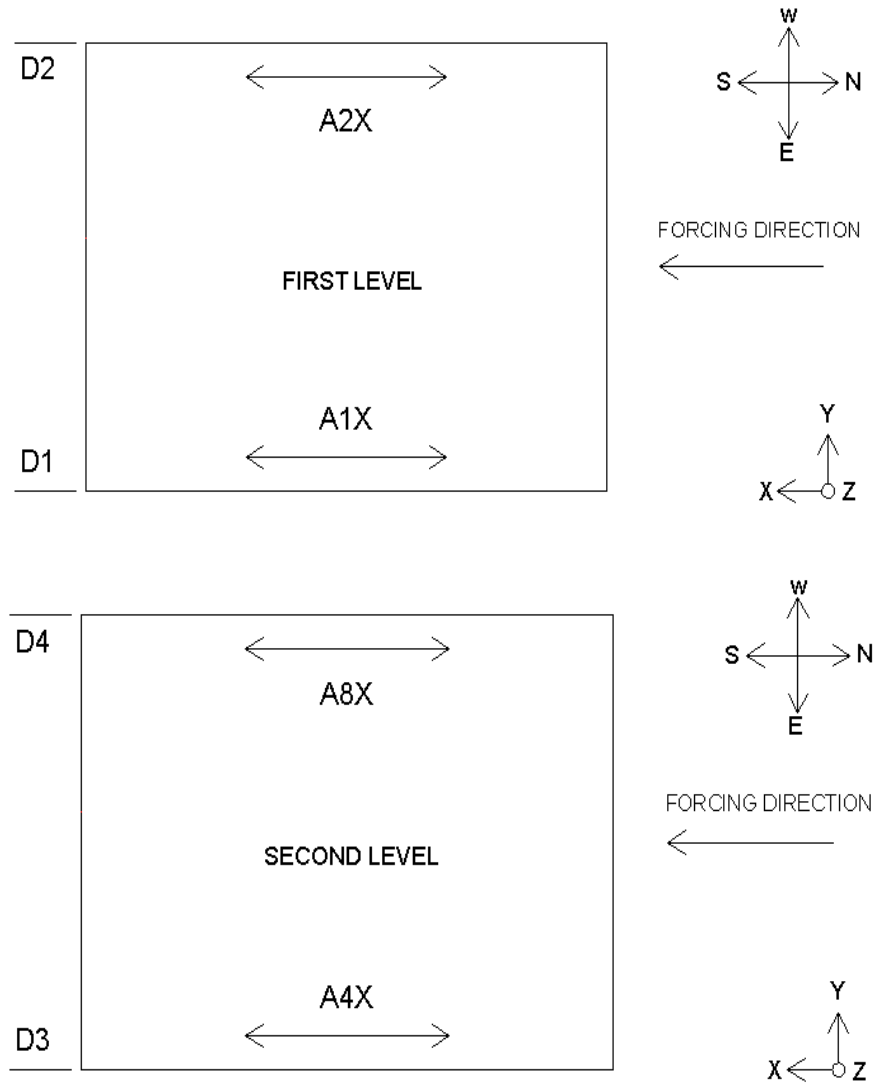
Το πρώτο πείραμα πραγματοποιήθηκε σε διώροφη άοπλη κατασκευή μη ενισχυμένη, η οποία διακρίνεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1: Διώροφη άοπλη κατασκευή μη ενισχυμένη

Στον δεύτερο όροφο έχουν τοποθετηθεί πέντε πλάκες του ενός τόνου. Στο πείραμα αυτό πραγματοποιήθηκε τυχαίο περιεχόμενο συχνοτήτων (λευκού θορύβου), με φάσμα συχνοτήτων από 0,5Hz έως 50Hz

Η τοποθέτηση των επιταχυνσιομέτρων φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα :



Εικόνα 2 : Τοποθέτηση επιταχυνσιομέτρων και αποστασιομέτρων στην κατασκευή

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η αντιστοιχία των δοκιμών με το μέγεθος της σεισμικής διέγερσης.

Πίνακας 1 : Περιγραφή Δοκιμών

Δοκιμή No	Τεχνητές χρονοϊστορίες
1	0.04g
2	0.06g
3	0.08g

Δοκιμή Νο	Τεχνητές χρονοϊστορίες
4	0.12g
5	0.12g
6	0.16g
7	0.20g
8	0.24g
9	0.28g
10	0.36g
11	0.40g
12	0.40g
13	0.44g
14	0.48g
15	0.56g
16	0.64g

2.1.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

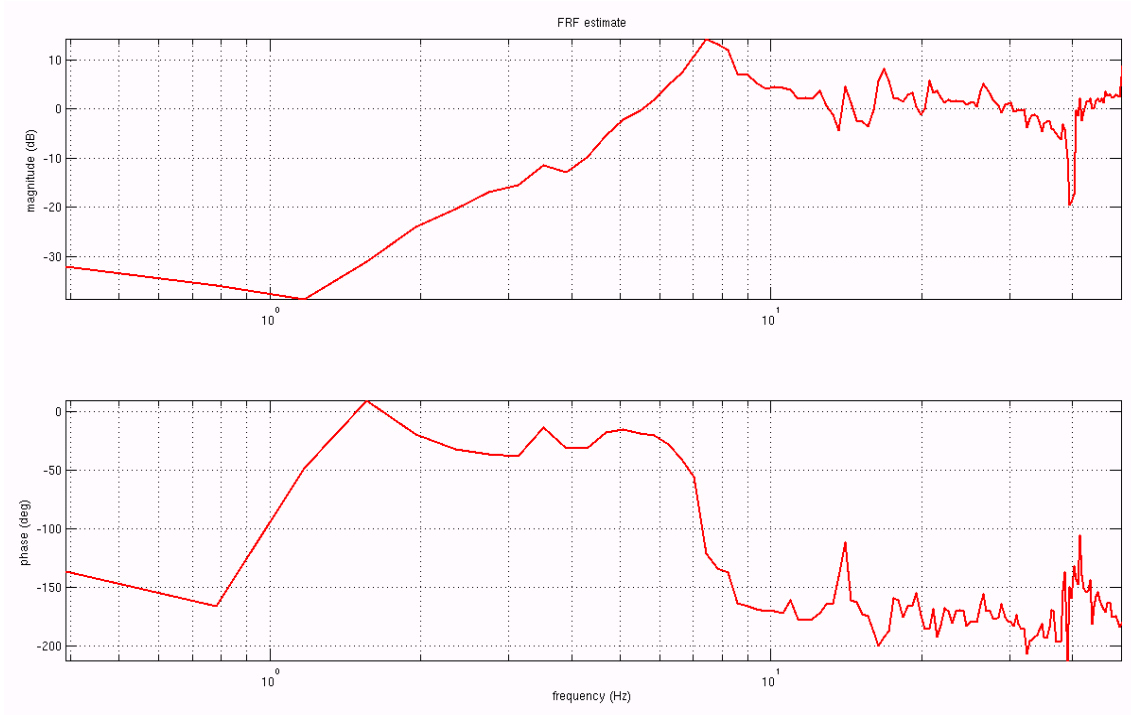
Ακολουθούν τα διαγράμματα των συναρτήσεων απόκρισης της κατασκευής και οι τιμές των μεταφορικών και στρεπτικών ιδιοσυχνοτήτων με τους αντίστοιχους λόγους απόσβεσης της κατασκευής. Επίσης, στις δοκιμές στις οποίες αστόχησε η κατασκευή, παρουσιάζονται και τα διαγράμματα των γραμμικών παραμορφώσεων του πρώτου ορόφου.

1^η Δοκιμή (0.04g)

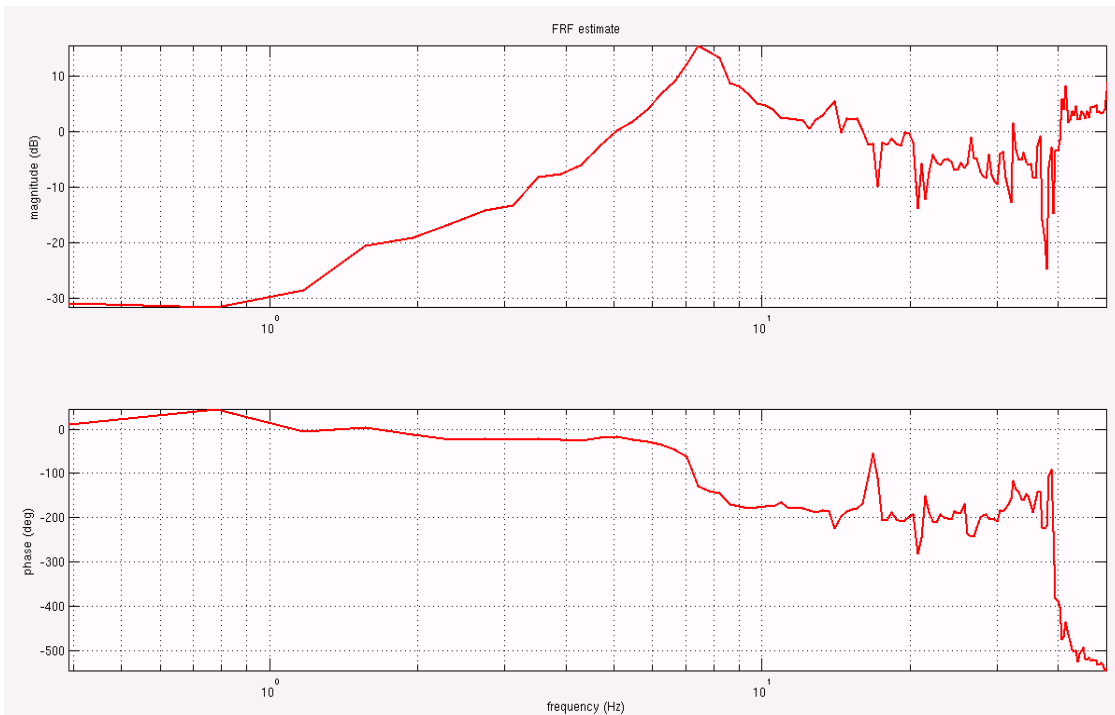
Η θεμελιώδης ιδιοσυχνότητα της κατασκευής (τόσο η μεταφορική όσο και η στροφική) είναι ίση με 7,422Hz ($T=0,135\text{sec}$) και ο λόγος απόσβεσης ίσος με 3,368%.

Μεταφορικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	7,29	7,79	7,422	3,368
2ο επίπεδο	7,24	7,74	7,422	3,368

```
frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);
```

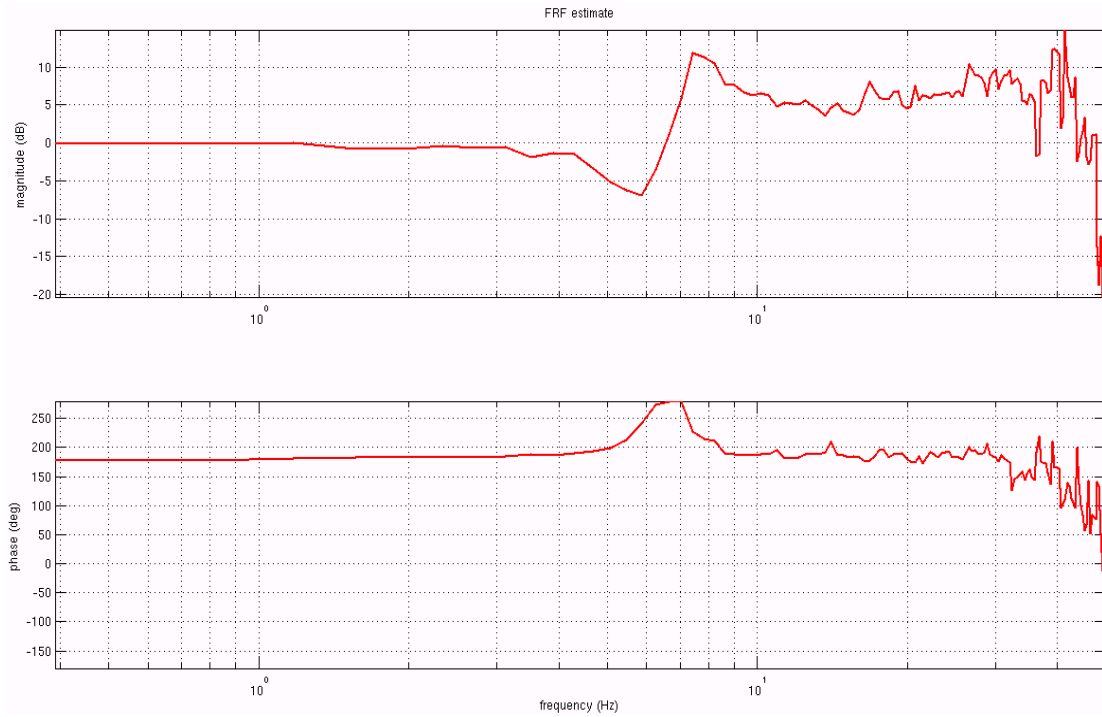


```
frf([metINP metOUTrel(:,2)],100,256,64);
```

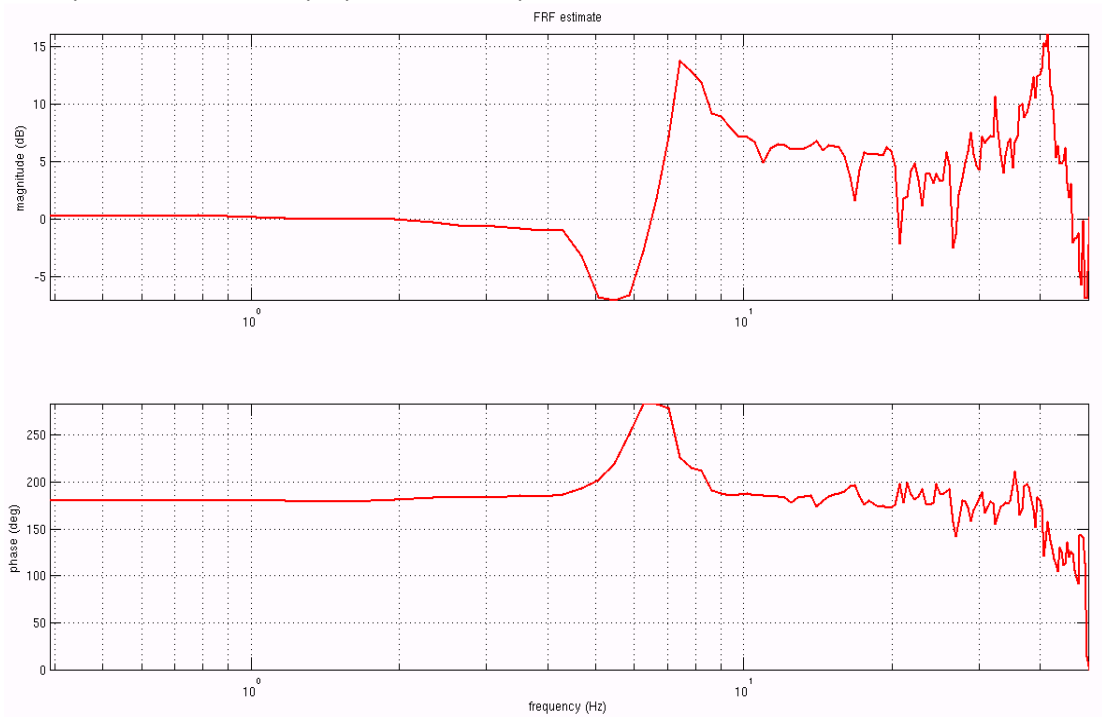


Στροφικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	7,35	7,85	7,422	3,368
2ο επίπεδο	7,14	7,64	7,422	3,368

frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,256,64);



frf([strINP strOUTrel(:,2)],100,256,64);



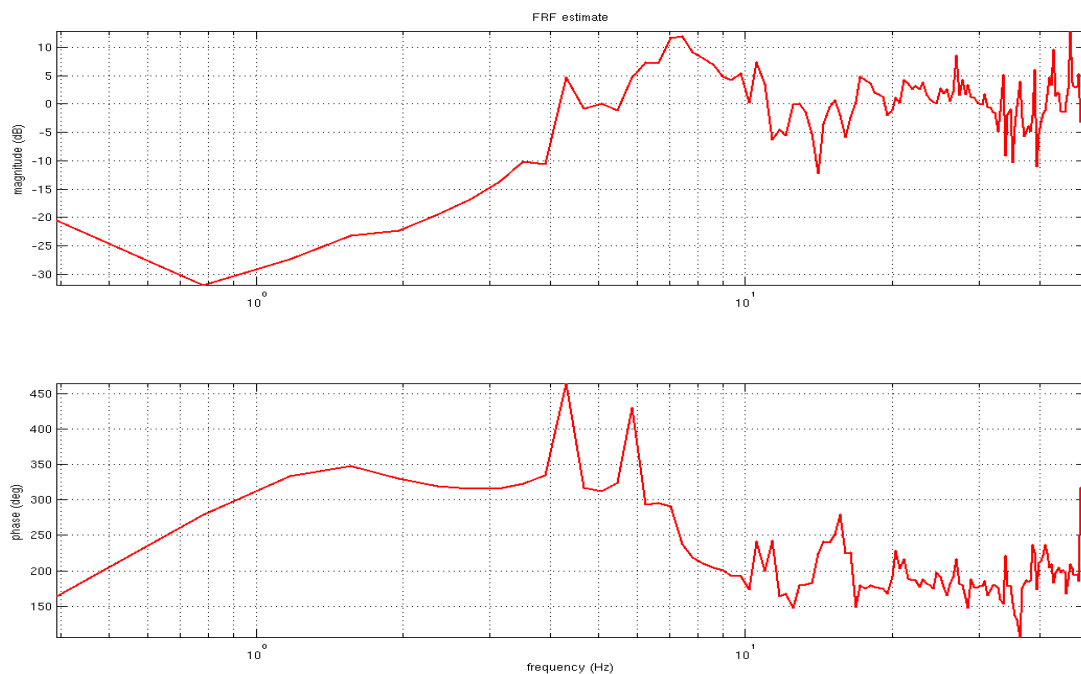
Οι τιμές των ιδιοσυχνοτήτων παραμένουν σταθερές για τις επόμενες δύο δοκιμές (0.06g και 0.08g) καθότι δεν εμφανίζεται καμία ρηγμάτωση ή μετατόπιση στην κατασκευή.

4^η Δοκιμή (0,12g)

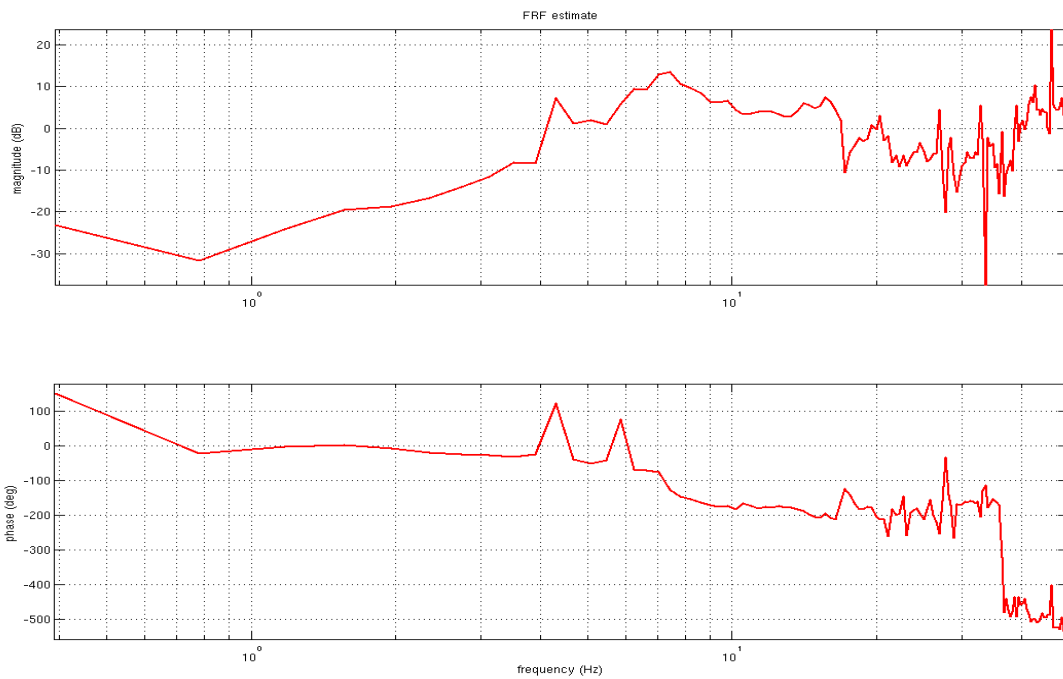
Στη δοκιμή αυτή, παρατηρείται στην κατασκευή μετατόπιση 100mm και για τον λόγο αυτό παρατηρείται μικρή μείωση στη τιμή της μεταφορικής ιδιοσυχνότητας.

Μεταφορικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	6,75	7,31	7,031	3,982
2ο επίπεδο	6,77	7,33	7,031	3,982

```
frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);
```

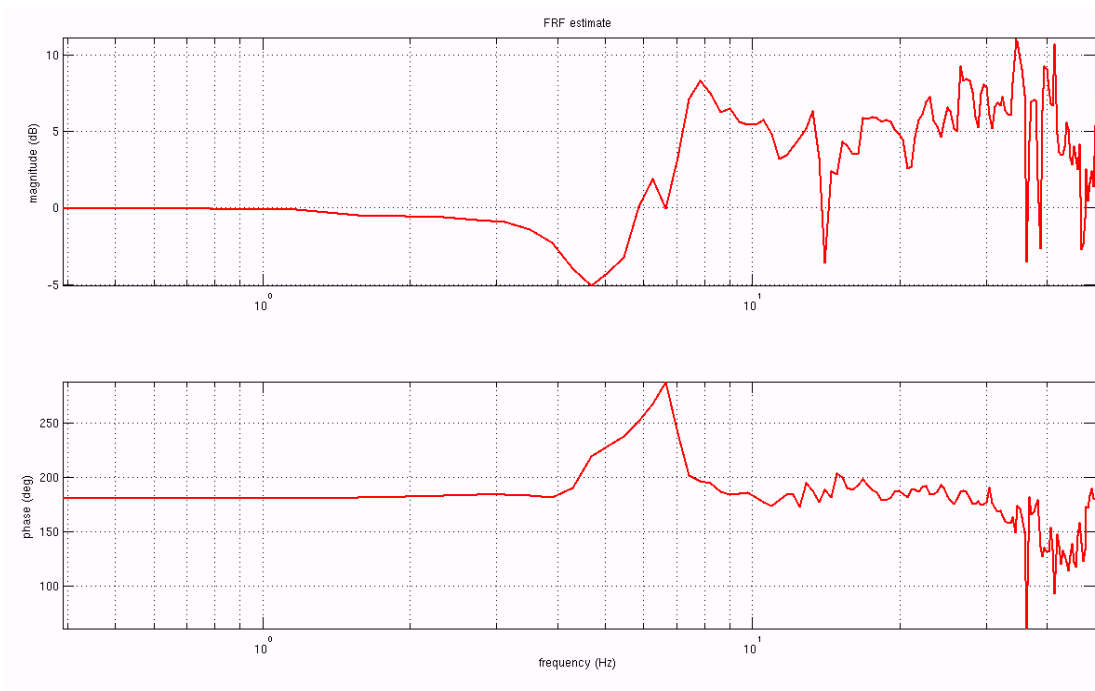


frf([metINP metOUTrel(:,2)],100,256,32);

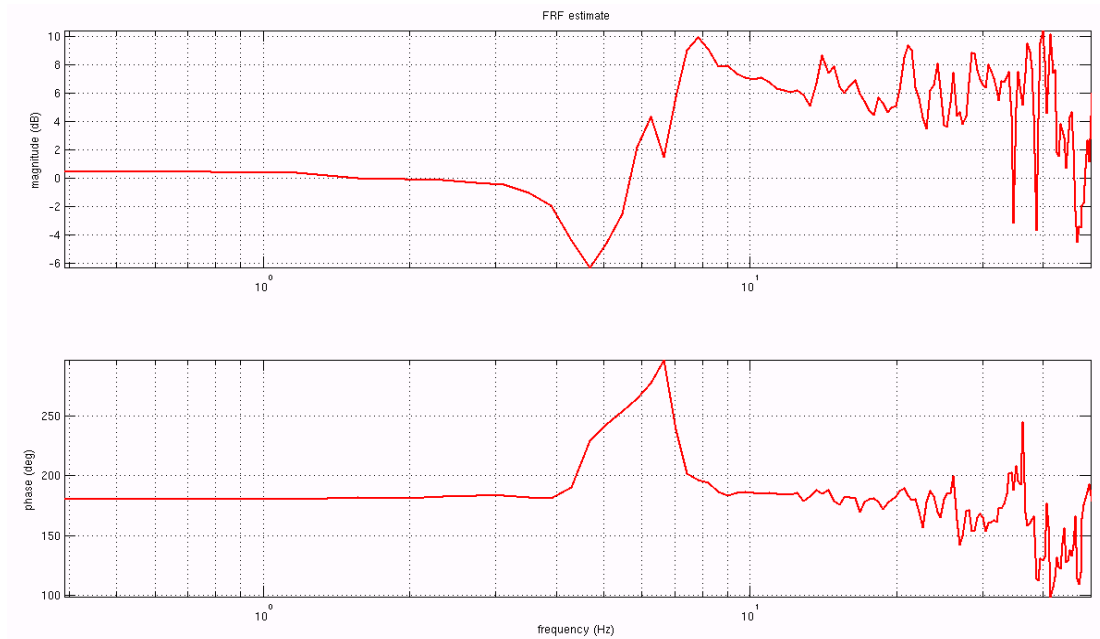


Στροφικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	7,32	7,82	7,422	3,368
2ο επίπεδο	7,21	7,71	7,422	3,368

frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,256,64);



```
frf([strINP strOUTrel(:,2)],100,256,64);
```



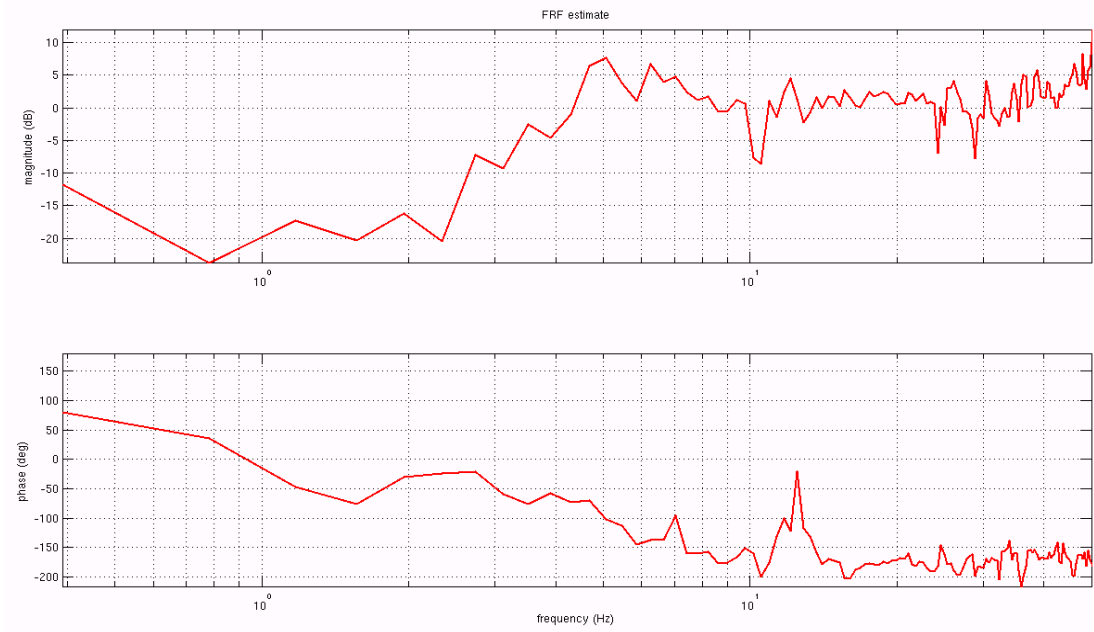
Στις επόμενες δοκιμές (0.12g έως 0.20g), δεν παρουσιάζεται κάποια αστοχία στην κατασκευή, με συνέπεια τη σταθερή τιμή της στροφικής και μεταφορικής ιδιοσυχνότητας στα 7,031Hz και του λόγου απόσβεσης στο 3,982%.

8^η Δοκιμή (0,24g)

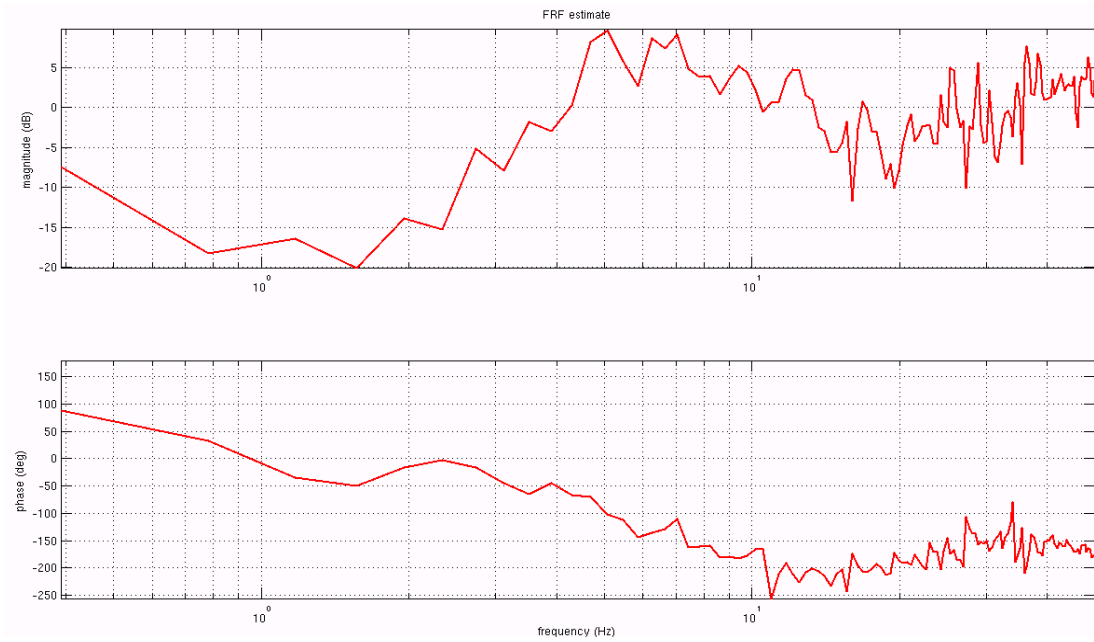
Στη δοκιμή αυτή ξεκινούν οι ρηγματώσεις στην κατασκευή και παρατηρείται ανύψωση μεταξύ της βάσης της κατασκευής και της πρώτης στρώσης οπτόπλινθων, με αποτέλεσμα η τιμή της ιδιοσυχνότητας να μειώνεται αισθητά.

Μεταφορικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	4,79	5,37	5,078	5,711
2ο επίπεδο	4,73	5,31	5,078	5,711

frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);

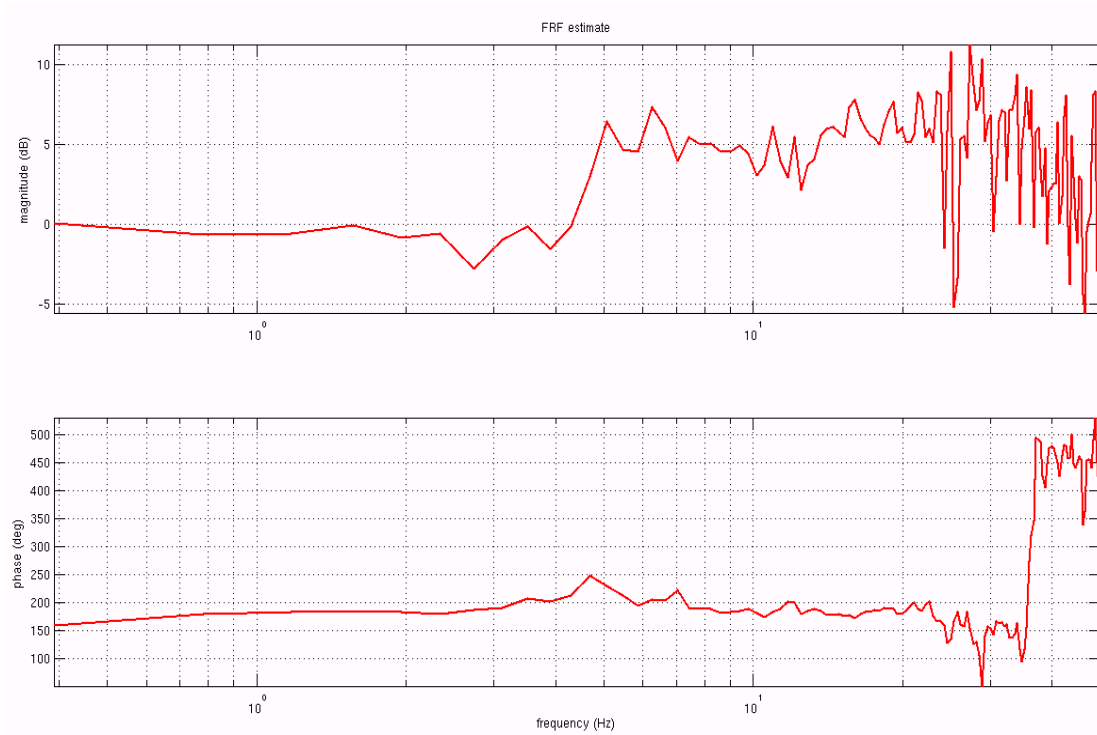


frf([metINP metOUTrel(:,2)],100,256,64);

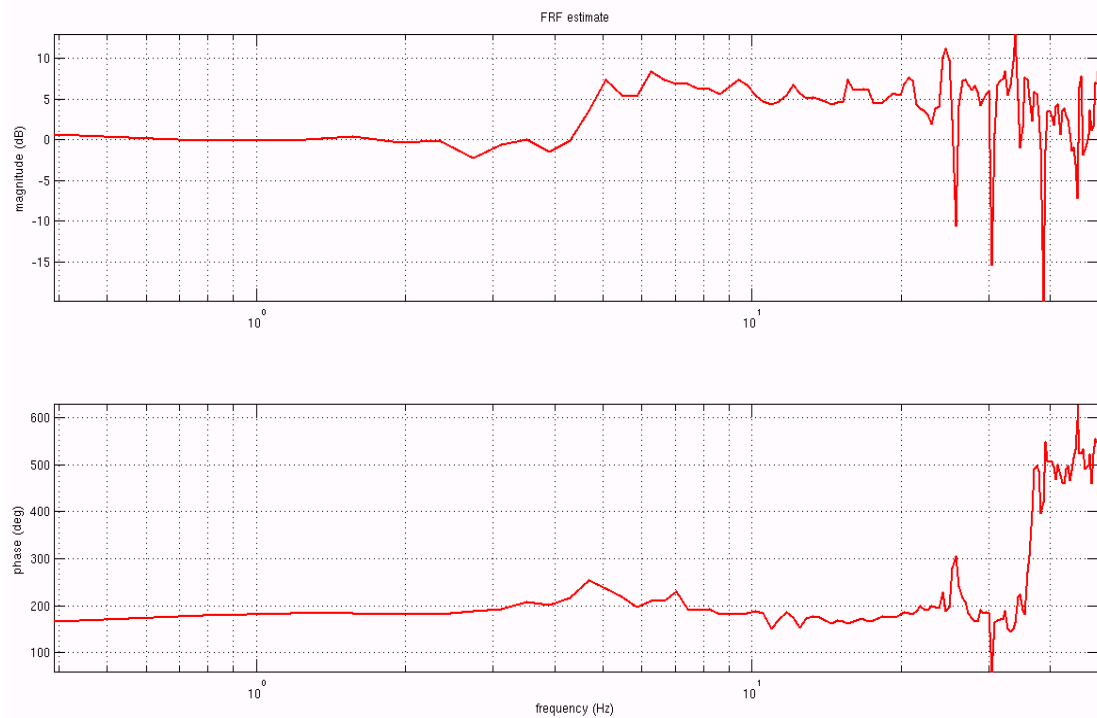


Στροφικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	4,77	5,35	5,078	5,711
2ο επίπεδο	4,84	5,42	5,078	5,711

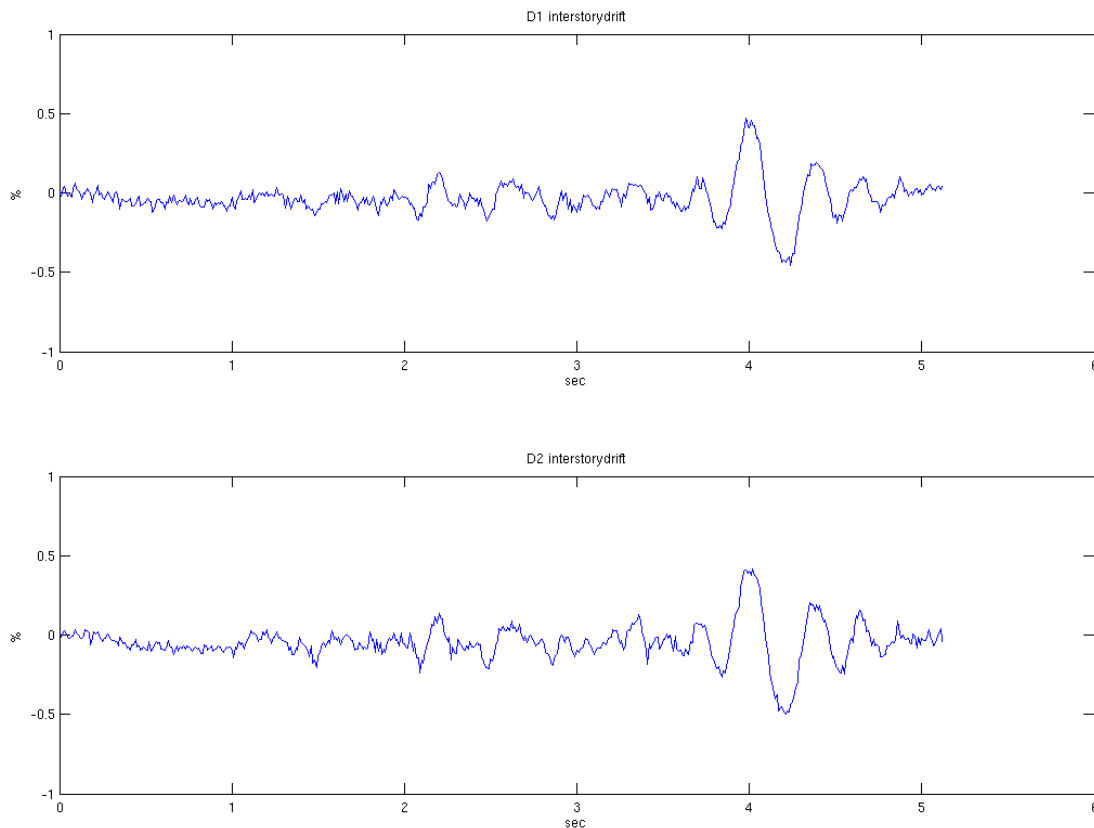
```
frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,256,64);
```



```
frf([strINP strOUTrel(:,2)],100,256,64);
```



Η γωνιακή παραμόρφωση του πρώτου ορόφου σύμφωνα με τις καταγραφές των δύο αποστασιομέτρων διακρίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα.



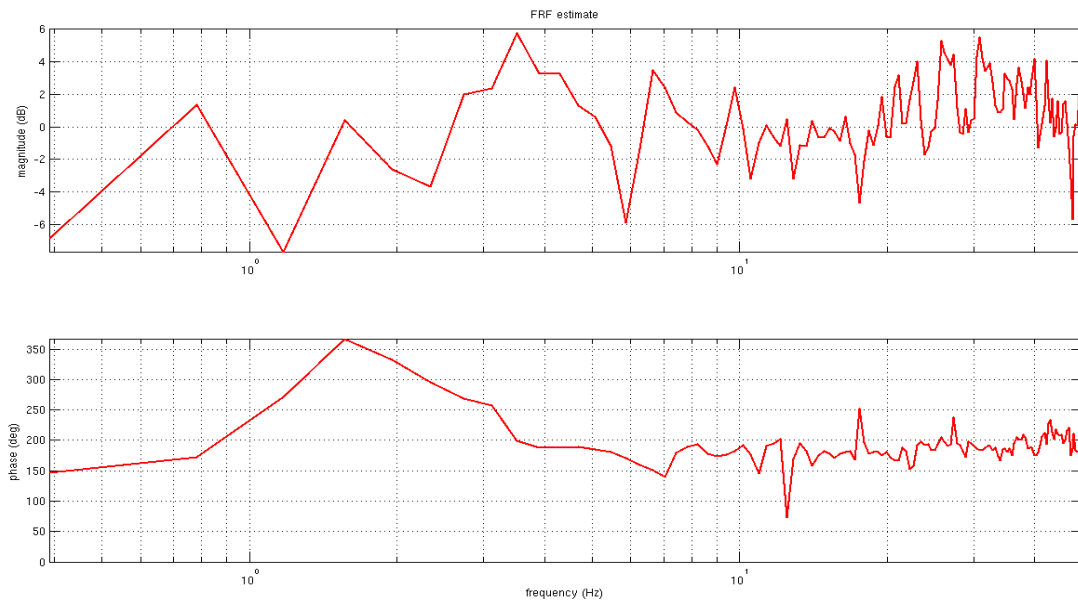
Η μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση είναι ίση με 0,5016%.

Στις επόμενες δοκιμές οι τιμές των μεταφορικών και των στροφικών ιδιομορφών μειώνονται σταθερά μέχρι τη 14^η δοκιμή (0,48g), στην οποία παρατηρείται θλιπτική αστοχία της κατασκευής στη γωνιακή περιοχή της βάσης της κατασκευής (Εικόνες 3 και 4), με αποτέλεσμα η τιμή της ιδιοσυχνότητας να μειωθεί αισθητά.

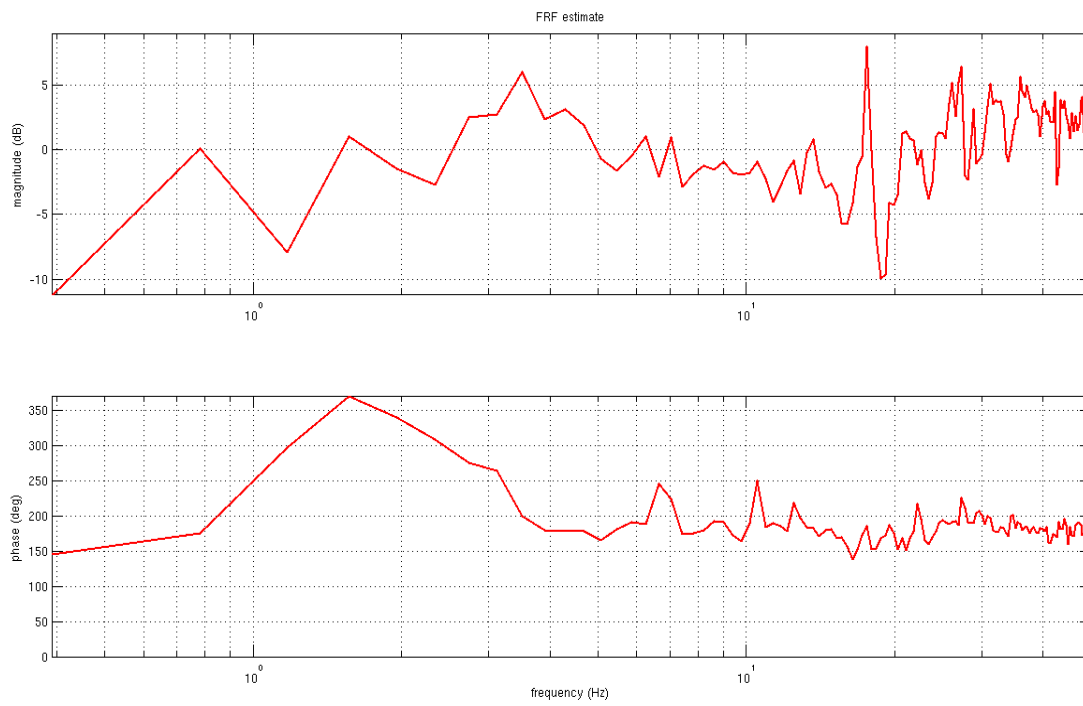
14^η Δοκιμή (0,48g)

Μεταφορικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	1,40	1,77	1,562	11,844
2ο επίπεδο	1,42	1,79	1,562	11,844

frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);

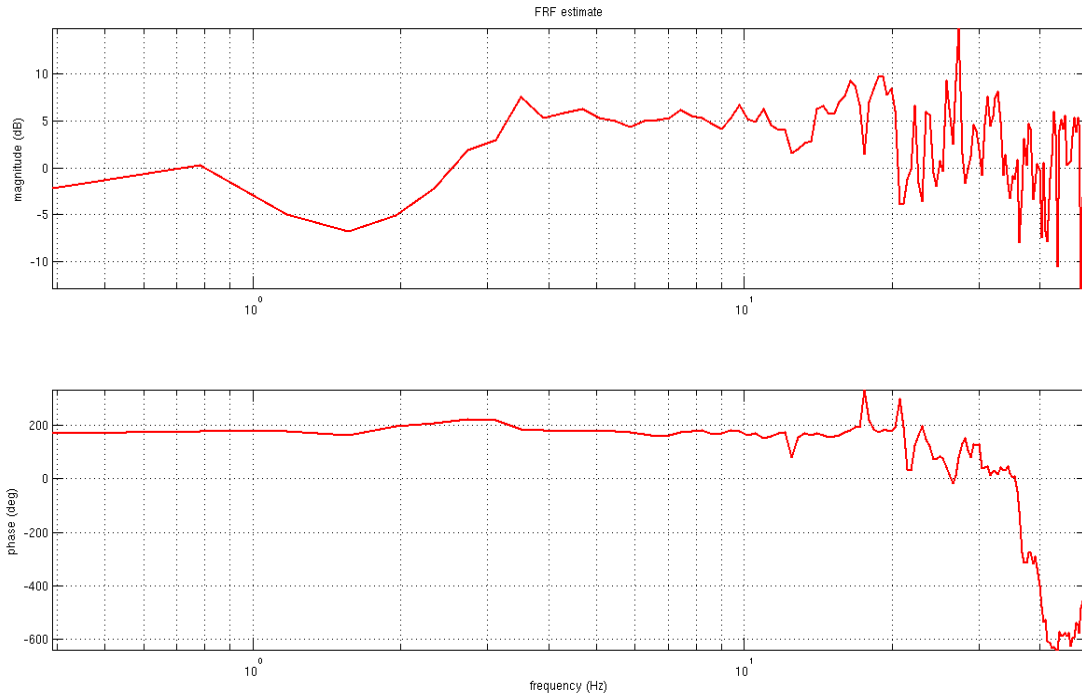


frf([metINP metOUTrel(:,2)],100,256,64);

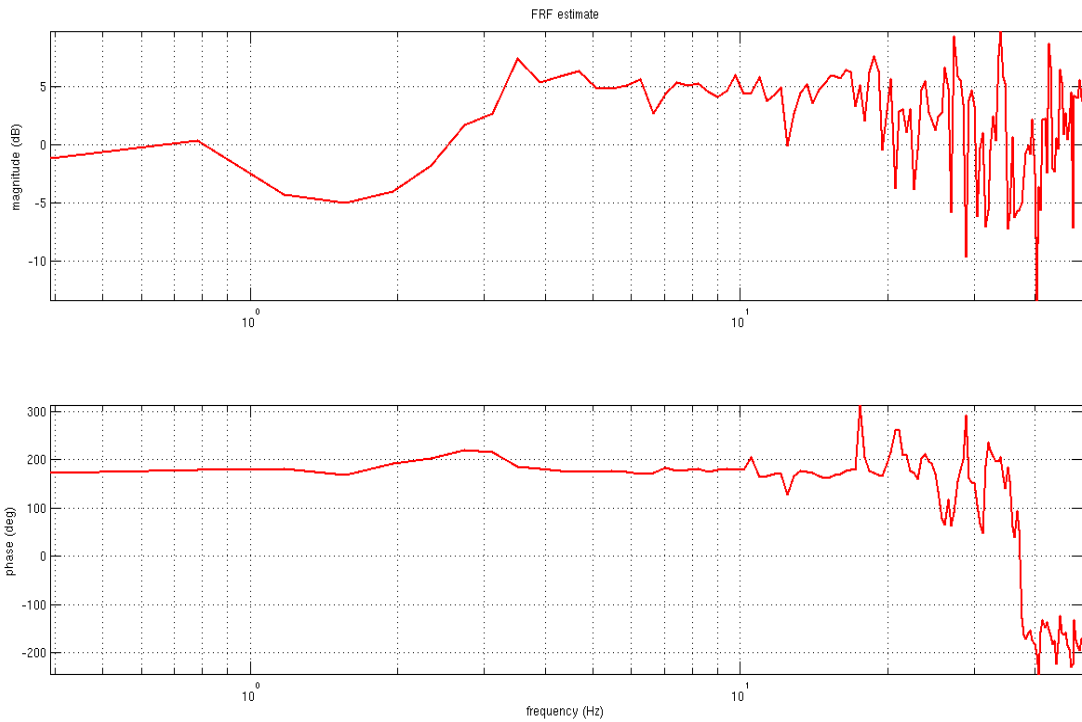


Στροφικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	3,27	3,77	3,516	7,110
2ο επίπεδο	3,28	3,78	3,516	7,110

frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,256,64);



frf([strINP strOUTrel(:,2)],100,256,64);





Εικόνα 3: Θλιπτική αστοχία στη 14η δοκιμή



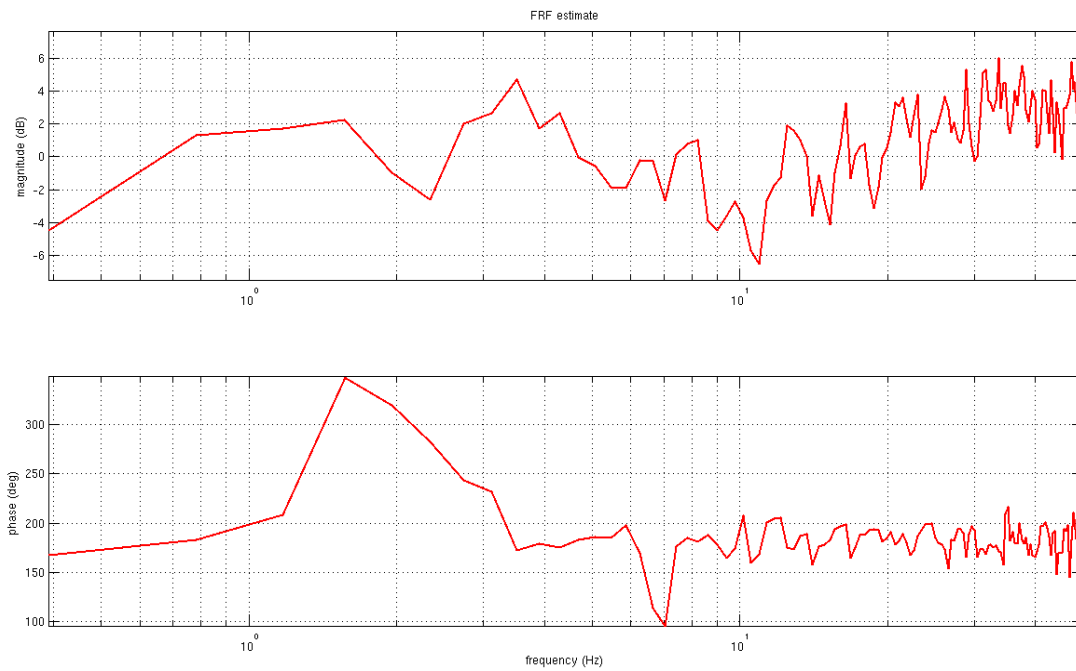
Εικόνα 4: Θλιπτική αστοχία στη 14η δοκιμή (0,48g)

Το πείραμα συνεχίστηκε για άλλες δύο δοκιμές με την υποβολή σεισμικής διέγερσης ίσης με 0.56g και 0.64g. Οι ζημιές των οπτόπλινθων στις γωνιακές περιοχές της κατασκευής συνεχίστηκαν, όπως είναι εμφανές και στις φωτογραφίες που ακολουθούν.

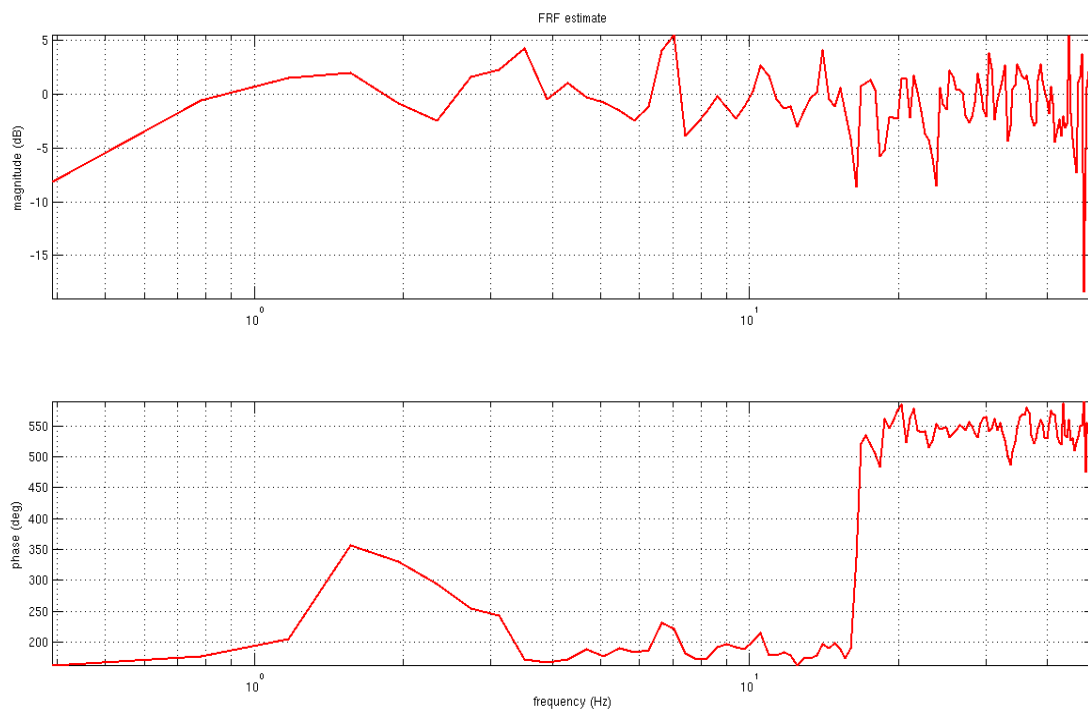
15^η Δοκιμή (0,56g)

Μεταφορικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	1,41	1,78	1,562	11,844
2ο επίπεδο	1,31	1,68	1,562	11,844

```
frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);
```

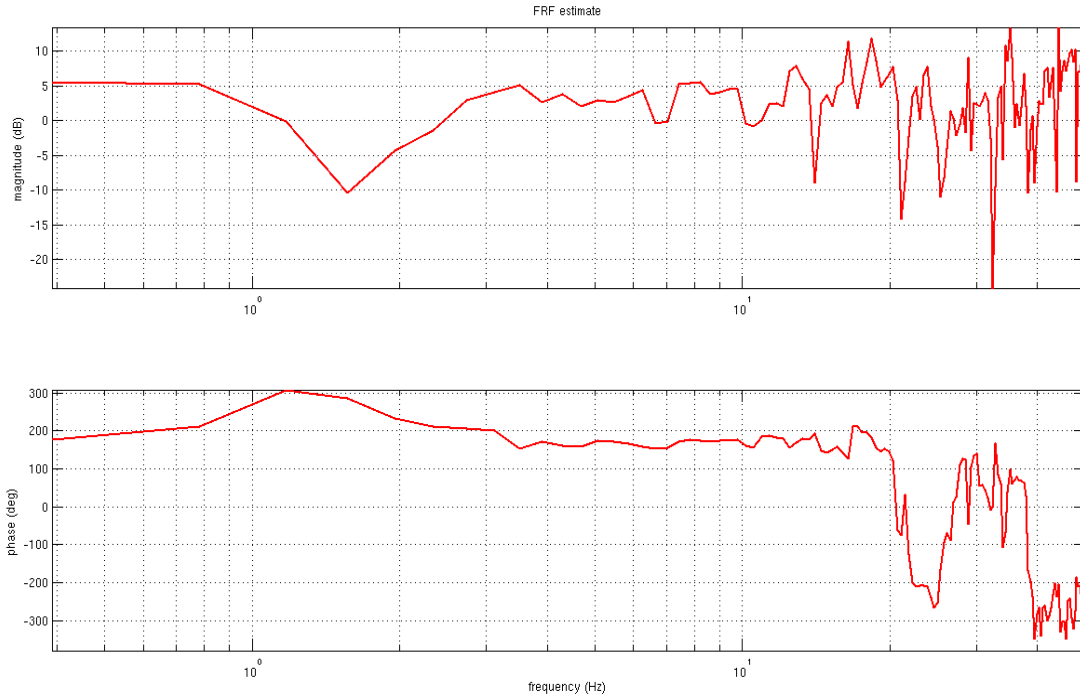


```
frf([metINP metOUTrel(:,2)],100,256,64);
```

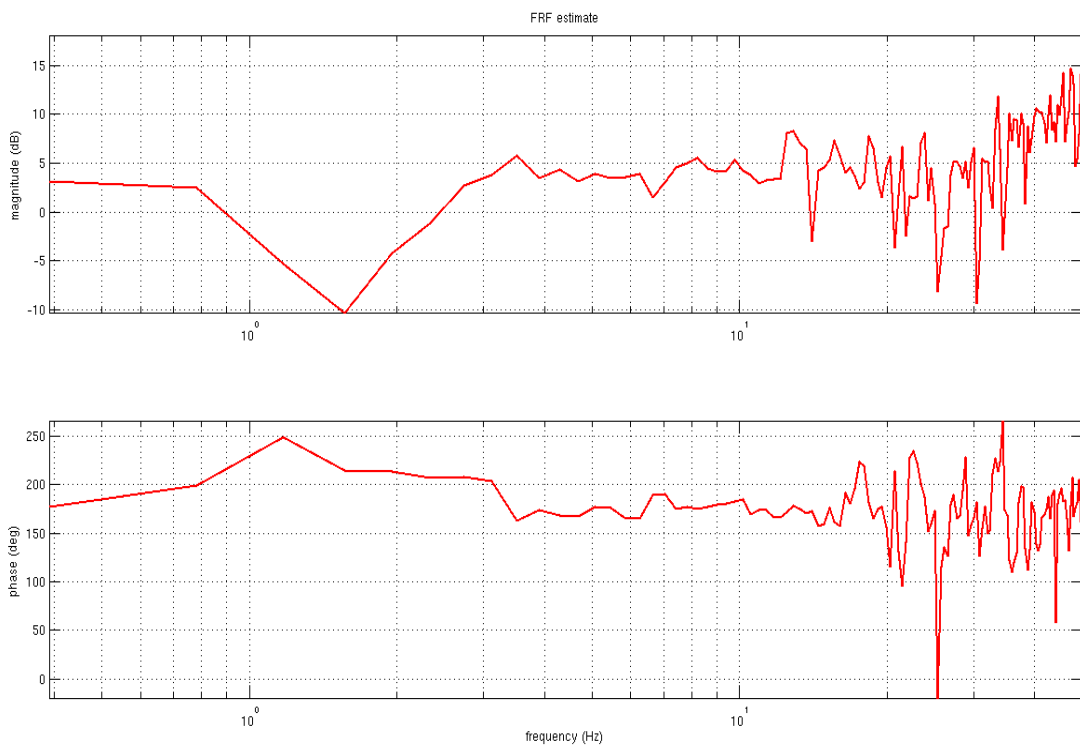


Στροφικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	3,22	3,72	3,516	7,110
2ο επίπεδο	3,21	3,71	3,516	7,110

```
frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,256,64);
```



```
frf([strINP strOUTrel(:,2)],100,256,64);
```



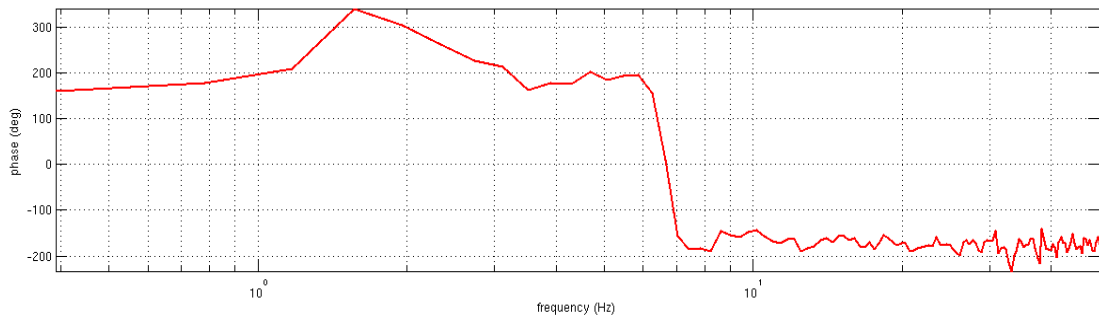
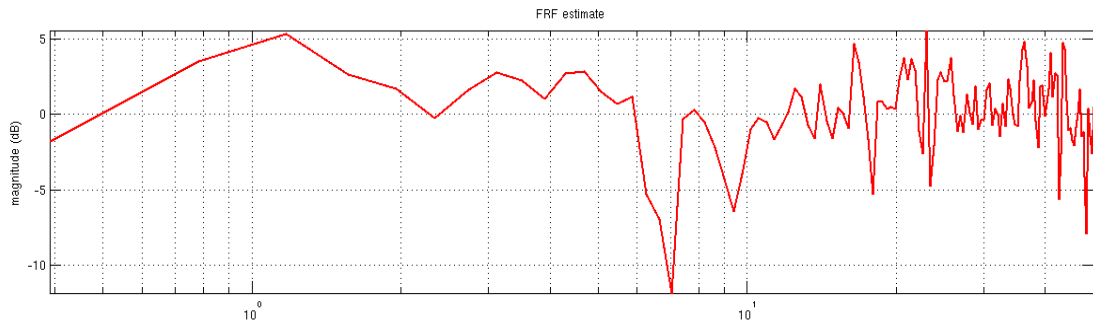


Εικόνα 5: Θλιπτική αστοχία στη 15η Δοκιμή

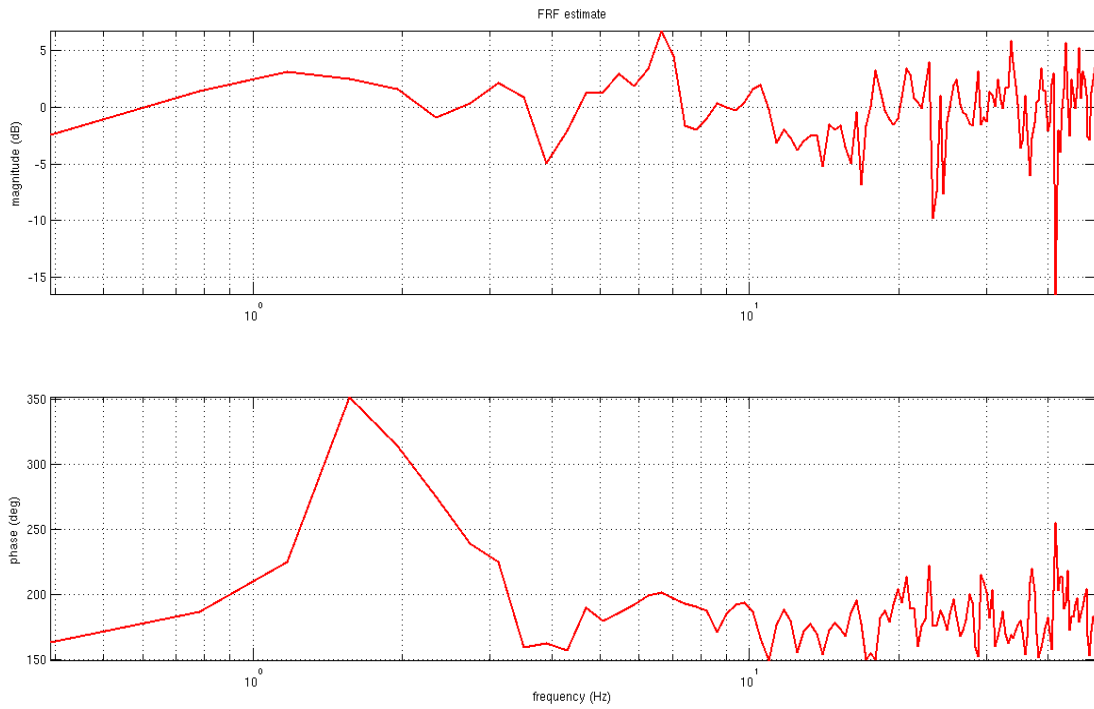
16^η Δοκιμή (0,64g)

Μεταφορικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	1,32	1,69	1,562	11,844
2ο επίπεδο	1,35	1,72	1,562	11,844

frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);

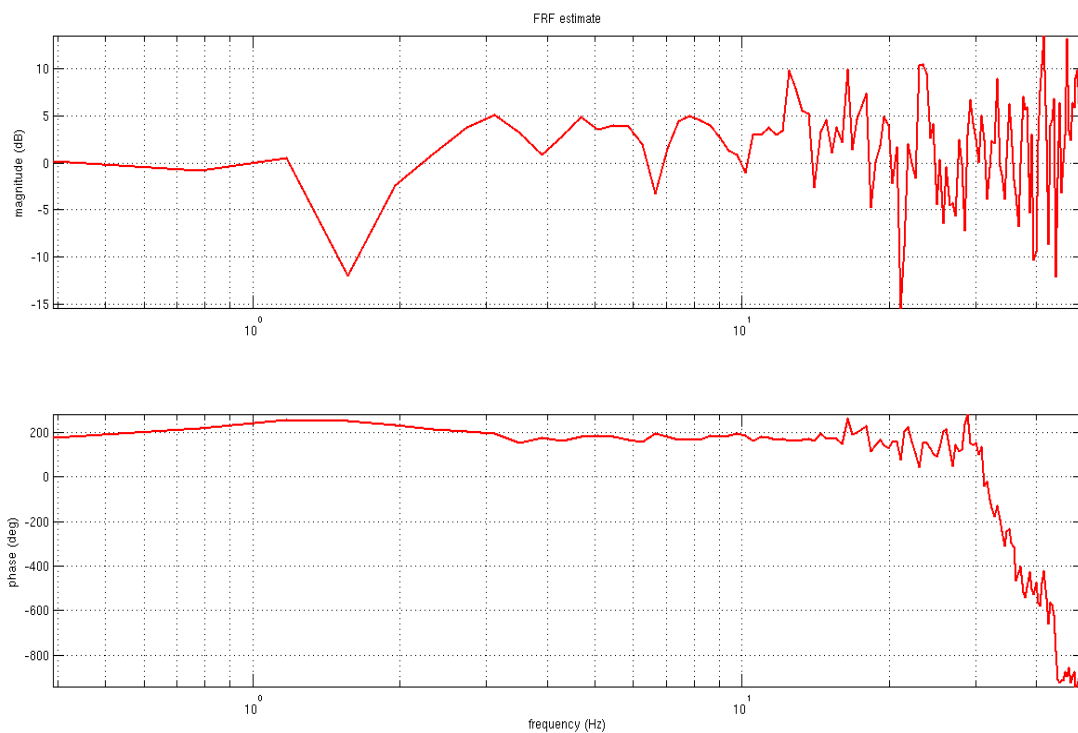


frf([metINP metOUTrel(:,2)],100,256,64);

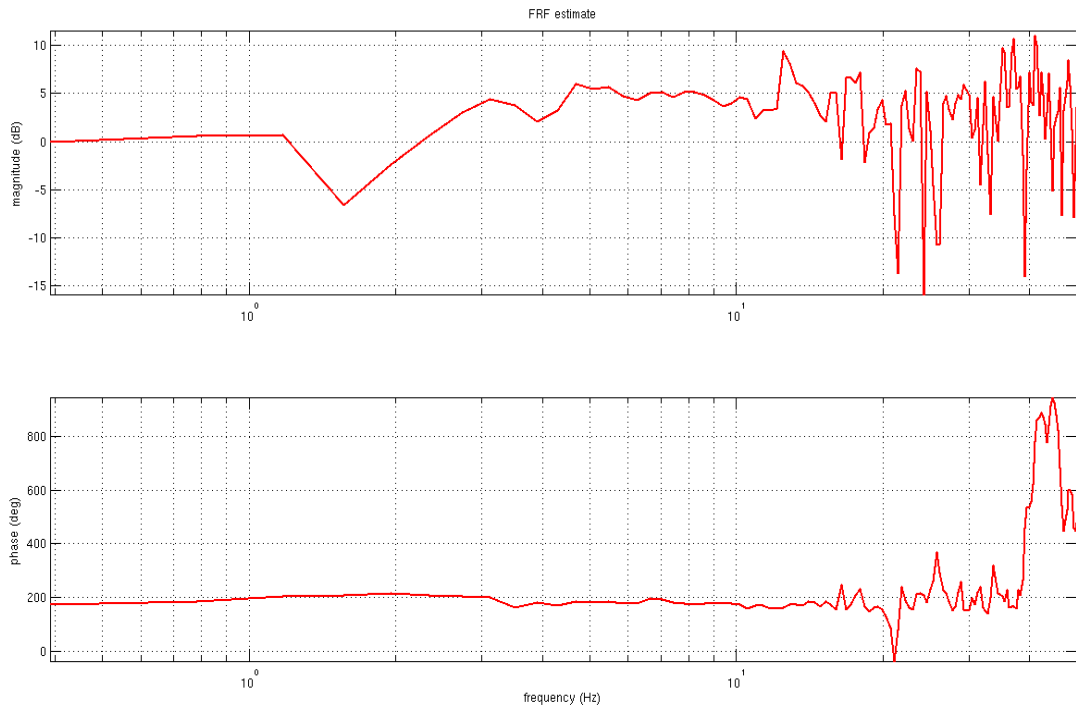


Στροφικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	2,88	3,36	3,125	7,680
2ο επίπεδο	2,86	3,34	3,125	7,680

frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,256,64);



frf([strINP strOUTrel(:,2)],100,256,64);



Εικόνα 6: Θλιπτική αστοχία

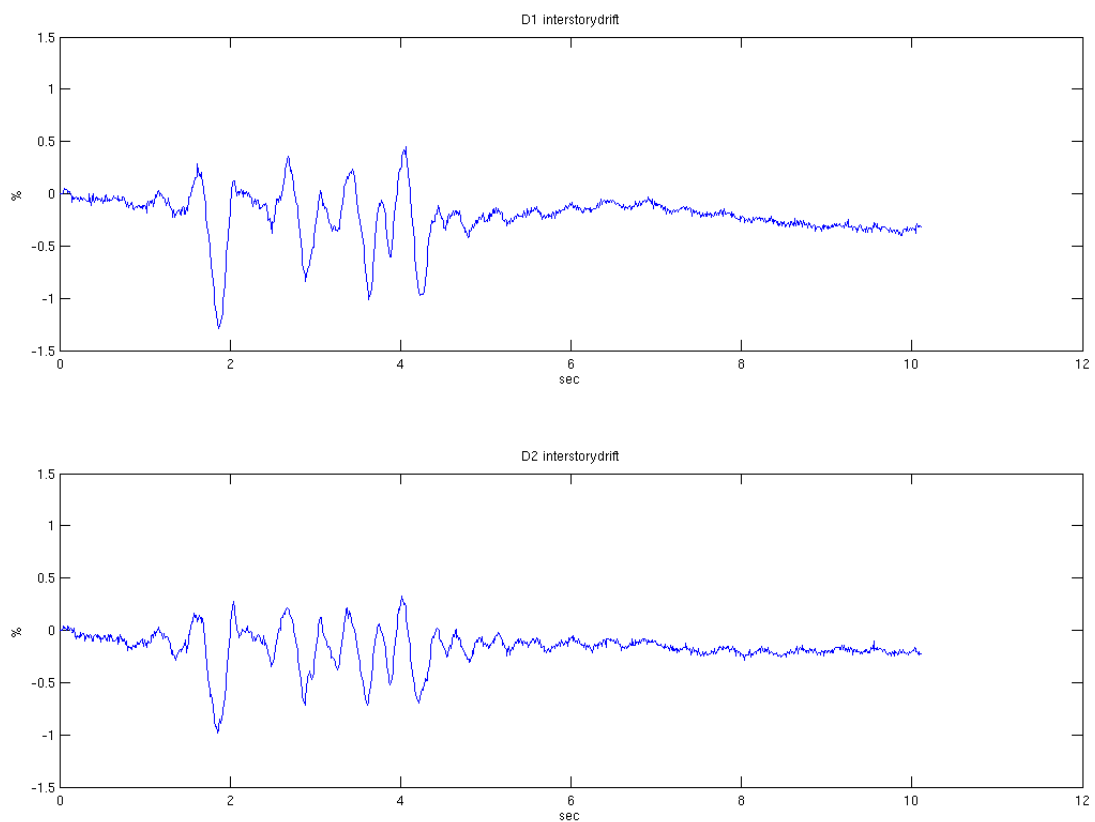


Εικόνα 7: Θλιπτική αστοχία



Εικόνα 8: Θλιπτική αστοχία στην 16η δοκιμή

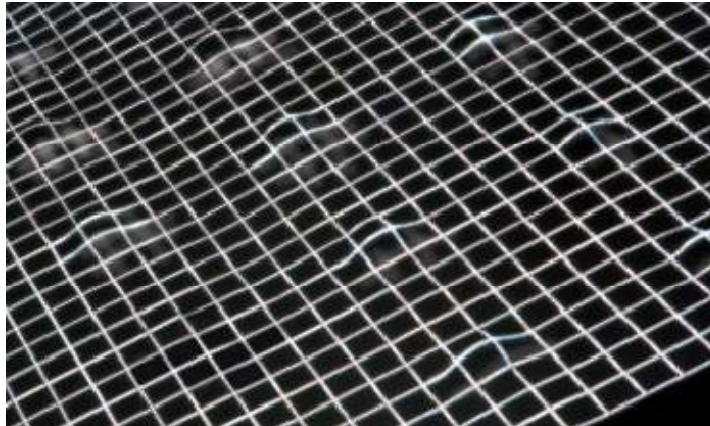
Η μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση του πρώτου ορόφου, όπως διακρίνεται και στο ακόλουθο διάγραμμα, έχει αυξηθεί και ισούται με 1,292%.



2.2 ΔΙΩΡΟΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΠΛΕΓΜΑ Armanent

Η δεύτερη διώροφη κατασκευή είχε ενισχυθεί εξωτερικά με μεταλλικό πλέγμα Armament Dista by Bekaert.

Το Armanent Dista είναι ένα βαριά γαλβανισμένο μεταλλικό πλέγμα με εγκοπές σε τακτά διαστήματα. Αυτές οι εγκοπές ενεργούν ως αποστάτες. Το συγκεκριμένο πλέγμα χρησιμοποιείται κυρίως για την αποφυγή ρηγματώσεων.



Εικόνα 9: Μεταλλικό πλέγμα Armanent Dista

Στην κατασκευή αυτή πραγματοποιήθηκαν δύο επιμέρους πειράματα. Στο πρώτο πείραμα (4-A) είχε τοποθετηθεί μονωτήρες στη βάση της κατασκευής ενώ στο δεύτερο επιμέρους πείραμα (4-B) δεν υπήρχε σεισμική μόνωση.

Η κατασκευή υπόκειται σε ημιτονοειδές λογαριθμικό σήμα σεισμού (sine sweep) καθώς και σε τυχαία δόνηση σεισμού (random tests) κατά άξονα χ.

2.2.1 Δοκίμιο Α (Με σεισμική μόνωση)

Στην πρώτη περίπτωση, είχαν τοποθετηθεί εφέδρανα στη βάση της κατασκευής όπως διακρίνεται και στις εικόνες που ακολουθούν.

Τα εφέδρανα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν υψηλής απόσβεσης (High Damping Rubber Bearings), πρισματικά και είχαν διαστάσεις 50×50×300mm.



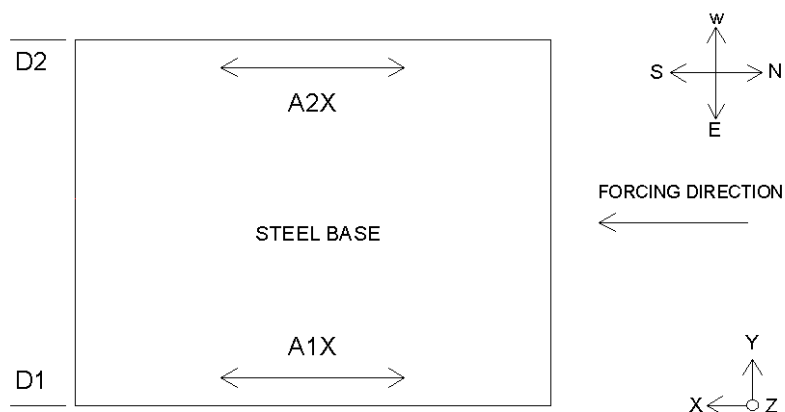
Εικόνα 10: Διώροφη κατασκευή ενισχυμένη με Armanent, σεισμικά μονωμένη

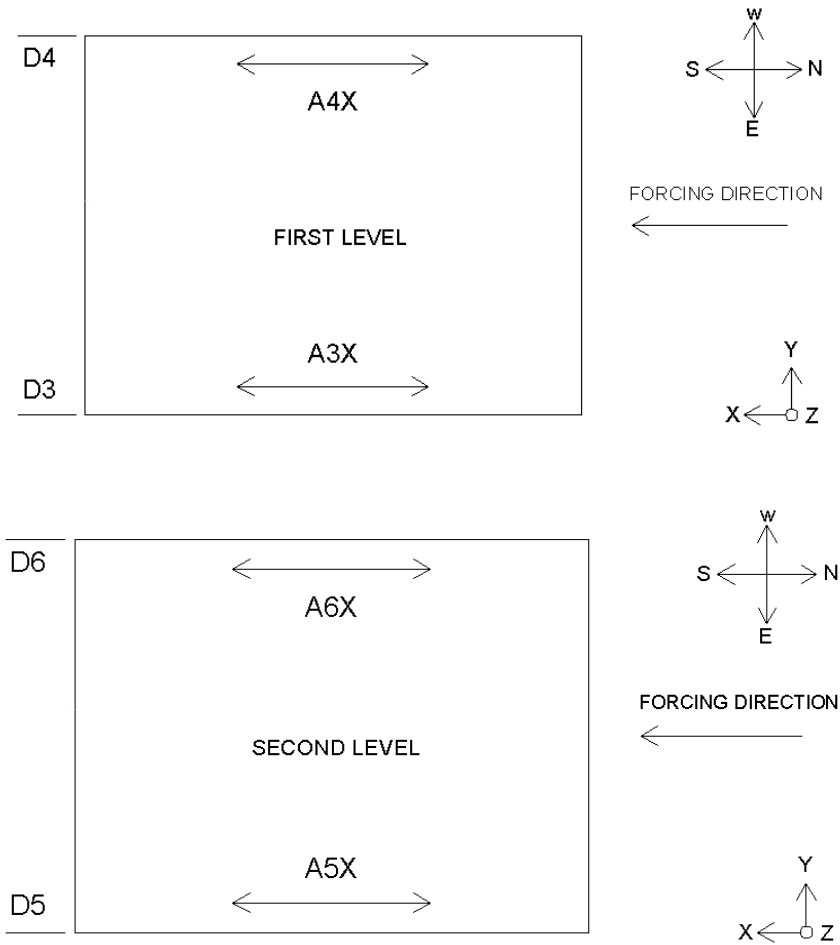


Εικόνα 11: Τοποθέτηση εφεδράνων στη βάση της κατασκευής

Στον δεύτερο όροφο έχουν τοποθετηθεί πέντε πλάκες του ενός τόνου. Στο πείραμα αυτό χρησιμοποιήθηκαν χαμηλών επιπέδων χρονοϊστορίες προκειμένου η ίδια κατασκευή να χρησιμοποιηθεί και στο δεύτερο πείραμα (Δοκίμιο 4-B) με αποτέλεσμα η κατασκευή να μη παρουσιάσει καμία αστοχία και να έχει σε όλες τις δοκιμές την ίδια ιδιοσυχνότητα και λόγο απόσβεσης.

Η τοποθέτηση των επιταχυνσιομέτρων φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:





Εικόνα 12: Τοποθέτηση επιταχυνσιομέτρων

Πίνακας 2 : Περιγραφή Δοκιμών

Δοκιμή No	Τεχνητές χρονοϊστορίες
1	0.04g
2	0.06g
3	0.08g
4	0.12g
5	0.16g

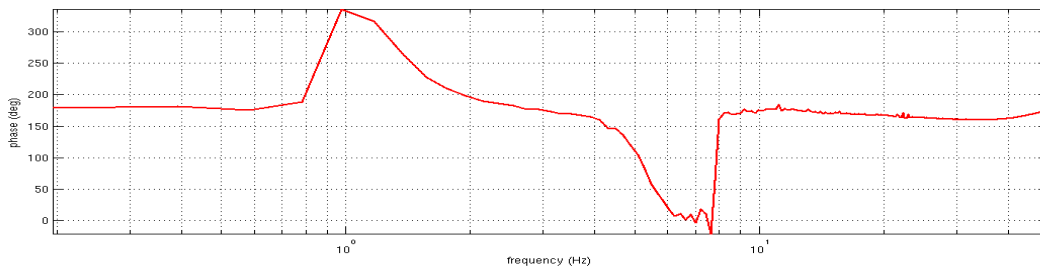
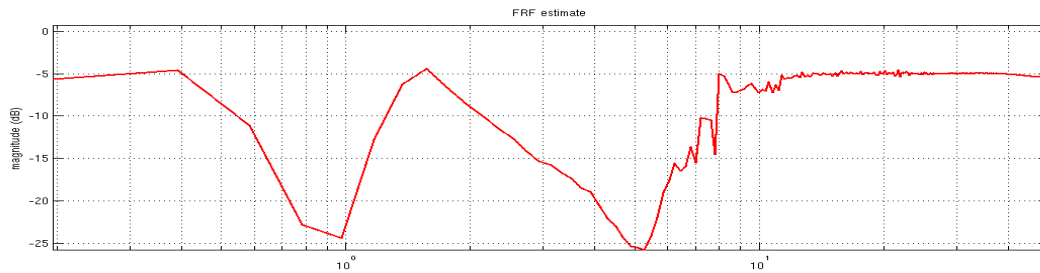
2.2.1.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Σε όλες τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στην κατασκευή (σύνολο 5) καθώς επίσης και στο ημιτονοειδές λογαριθμικό σήμα σεισμού (sine sweep), η τιμή των ιδιοσυχνοτήτων παρέμεινε σταθερή καθότι η κατασκευή δεν εμφάνισε καμία αστοχία.

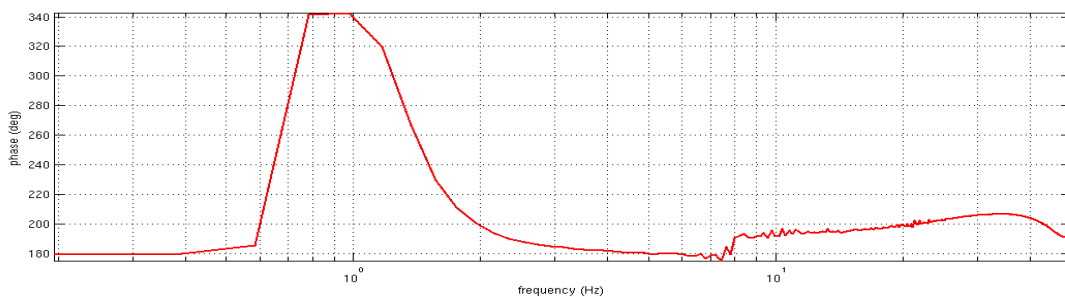
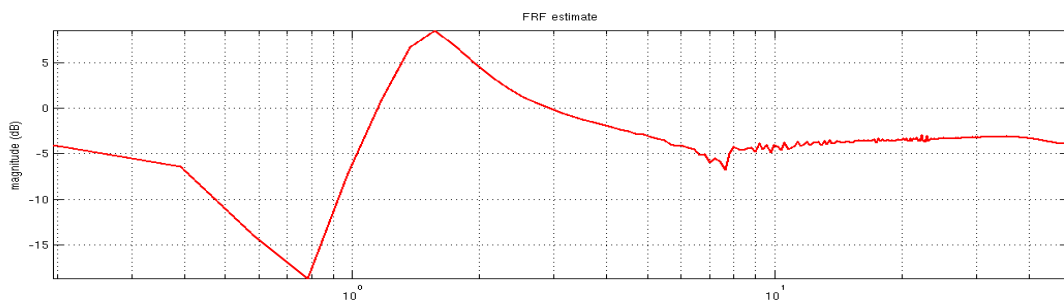
Ημιτονοειδές Λογαριθμικό σήμα σεισμού

Μεταφορικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	1,51	1,84	1,562	10,563
2ο επίπεδο	1,55	1,88	1,562	10,563
3ο επίπεδο	1,52	1,85	1,562	10,563

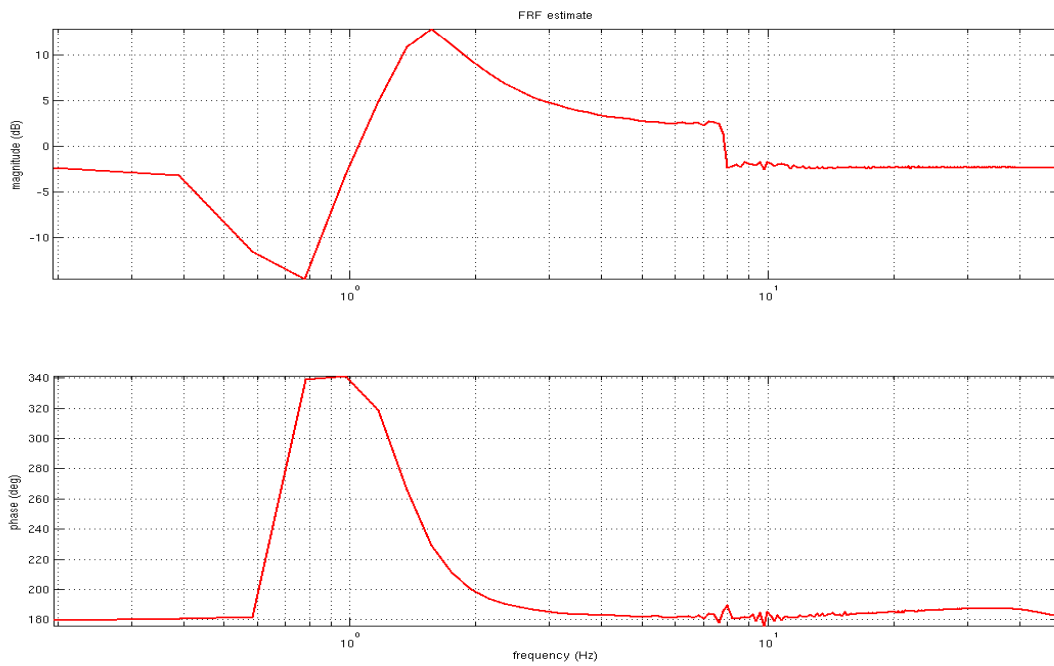
```
frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,512,64);
```



```
frf([metINP metOUTrel(:,2)],100,512,64);
```

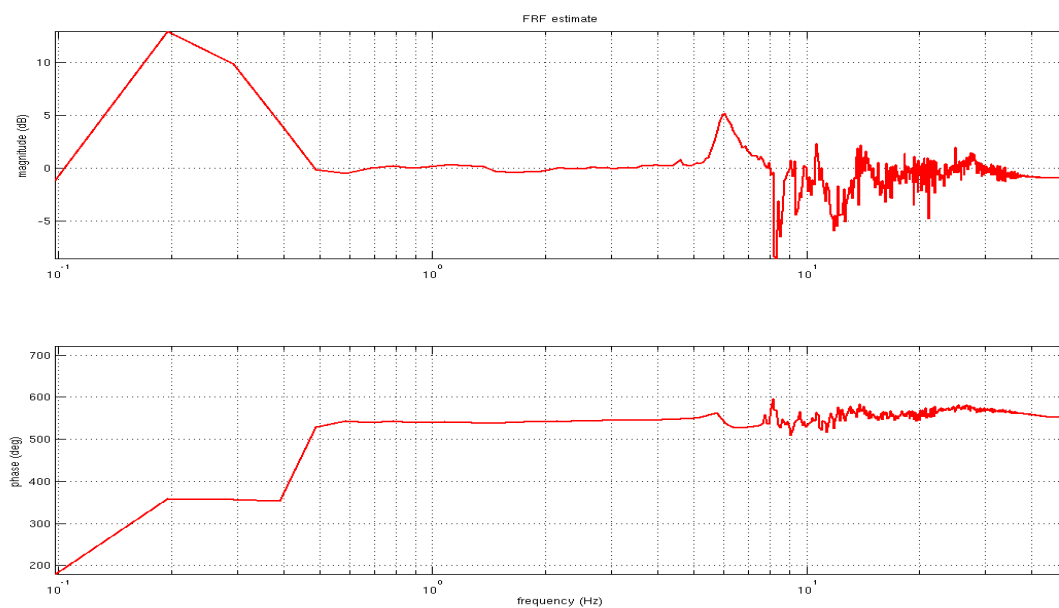


frf([metINP metOUTrel(:,3)],100,512,64);

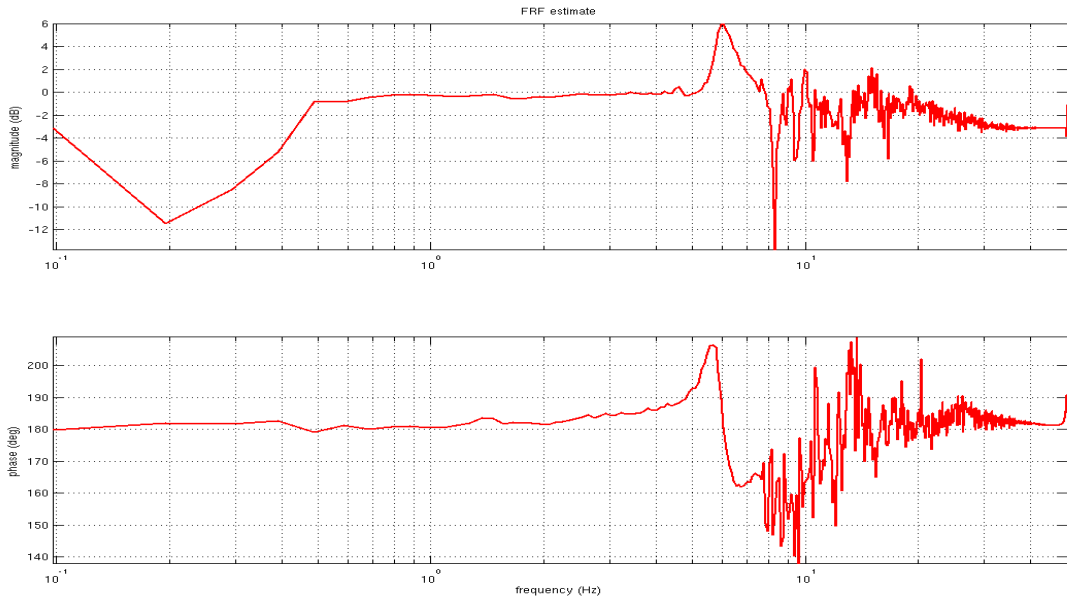


Στροφικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	5,672	6,621	5,957	7,965
2ο επίπεδο	5,685	6,634	5,957	7,965
3ο επίπεδο	5,588	6,537	5,957	7,965

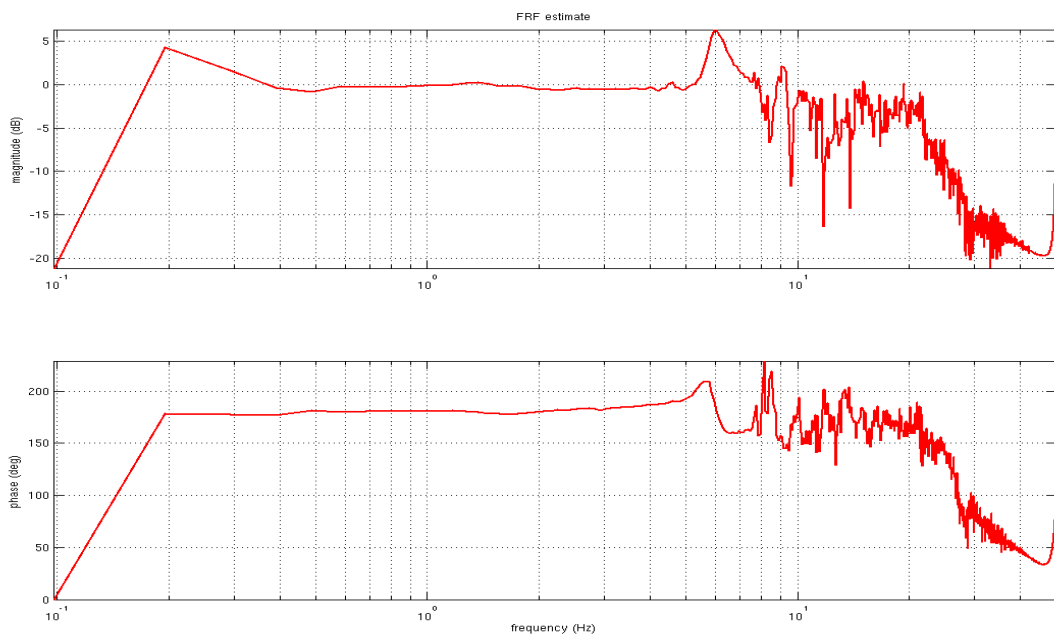
frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,1024,64);



`frf([strINP strOUTrel(:,2)],100,1024,64);`



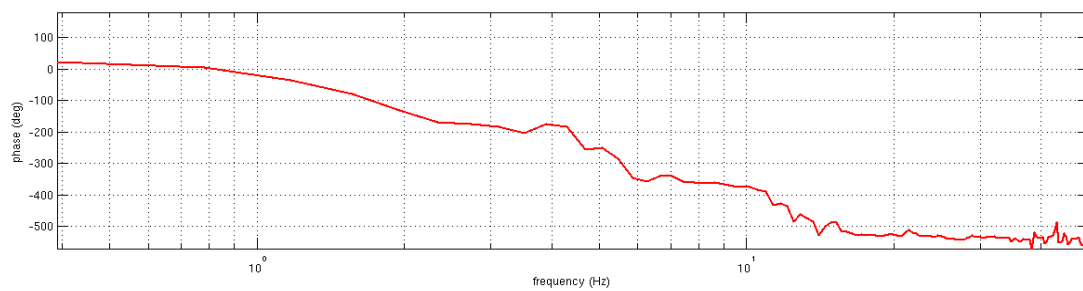
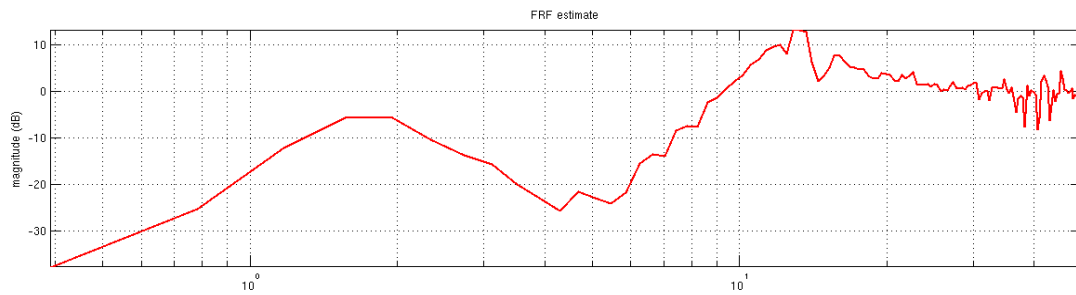
`frf([strINP strOUTrel(:,3)],100,1024,64);`



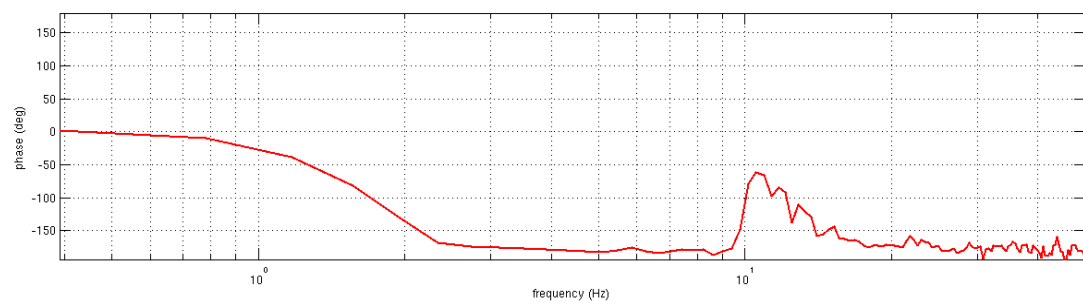
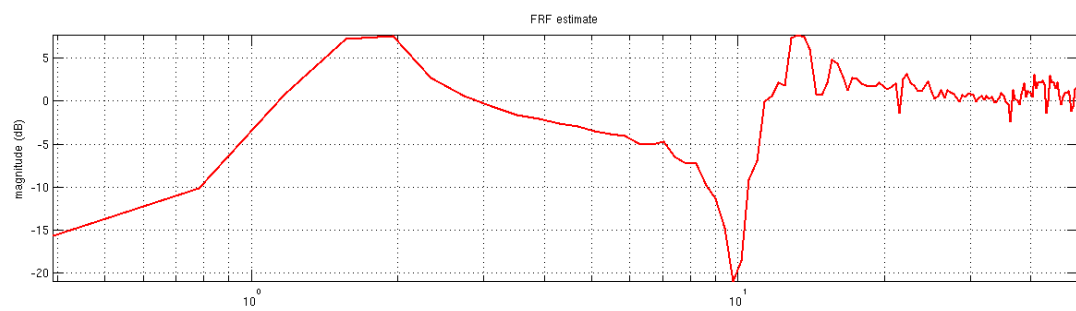
1^η Δοκιμή (0,04g)

Μεταφορικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	1,44	1,71	1,562	8,643
2ο επίπεδο	1,39	1,66	1,562	8,643
3ο επίπεδο	1,45	1,72	1,562	8,643

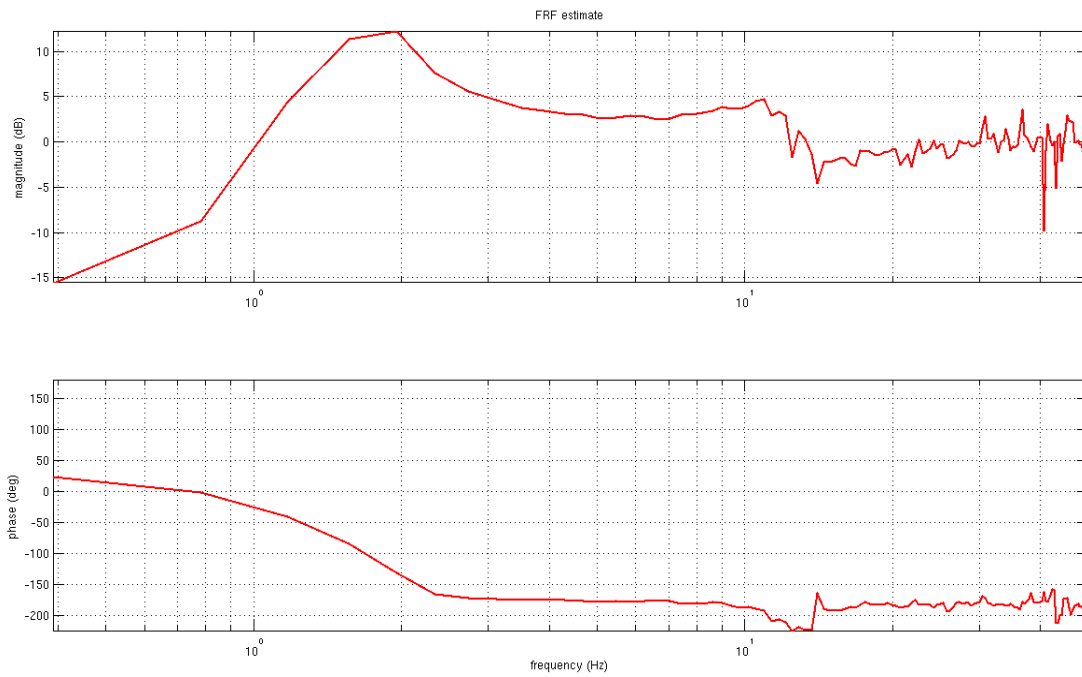
```
frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);
```



```
frf([metINP metOUTrel(:,2)],100,256,64);
```

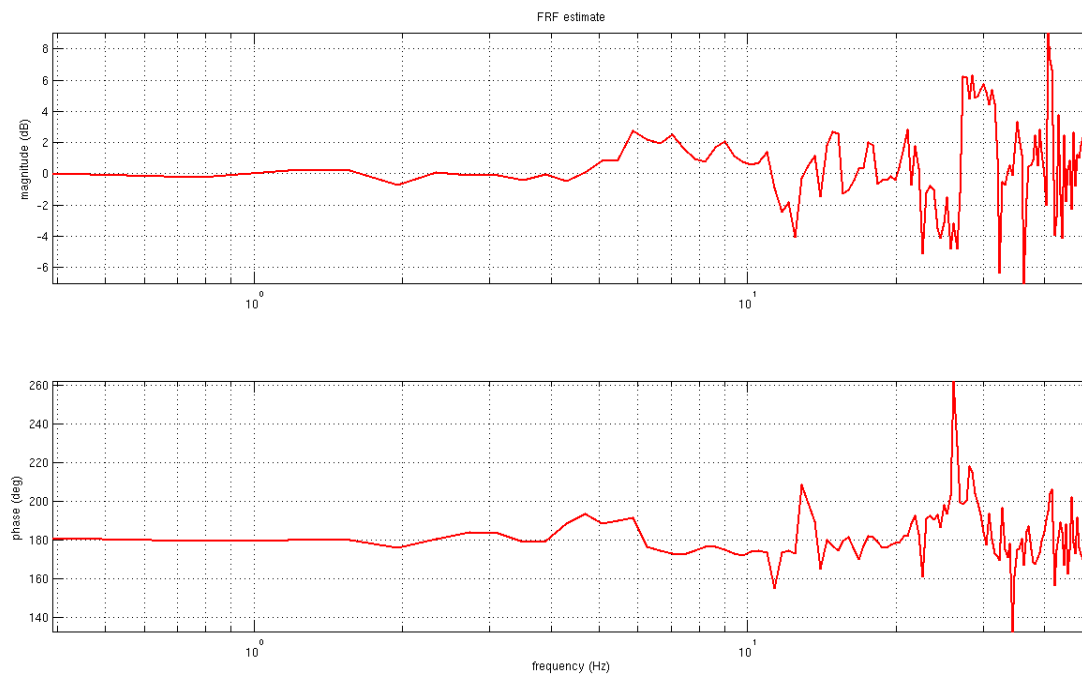


frf([metINP metOUTrel(:,3)],100,256,64);

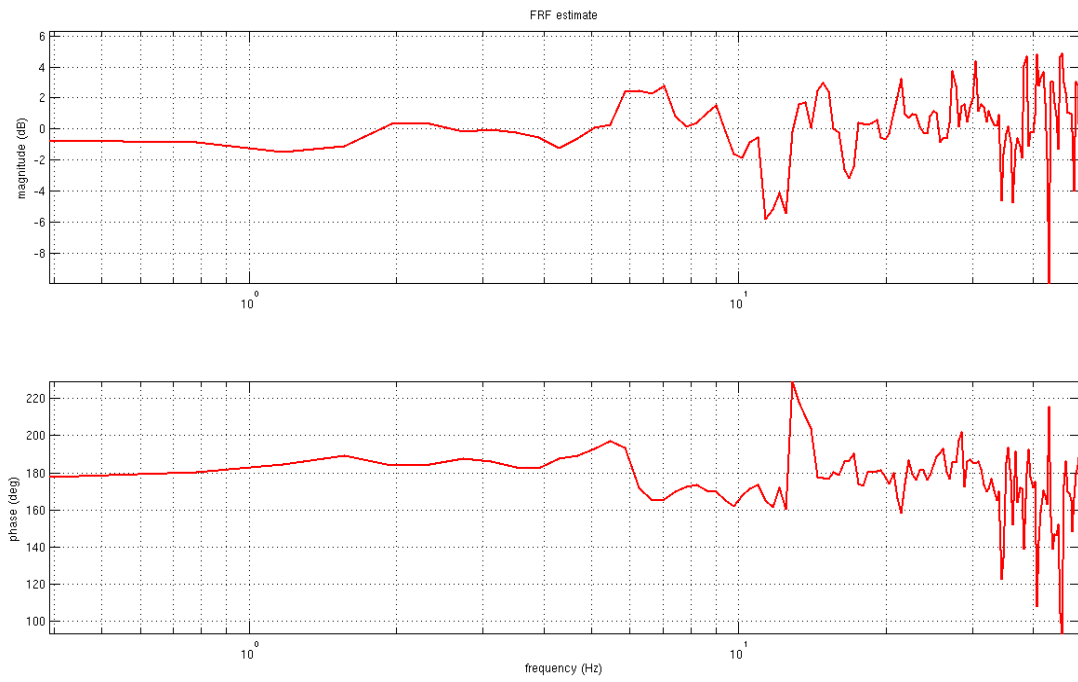


Στροφικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	5,42	6,24	5,859	6,998
2ο επίπεδο	5,39	6,21	5,859	6,998
3ο επίπεδο	5,35	6,17	5,859	6,998

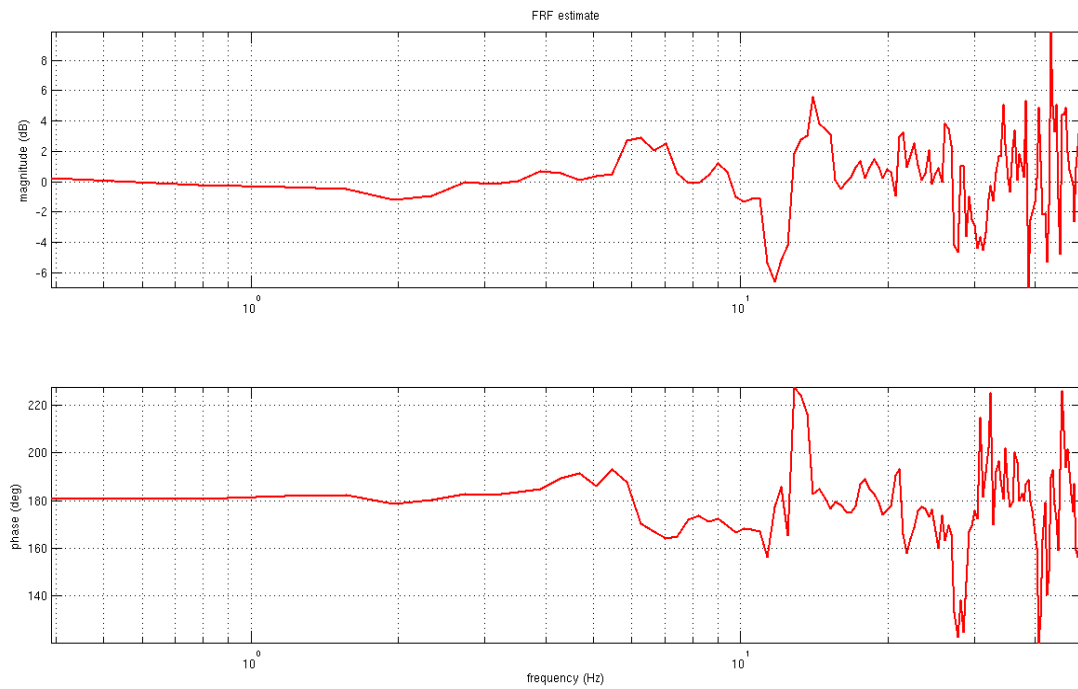
frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,256,64);



frf([strINP strOUTrel(:,2)],100,256,64);



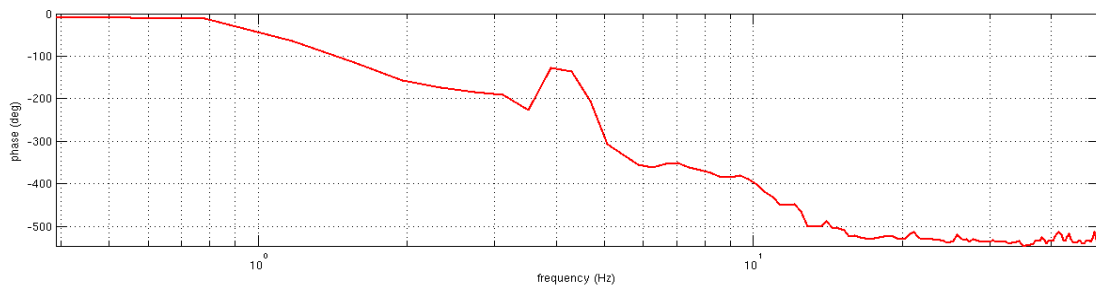
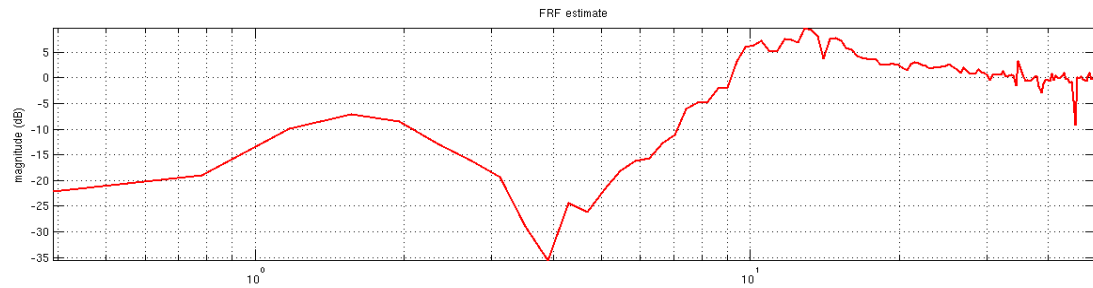
frf([strINP strOUTrel(:,3)],100,256,64);



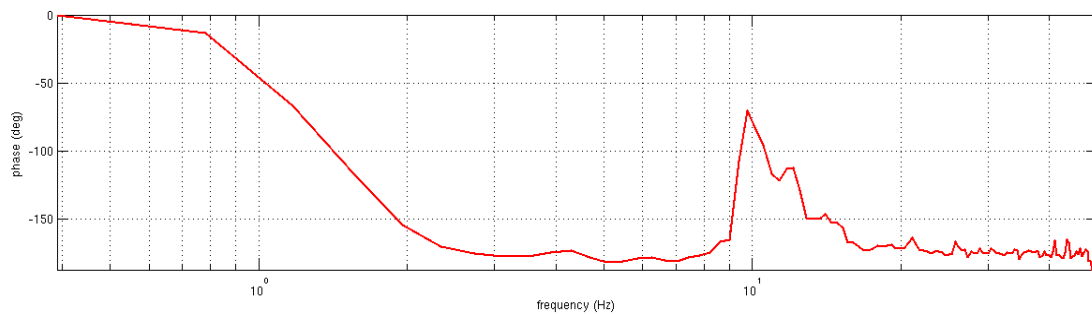
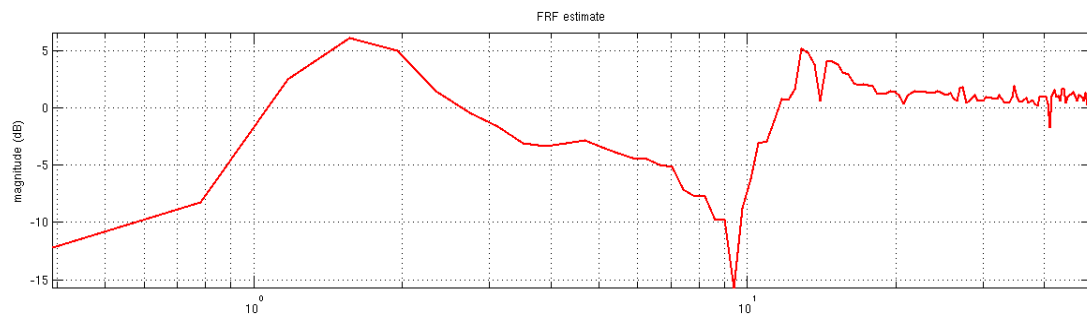
5^η Δοκιμή (0,16g)

Μεταφορικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	1,39	1,66	1,562	8,643
2ο επίπεδο	1,37	1,64	1,562	8,643
3ο επίπεδο	1,36	1,63	1,562	8,643

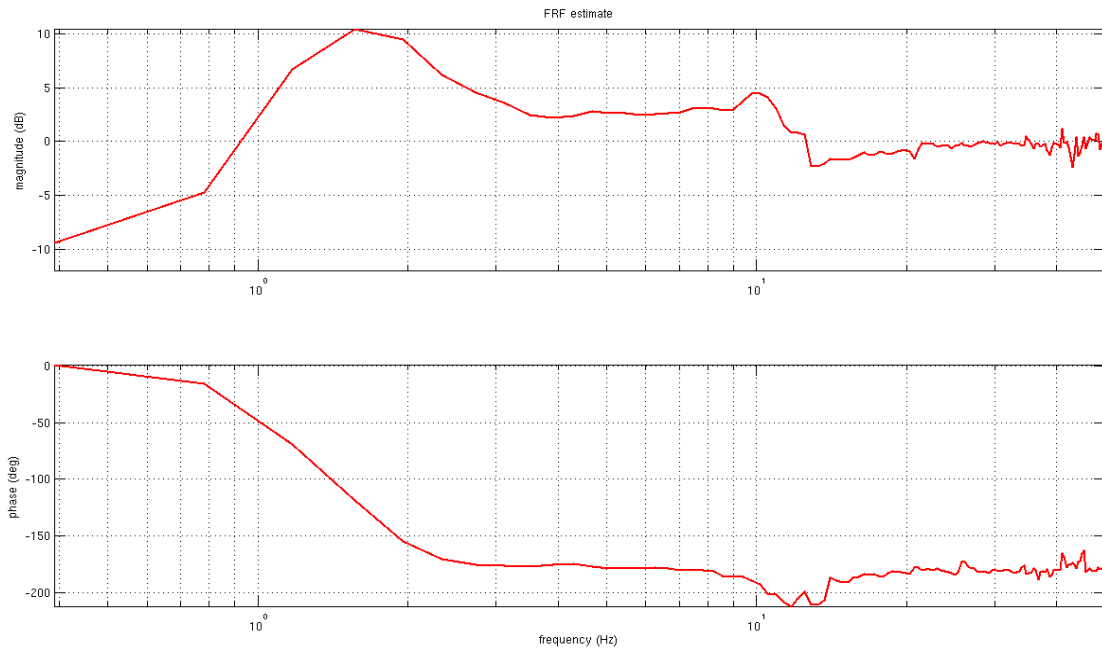
```
frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);
```



```
frf([metINP metOUTrel(:,2)],100,256,64);
```

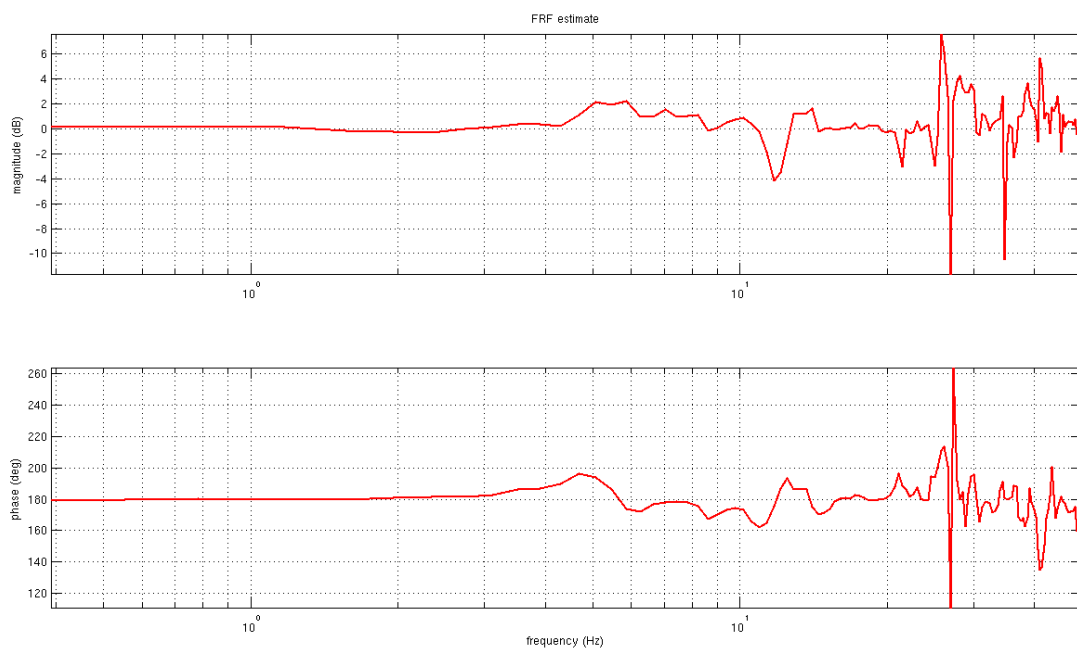


```
frf([metINP metOUTrel(:,3)],100,256,64);
```

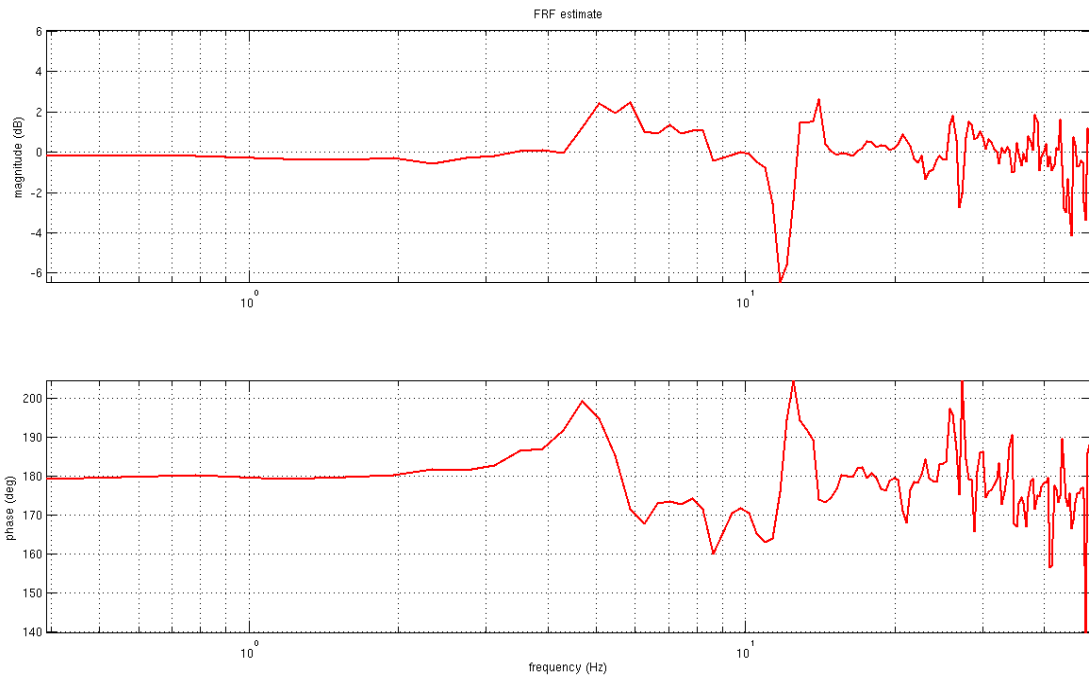


Στροφικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	5,49	6,31	5,859	6,998
2ο επίπεδο	5,47	6,29	5,859	6,998
3ο επίπεδο	5,51	6,33	5,859	6,998

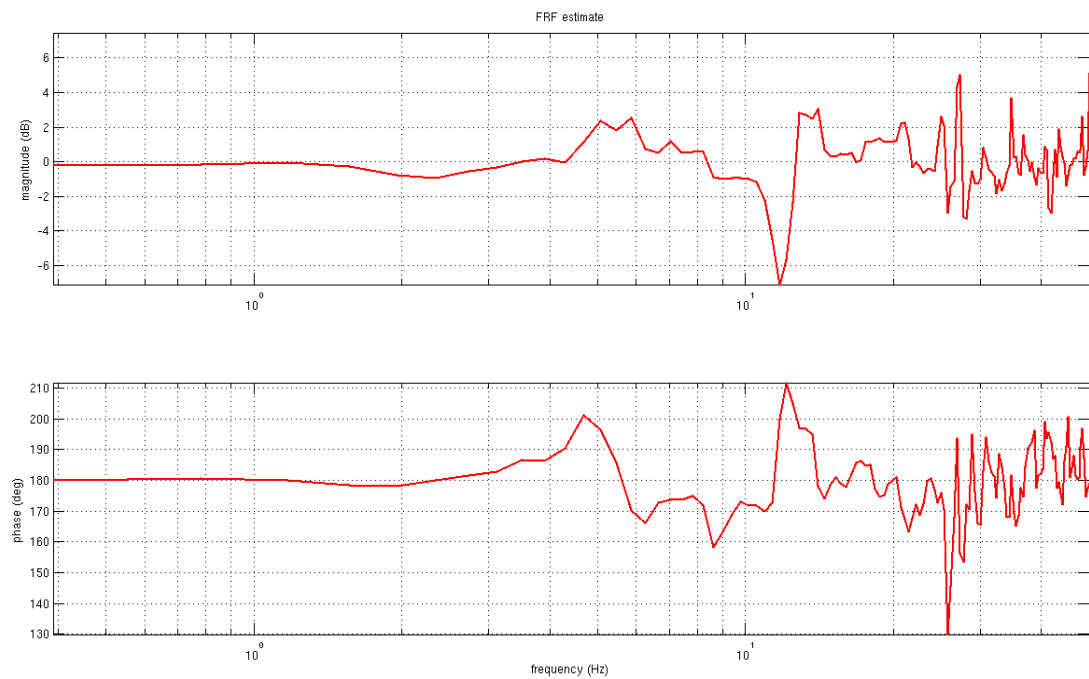
```
frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,256,64);
```



frf([strINP strOUTrel(:,2)],100,256,64);



frf([strINP strOUTrel(:,3)],100,256,64);



2.2.2 Δοκίμιο Β (Χωρίς σεισμική μόνωση)

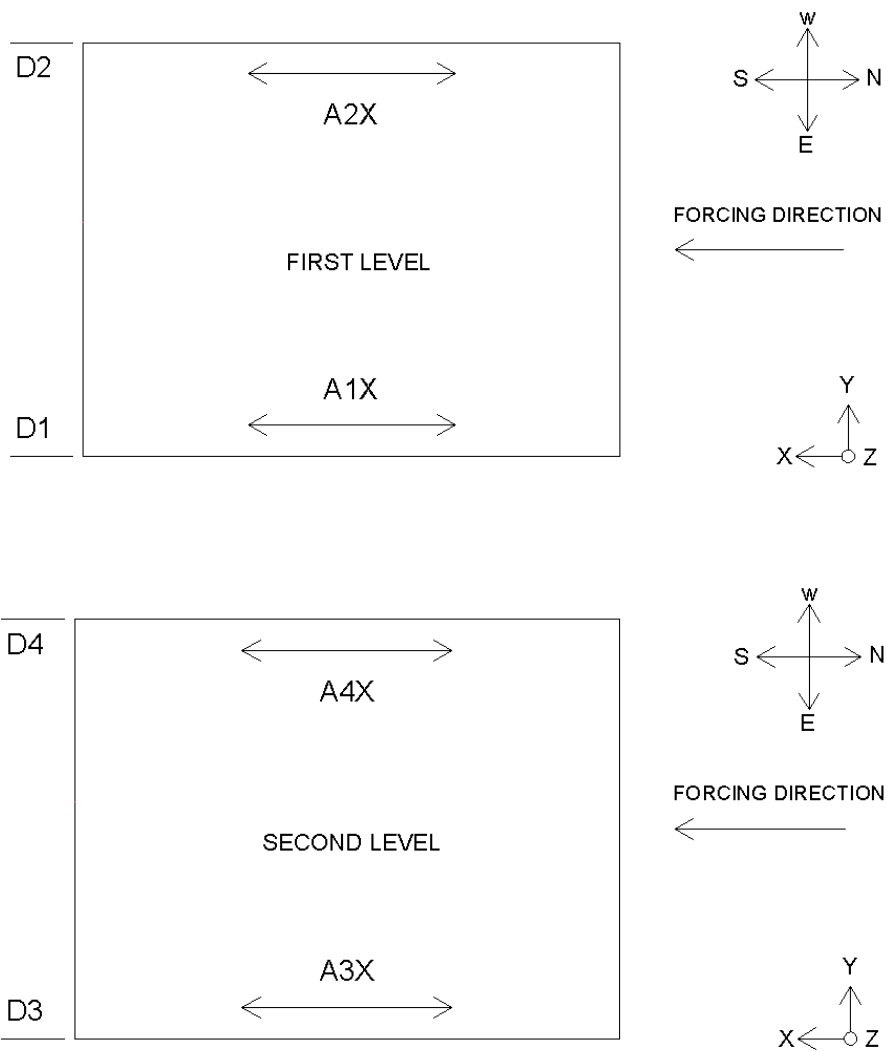
Το πείραμα που ακολουθεί πραγματοποιήθηκε στην ίδια διώροφη κατασκευή, η οποία είχε ενισχυθεί εξωτερικά με μεταλλικό πλέγμα Armament, αφού προηγουμένως αφαιρέθηκαν οι μονωτήρες από τη βάση της.



Εικόνα 13: Διώροφη κατασκευή χωρίς σεισμική μόνωση στη βάση

Στον δεύτερο όροφο έχουν επίσης τοποθετηθεί πέντε πλάκες του ενός τόνου. Η κατασκευή υπόκειται σε ημιτονοειδές λογαριθμικό σήμα σεισμού (sine sweep) καθώς και σε τυχαία δόνηση σεισμού (random tests) κατά άξονα χ.

Η τοποθέτηση των επιταχυνσιομέτρων φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 14: Τοποθέτηση επιταχυνσιομέτρων

Πίνακας 3 : Περιγραφή Δοκιμών

Δοκιμή Νο	Τεχνητές χρονοϊστορίες
1	0.04g
2	0.06g
3	0.08g
4	0.12g
5	0.16g
6	0.20g
7	0.24g
8	0.28g
9	0.36g
10	0.40g
11	0.44g
12	0.48g
13	0.56g
14	0.64g
15	0.70g
16	0.80g

2.2.2.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

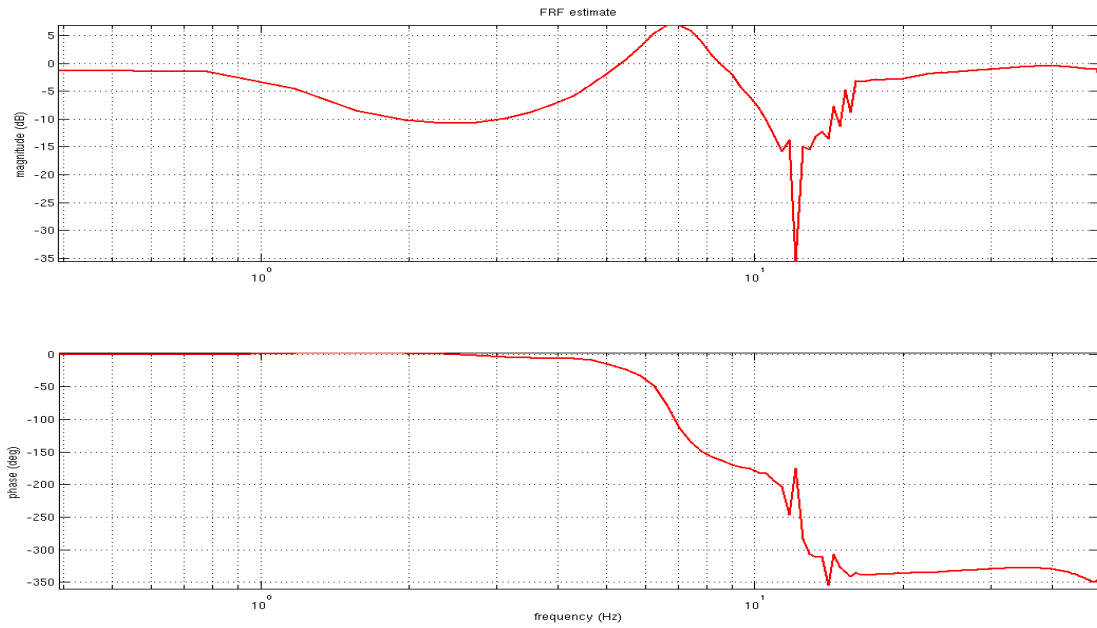
Από τον υπολογισμό των συχνοτήτων απόκρισης και των μεταφορικών ιδιομορφών, ο λόγος απόσβεσης σε κάθε δοκιμή λαμβάνει μεγάλες τιμές, μη φυσιολογικές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ίδια κατασκευή χρησιμοποιήθηκε και στο προηγούμενο πείραμα με τη σεισμική μόνωση, με αποτέλεσμα να έχει ήδη καταπονηθεί.

Για τον λόγο αυτό, ο λόγος απόσβεσης υπολογίστηκε και παρουσιάζεται μόνο στο ημιτονοειδές λογαριθμικό σήμα σεισμού (sine sweep) και στην 1^η δοκιμή.

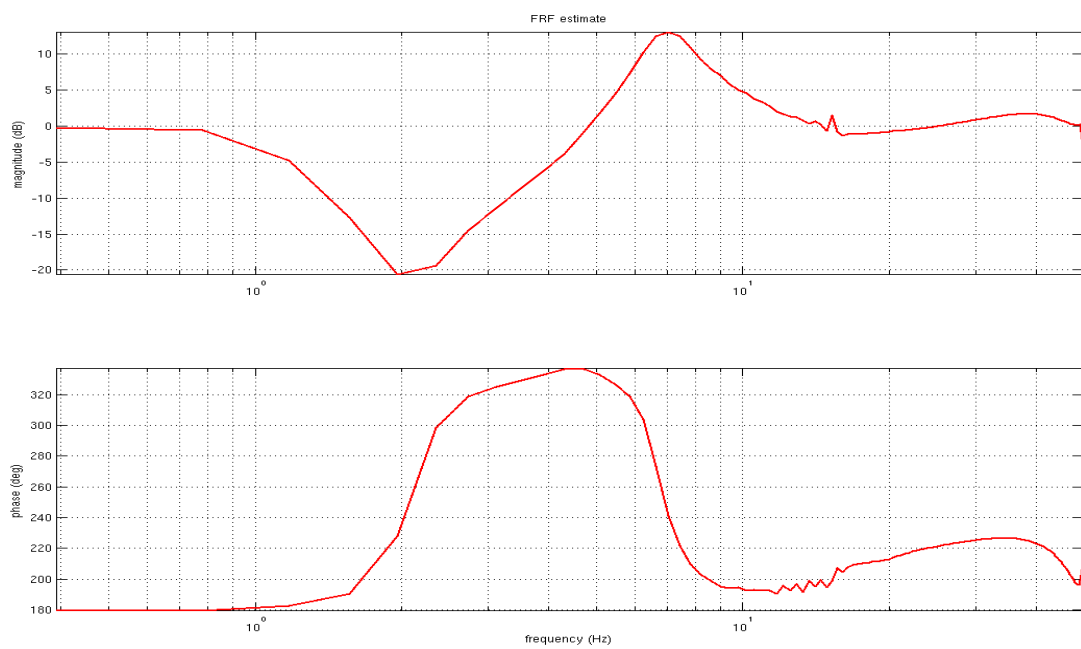
Ημιτονοειδές Λογαριθμικό σήμα σεισμού

Μεταφορικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	5,96	7,82	7,031	13,22
2ο επίπεδο	5,93	7,79	7,031	13,22

```
frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);
```

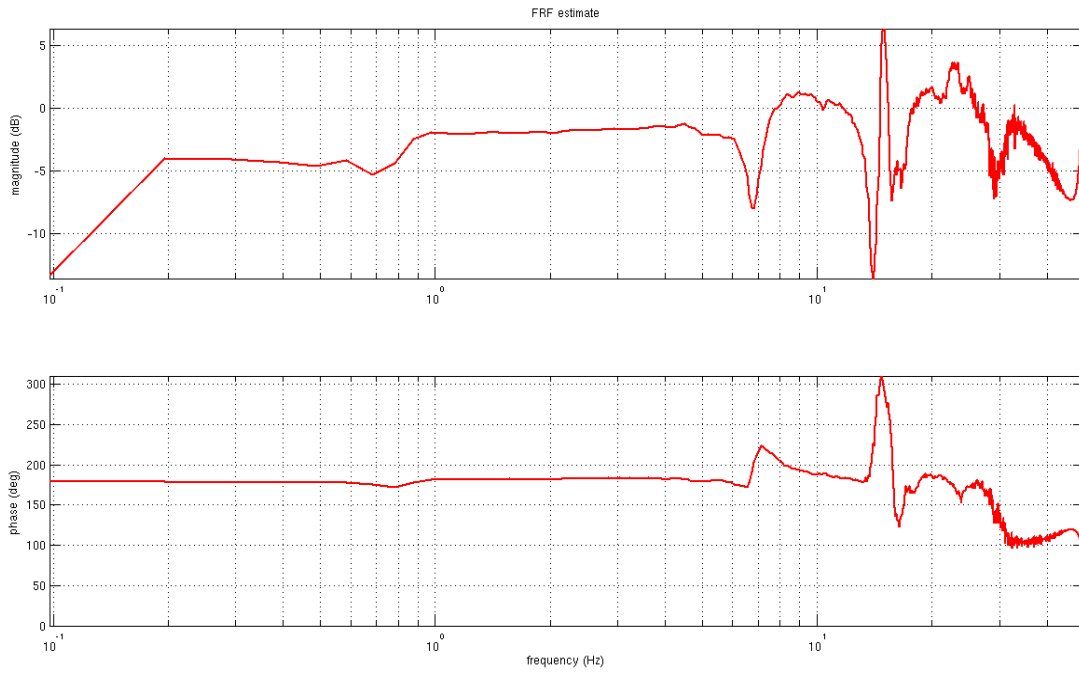


```
frf([metINP metOUTrel(:,2)],100,256,64);
```

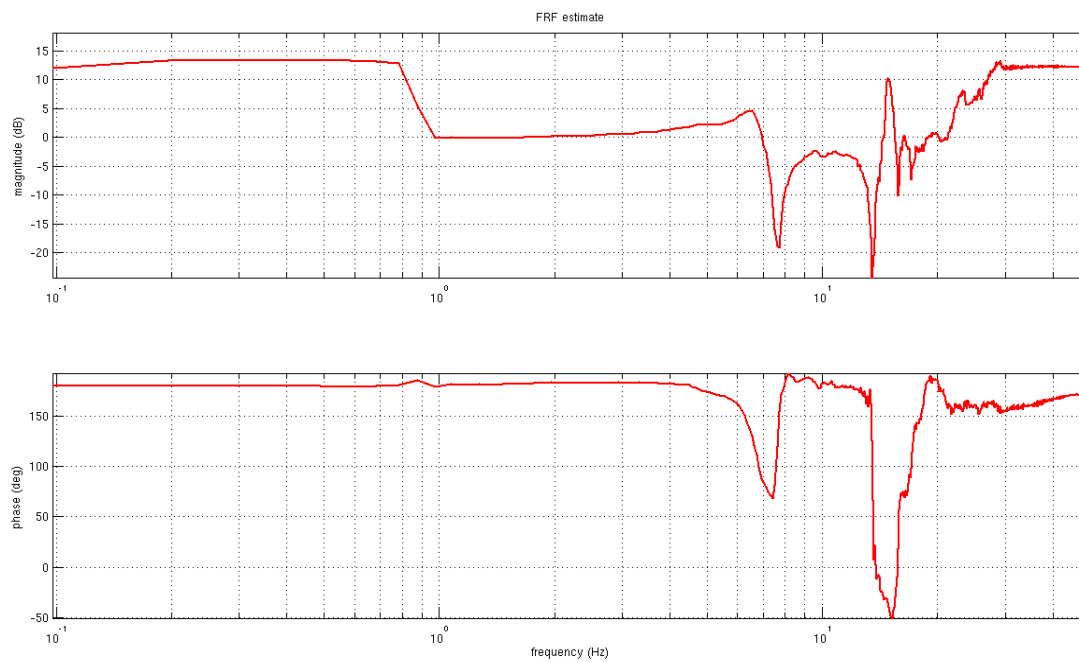


Στροφικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	7,08	7,92	7,422	12,47
2ο επίπεδο	6,26	7,2	7,031	13,22

```
frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,1024,64);
```



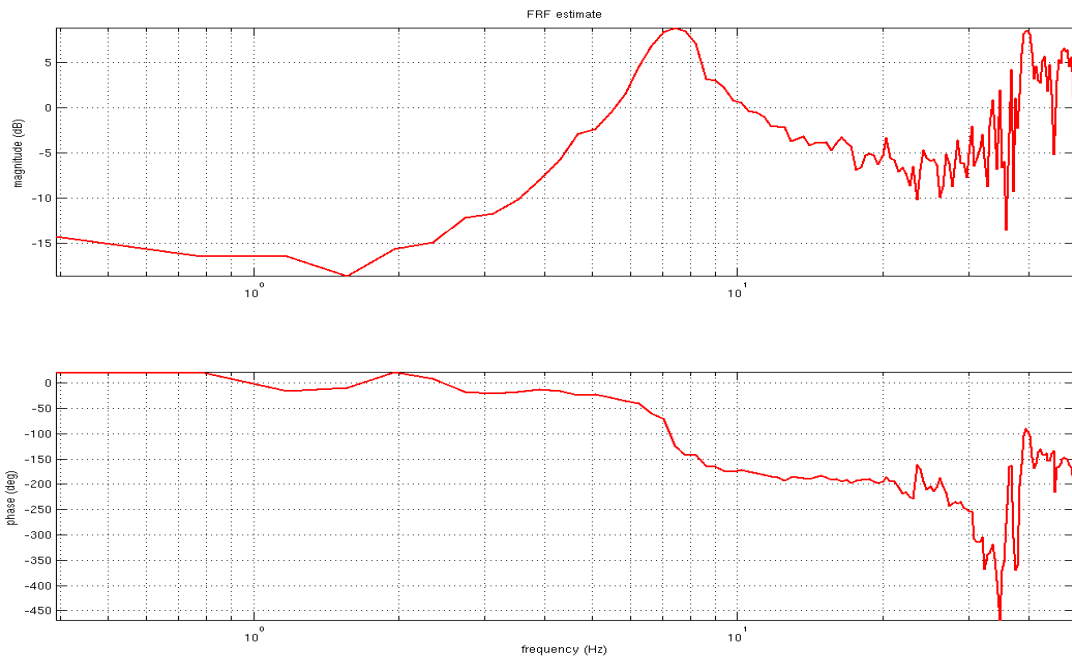
```
frf([strINP strOUTrel(:,2)],100,1024,64);
```



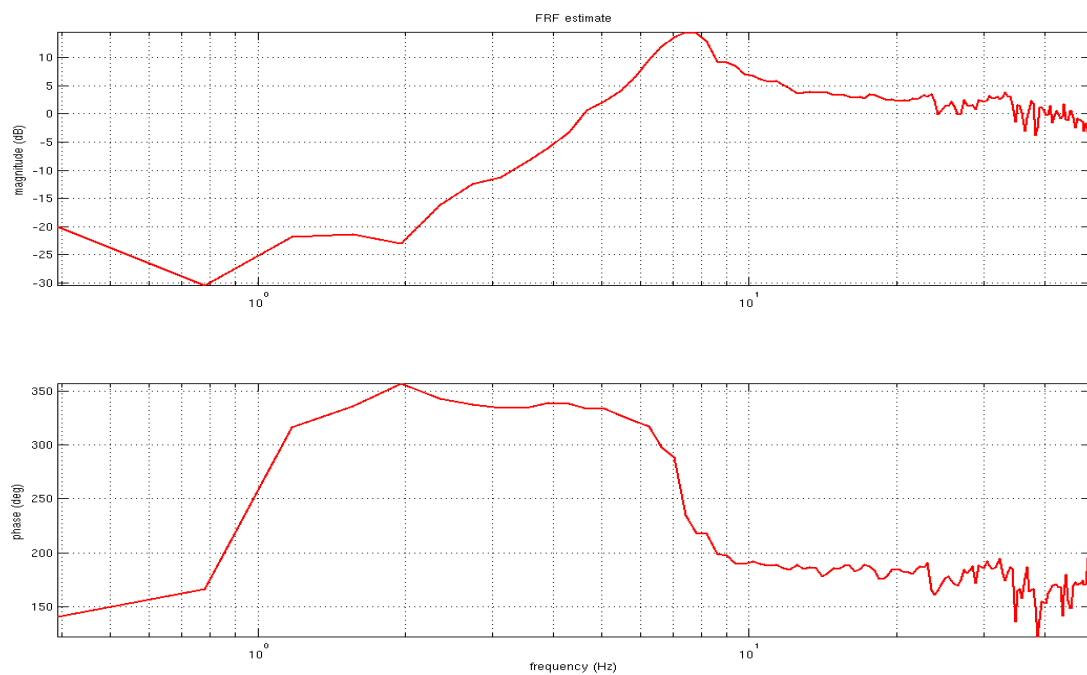
1^η Δοκιμή (0.04g)

Μεταφορικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	6,41	8,27	7,031	13,22
2ο επίπεδο	6,37	8,23	7,031	13,22

```
frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,58);
```

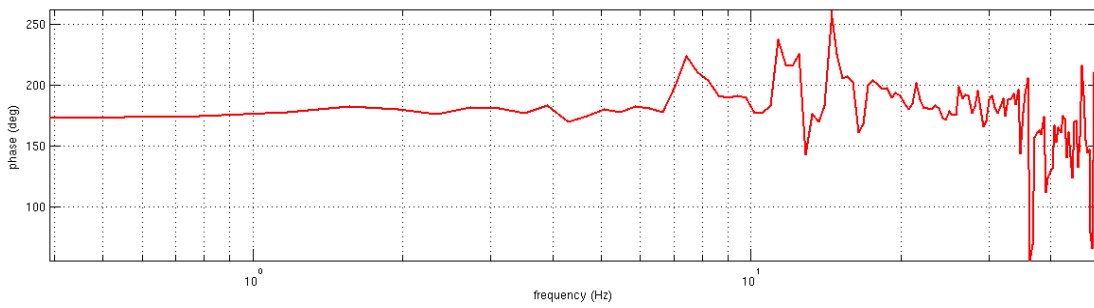
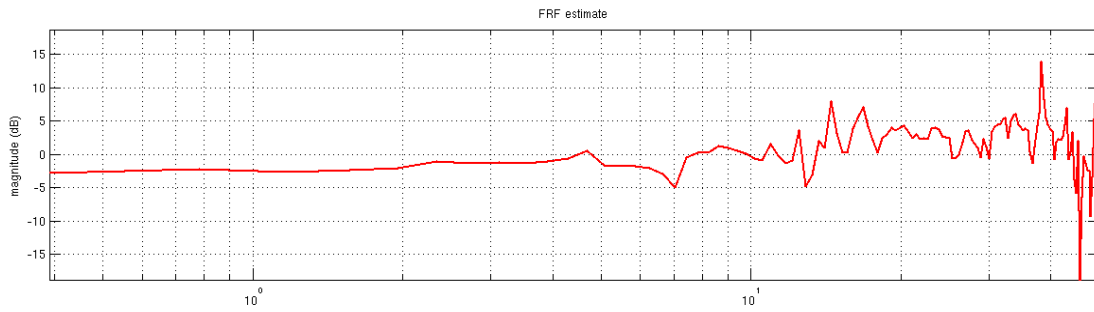


```
frf([metINP metOUTrel(:,2)],100,256,58);
```

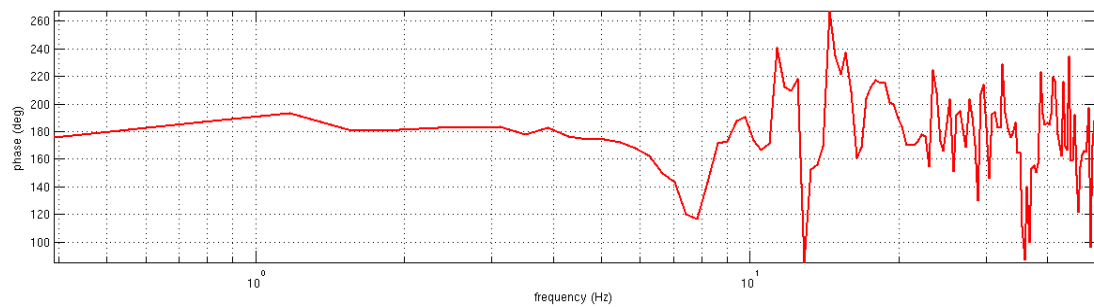
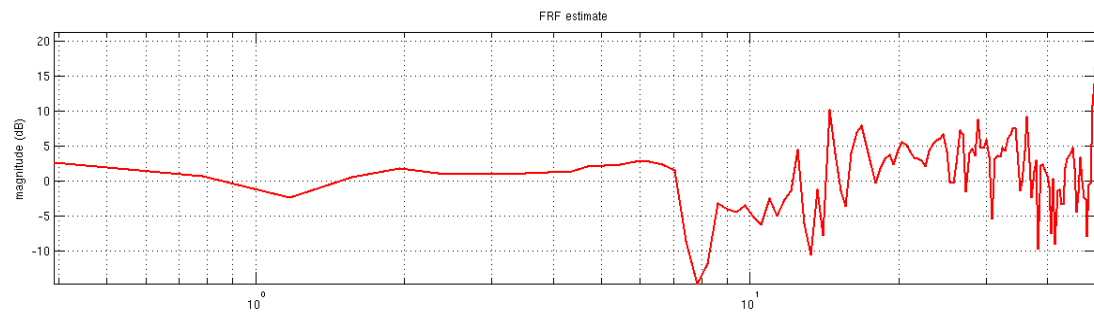


Στροφικές Ιδιομορφές				
	fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1ο επίπεδο	7,06	7,9	7,422	12,47
2ο επίπεδο	6,54	7,48	7,031	13,22

```
frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,256,64);
```



```
frf([strINP strOUTrel(:,2)],100,256,64);
```

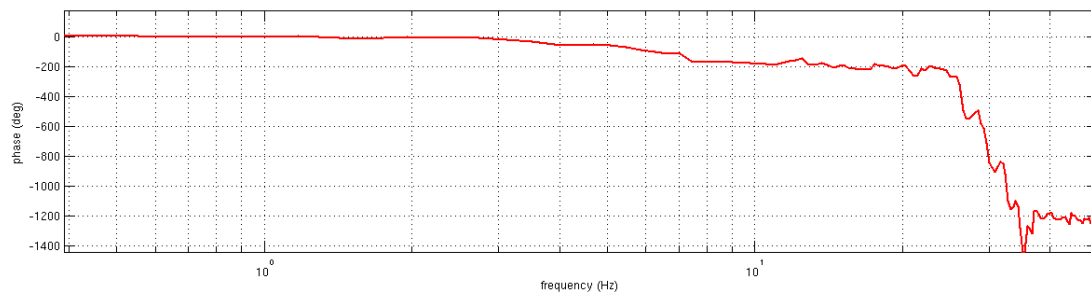
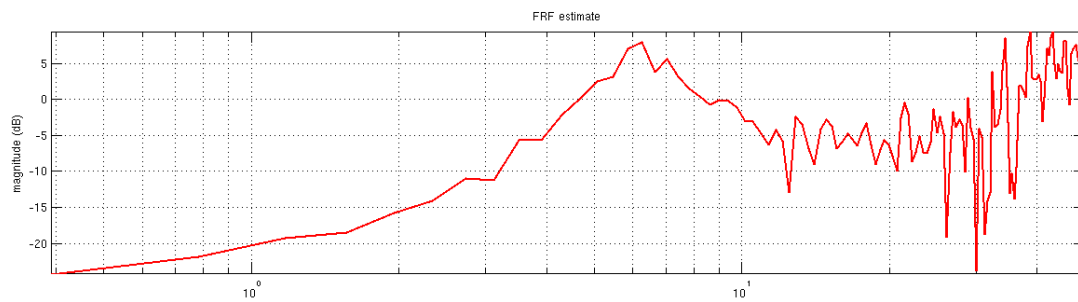


Οι τιμές των ιδιοσυχνοτήτων παραμένουν σταθερές μέχρι την 7^η δοκιμή, στην οποία παρατηρείται αύξηση των σπτόπλινθων στη βάση της κατασκευής. Όπως εύκολα μπορεί να διαπιστωθεί, υπάρχει μείωση της ιδιοσυχνότητας.

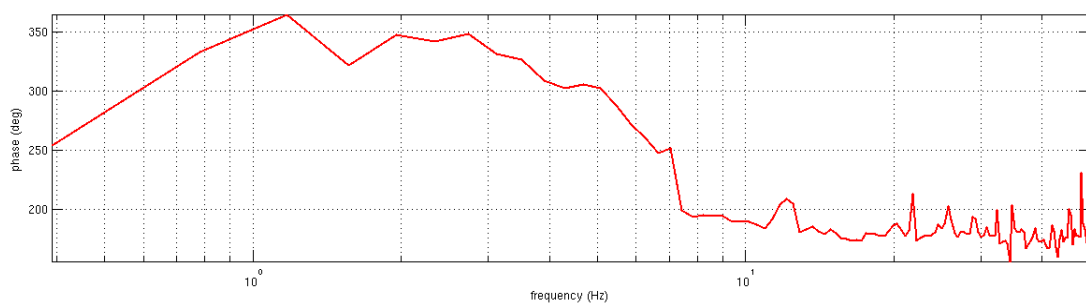
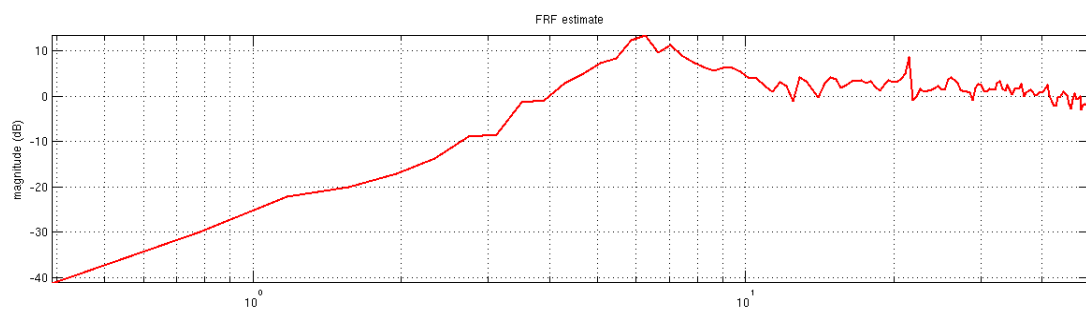
7^η Δοκιμή (0,24g)

Μεταφορικές Ιδιομορφές		
	1ο επίπεδο	2ο επίπεδο
Ιδιοσυχνότητα fd	6,25	6,25

```
frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);
```

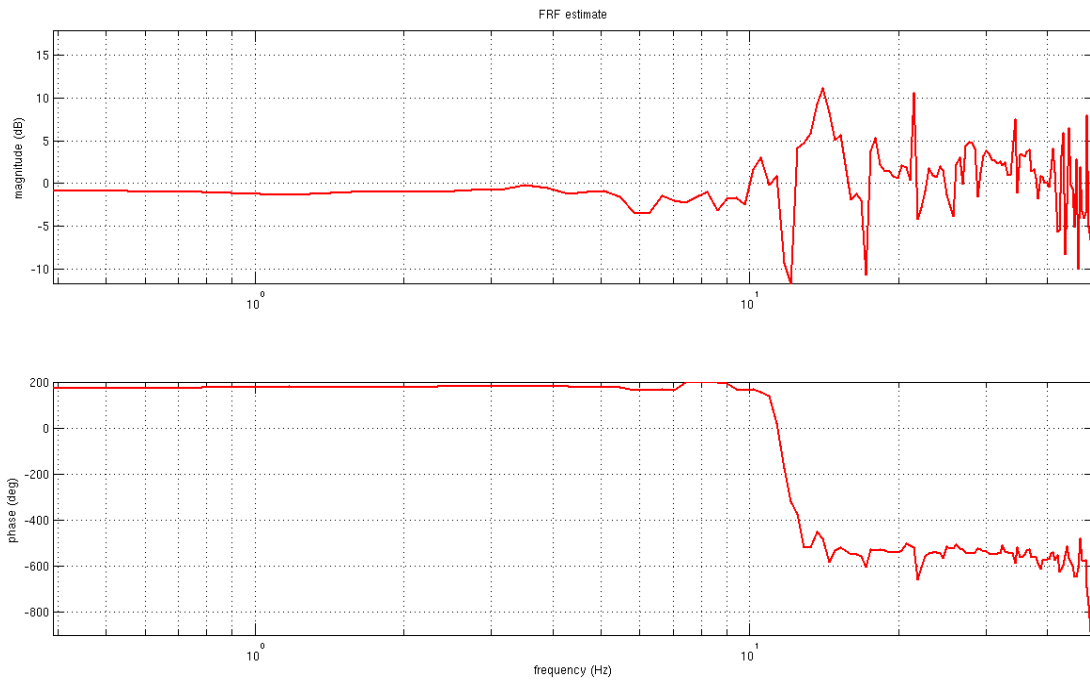


```
frf([metINP metOUTrel(:,2)],100,256,64);
```

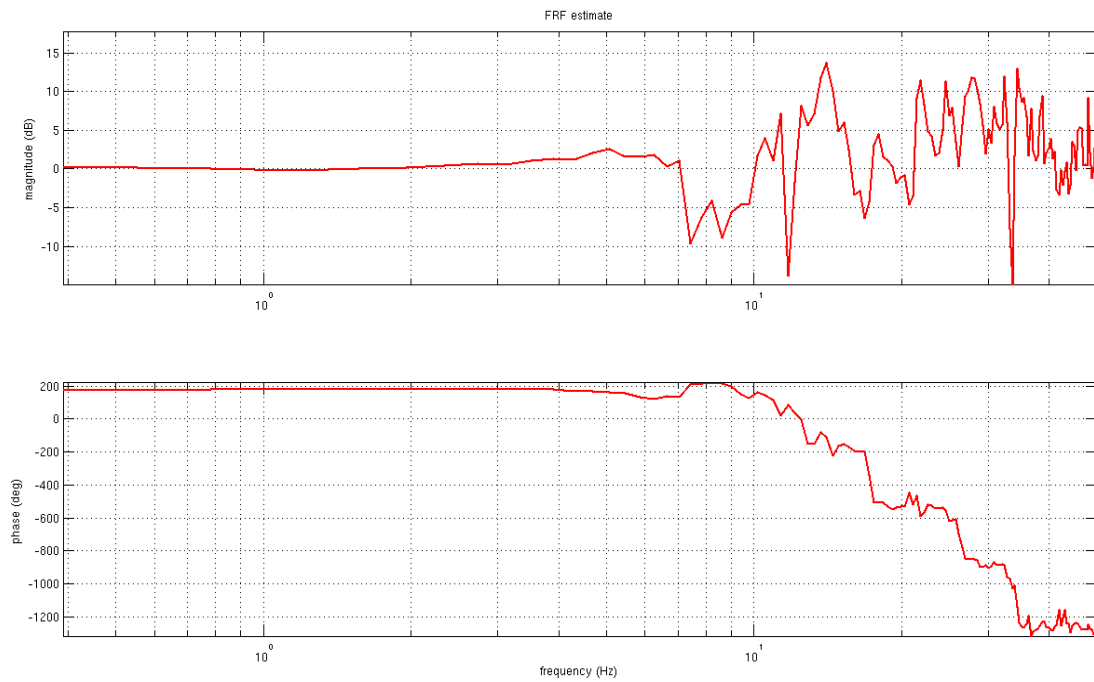


Στροφικές Ιδιομορφές		
	1ο επίπεδο	2ο επίπεδο
Ιδιοσυχνότητα f_d	6,64	6,25

`frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,256,64);`



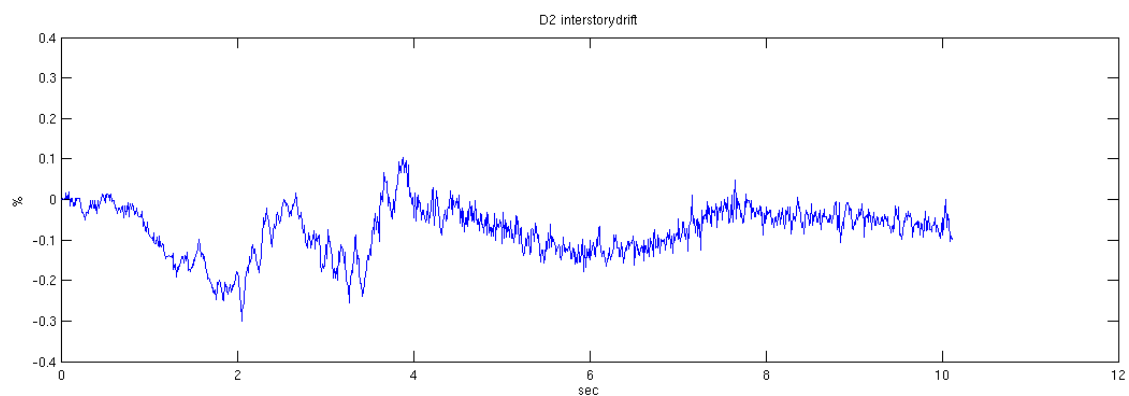
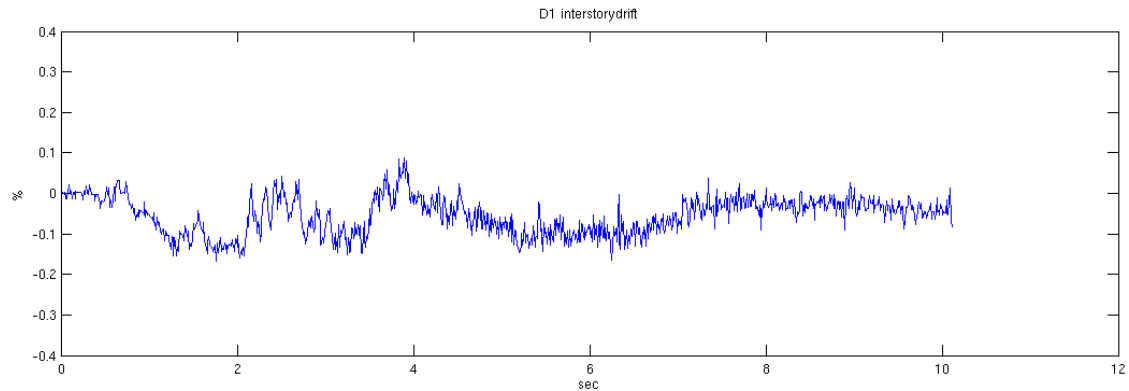
`frf([strINP strOUTrel(:,2)],100,256,64);`



Υπολογισμός γωνιακής παραμόρφωσης πρώτου ορόφου

Η γωνιακή παραμόρφωση του πρώτου ορόφου σύμφωνα με τις καταγραφές των δύο αποστασιομέτρων που είχαν τοποθετηθεί διακρίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα.

Η μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση είναι ίση με 0,3003%.



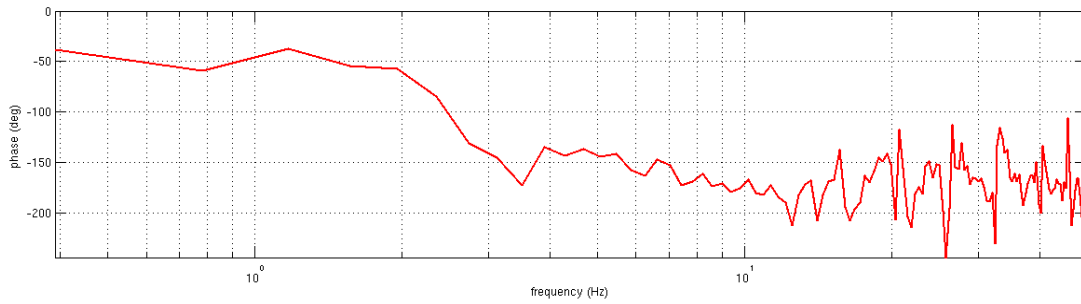
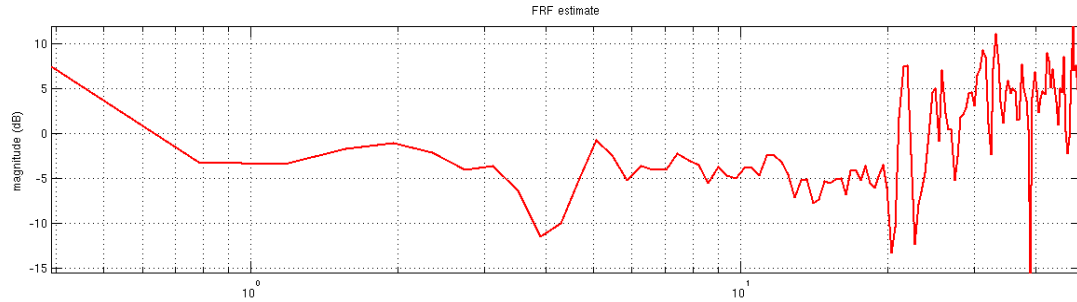
Στις επόμενες δοκιμές η ανύψωση της βάσης αυξανόταν, με αποτέλεσμα τη σταδιακή μείωση της τιμής της ιδιοσυχνότητας.

Στις δύο τελευταίες δοκιμές (15^η και 16^η) συντελέστηκε πτώση των οπτόπλινθων στην εσωτερική πλευρά της κατασκευής (θλιπτική αστοχία τύπου λικνισμού «rocking» της κατασκευής). Για το λόγο αυτό παρατηρούμε ότι η ιδιοσυχνότητα, τόσο η στροφική όσο και η μεταφορική, λαμβάνει αρκετά χαμηλή τιμή (Εικόνες 15 και 16).

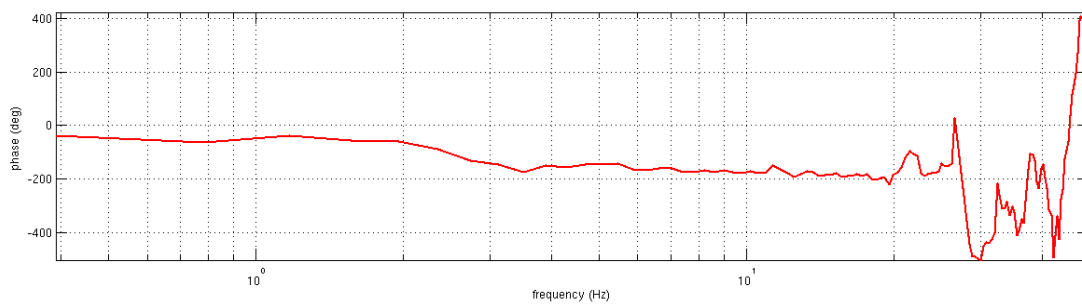
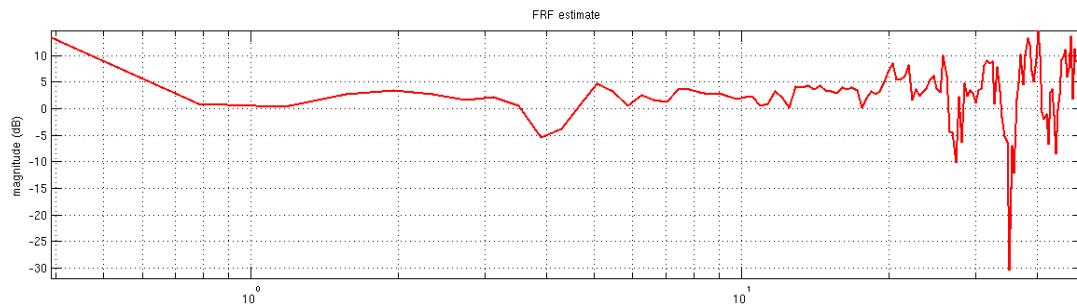
15^η Δοκιμή (0,70g)

Μεταφορικές Ιδιομορφές		
	1ο επίπεδο	2ο επίπεδο
Ιδιοσυχνότητα fd	1,953	1,953

frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);

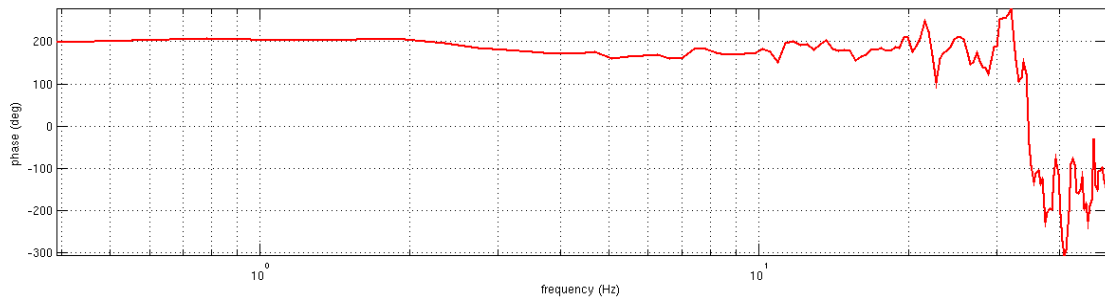
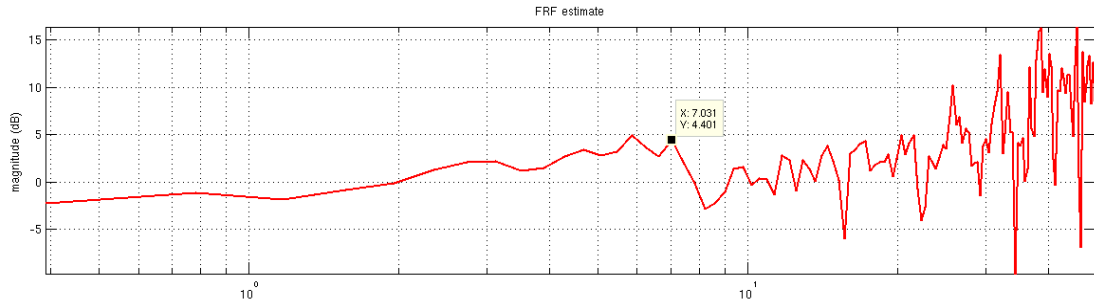


frf([metINP metOUTrel(:,2)],100,256,64);

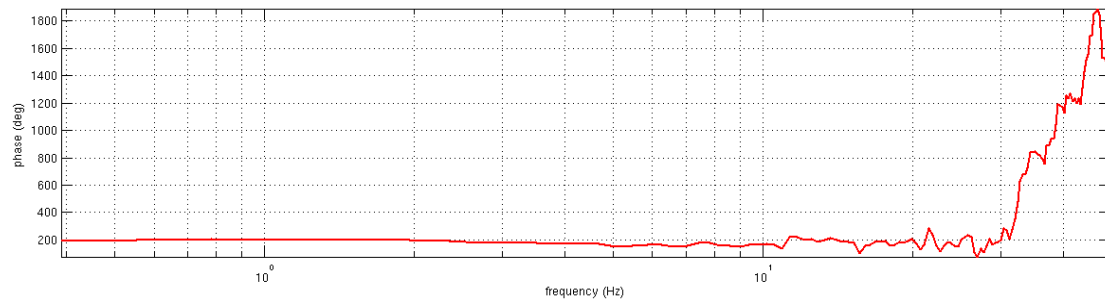
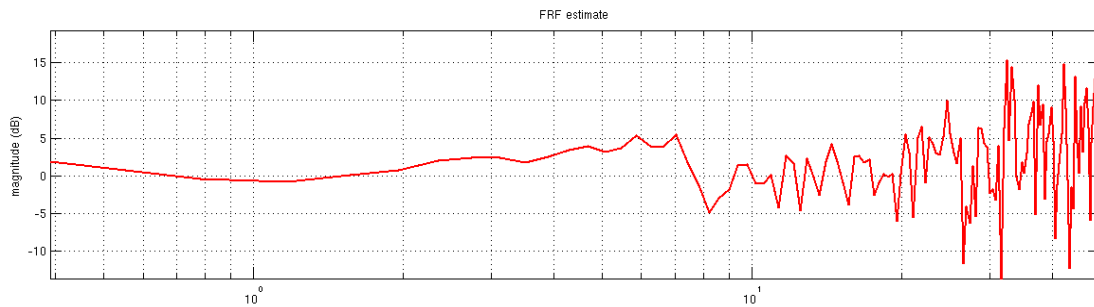


Στροφικές Ιδιομορφές		
	1ο επίπεδο	2ο επίπεδο
Ιδιοσυχνότητα fd	3,125	3,125

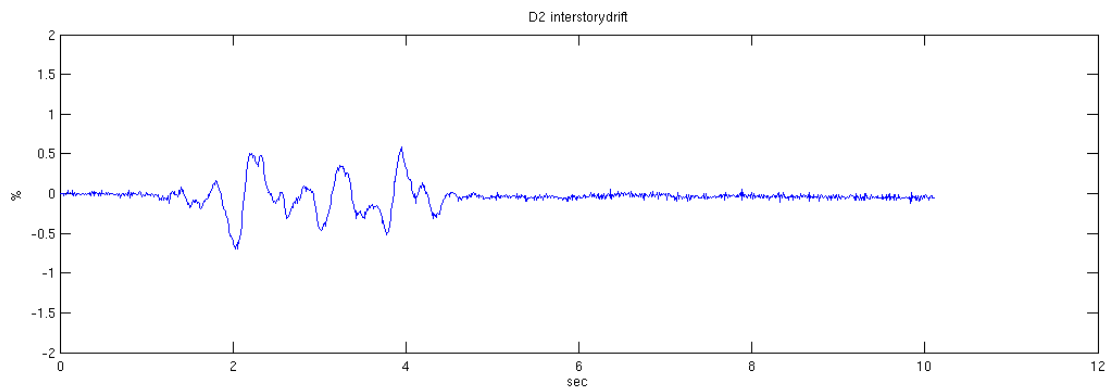
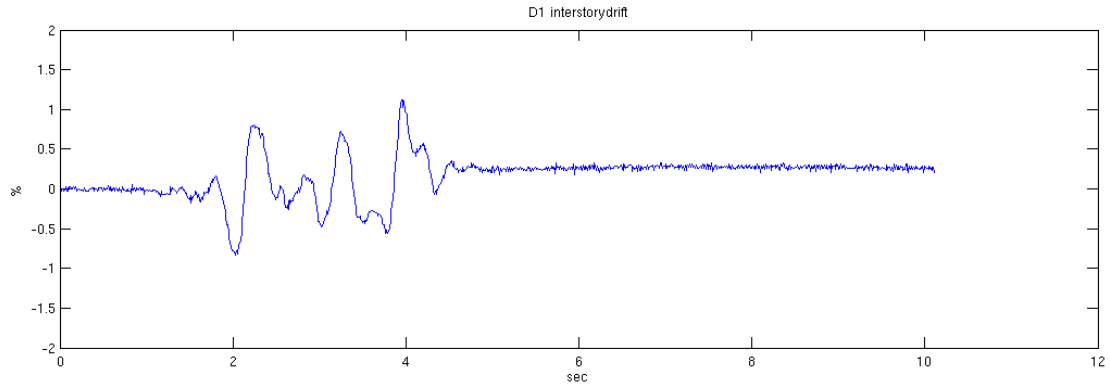
```
frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,256,64);
```



```
frf([strINP strOUTrel(:,2)],100,256,64);
```



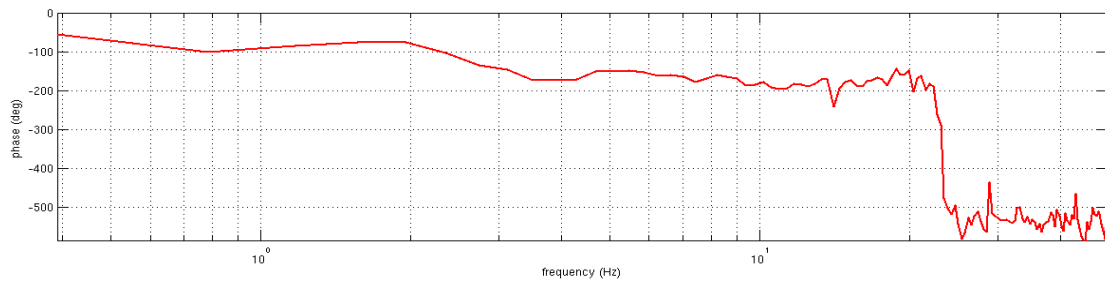
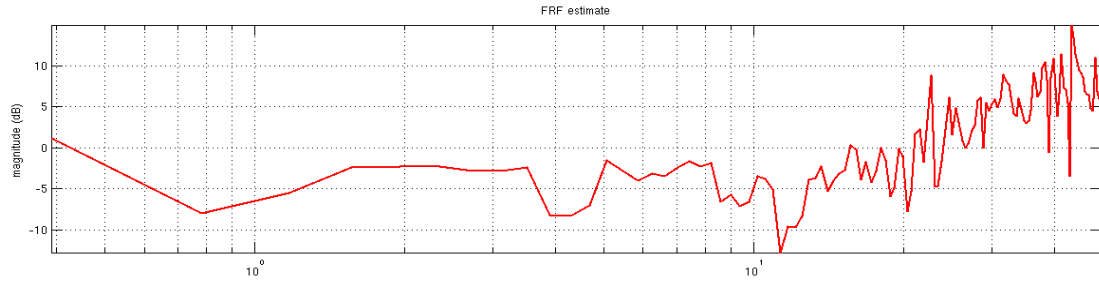
Η μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση του πρώτου ορόφου στη δοκιμή αυτή όπου συντελείται θλιπτική αστοχία τύπου λικνισμού («rocking») είναι ίση με 1,222%, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο διάγραμμα.



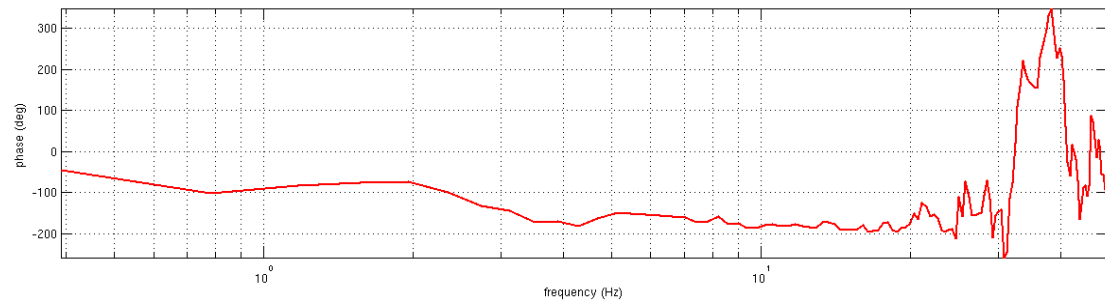
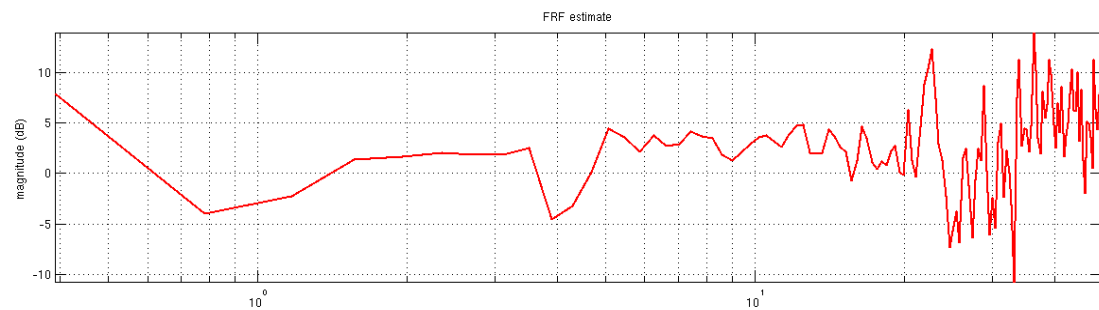
16^η Δοκιμή (0,80g)

Μεταφορικές Ιδιομορφές		
	1ο επίπεδο	2ο επίπεδο
Ιδιοσυχνότητα fd	1,562	1,562

```
frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);
```

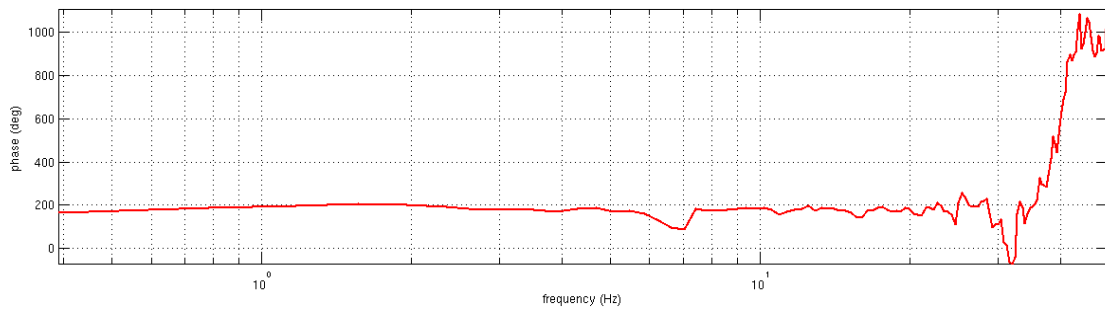
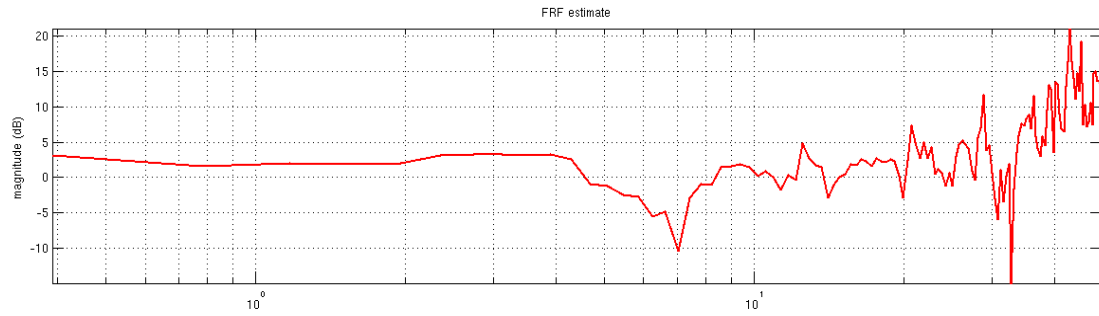


```
frf([metINP metOUTrel(:,2)],100,256,64);
```

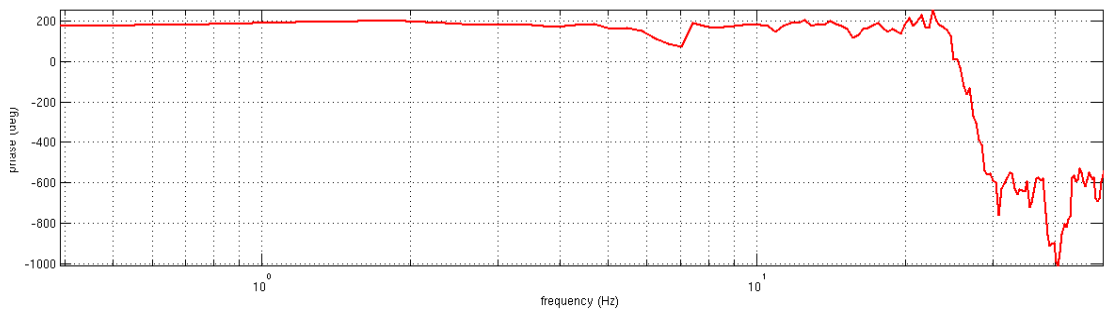
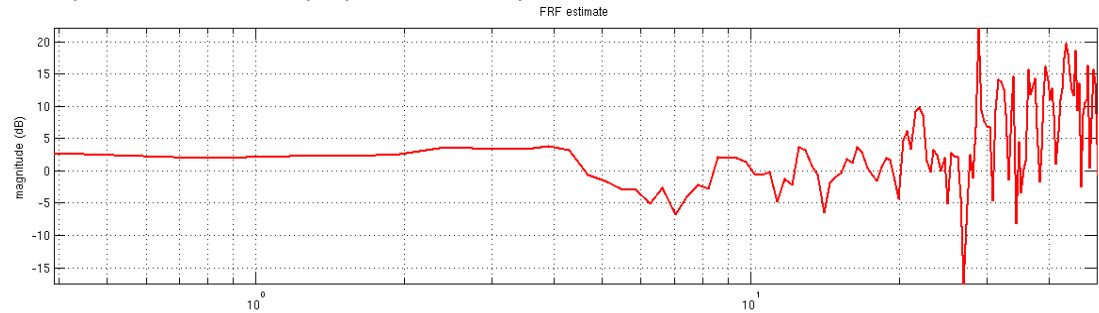


Στροφικές Ιδιομορφές		
	1ο επίπεδο	2ο επίπεδο
Ιδιοσυχνότητα fd	2,344	2,344

```
frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,256,64);
```



```
frf([strINP strOUTrel(:,2)],100,256,64);
```





Εικόνα 15: Υποχώρηση οπτόπλινθων



Εικόνα 16: Θλιπτική αστοχία τύπου λικνισμού («rocking»)

Κεφάλαιο 3

Μονώρφες
Κατασκευές

3. ΜΟΝΩΡΟΦΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Η μονώροφη κατασκευή που χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα διακρίνεται στην Εικόνα 1 και περιλάμβανε δύο μεθόδους ενίσχυσης. Στην κορυφή έχουν τοποθετηθεί οκτώ πλάκες του ενός τόνου. Η κατασκευή υπόκειται σε ημιτονοειδές λογαριθμικό σήμα σεισμού (sine sweep) καθώς και σε τυχαία δόνηση σεισμού (random tests) κατά άξονα χ.



Εικόνα 1: Μονώροφη κατασκευή

3.1 ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΠΛΕΓΜΑ

3.1.1 Γενικά

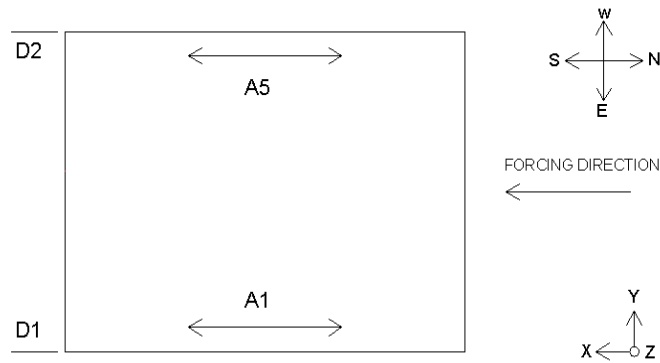
Το συγκεκριμένο πείραμα πραγματοποιήθηκε σε μονώροφη κατασκευή, ενισχυμένη εσωτερικά με μεταλλικό πλέγμα Murfor EFS by Bekaert.

Το μεταλλικό πλέγμα Murfor EFS είναι ένας προκατασκευασμένος σπλισμός οριζόντιων αρμών αποτελούμενος από δύο παράλληλα σύρματα συγκολλημένα μαζί με ένα συνεχές σύρμα αντηρίδων (Εικόνα 2). Τοποθετείται στους αρμούς της κατασκευής και ενδείκνυται για τον έλεγχο ρηγματώσεων.



Εικόνα 2: Murfor by Bekaert

Η τοποθέτηση των επιταχυνσιομέτρων φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 3: Τοποθέτηση επιταχυνσιομέτρων και αποστασιομέτρων

Πίνακας 1 : Περιγραφή Δοκιμών

Δοκιμή No	Τεχνητές χρονοϊστορίες
1 – 4 (random)	0.04g
5	0.04g
6	0.06g
7	0.08g
8	0.12g
9	0.16g
10	0.16g
11	0.20g
12	0.24g
13	0.28g
14	0.36g
15	0.40g
16	0.44g
17	0.48g

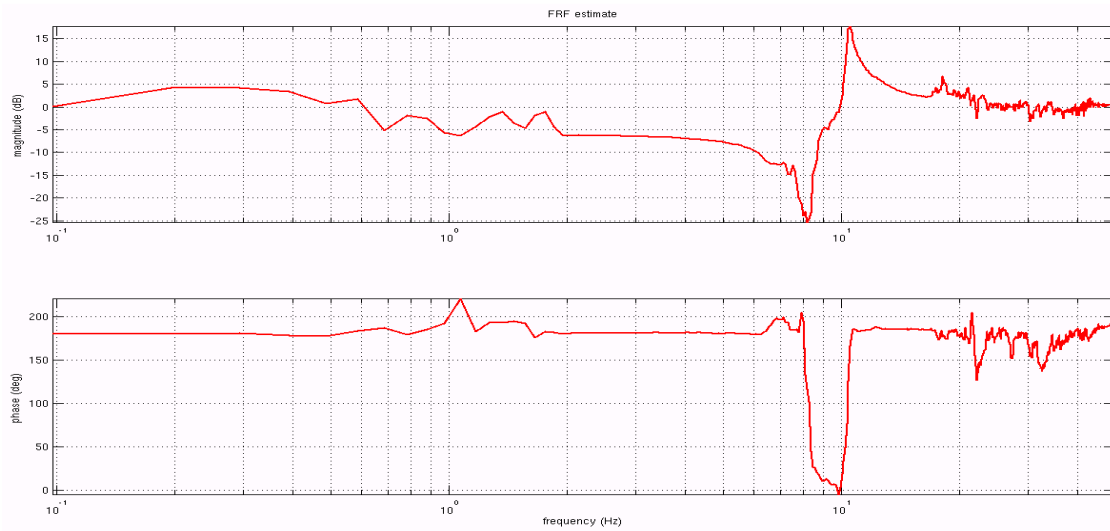
3.1.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα διαγράμματα της σεισμικής απόκρισης της κατασκευής, οι τιμές των ιδιοσυχνοτήτων και των λόγων αποσβέσεων. Επιπροσθέτως, στις δοκιμές στις οποίες παρουσιάστηκαν οριζόντιες ρηγματώσεις και στροφή των οπτόπλινθων, υπολογίζονται και οι μέγιστες γωνιακές παραμορφώσεις του ορόφου της κατασκευής.

Ημιτονοειδές Λογαριθμικό σήμα σεισμού

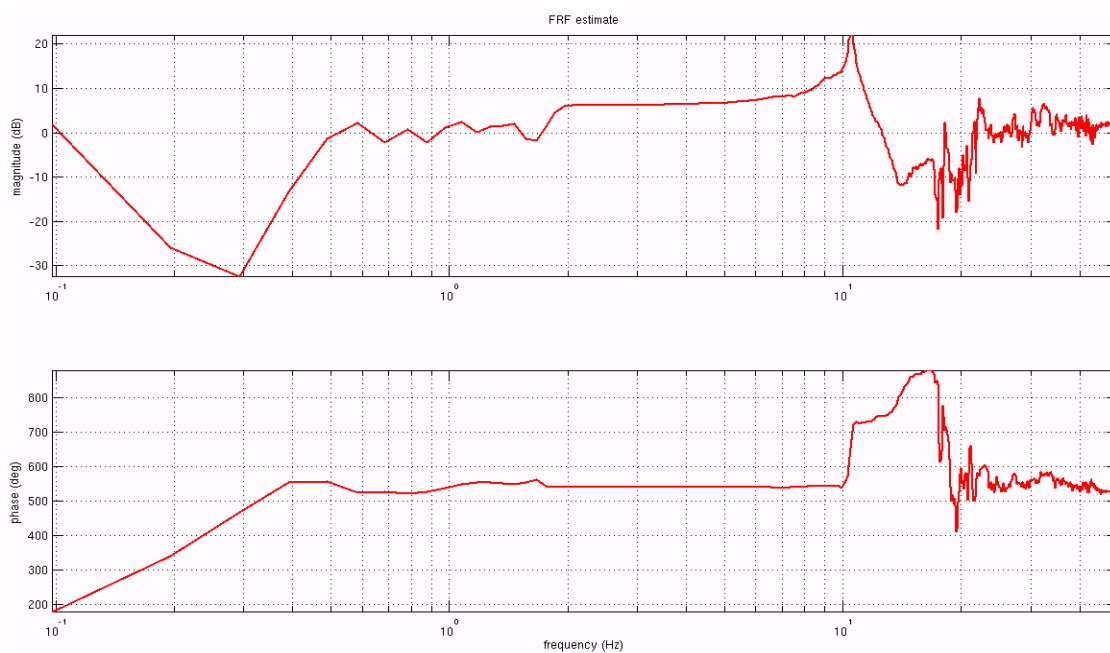
Μεταφορικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
10,386	10,712	10,55	1,545024

```
frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,1024,64);
```



Στροφικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
10,32	10,68	10,55	1,706161

```
frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,1024,64);
```

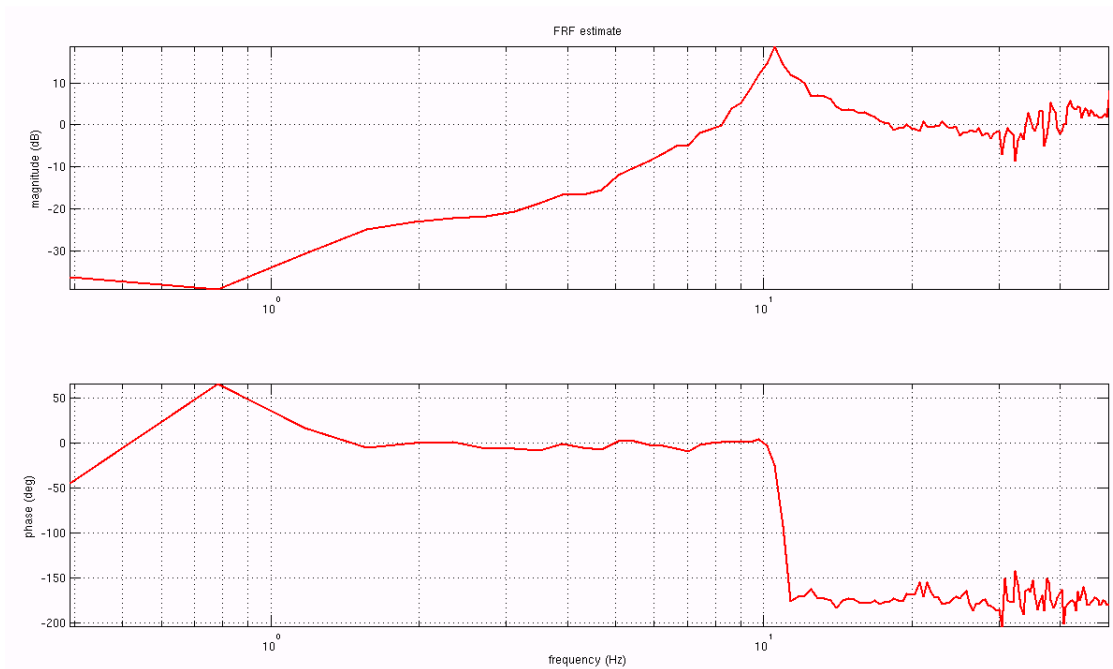


Random Tests (Δοκιμή 1 έως 4)

Οι πρώτες τέσσερις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν ήταν τυχαίου περιεχομένου συχνοτήτων. Το μέγεθος της σεισμικής δράσης ήταν ίσο με 0.04g. Η ιδιοσυχνότητα και ο λόγος απόσβεσης της κατασκευής παραμένουν σταθερά. Ενδεικτικά παρουσιάζεται το διάγραμμα της συνάρτησης απόκρισης της συχνότητας της πρώτης δοκιμής.

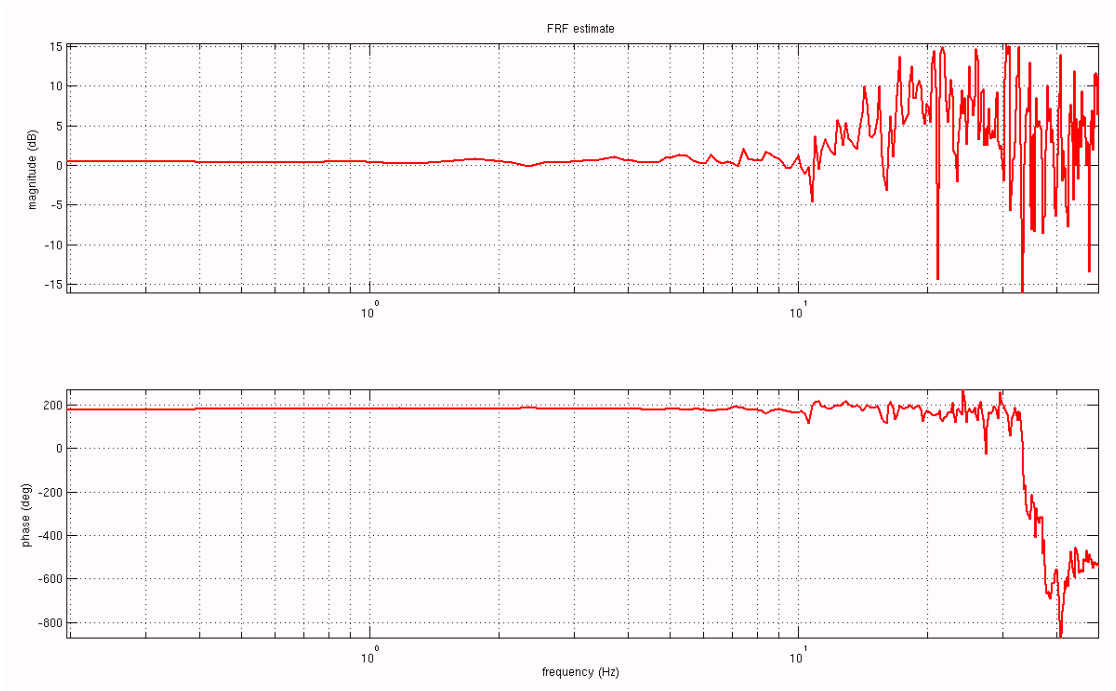
Μεταφορικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
10,3	10,8	10,55	2,370

```
frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);
```



Στροφικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
10,29	10,79	10,55	2,370

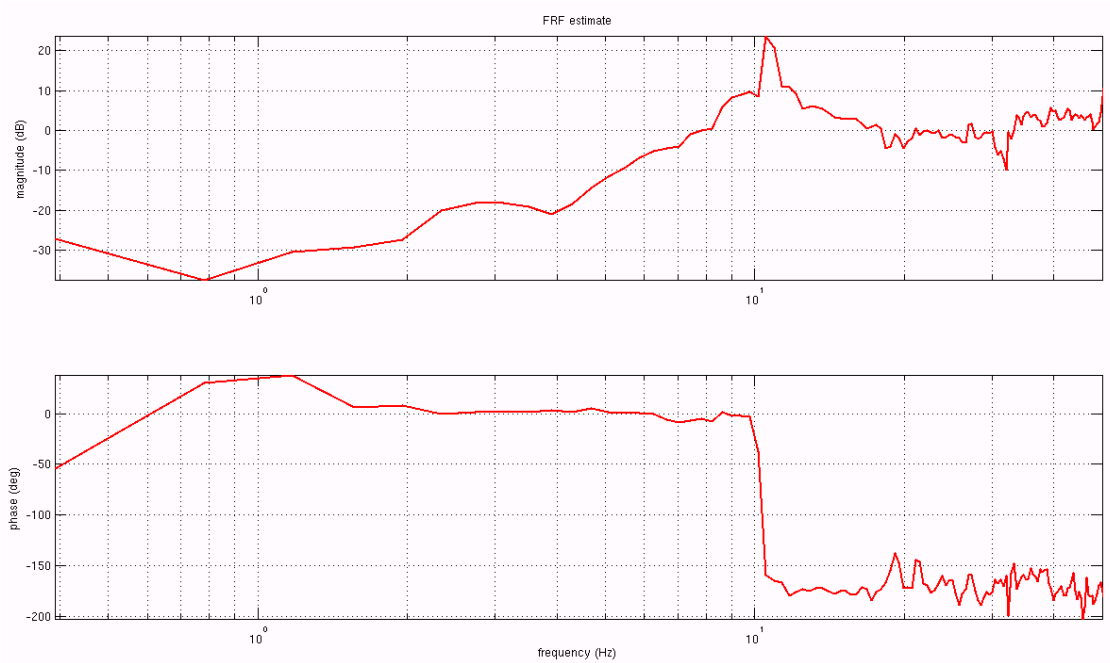
frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,1024,64);



5^η Δοκιμή (0,04g)

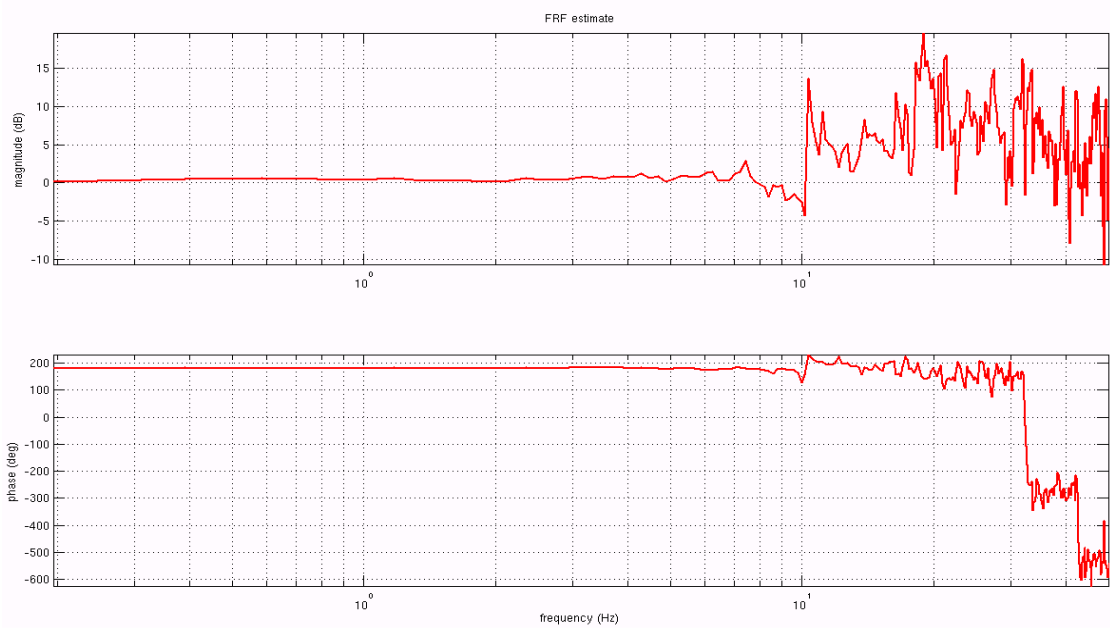
Μεταφορικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
10,46	10,96	10,55	2,370

```
frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);
```



Στροφικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
10,32	10,82	10,55	2,370

```
frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,256,64);
```

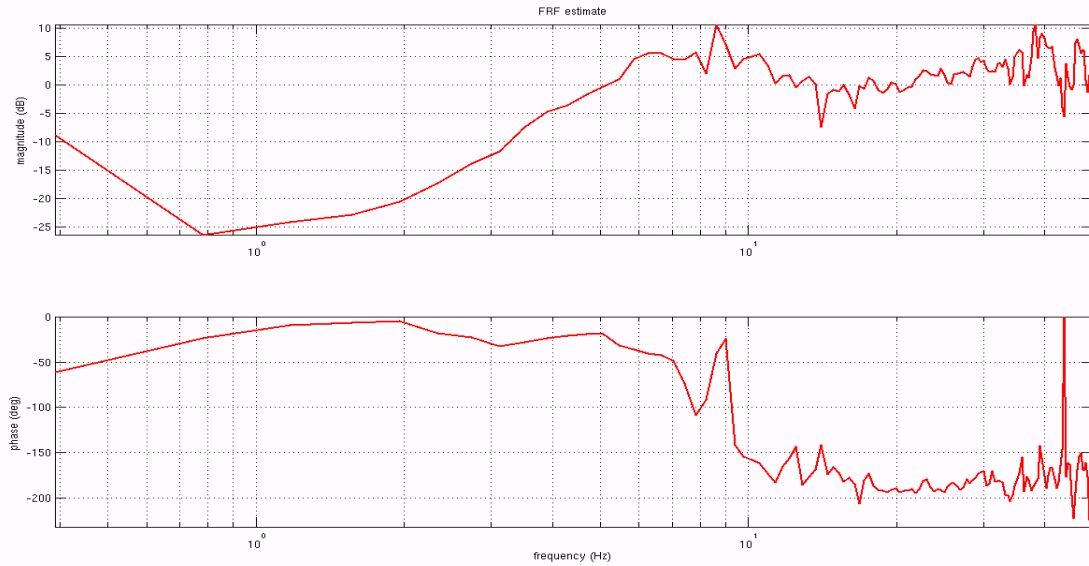


Μέχρι την 13^η δοκιμή δεν παρουσιάζεται καμία ρηγμάτωση στην κατασκευή, με αποτέλεσμα η τιμή της μεταφορικής ιδιοσυχνότητας να παραμένει σταθερή. Στην 13^η δοκιμή η κατασκευή εμφανίζει οριζόντιες ρηγματώσεις, με αποτέλεσμα η τιμή της ιδιοσυχνότητας να μειωθεί.

13^η Δοκιμή (0,28g)

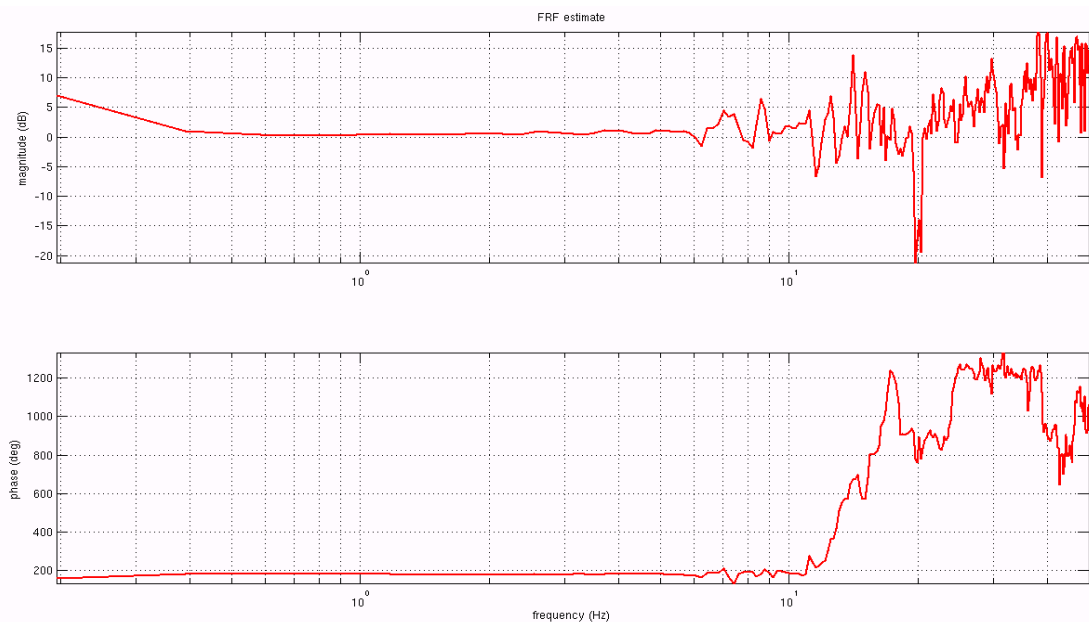
Μεταφορικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
8,42	8,96	8,594	3,142

```
frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);
```

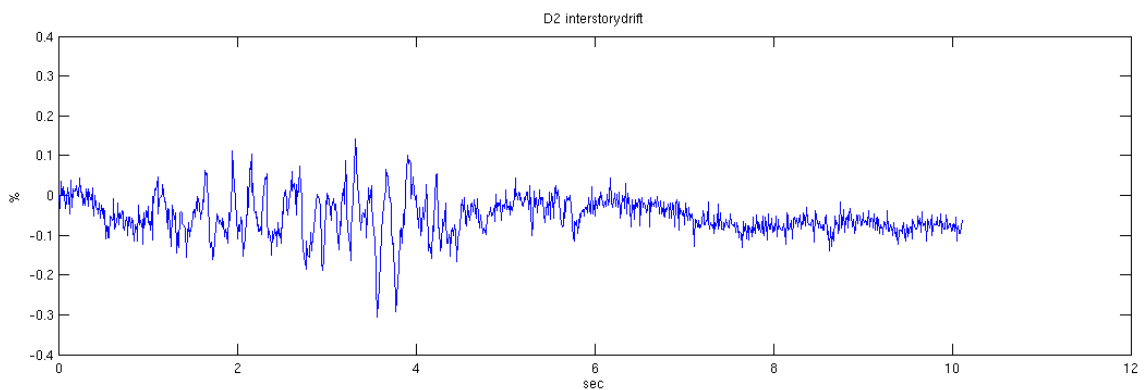
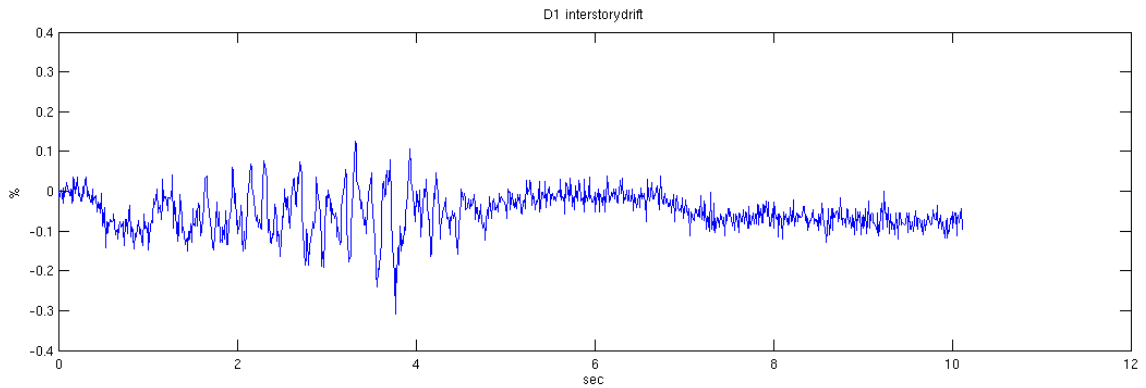


Στροφικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
6,91	7,46	7,031	3,911

```
frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,256,64);
```



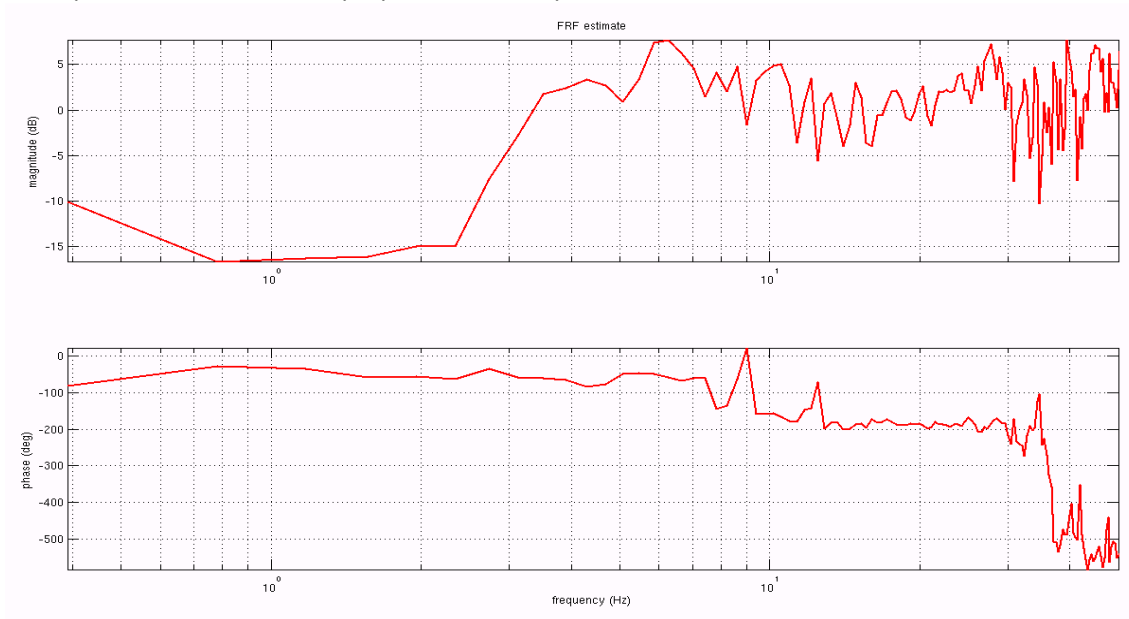
Η μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση του ορόφου στη δοκιμή αυτή είναι ίση με 0,3079%, όπως διακρίνεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί.



14^η Δοκιμή (0,36g)

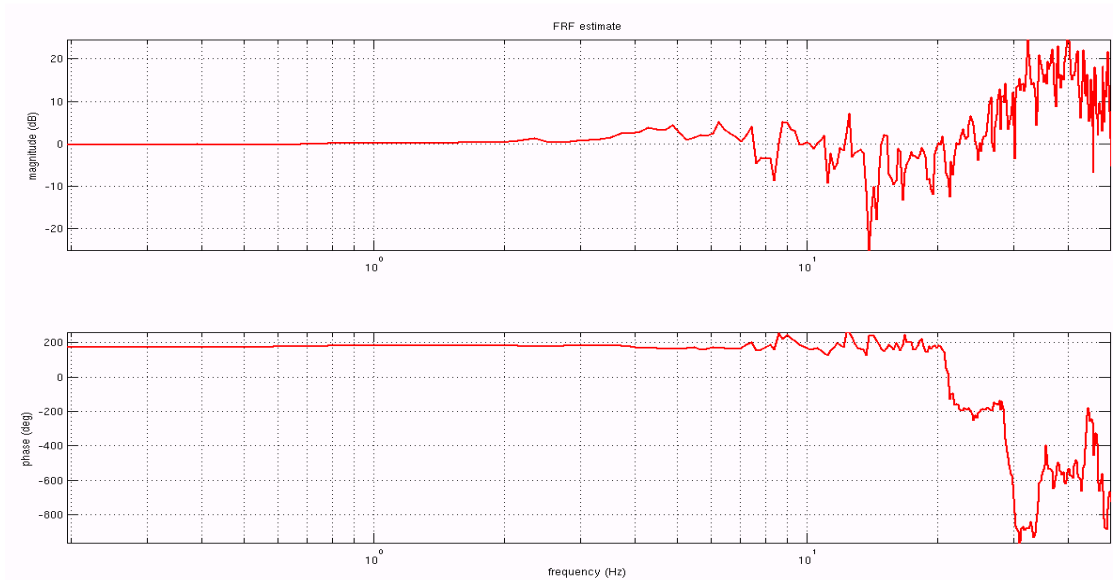
Μεταφορικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
5,99	6,73	6,25	5,920

```
frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);
```



Στροφικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
5,92	6,66	6,25	5,920

frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,512,64);

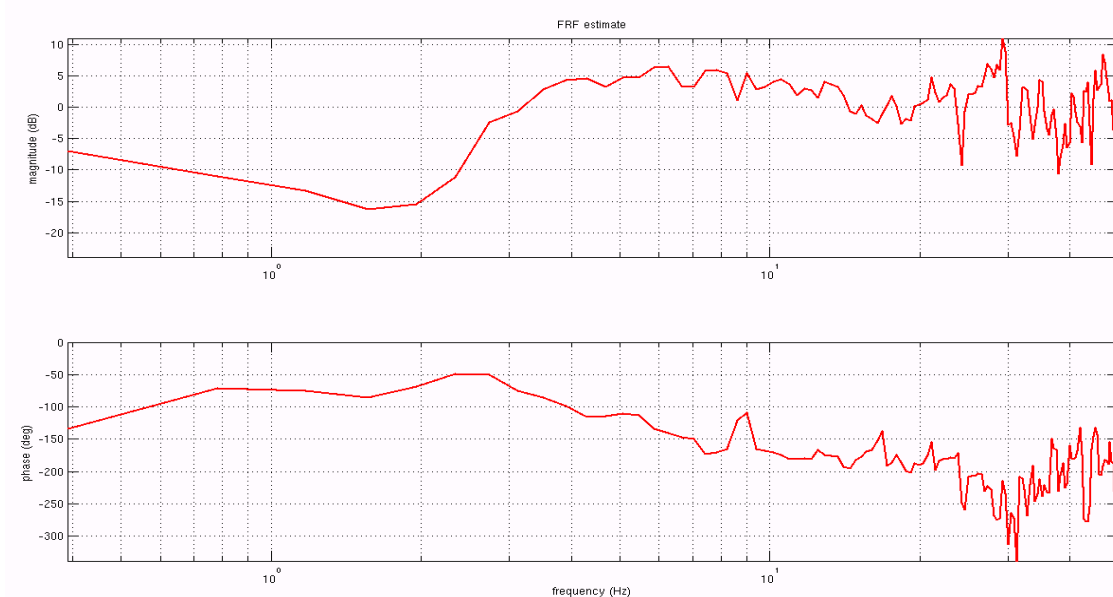


15^η Δοκιμή (0,40g)

Στη δοκιμή αυτή παρατηρείται στροφή των οπτόπλινθων (διαμητρική ολίσθηση «sliding») στη κατασκευή με αποτέλεσμα τη περαιτέρω μείωση της ιδιοσυχνότητας της κατασκευής.

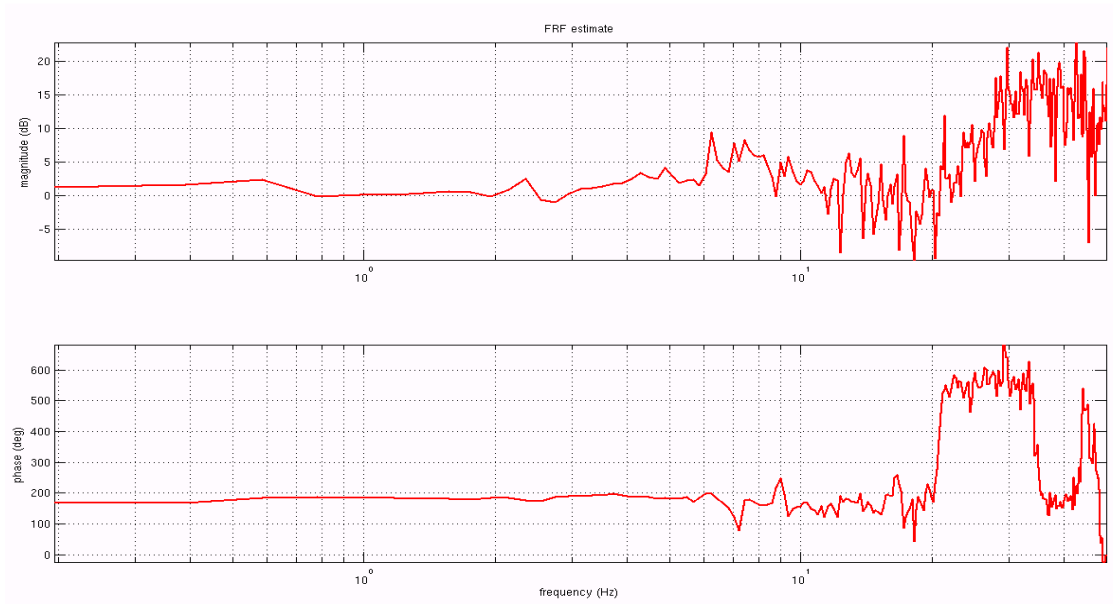
Μεταφορικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
2,60	3,05	2,734	8,230

frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);

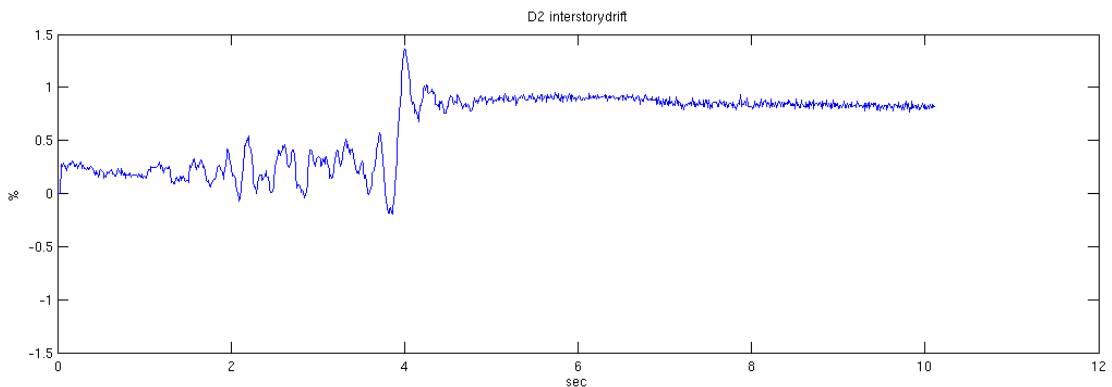
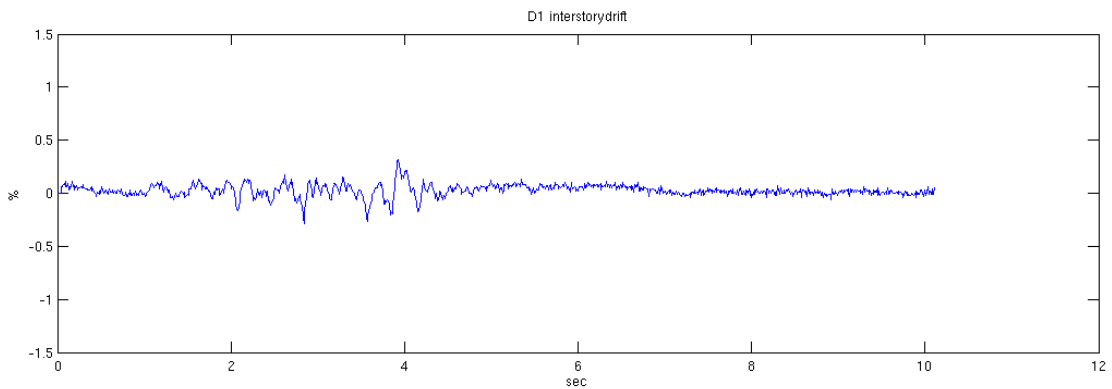


Στροφικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
2,62	3,07	2,734	8,230

frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,256,64);



Η μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση είναι αρκετά μεγάλη και ίση με 1,363%



Στις εικόνες που ακολουθούν διακρίνουμε τη στροφή των οπτόπλινθων στην πρώτη στρώση.



Εικόνα 4: Αστοχία της κατασκευής



Εικόνα 5: Σπάσιμο οπτόπλινθων



Εικόνα 6: Διατμητική ολίσθηση «sliding»

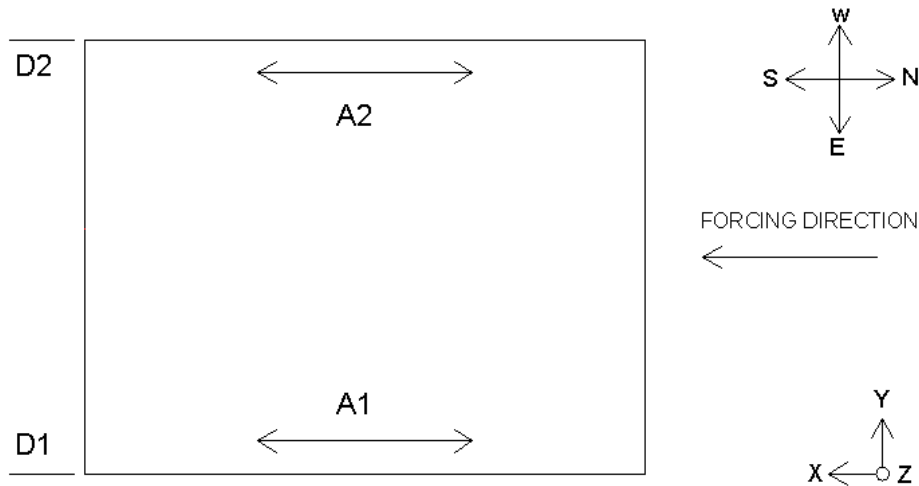
Στις επόμενες δύο τελευταίες δοκιμές (σε σεισμική διέγερση 0.44g και 0.48g) η τιμή της ιδιοσυχνότητας παρέμεινε σταθερή και ίση με 2,734Hz ($T=0,3658\text{sec}$) και ο λόγος απόσβεσης ίσος με 8,230%.

3.2 ΜΟΝΩΡΟΦΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΜΕ FRP

3.2.1 Γενικά

Το συγκεκριμένο πείραμα πραγματοποιήθηκε σε μονώροφη κατασκευή, ενισχυμένη εσωτερικά με ίνες αραμιδίου (Twaron).

Η τοποθέτηση των επιταχυνσιομέτρων φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 7: Τοποθέτηση επιταχυνσιομέτρων

Πίνακας 2 : Περιγραφή Δοκιμών

Δοκιμή Νο	Τεχνητές χρονοϊστορίες
1	0.04g
2	0.06g
3	0.08g
4	0.12g
5	0.16g
6	0.20g
7	0.24g
8	0.28g
9	0.36g
10	0.40g
11	0.44g
12	0.48g
13	0.56g
14	0.64g
15	0.64g
16	0.70g
17	0.80g
18	0.90g
19	1.00g

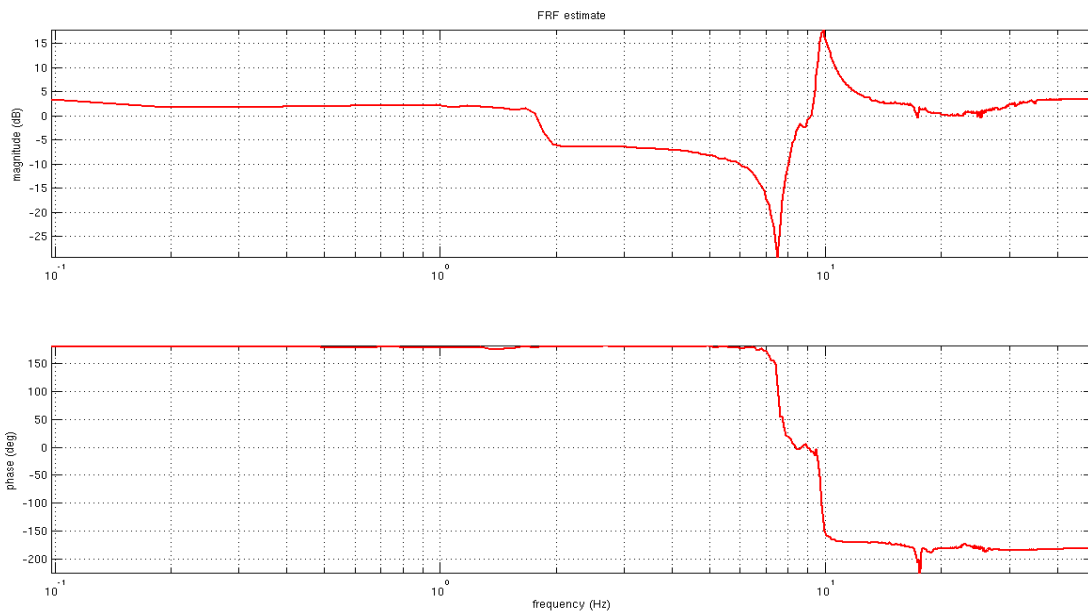
3.2.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Ακολουθούν τα διαγράμματα της συνάρτησης απόκρισης συχνότητας (frf) και ο υπολογισμός των στρωφικών ιδιομορφών της κατασκευής, καθώς και τα διαγράμματα της γωνιακής παραμόρφωσης του ορόφου στις δοκιμές που αστόχησε η κατασκευή.

Ημιτονοειδές Λογαριθμικό σήμα σεισμού

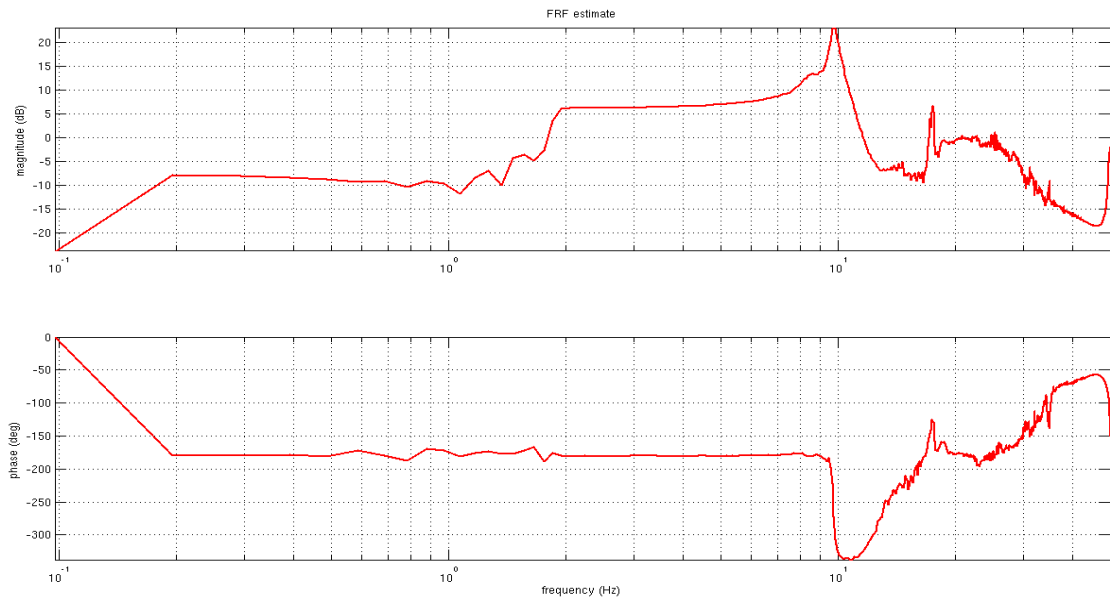
Μεταφορικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
9,68	10,07	9,766	1,997

```
frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,1024,64);
```



Στρωφικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
9,61	10,00	9,766	1,997

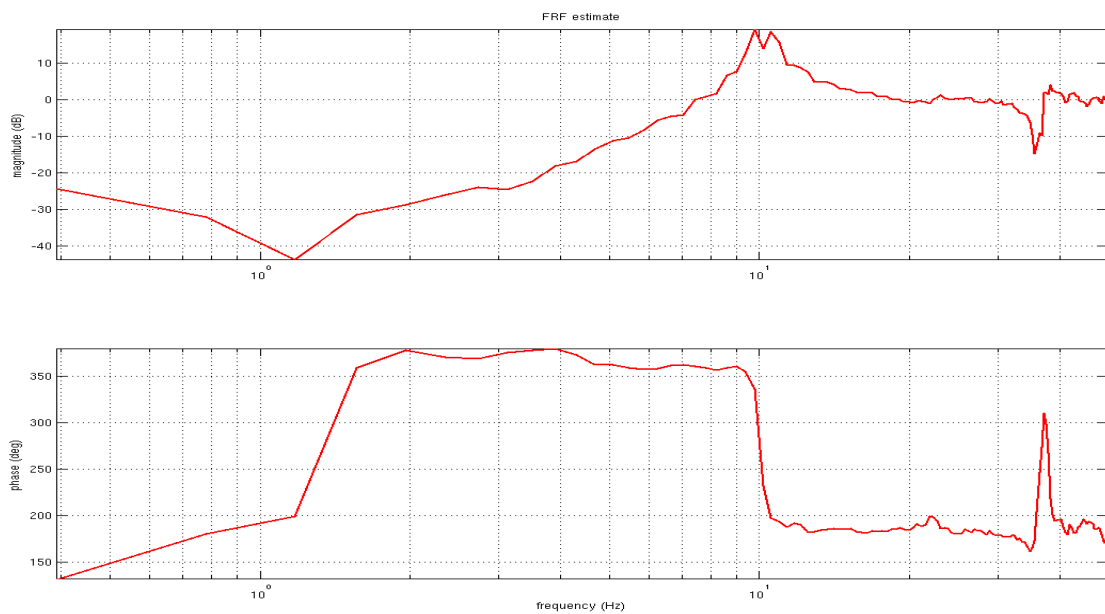
```
frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,1024,64);
```



1^η Δοκιμή (0,04g)

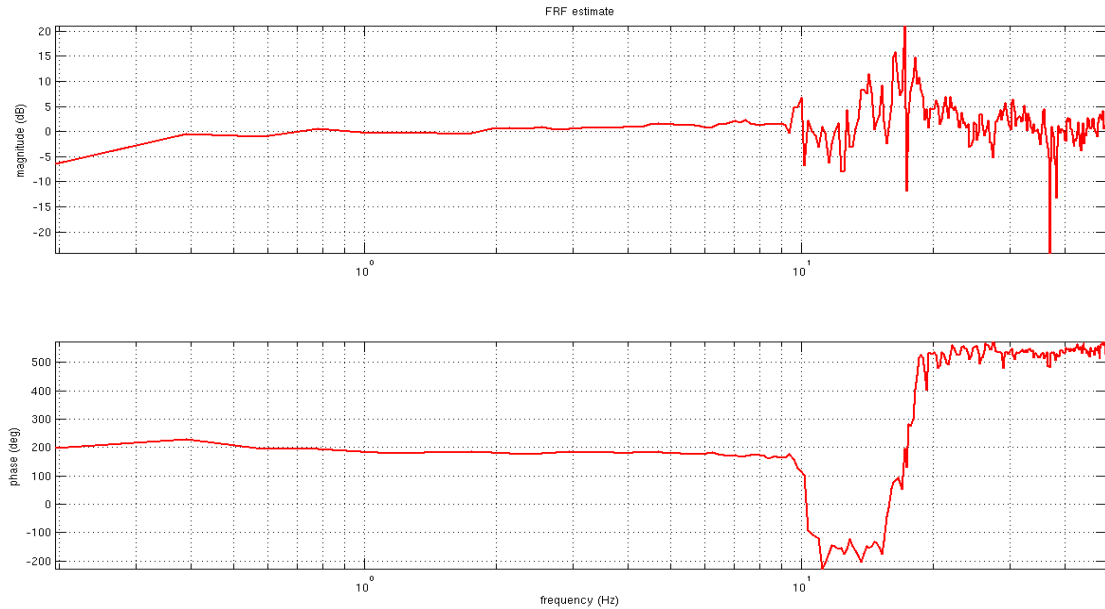
Μεταφορικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
9,59	9,98	9,766	1,997

```
frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);
```



Στροφικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
9,51	9,90	9,766	1,997

```
frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,256,64);
```



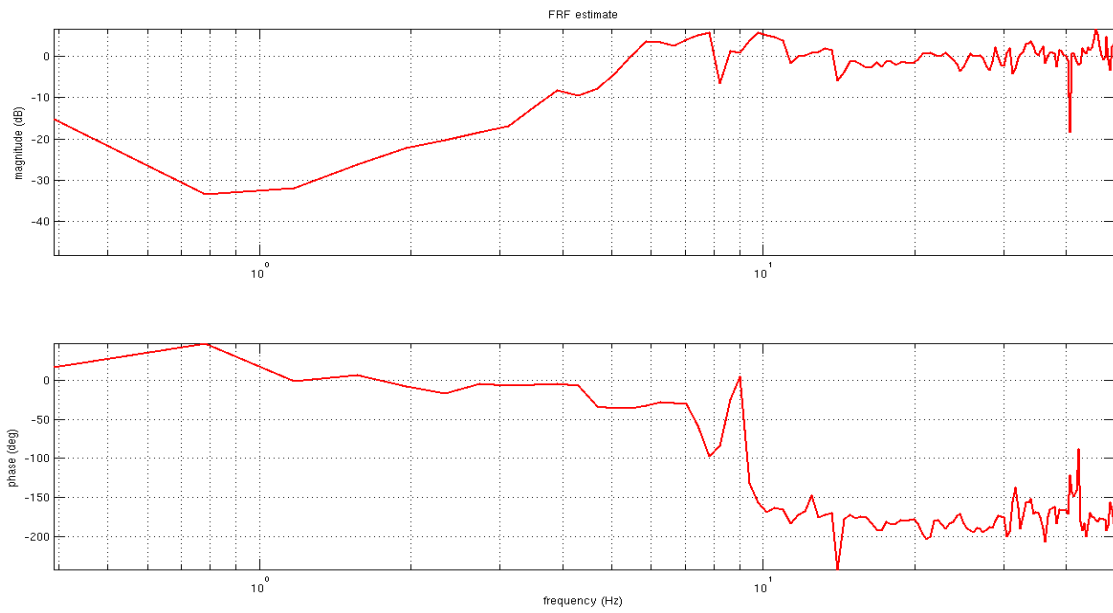
Η κατασκευή δεν παρουσιάζει καμία ρηγμάτωση μέχρι την 8^η Δοκιμή (0.28g) με αποτέλεσμα η τιμή της ιδιοσυχνότητας να παραμένει σταθερή.

8^η Δοκιμή (0,28g)

Στη δοκιμή αυτή δημιουργήθηκε οριζόντιο άνοιγμα ρωγμής στη βάση της κατασκευής μεταξύ της πρώτης και δεύτερης στρώσης οπτόπλινθων με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της μεταφορικής ιδιοσυχνότητας.

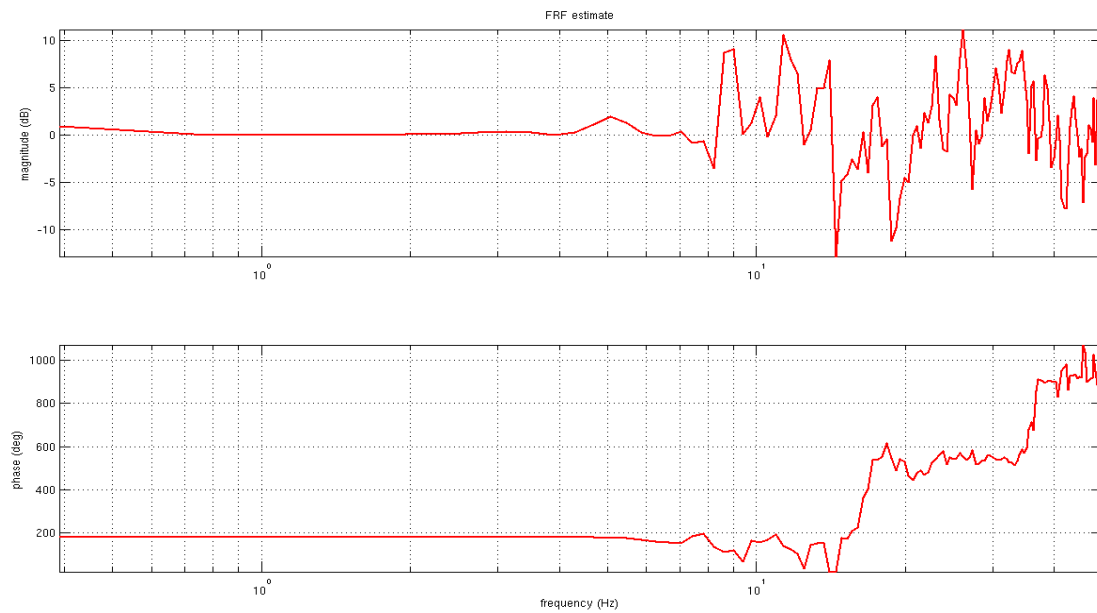
Μεταφορικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
6,88	7,43	7,031	3,911

frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);

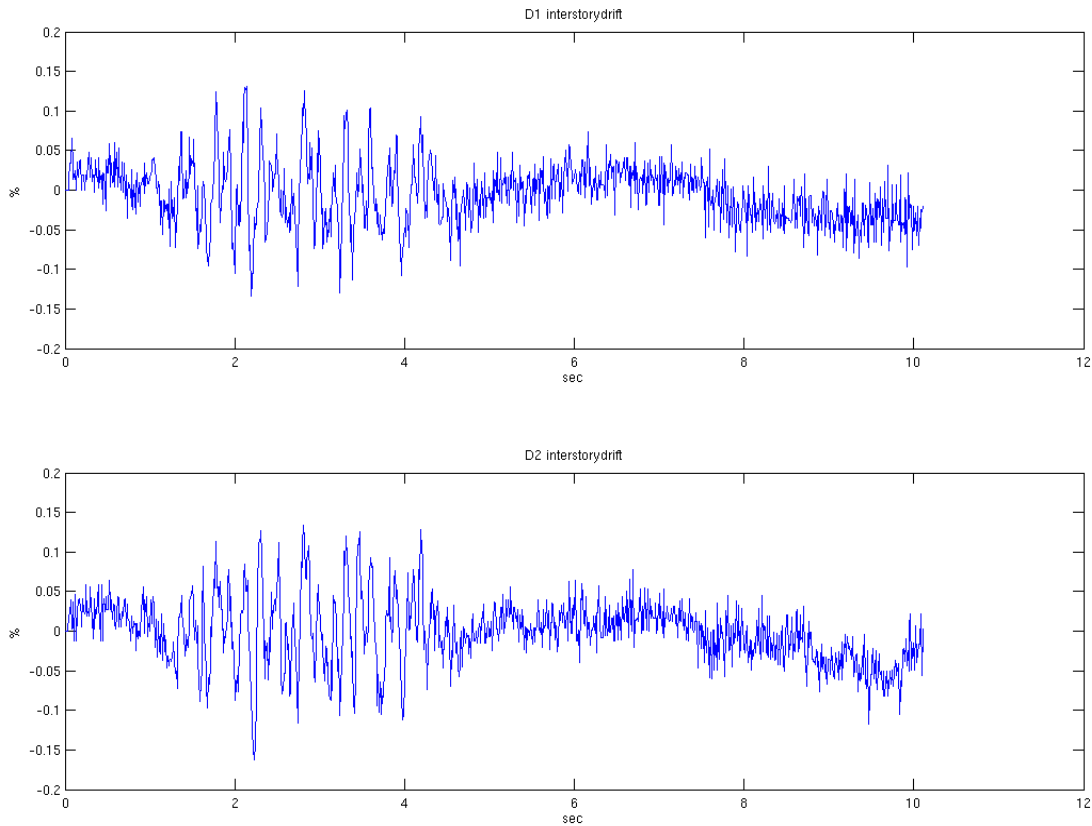


Στροφικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
8,75	9,28	8,984	2,950

frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,256,64);



Στη δοκιμή αυτή υπολογίσθηκε και η γωνιακή παραμόρφωση του ορόφου της κατασκευής, όπως διακρίνεται και στο ακόλουθο διάγραμμα. Η μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση ισούται με 0,1618%

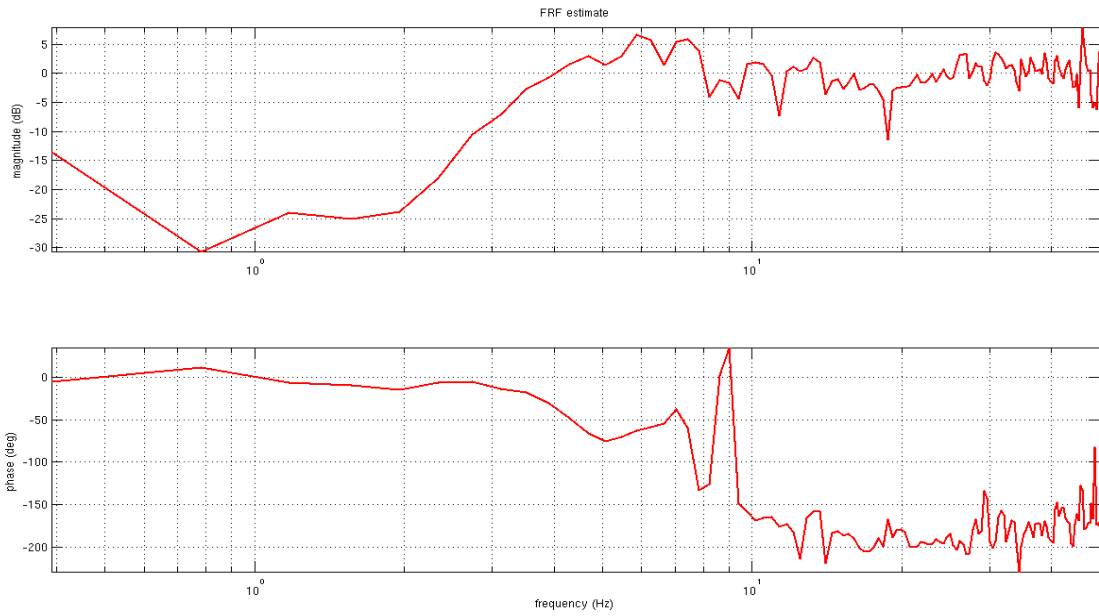


9^η Δοκιμή (0,36g)

Στη δοκιμή αυτή δημιουργήθηκαν νέες οριζόντιες ρωγμές μεταξύ της βάσης και της πρώτης στρώσης οπτόπλινθων της κατασκευής με αποτέλεσμα την περαιτέρω μείωση της μεταφορικής ιδιοσυχνότητας και μείωση της στροφικής ιδιοσυχνότητας.

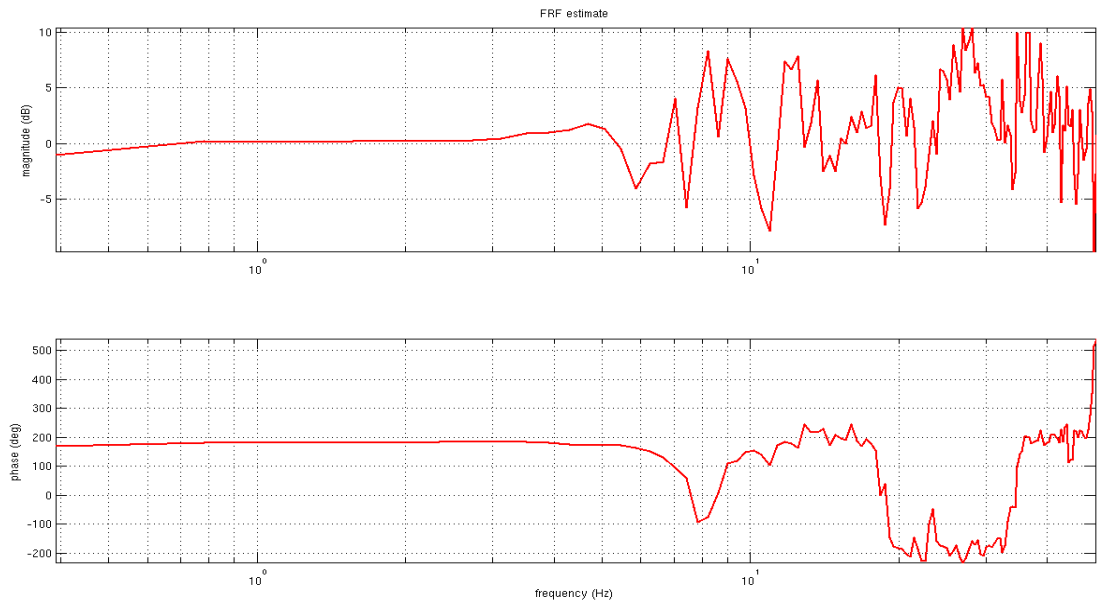
Μεταφορικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
5,64	6,28	5,859	5,462

frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);



Στροφικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
7,74	8,29	7,031	3,911

frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,256,64);



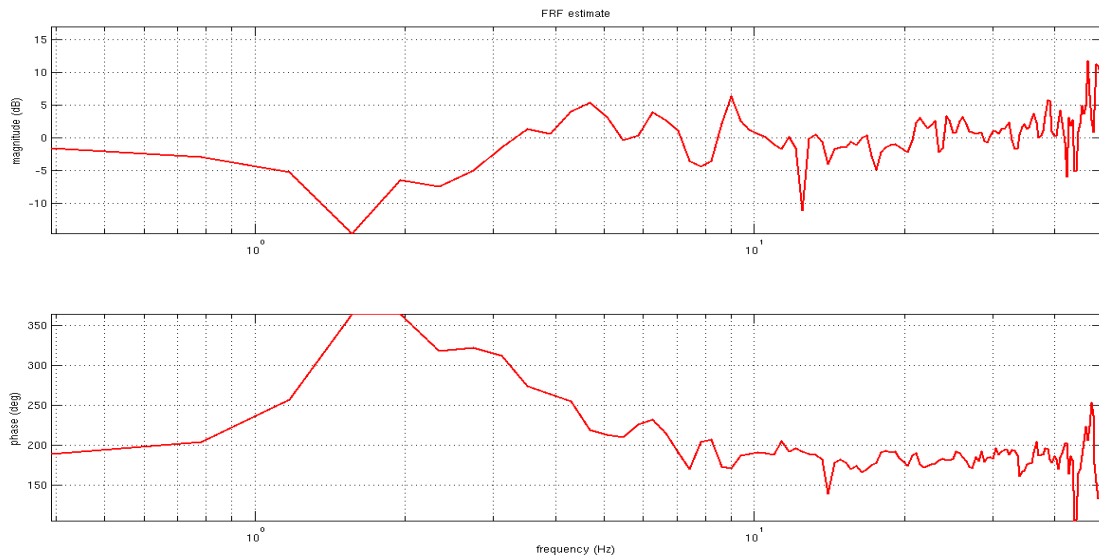
Στις επόμενες δοκιμές η τιμή της ιδιοσυχνότητας της κατασκευής μειώνεται σταδιακά, καθώς το μέγεθος των ρηγματώσεων που έχουν ήδη δημιουργηθεί αυξάνεται.

18^η Δοκιμή (0,90g)

Κατά τη διάρκεια αυτής της δοκιμής παρατηρείται διατμητική αστοχία των οπτόπλινθων της πρώτης σειράς της κατασκευής, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της ιδιοσυχνότητας της κατασκευής.

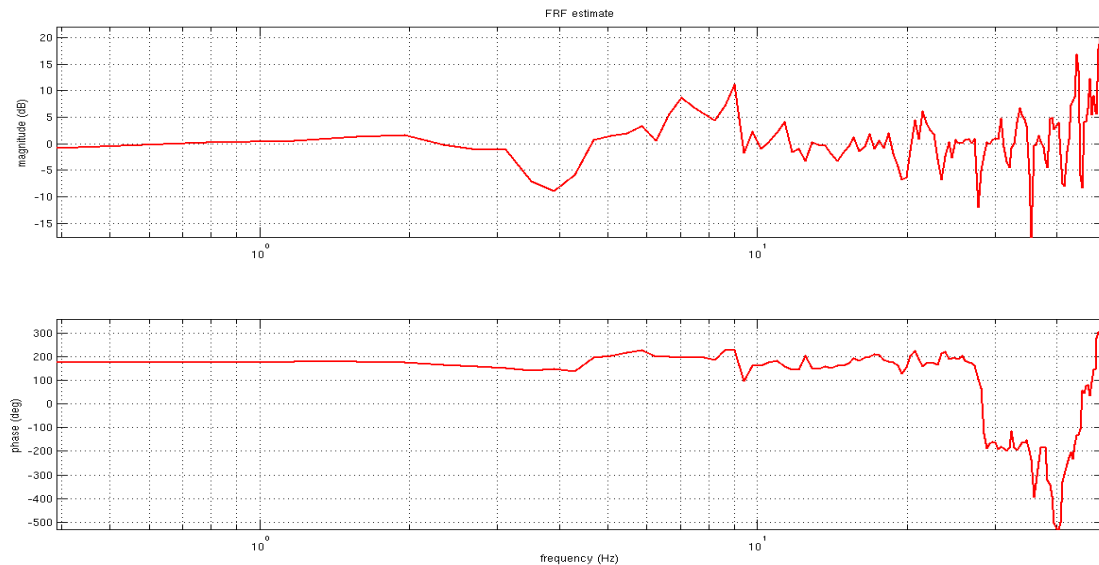
Μεταφορικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1,80	2,18	1,953	9,729

```
frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);
```

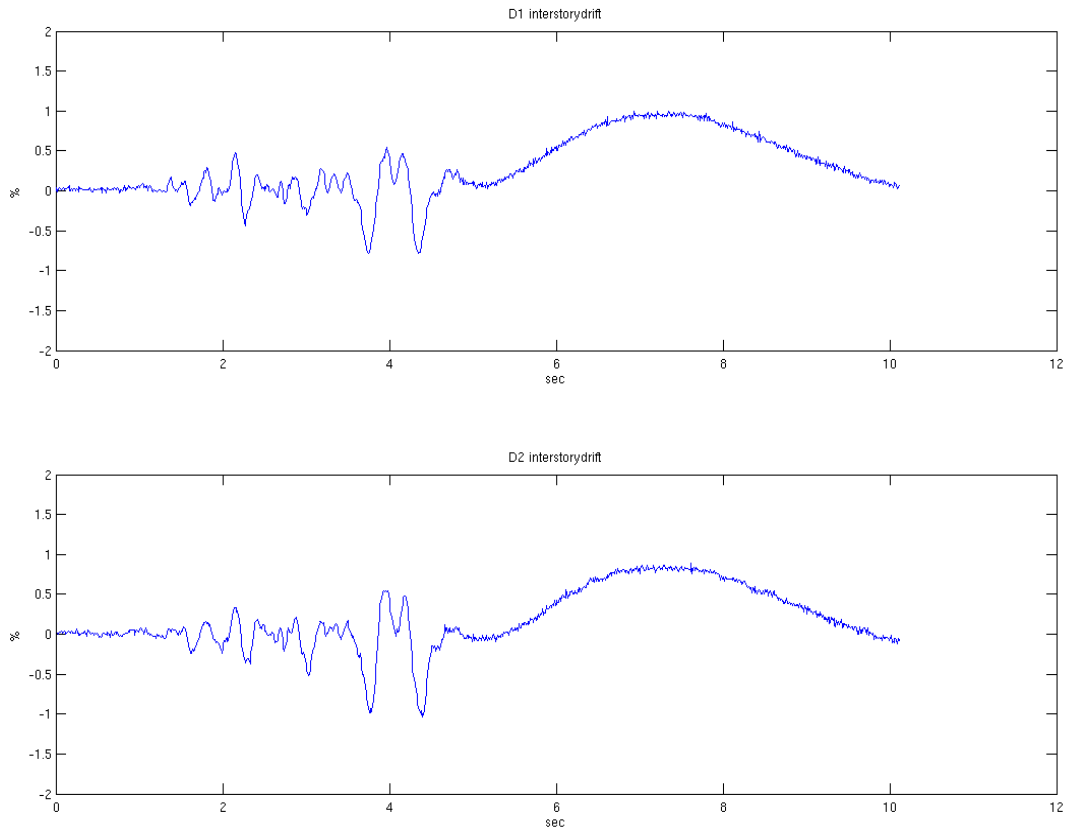


Στροφικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1,79	2,17	1,953	9,729

```
frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,256,64);
```



Η γωνιακή παραμόρφωση του ορόφου της κατασκευής λαμβάνει τιμή 1,034%, λόγω της διατμητικής αστοχίας της κατασκευής.

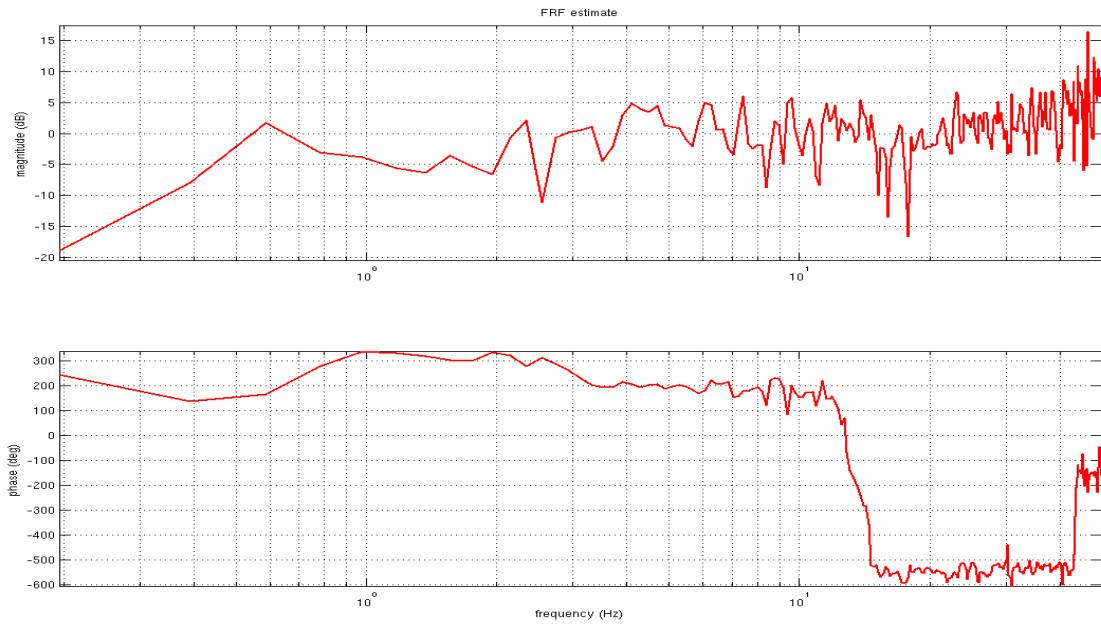


19^η Δοκιμή (1,00g)

Στη τελευταία δοκιμή επιβλήθηκε σεισμική διέγερση ίση με 1.00g. Συνεχίστηκε η στροφή στον πρώτο αρμό πάνω από τη βάση και η διατμητική αστοχία των οπτόπλινθων στην πρώτη σειρά (Εικόνα 8).

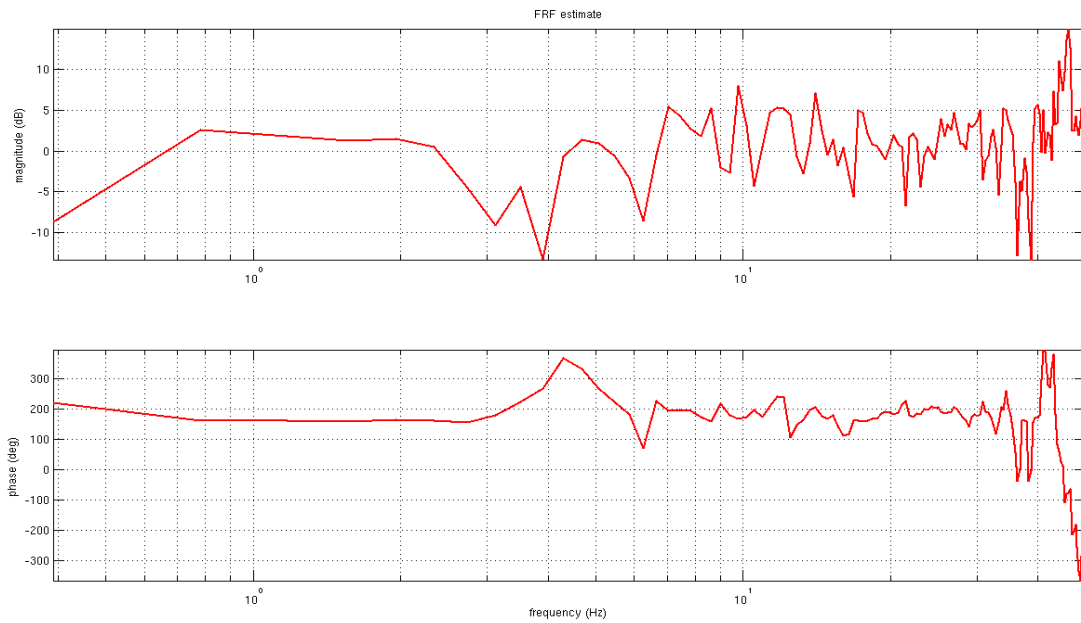
Μεταφορικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1,24	1,57	1,562	10,563


```
frf([metINP metOUTrel(:,1)],100,256,64);
```



Στροφικές Ιδιομορφές			
fa	fb	Ιδιοσυχνότητα fd	Απόσβεση ζ
1,89	2,27	1,953	9,729

```
frf([strINP strOUTrel(:,1)],100,256,64);
```





Εικόνα 8 : Διατμητική Αστοχία στην πρώτη σειρά των οπτόπλινθων

Κεφάλαιο 4

Προσομοίωση των κατασκευών

4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

4.1 ΥΛΙΚΑ

Για την προσομοίωση των υφιστάμενων κατασκευών στο λογισμικό SAP2000 και πιο συγκεκριμένα για την προσομοίωση της πλάκας σκυροδέματος και της μεταλλικής βάσης, χρησιμοποιήθηκαν υλικά από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος καθώς σκοπός της ανάλυσης είναι η σεισμική αποτίμηση και όχι ο σχεδιασμός.

Πιο αναλυτικά

Για την πλάκα σκυροδέματος (4000Psi):

Ειδικό βάρος γ	23,56kN/m³
Μέτρο Ελαστικότητας E	24.855.578 kN/m ²
Λόγος Poisson μ	0.20

Για τη μεταλλική βάση (A998Fy50):

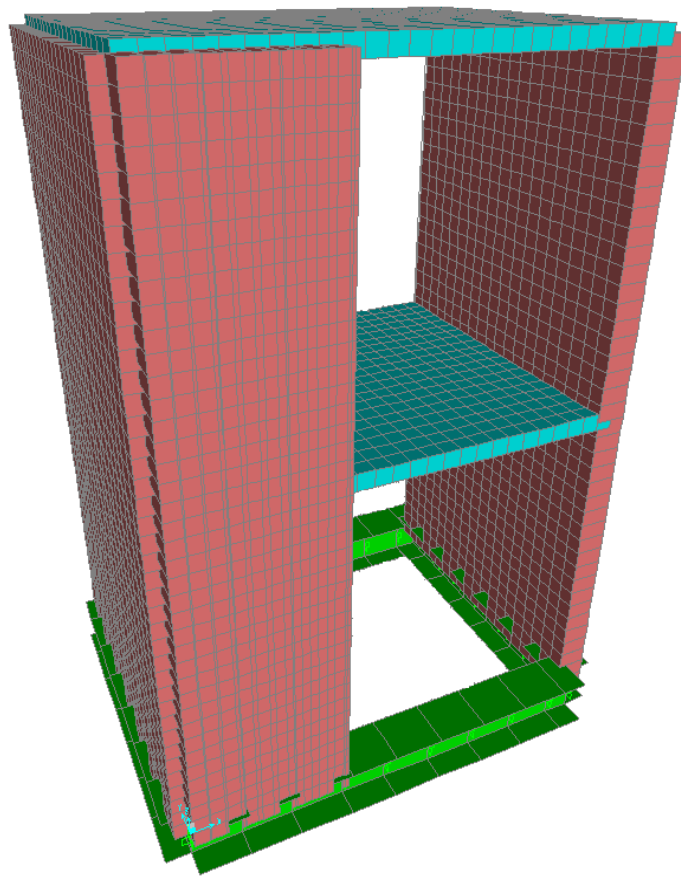
Ειδικό βάρος γ	76,97kN/m³
Μέτρο Ελαστικότητας E	1,999×10 ⁸ kN/m ²
Λόγος Poisson μ	0.30

Για την οπτοπλινθοδομή :

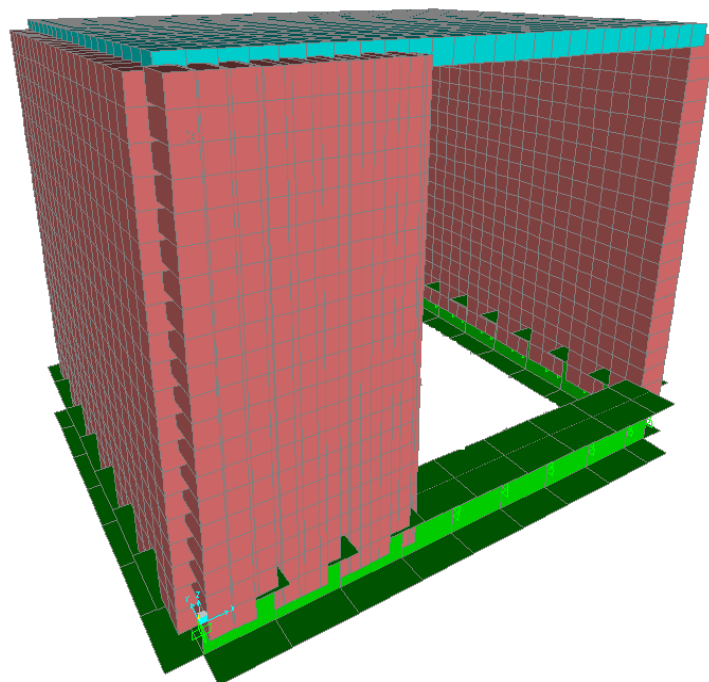
Ειδικό βάρος γ	20kN/m³
Λόγος Poisson μ	0,18

Το μέτρο ελαστικότητας της οπτοπλινθοδομής είναι το μόνο χαρακτηριστικό που διαφέρει στα τέσσερα πειράματα καθώς οι κατασκευές λόγω ενίσχυσης διαφέρουν μεταξύ τους.

Για τον σχεδιασμό της μεταλλικής βάσης χρησιμοποιήθηκε η διατομή HEB300. Η τρισδιάστατη απεικόνιση της διώροφης κατασκευής και ο διαχωρισμός των υλικών διακρίνεται στις ακόλουθες εικόνες.



Εικόνα 1: Τρισδιάστατη απεικόνιση στο SAP2000 δώροφης κατασκευής



Εικόνα 2: Τρισδιάστατη απεικόνιση στο SAP2000 μονώροφης κατασκευής

Σε κάθε πείραμα ξεχωριστά πραγματοποιήθηκε ιδιομορφική ανάλυση, προκειμένου να ελεγχθεί αν οι αρχικές ιδιοσυχνότητες που βρήκαμε στο πρόγραμμα Matlab είναι σωστές.

Από τα ποσοστά συμμετοχής της μάζας που αντιστοιχούν στη θεμελιώδη ιδιομορφή για κάθε διεύθυνση και για κάθε κατασκευή εκτιμάται η επίδραση των ανώτερων ιδιομορφών στην συμπεριφορά της κατασκευής. Υψηλές τιμές των ποσοστών αυτών υποδηλώνουν πως η κατασκευή αποκρίνεται κυρίως σύμφωνα με το σχήμα της θεμελιώδους ιδιομορφής της.

Ακολουθούν οι πίνακες με τα δυναμικά χαρακτηριστικά για κάθε πείραμα.

4.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

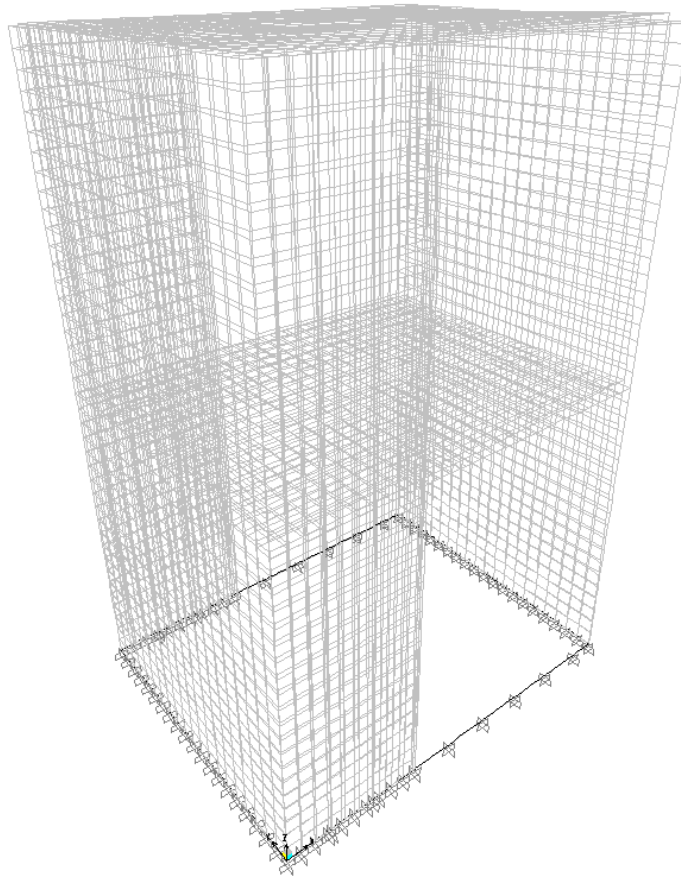
4.2.1 Διώροφη άοπλη κατασκευή μη ενισχυμένη

Για την ανάλυση της διώροφης άοπλης κατασκευής (Πείραμα 1) εκλέχθηκε μέτρο ελαστικότητας $E=931745\text{kN/m}^2$.

Πίνακας 1: Δυναμικά χαρακτηριστικά κατασκευής

ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΑΛΑΝΤΟΥΜΕΝΗΣ ΜΑΖΑΣ					
Ιδιομορφές	Ιδιοσυχνότητα (Hz)	UY	RZ	SumUY	SumRZ
1	4,680005	0	0,22	0	0,22
2	7,463856	0,7	0,45	0,7	0,66
3	11,8174	0,07668	0,12	0,77	0,78
4	17,18272	5,526E-18	0,01559	0,77	0,8
5	19,74217	2,989E-17	0,01592	0,77	0,81
6	28,69111	0,12	0,03997	0,89	0,85
7	29,26287	1,436E-16	0,00002363	0,89	0,85
8	30,28559	7,469E-17	0,001363	0,89	0,85
9	32,5235	1,879E-17	7,977E-06	0,89	0,85
10	35,30575	0,004606	0,05206	0,9	0,91
11	37,05351	0,02298	0,0003419	0,92	0,91
12	38,01414	9,882E-19	0,001122	0,92	0,91

Παρατηρούμε ότι η δεύτερη ιδιομορφή έχει τιμή ιδιοσυχνότητας ίση με 7,46Hz και είναι καμπτική (δρώσα μάζα κατά γ 70% της συνολικής μάζας του κτιρίου) και στρεπτική (δρώσα μάζα 45%)



Εικόνα 3 : 2η Ιδιομορφή διώροφης άοπλης κατασκευής

4.2.2 Μονώροφη ενισχυμένη κατασκευή με προκατασκευασμένο πλέγμα χάλυβα (Murfor by Bekaert, Belgium).

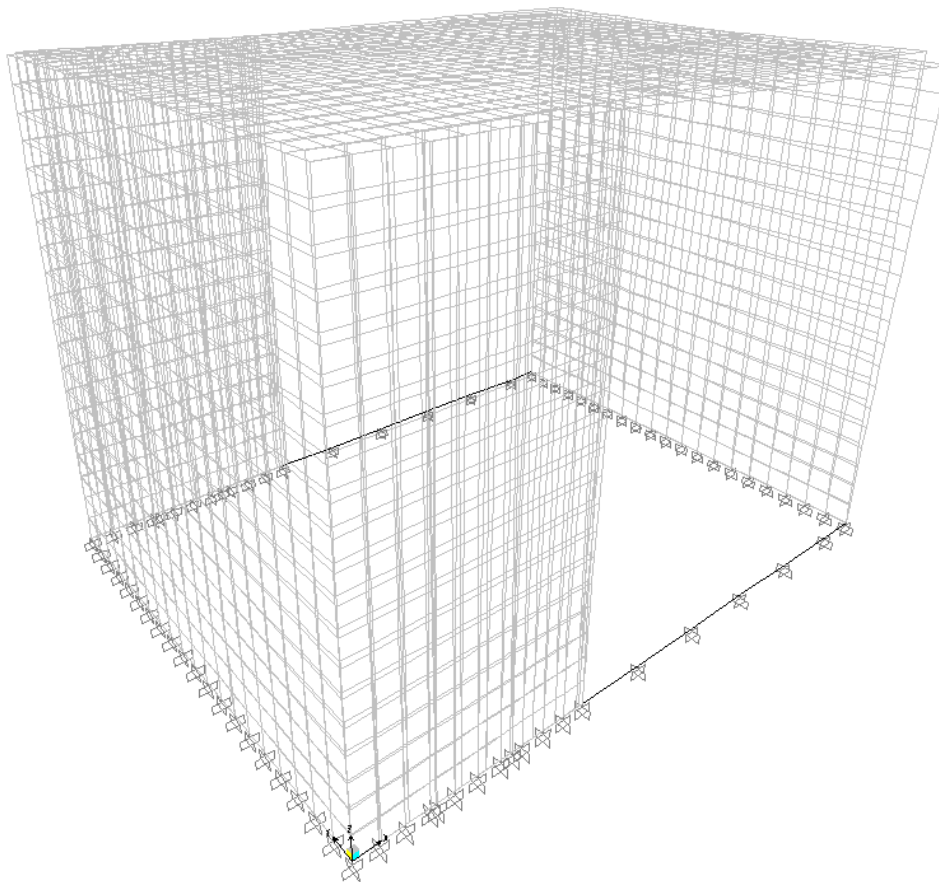
Στη προσομοίωση της μονώροφης κατασκευής ενισχυμένη με πλέγμα χάλυβα Murfor, χρησιμοποιήσαμε ως μέτρο ελαστικότητας $E=706604\text{kN/m}^2$

Η ιδιομορφική ανάλυση μας έδωσε τα ακόλουθα αποτελέσματα :

Πίνακας 2: Δυναμικά χαρακτηριστικά κατασκευής

ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΑΛΑΝΤΟΥΜΕΝΗΣ ΜΑΖΑΣ					
Ιδιομορφές	Ιδιοσυχνότητα (Hz)	UY	RZ	SumUY	SumRZ
1	6,200628	0	0,24	0	0,24
2	10,68239	0,8	0,51	0,8	0,75
3	15,75721	0	0,002857	0,8	0,75
4	16,83899	0,07077	0,12	0,87	0,87
5	26,32064	0,02666	0,007631	0,89	0,88
6	26,34074	3,563E-16	0,003824	0,89	0,88
7	30,90999	5,889E-17	4,351E-08	0,89	0,88
8	32,75252	0,0002781	0,001119	0,89	0,88
9	33,28562	8,415E-17	0,002404	0,89	0,88
10	35,73981	0,01044	0,0008984	0,91	0,89
11	39,2203	4,271E-18	0,003271	0,91	0,89
12	45,37617	8,133E-17	0,0002545	0,91	0,89

Παρατηρούμε ότι η δεύτερη ιδιομορφή έχει τιμή ιδιοσυχνότητας ίση με 10,68Hz και είναι καμπτική (δρώσα μάζα κατά γ 80% της συνολικής μάζας του κτιρίου) και στρεπτική (δρώσα μάζα 51%)



Εικόνα 4 : 2η Ιδιομορφή μονώροφης ενισχυμένης κατασκευής με πλέγμα Murfor

4.2.3 Μονώροφη ενισχυμένη κατασκευή με ίνες αραμιδίου (frp)

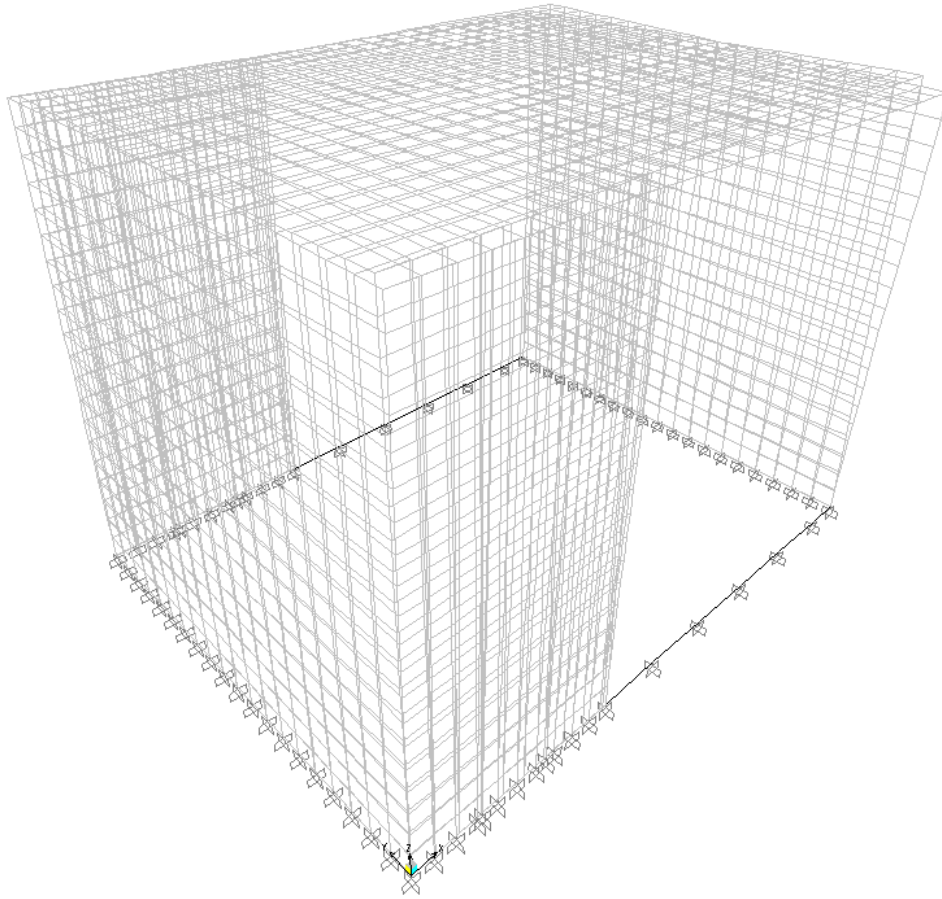
Στη προσομοίωση της ενισχυμένης μονώροφης κατασκευής με ίνες αραμιδίου, χρησιμοποιήσαμε ως μέτρο ελαστικότητας $E=585000\text{kN/m}^2$

Όπως παρατηρούμε και στον Πίνακα 3, η δεύτερη ιδιομορφή έχει τιμή ιδιοσυχνότητας ίση με 9,74Hz περίπου και είναι καμπτική (δρώσα μάζα κατά γ 80% της συνολικής μάζας του κτιρίου) και στρεπτική (δρώσα μάζα 51%)

Πίνακας 3 : Δυναμικά χαρακτηριστικά κατασκευής

ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΑΛΑΝΤΟΥΜΕΝΗΣ ΜΑΖΑΣ					
Ιδιομορφές	Ιδιοσυχνότητα (Hz)	UY	RZ	SumUY	SumRZ
1	5,671378	0	0,24	0	0,24
2	9,739279	0,8	0,51	0,8	0,75
3	14,94054	0	0,002724	0,8	0,75
4	15,36311	0,06903	0,12	0,87	0,87
5	23,9906	1,06E-16	0,003804	0,87	0,87
6	25,02002	0,02722	0,008063	0,9	0,88
7	29,07061	3,962E-17	6,705E-07	0,9	0,88
8	29,80448	0,0003239	0,001162	0,9	0,88
9	30,30119	8,293E-18	0,002383	0,9	0,89
10	32,53514	0,01013	0,0008657	0,91	0,89
11	35,70918	6,313E-18	0,003228	0,91	0,89
12	42,30118	3,373E-15	0,0003049	0,91	0,89

Παρατηρούμε ότι η συμπεριφορά της μονώροφης κατασκευής είτε είναι ενισχυμένη με πλέγμα χάλυβα είτε με ίνες αραμιδίου είναι παρόμοια.



Εικόνα 5: 2η Ιδιομορφή μονώροφης ενισχυμένης κατασκευής με ίνες αραμιδίου

4.2.4 Διώροφη κατασκευή ενισχυμένη με μεταλλικό πλέγμα (Armanet) εξωτερικά της τοιχοποιίας

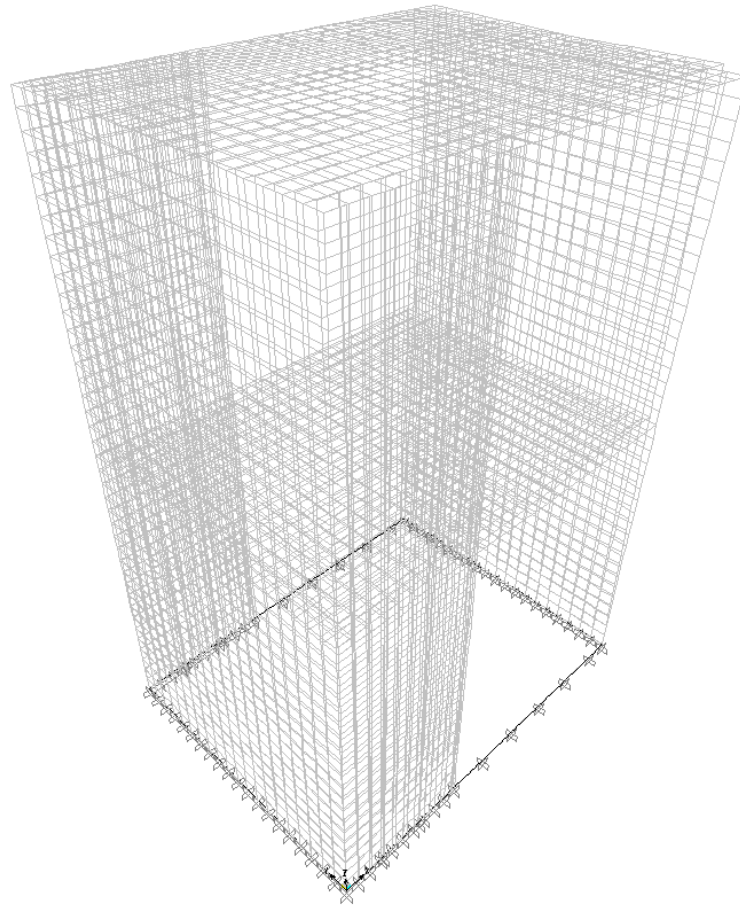
Για την εκτέλεση της ιδιομορφικής ανάλυσης στο πέμπτο πείραμα, εκλάβαμε ως μέτρο ελαστικότητας της οπτοπλιθοδομής $E=832000\text{kN/m}^2$

Το ποσοστό ταλαντούμενης μάζας ενισχυμένης κατασκευής με πλέγμα Armanet διακρίνεται στον ακόλουθο πίνακα :

Πίνακας 4 : Δυναμικά χαρακτηριστικά κατασκευής

ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΑΛΑΝΤΟΥΜΕΝΗΣ ΜΑΖΑΣ					
Ιδιομορφές	Ιδιοσυχνότητα	UY	RZ	SumUY	SumRZ
	(Hz)				
1	4,4444049	0	0,22	0	0,22
2	7,0672377	0,7	0,45	0,7	0,66
3	11,21026	0,07432	0,12	0,77	0,78
4	16,413893	2,326E-18	0,01729	0,77	0,8
5	18,817508	4,511E-18	0,01403	0,77	0,81
6	27,317926	0,12	0,04245	0,9	0,86
7	27,912689	7,285E-20	0,00002786	0,9	0,86
8	28,640165	3,339E-17	0,001354	0,9	0,86
9	30,747471	1,073E-17	0,000006107	0,9	0,86
10	33,581839	0,001489	0,04718	0,9	0,9
11	35,464766	0,01892	0,002386	0,92	0,91
12	36,195164	1,091E-17	0,001535	0,92	0,91

Παρατηρούμε ότι η δεύτερη ιδιομορφή έχει τιμή ιδιοσυχνότητας ίση με 7,067Hz και είναι καμπτική (δρώσα μάζα κατά γ 70% της συνολικής μάζας του κτιρίου) και στρεπτική (δρώσα μάζα 45%)



Εικόνα 6: 2η Ιδιομορφή δώροφης ενισχυμένης κατασκευής με μεταλλικό πλέγμα Armanet

Κεφάλαιο 5

Συγκριτικά
αποτελέσματα

5. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Σύγκριση διώροφων κατασκευών με βάση την ενίσχυση

5.1.1 Σύγκριση ιδιοσυχνοτήτων

Από τον έλεγχο που έγινε στις διώροφες κατασκευές από οπτοπλινθοδομή, εξάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η διώροφη κατασκευή που δεν είχε ενισχυθεί, αρχίζει να μετατοπίζεται ελαφρώς σε σεισμική διέγερση μεγέθους 0.12g ενώ ανύψωση της βάσης πραγματοποιείται στα 0.24g. Στα 0.48g συντελείται σπάσιμο των οπτόπλινθων στο πίσω μέρος της κατασκευής (θλιπτική αστοχία).
- Στη διώροφη κατασκευή που είχε ενισχυθεί εσωτερικά με μεταλλικό πλέγμα Armament χωρίς να έχει μονωθεί σεισμικά η βάση, πραγματοποιείται ανύψωση της βάσης επίσης στα 0.24g. Οι ρηγματώσεις συνεχίζονται μέχρι να συντελεστεί θλιπτική αστοχία στα 0.70g και 0.80g.

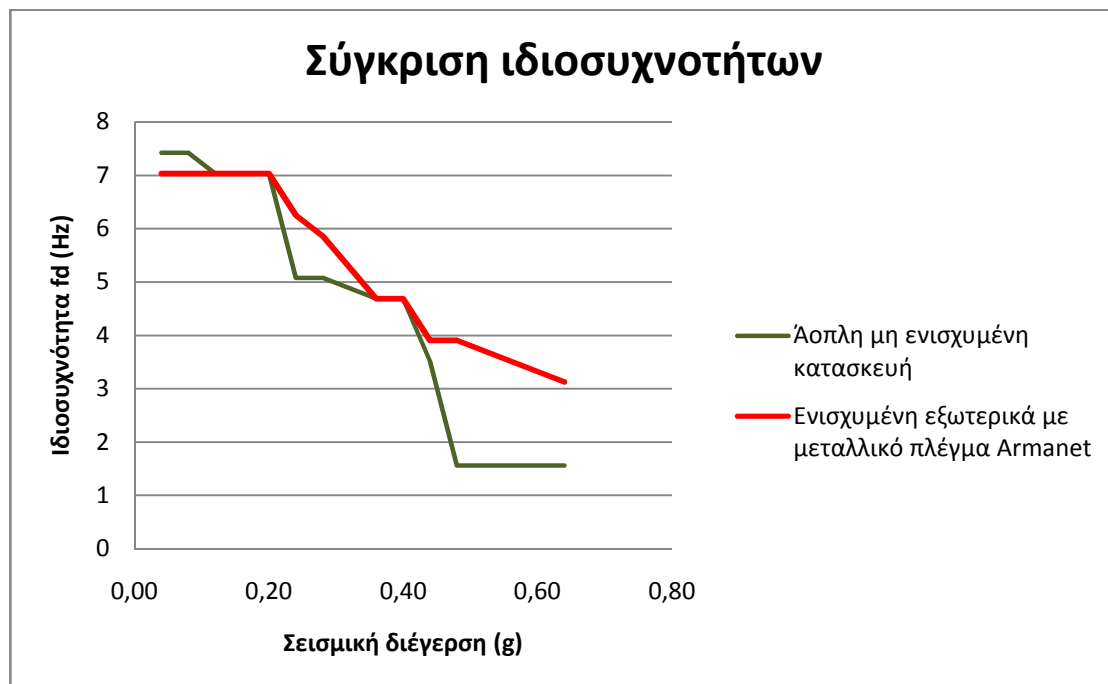
Στον πίνακα που ακολουθεί, παρατηρούμε ότι οι τιμές των ιδιοσυχνοτήτων των δύο κατασκευών δεν διαφέρουν σημαντικά. Αντίστοιχη σύγκριση μεταξύ των λόγων αποσβέσεων των δύο κατασκευών δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί, καθώς η ενισχυμένη κατασκευή είχε καταπονηθεί από προηγούμενο πείραμα (με σεισμική μόνωση στη βάση της).

Η πρώτη ιδιοσυχνότητα της άοπλης κατασκευής έχει μεγαλύτερη τιμή, η οποία γίνεται ίση με αυτή της ενισχυμένης κατασκευής στα 0.12g, όπου και μετατοπίζεται κατά 100mm περίπου. Ανύψωση της βάσης και των δύο κατασκευών πραγματοποιείται σε σεισμική διέγερση ίση με 0.24g.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι η ενίσχυση εξωτερικά της κατασκευής δεν προστατεύει σημαντικά την οπτοπλινθοδομή καθώς εμφανίζονται ρηγματώσεις και ανύψωση της βάσης στην υποβολή ίδιας σεισμικής διέγερσης, παρά μόνο προσδίδει στην κατασκευή μεγαλύτερη αντοχή καθώς η κατασκευή είναι σε θέση να υποστεί μεγαλύτερες σεισμικές διεγέρσεις χωρίς να αστοχήσει σε θλίψη.

Πίνακας 1: Τιμές μεταφορικών Ιδιοσυχνοτήτων

	Άοπλη κατασκευή μη ενισχυμένη	Ενισχυμένη εξωτερικά κατασκευή
	Ιδιοσυχνότητα f_d (Hz)	Ιδιοσυχνότητα f_d (Hz)
0.04g	7,422	7,031
0.06g	7,422	7,031
0.08g	7,422	7,031
0.12g	7,031	7,031
0.16g	7,031	7,031
0.20g	7,031	7,031
0.24g	5,078	6,25
0.28g	5,078	5,859
0.36g	4,688	4,688
0.40g	4,688	4,688
0.44g	3,516	3,906
0.48g	1,562	3,906
0.56g	1,562	3,516
0.64g	1,562	3,125
0.70g	-	1,953
0.80g	-	1,562



5.1.2 Σύγκριση μέγιστων γραμμικών παραμορφώσεων

Στη δοκιμή στην οποία και στις δύο κατασκευές ξεκινούν να εμφανίζονται ρηγματώσεις (0.24g), η μέγιστη γραμμική παραμόρφωση (interstory drift) της μη ενισχυμένης κατασκευής στο πρώτο επίπεδο είναι ίση με 0,5016% ενώ της ενισχυμένης κατασκευής ίση με 0,3003%.

Η μέγιστη γραμμική παραμόρφωση του πρώτου ορόφου της μη ενισχυμένης διώροφης κατασκευής στη δοκιμή όπου εμφανίζει θλιπτική αστοχία τύπου λικνισμού (“rocking”), δηλαδή στην υποβολή σεισμικής διέγερσης ίσης με 0.64g, είναι ίση με 1,292%. Αντίστοιχα για την ενισχυμένη διώροφη κατασκευή, η μέγιστη γραμμική παραμόρφωση του πρώτου ορόφου της στην υποβολή σεισμικής διέγερσης ίσης με 0.70g είναι ίση με 1,222%.

Είναι εύκολα αντιληπτό ότι η διώροφη άοπλη μη ενισχυμένη κατασκευή παραμορφώνεται ελαφρώς περισσότερο στην υποβολή της ίδιας ή και λιγότερης σεισμικής διέγερσης.

5.2 Σύγκριση διώροφων κατασκευών με βάση την σεισμική μόνωση της βάσης

Αρκετά ενδιαφέροντα είναι και τα αποτελέσματα που εξαγάγαμε από τη σύγκριση μεταξύ της ενισχυμένης διώροφης κατασκευής στη βάση της οποίας είχαν τοποθετηθεί μονωτήρες με την μη ενισχυμένη κατασκευή χωρίς σεισμική μόνωση στη βάση.

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε και από τον ακόλουθο πίνακα, οι τιμές των ιδιοσυχνοτήτων της κατασκευής με τους μονωτήρες στη βάση της, στην ίδια σεισμική διέγερση, είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με αυτές της μη μονωμένης κατασκευής, με αποτέλεσμα η κατασκευή να γίνεται πιο εύκαμπτη.

Πίνακας 2: Τιμές μεταφορικών ιδιοσυχνοτήτων και αποσβέσεων

	Σεισμικά μονωμένη κατασκευή στη βάση		Μη μονωμένη κατασκευή	
	Ιδιοσυχνότητα	Απόσβεση	Ιδιοσυχνότητα	Απόσβεση
0.04g	1,562	8,643	7,422	3,368
0.06g	1,562	8,643	7,422	3,368
0.08g	1,562	8,643	7,422	3,368
0.12g	1,562	8,643	7,031	3,982
0.16g	1,562	8,643	7,031	3,982

Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι μόνο στην ενισχυμένη κατασκευή της οποίας η βάση είχε μονωθεί, η τιμή της αρχικής μεταφορικής ιδιοσυχνότητας διέφερε από αυτή της στρεπτικής ιδιοσυχνότητας, λόγω της τοποθέτησης των εφεδράνων, όπως διακρίνεται και στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 3: Τιμές στροφικών ιδιομορφών και αποσβέσεων

	Σεισμικά μονωμένη κατασκευή στη βάση		Μη μονωμένη κατασκευή	
	Ιδιοσυχνότητα	Απόσβεση	Ιδιοσυχνότητα	Απόσβεση
0.04g	5,957	7,965	7,422	3,368
0.06g	5,957	7,965	7,422	3,368
0.08g	5,957	7,965	7,422	3,368
0.12g	5,957	7,965	7,031	3,982
0.16g	5,957	7,965	7,031	3,982

5.3 Σύγκριση μονώροφων κατασκευών με βάση την ενίσχυση

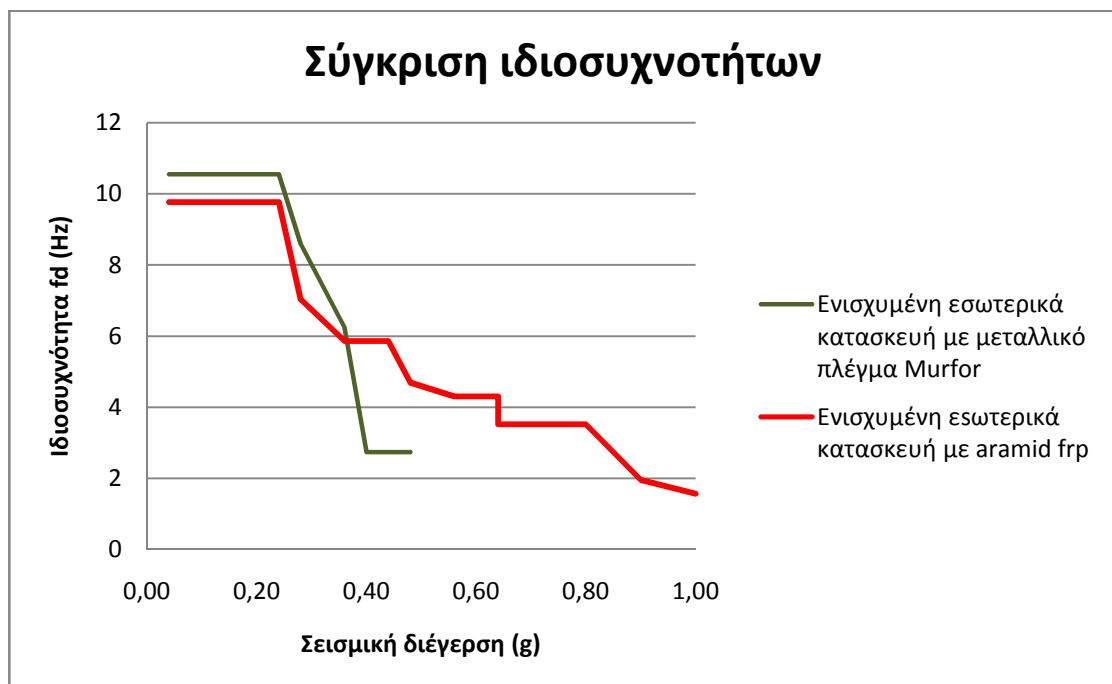
5.3.1 Σύγκριση ιδιομορφών

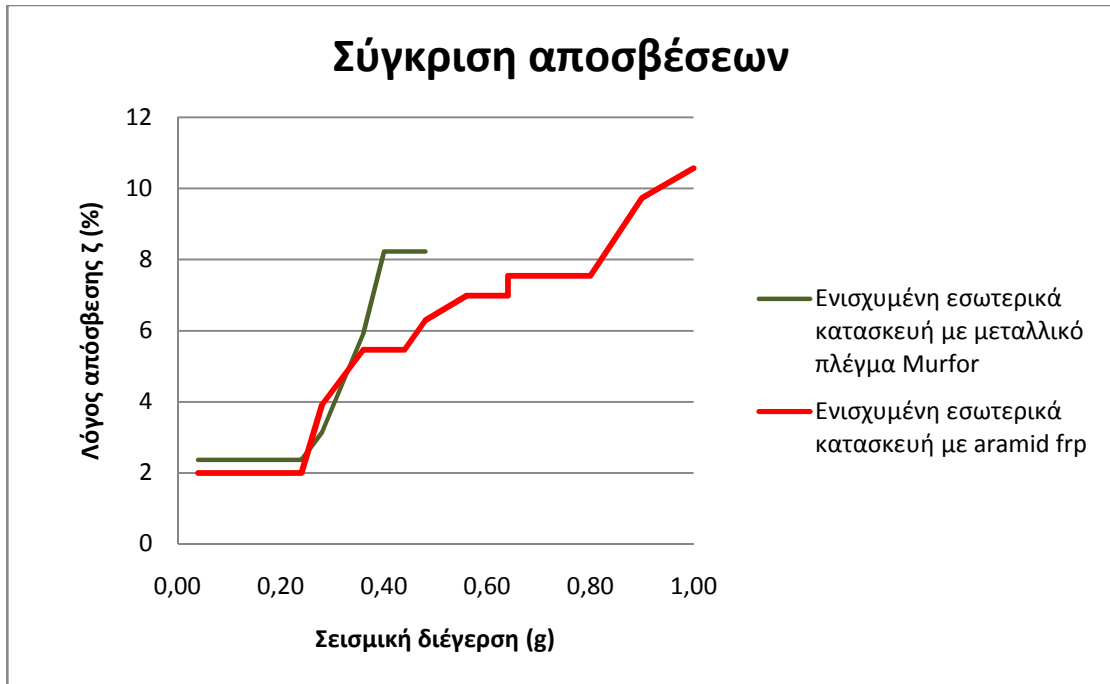
Η σύγκριση των μονώροφων κατασκευών μας έδωσε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η μονώροφη κατασκευή που είχε ενισχυθεί εσωτερικά με προκατασκευασμένο πλέγμα χάλυβα (Murfort), παρουσιάζει μεγάλες τιμές ιδιοσυχνότητας, η οποία μειώνεται στα 0.28g, όπου και εμφανίζονται οι πρώτες ρηγματώσεις στην κατασκευή. Διατμητική αστοχία της κατασκευής συντελείται στα 0.40g με τη στροφή των οπτόπλινθων στη πρώτη σειρά.
- Η μονώροφη κατασκευή που είχε ενισχυθεί εσωτερικά με ίνα αραμιδίου, εμφανίζει για πρώτη φορά οριζόντια ρωγμή, επίσης, στα 0.28g ενώ διατμητική αστοχία πραγματοποιείται σε σεισμική διέγερση μεγέθους 1.00g. Παρατηρούμε ότι η συγκεκριμένη κατασκευή άντεξε σε σεισμική διέγερση μεγάλου μεγέθους, σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες κατασκευές.

Πίνακας 4 : Τιμές Ιδιοσυχνοτήτων και αποσβέσεων

	Ενισχυμένη κατασκευή με πλέγμα χάλυβα		Ενισχυμένη κατασκευή με frp	
	Ιδιοσυχνότητα (Hz)	Απόσβεση (%)	Ιδιοσυχνότητα (Hz)	Απόσβεση (%)
0.04g	10,55	2,370	9,766	1,997
0.06g	10,55	2,370	9,766	1,997
0.08g	10,55	2,370	9,766	1,997
0.12g	10,55	2,370	9,766	1,997
0.16g	10,55	2,370	9,766	1,997
0.20g	10,55	2,370	9,766	1,997
0.24g	10,55	2,370	9,766	1,997
0.28g	8,594	3,142	7,031	3,911
0.36g	6,25	5,920	5,859	5,462
0.40g	2,734	8,230	5,859	5,462
0.44g	2,734	8,230	5,859	5,462
0.48g	2,734	8,230	4,688	6,293
0.56g	-	-	4,297	6,982
0.64g	-	-	4,297	6,982
0.64g	-	-	3,516	7,537
0.70g	-	-	3,516	7,537
0.80g	-	-	3,516	7,537
0.90g	-	-	1,953	9,729
1.00g	-	-	1,562	10,563





5.3.2 Σύγκριση μέγιστων γωνιακών παραμορφώσεων

Στη δοκιμή στην οποία εμφανίστηκαν ρηγματώσεις και στις δύο μονώροφες κατασκευές (0.28g) παρατηρούμε ότι η μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση του ορόφου της ενισχυμένης εσωτερικά κατασκευής με χάλυβα είναι ίση με 0,3079% ενώ της ενισχυμένης εσωτερικά με frp ίση με 0,1618%.

Επιπροσθέτως, η μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση της ενισχυμένης κατασκευής με πλέγμα χάλυβα, όταν συντελείται διατμητική αστοχία (0.40g) είναι ίση με 1,363% ενώ αντίστοιχα η μέγιστη γωνιακή παραμόρφωση της ενισχυμένης με frp κατασκευής στα 0.90g λαμβάνει τιμή ίση με 1,034%.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι η ενισχυμένη εσωτερικά με ίνες αραμιδίου παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή, καθώς και υπόκειται σε μεγαλύτερες σεισμικές διεγέρσεις και παραμορφώνεται λιγότερο σε σχέση με την ενισχυμένη εσωτερικά με χάλυβα κατασκευή.

5.4 Σύγκριση μονώροφων – διώροφων κατασκευών από οπτοπλινθοδομή

Παρατηρήθηκε ότι οι μονώροφες κατασκευές παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές ιδιοσυχνότητας σε σχέση με τις διώροφες κατασκευές. Επίσης, οι πρώτες ρηγματώσεις στις μονώροφες κατασκευές εμφανίζονται στην υποβολή μεγαλύτερης σεισμικής διέγερσης (0.28g).

Σημαντικό είναι να τονιστεί και ο τύπος αστοχίας που εμφανίζεται στους δύο τύπους κατασκευών που μελετήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, στις μονώροφες κατασκευές πραγματοποιείται διατμητική ολίσθηση («sliding») στην πρώτη σειρά οπτόπλινθων πάνω από τη βάση τους, με την εμφάνιση οριζόντιων ρηγματώσεων.

Εν αντιθέσει, στις διώροφες κατασκευές συντελείται θλιπτική αστοχία τύπου λικνισμού («rocking») με ανύψωση της βάσης της κατασκευής και σύνθλιψη («crashing») των θλιβόμενων ζωνών στις γωνίες της οπτοπλινθοδομής.

Οι διαφορετικές μορφές αστοχίας οφείλονται στις ροπές αδρανείας που αναπτύσσονται στις κατασκευές, ανάλογα με το ύψος τους.

Κεφάλαιο 6

Βιβλιογραφία

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Μουζάκης Χ., Ντερτιμάνης Β., «Πειραματική Αντισεισμική Τεχνολογία», βοηθητικές σημειώσεις μαθήματος.
- www.mathworks.com, “Matlab, The Language of Technical Computing”
- Ekkehard Fehling, Mahmoud Nejati, Panyotis G. Carydis and Harris Mouzakis “Seismic behavior of capacity designed masonry walls in low seismicity regions”, 13th World Conference on Earthquake Engineering
- Datasheet Murfor – type EFS by Bekaert
- Datasheet Armanet by Bekaert