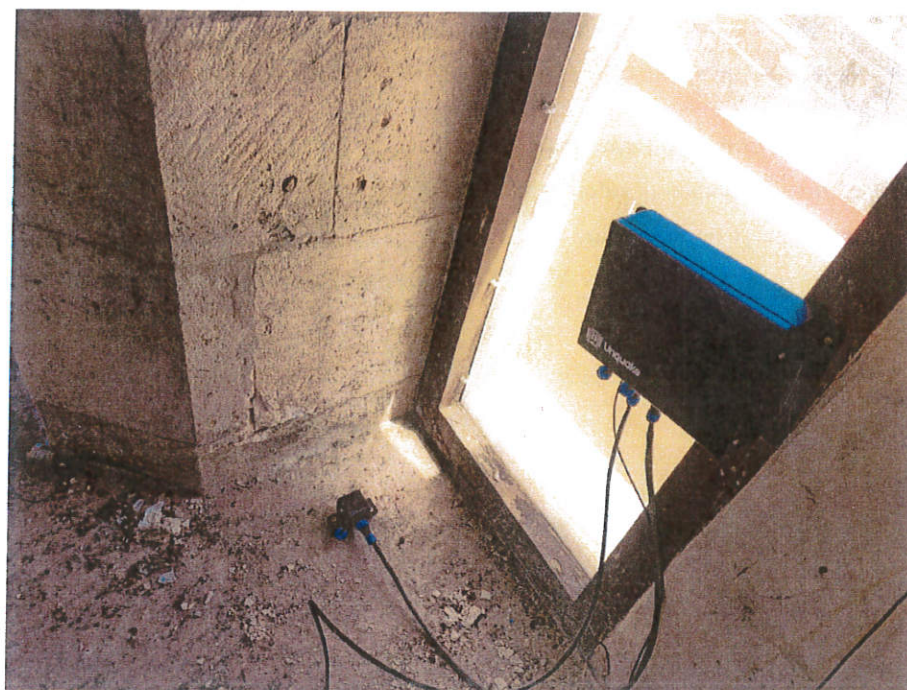




ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΔΟΜΙΚΗΣ
ΑΚΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΤΙΚΟΥ
ΝΑΟΥ ΑΓΙΟΥ ΜΗΝΑ ΣΤΟ ΗΡΑΚΛΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ



Εργαστήριο Στατικής & Αντισεισμικών Ερευνών
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Υπεύθυνοι εργασιών: **Δαμικούκας Σπυρίδων**, ΥΔ Πολ. Μηχ. ΕΜΠ
Χατζηελθερίου Σταύρος, Δρ. Πολ. Μηχ. ΕΜΠ

Απρίλιος 2022



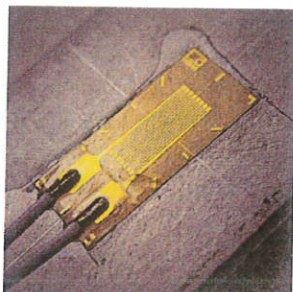
Περιεχόμενα

Εισαγωγή	3
Περιγραφή.....	3
Επίσκεψη και εγκατάσταση μετρητικών	4
Αποτελέσματα.....	8
Βόρειο καμπαναριό.....	9
Νότιο καμπαναριό.....	28
Ναός - Τρούλος.....	55
Εγκατάσταση και λειτουργία μόνιμου επιταχυνσιογράφου στο βόρειο καμπαναριό με πρόσβαση στο διαδίκτυο	62
Καταγραφή σεισμικού γεγονότος και ανάλυση FFT	64
Διερεύνηση συχνοτήτων σε μικρού-μεσαίου μεγέθους σεισμούς σε βάθος διετίας.....	68
Ισχυρός σεισμός και ζημιές στην εκκλησία.....	69
Μεταβολή δυναμικών χαρακτηριστικών σε AVR - Συμπεράσματα	71
Λοιπά σεισμικά γεγονότα	72
Αναφορές.....	76



Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες, εφαρμογές Παρακολούθησης Δομικής Ακεραιότητας (Structural Health Monitoring) έχουν περατωθεί εκτενώς. Πολλές σημαντικές κατασκευές σήμερα παρακολουθούνται ως προς τα δυναμικά χαρακτηριστικά τους, τις μετατοπίσεις, τις παραμορφώσεις, τις τάσεις και άλλα μηχανικά μεγέθη. Σε αυτό έχει συμβάλει η εξέλιξη των ηλεκτρονικών αισθητήριων οργάνων, που πια χαρακτηρίζονται από πλήθος επιλογών, υψηλή ακρίβεια, χαμηλότερο κόστος και φορητότητα (Εικόνα 1). Χαρακτηριστικό παράδειγμα εκτενούς ενόργανης παρακολούθησης στην Ελλάδα αποτελεί η γέφυρα Ρίο Αντίρριο. Τα στοιχεία που αντλούνται κατά την παρακολούθηση της εκάστοτε κατασκευής όταν αξιοποιηθούν καταλλήλως πληροφορούν για την τρέχουσα κατάσταση της κατασκευής και για τις όποιες ανάγκες συντήρησης μπορεί να προκύψουν, ενώ επίσης αποτελούν εργαλείο για την πρόβλεψη εν δυνάμει καταστροφικής και ανεπιθύμητης συμπεριφοράς της κατασκευής. Μία διαδικασία που χρησιμοποιείται ευρέως τα τελευταία χρόνια είναι αυτή της άντλησης των δυναμικών χαρακτηριστικών μιας κατασκευής μέσω Ανάλυσης Δονήσεων Περιβάλλοντος (Ambient Vibration Analysis), ή αλλιώς Λειτουργική Ιδιομορφική Ανάλυση (Operational Modal Analysis - OMA). Προσδίδει την αμεσότητα και την ευχέρεια να εκτελεστεί οποιαδήποτε στιγμή, χωρίς την ανάγκη για επιβολή τεχνητής εδαφικής διέγερσης στο δόμημα. Στόχος της είναι η εξαγωγή των δυναμικών χαρακτηριστικών της κατασκευής κάτω από συνθήκες λειτουργίας της. Τα αποτελέσματα που δίνει είναι συγκρίσιμα και αντίστοιχης σημασίας με εκείνα που θα εξαγόntonταν ακόμα σε μια αντιληπτή σεισμική διέγερση [1]. Επομένως, τα εξαγόμενα στοιχεία αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν ποικιλοτρόπως από τους μηχανικούς, είτε για τη βελτίωση των υπολογιστικών τους μοντέλων [2], είτε στο πλαίσιο συλλογής ευρύτερων στοιχείων για ένα δόμημα με στόχο το χαρακτηρισμό του [3].



(α)



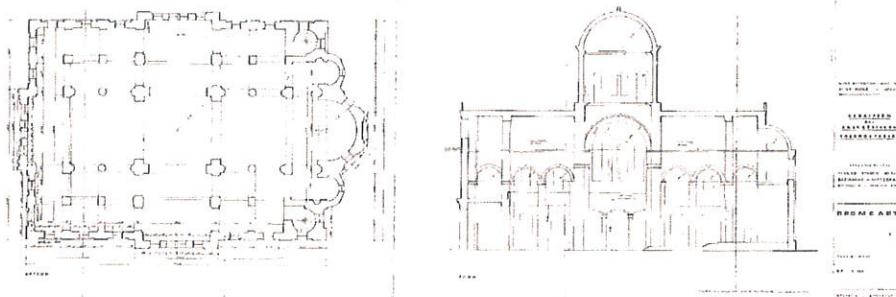
(β)

Εικόνα 1 α) Αισθητήρας παραμορφώσεων strain gauge, β) Επιταχυνσιόμετρο τύπου MEMS

Περιγραφή

Ο Μητροπολιτικός Ναός του Αγίου Μηνά είναι Ορθόδοξος Καθεδρικός Ναός, ο οποίος βρίσκεται στο Ηράκλειο και είναι η έδρα του Αρχιεπίσκοπου Κρήτης. Ξεκίνησε να χτίζεται στις 25 Μαρτίου 1862 από τον Μητροπολίτη Κρήτης Διονύσιο τον εξ Αδριανουπόλεως Θράκης. Η κατασκευή του διακόπηκε κατά την Κρητική Επανάσταση του 1866 και τελικά ολοκληρώθηκε στις αρχές του 1895. Τα εγκαίνια του ναού έγιναν στις 16 Απριλίου 1895 από το Μητροπολίτη Κρήτης Τιμόθεο Α' [4].

Η διάρκεια των εργασιών σχετικά με την Παρακολούθηση της Δομικής Ακεραιότητας διήρκησαν πέντε ημέρες, από τις 2 Ιουλίου του 2020 έως τις 6 Ιουλίου του 2020. Ενδεικτικά σχέδια διακρίνονται στην Εικόνα 2. Επίσης με το πέρας της επίσκεψης, τέθηκε σε λειτουργία μόνιμα τριαξονικός επιταχυνσιογράφος στο βόρειο καμπαναριό του Ιερού Ναού.



Εικόνα 2. Κάτοψη και τομή Ιερού Ναού Αγίου Μηνά, Ηράκλειο, Κρήτης

Επίσκεψη και εγκατάσταση μετρητικών

Κρίθηκε θεμιτό ο Ιερός Ναός να ελεγχθεί σε τρεις φάσεις. Σκοπός ήταν να υπάρξουν μετρήσεις της απόκρισης της κατασκευής, υποβεβλημένης στον περιβαλλοντικό θόρυβο (ambient vibrations), σημαντικής χρονικής διάρκειας. Την πρώτη φάση αποτέλεσε το βόρειο καμπαναριό, τη δεύτερη φάση το νότιο, ενώ την τρίτη ο τρούλος σε σχέση με το κυρίως «μέρος» του Ιερού Ναού. Τοποθετήθηκαν συνολικά οκτώ τριαξονικά επιταχυνσιόμετρα για τα καμπαναριά με όμοιο προσανατολισμό και κατά αντιστοιχία θέσης, ενώ για τον τρούλο πέντε. Όλα τα επιταχυνσιόμετρα λειτουργούν συγχρονισμένα, μέσω απόλυτου συγχρονισμού που επιτυγχάνεται χάριν GPS, ενώ οι μετρήσεις τους εγγράφονται τοπικά σε micro SD card που αφαιρείται με το πέρας των δοκιμών. Η δειγματοληψία έγινε στα 250Hz. Ο ψηφιοποιητής των οργάνων είναι στα 20bit, με εύρος λειτουργίας στα $\pm 2g$. Συνεπώς, ικανή ανάλυση για καταγραφή των μικροκινήσεων της κατασκευής. Η καταγραφή γίνεται σε συνεχή χρόνο, χωρίς διακοπές. Μέρος των προδιαγραφών των επιταχυνσιομέτρων αναφέρονται στον Πίνακα 1.

Parameter	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit
SENSOR INPUT	Each axis				
Output Full Scale Range (FSR)	User selectable		± 2.048		g
			± 4.096		g
			± 8.192		g
Nonlinearity	$\pm 2g$		0.1		%FS
Cross Axis Sensitivity			1		%
SENSITIVITY	Each axis				
X-Axis, Y-Axis, and Z-Axis Sensitivity	$\pm 2g$	235,520	256,000	276,480	LSB/g
	$\pm 4g$	117,760	128,000	138,240	LSB/g
	$\pm 8g$	58,880	64,000	69,120	LSB/g
X-Axis, Y-Axis, and Z-Axis Scale Factor	$\pm 2g$		3.9		$\mu g/LSB$
	$\pm 4g$		7.8		$\mu g/LSB$
	$\pm 8g$		15.6		$\mu g/LSB$
Sensitivity Change due to Temperature	$-40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$		± 0.01		%/°C
0 g OFFSET	Each axis, $\pm 2g$				
X-Axis, Y-Axis, and Z-Axis 0 g Output	$-40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$	-75	± 25	+75	mg
0 g Offset vs. Temperature (X-Axis, Y-Axis, and Z-Axis)		0.15	± 0.02	+0.15	mg/°C
Repeatability ¹	X-axis and y-axis		± 3.5		mg
	Z-axis		± 9		mg
Vibration Rectification ⁴	$\pm 2g$ range, in a 1 g orientation, offset due to 2.5 g rms vibration		<0.4		g
NOISE DENSITY	X-Axis, Y-Axis, and Z-Axis				
Velocity Random Walk	X-axis and y-axis		25		$\mu g/\sqrt{Hz}$
	Z-axis		9		$\mu m/sec/\sqrt{Hz}$
			13		$\mu m/sec/\sqrt{Hz}$
OUTPUT DATA RATE AND BANDWIDTH					
Low Pass Filter Passband Frequency	User programmable, Register 0x28	1		1000	Hz
High Pass Filter Passband Frequency When Enabled (Disabled by Default)	User programmable, Register 0x28 for 4 kHz ODR	0.0095		10	Hz



Δεν υπήρξε αλληλοεπικάλυψη των χρονικών διαστημάτων μέτρησης, ενώ η ομαλή λειτουργία του Ιερού Ναού είχε διακοπεί με στόχο την εξάλειψη ανεπιθύμητων διεγέρσεων που θα εισήγαγαν ανεπιθύμητο θόρυβο στις μετρήσεις.

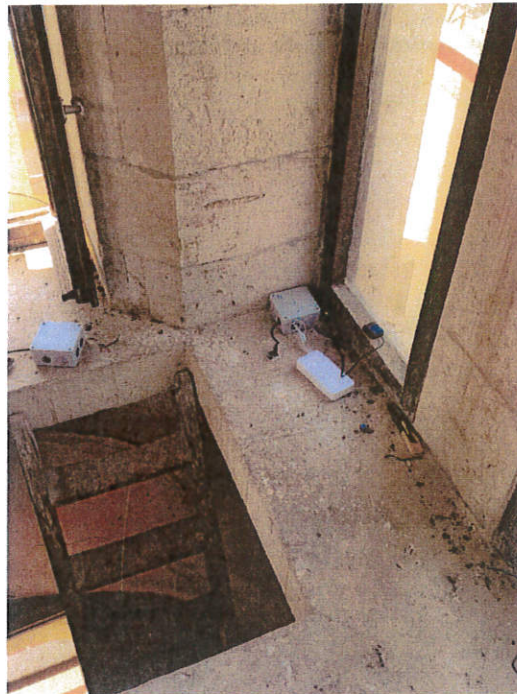
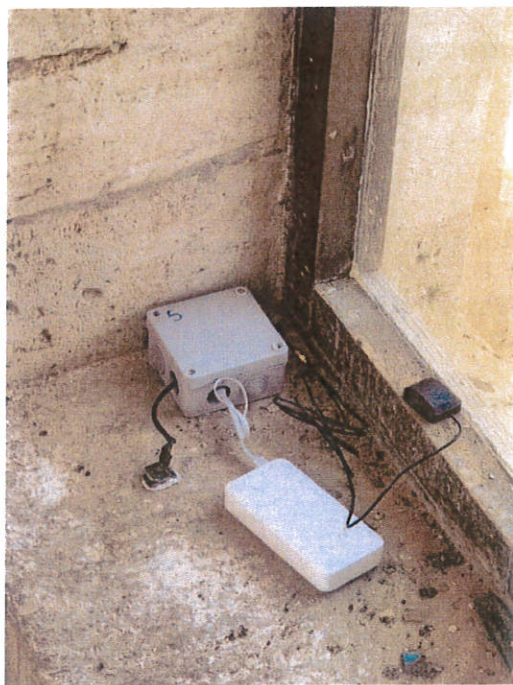
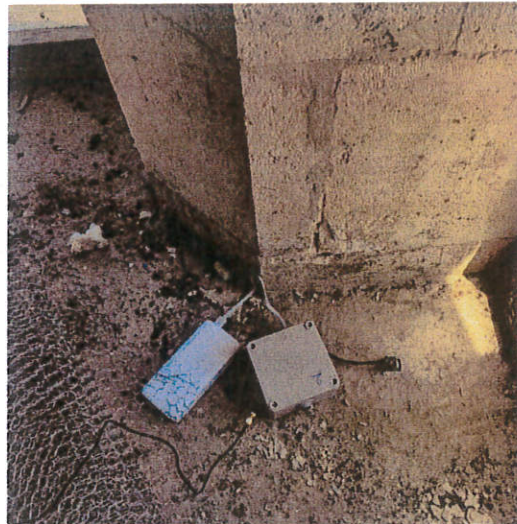
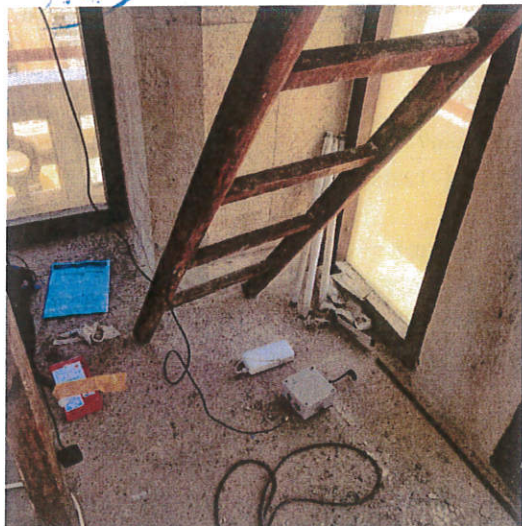
Στα δυο καμπαναριά η τοποθέτηση των αισθητήρων έγινε ως εξής:

- 1 αισθητήρας άνωθεν του γυναικωνίτη – ποδιά παραθύρου (~7.95m)
- 1 αισθητήρας κάτωθεν του δώματος – ποδιά παραθύρου (~12.05m)
- 1 αισθητήρας στο δώμα (~13.05m)
- 2 αισθητήρες στο καμπαναριό – επίπεδο καμπάνας (~18,80 m)
- 2 αισθητήρες στο δωμάτιο του ρολογιού στο καμπαναριό – επίπεδο ρολογιού (~25,17m)
- 1 αισθητήρας στο ύψος του ρολογιού στο καμπαναριό – τοίχος πλαγίως οπής (~27.17m)

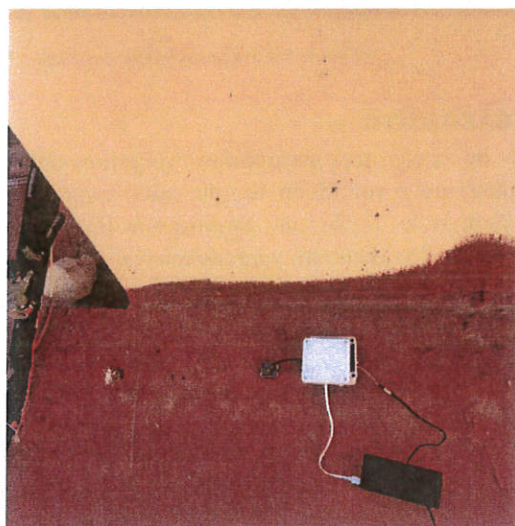
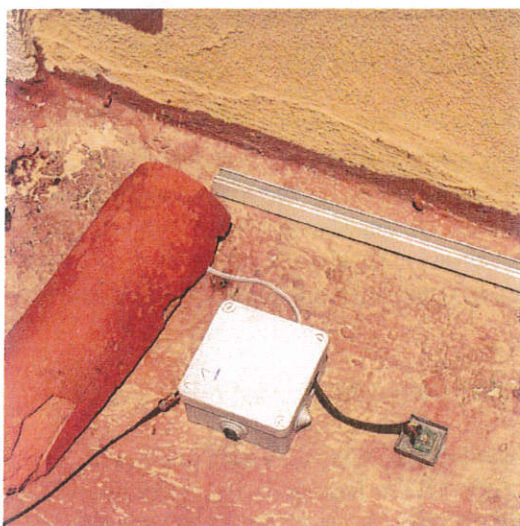
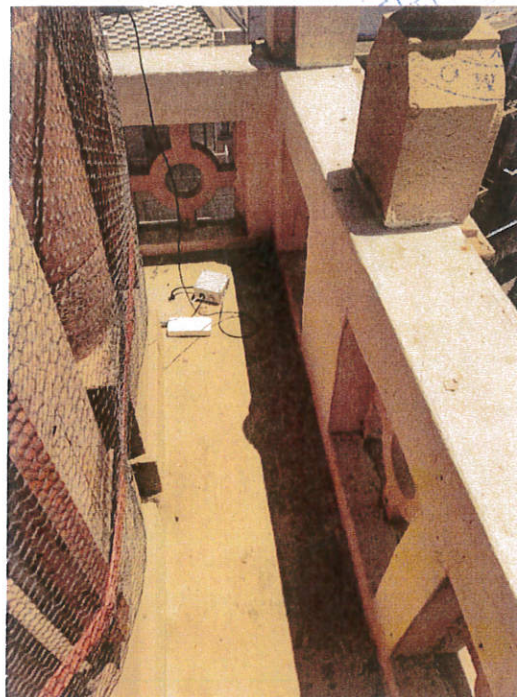
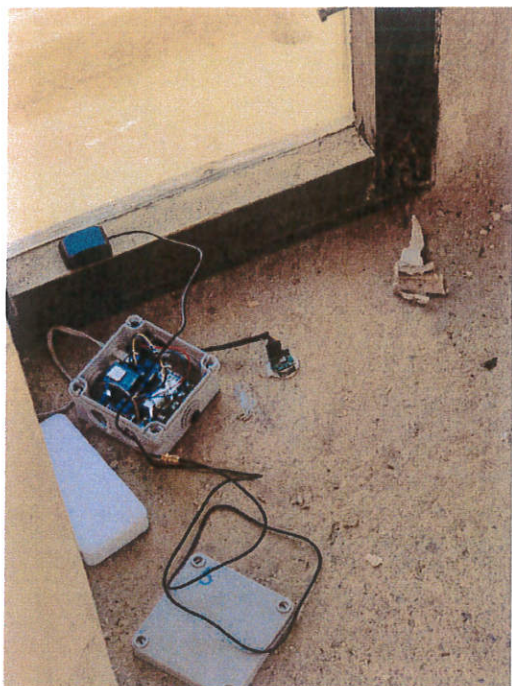
Σχετικά με τον τρούλο, η τοποθέτηση των αισθητήρων έγινε ως εξής:

- 1 αισθητήρας σε κεντρική κολώνα πλησίον οροφής γυναικωνίτη
- 3 αισθητήρες στο «στεφάνι» - εσωτερική γέφυρα του τρούλου
- 1 αισθητήρας στο Σταυρό του τρούλου

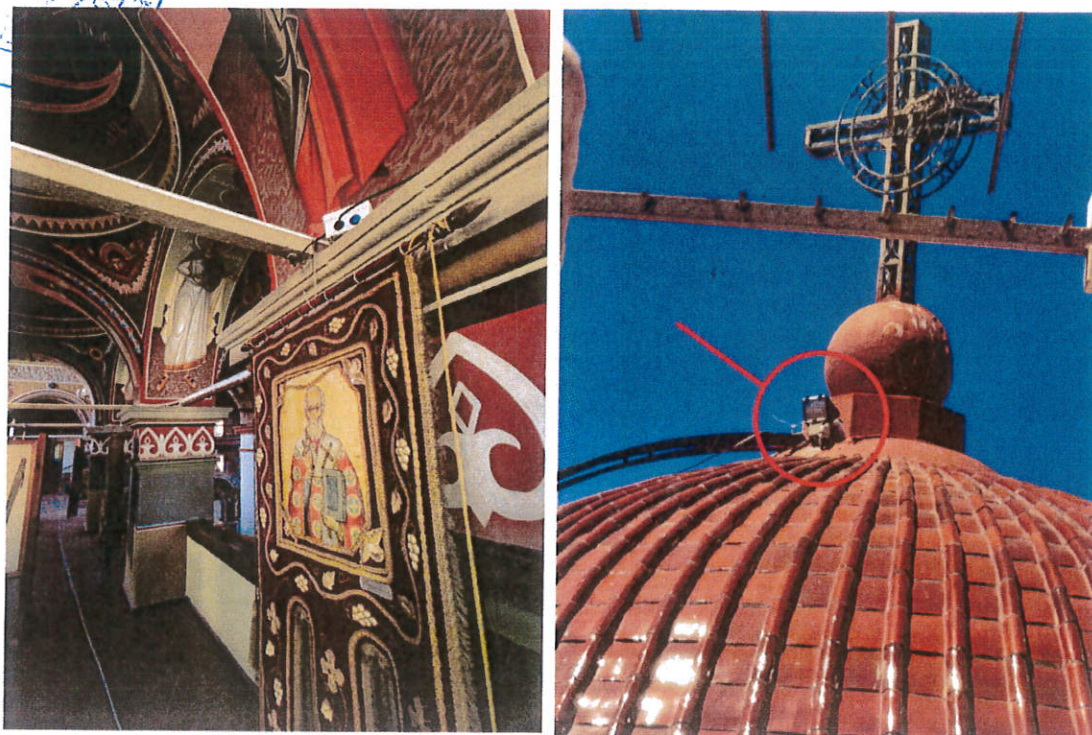
Παρακάτω ακολουθούν φωτογραφίες από τα μετρητικά όργανα και τις θέσεις έδραςής τους. (Εικόνα 3, Εικόνα 4)



Εικόνα 3. Χώρος ρολογιού στο καμπαναριό



Εικόνα 4. Κατώτερα επίπεδα του καμπαναριού



Εικόνα 5. Επιταχυνσιόμετρα εντός Ιερού Ναού και στο Σταυρό του τρούλου.

Αποτελέσματα

Κατόπιν συλλογής των μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκε μια τεχνική αναγνώρισης συστήματος που χρησιμοποιεί μόνο την έξοδο του για κάθε τμήμα/φάση της κατασκευής. Η τεχνική αυτή ονομάζεται Αποσύνθεση στον Τομέα των Συχνοτήτων (Frequency Domain Decomposition - FDD) [5], [6]. Ως αλγόριθμος εξόδου (Output), χρησιμοποιείται όταν τα δεδομένα εισαγωγής είναι άγνωστα. Η FDD είναι μια μέθοδος ιδιομορφικής ανάλυσης μέσω της αξιοποίησης πολλαπλών απόκρισης συχνότητας δεδομένων εξόδου (output-only).

1. Υπολογισμός του μητρώου φασματικής πυκνότητας ισχύος $\hat{G}_{yy}(j\omega)$ στις συχνότητες $\omega = \omega_i$.
2. Ανάλυση σε ιδιάζουσες τιμές (Singular Value Decomposition - SVD) του μητρώου φασματικής πυκνότητας $\hat{G}_{yy}(j\omega_i) = U_i S_i U_i^H$, όπου $U_i = [u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im}]$ είναι ένας μοναδιακός πίνακας που έχει τις ιδιάζουσες τιμές u_{ij} , S_i είναι ο διαγώνιος πίνακας που περιλαμβάνει τις ιδιάζουσες τιμές s_{ij} .
3. Για ένα n -ιστό βαθμού ελευθερίας σύστημα, σε n κορυφές της φασματικής πυκνότητας ισχύος αντιστοιχούν οι ιδιομορφές.



Βόρειο καμπαναριό

Τοποθέτηση αισθητήρων:

S8: Ρολόι (τοίχος πλαγίως οπής), υψόμετρο: +27.50, θέση ΒΑ

S2: Επίπεδο ρολογιού (πλάκα δαπέδου), υψόμετρο: +25.17, θέση ΒΑ

S5: Επίπεδο ρολογιού (πλάκα δαπέδου), υψόμετρο: +25.17, θέση ΝΔ

S3: Επίπεδο καμπάνας (πλάκα δαπέδου), υψόμετρο: +18.80, θέση ΒΔ

S4: Επίπεδο καμπάνας (πλάκα δαπέδου), υψόμετρο: +18.80, θέση ΝΑ

S1: Δώμα εκκλησίας (πλάκα δαπέδου), υψόμετρο: +13.05, θέση ΝΔ

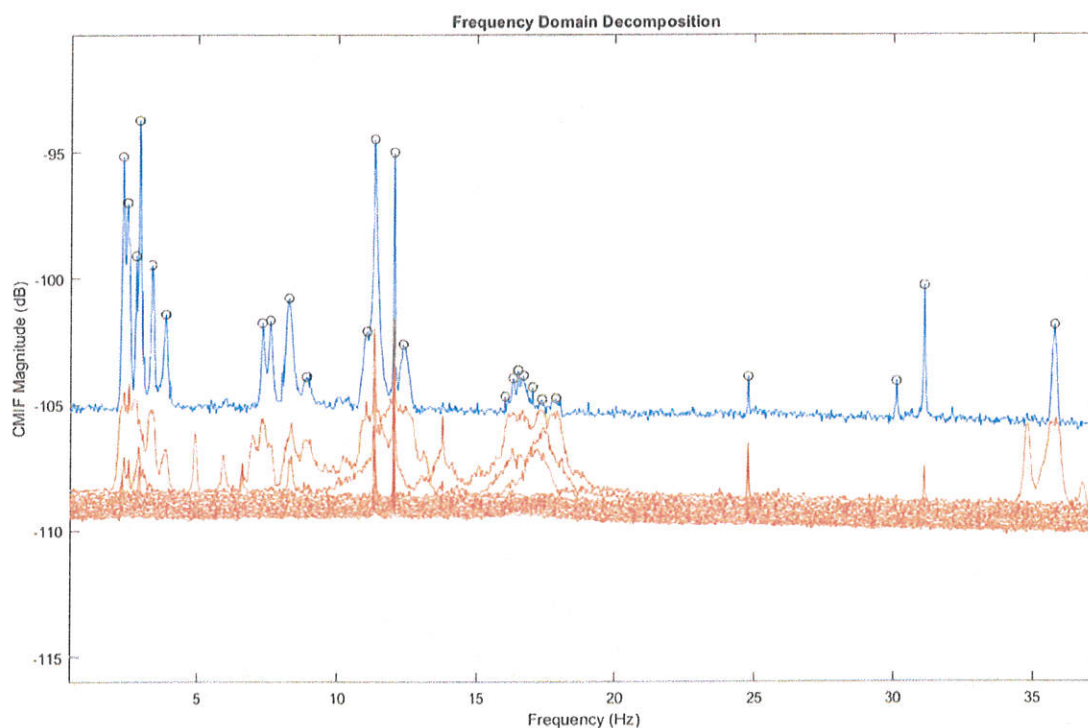
S6: Ποδιά παραθύρου, υψόμετρο: +12.05, θέση Β

S7: Ποδιά παραθύρου, υψόμετρο: +7.95, θέση Β

Διευθύνσεις: Υ από Ν προς Β, Χ από Δ προς Α

Κανάλια: 8×2 (συνήθως ΧΥ αισθητήρα) = 16

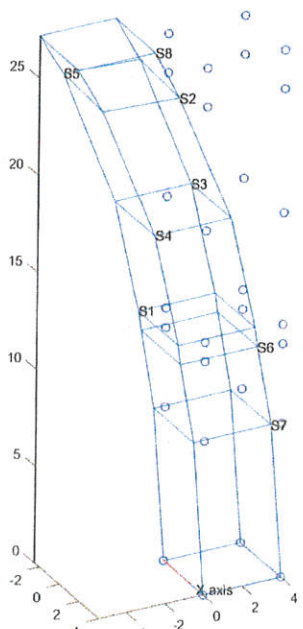
Χρόνος τοποθέτησης: Περίπου 24 ώρες



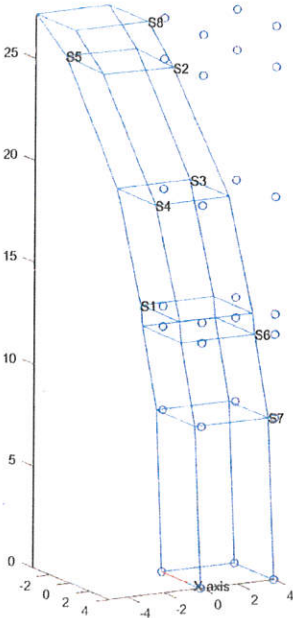
Σχήμα 1. FDD του βόρειου καμπαναριού



Ιδιοσυχνότητες - Ιδιομορφές

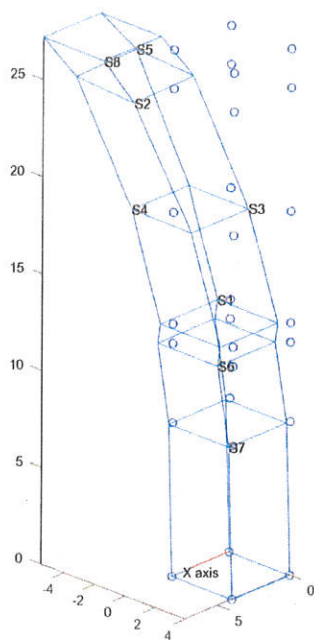
Ιδιοσυχνότητα	Απεικόνιση	Κανάλια (S8 Y,X rest X,Y top - down)	Περιγραφή
2.300Hz		-0.5447 -0.2531 -0.1453 -0.4741 -0.2180 -0.4346 -0.0675 -0.2401 -0.0671 -0.2352 -0.0311 -0.1273 -0.0274 -0.1149 -0.0115 -0.0515	Μεταφορική κυρίως κατά Y



2.467Hz		<div>-0.5056</div> <div>-0.3726</div> <div>-0.2185</div> <div>-0.4470</div> <div>-0.2814</div> <div>-0.3893</div> <div>-0.1165</div> <div>-0.1906</div> <div>-0.1101</div> <div>-0.2001</div> <div>-0.0682</div> <div>-0.0851</div> <div>-0.0518</div> <div>-0.0850</div> <div>-0.0185</div> <div>-0.0243</div>	
---------	--	---	--



2.767Hz



-0.5569

Μεταφορική
κατά Υ κ Χ

0.3278

0.2562

-0.4228

0.1879

-0.4555

0.1205

-0.1665

0.1138

-0.1706

0.0430

-0.0438

0.0476

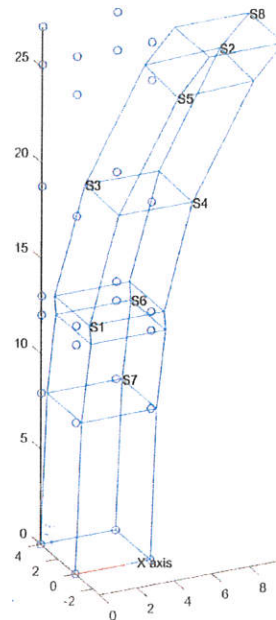
-0.0564

0.0237

-0.0026



2.867Hz

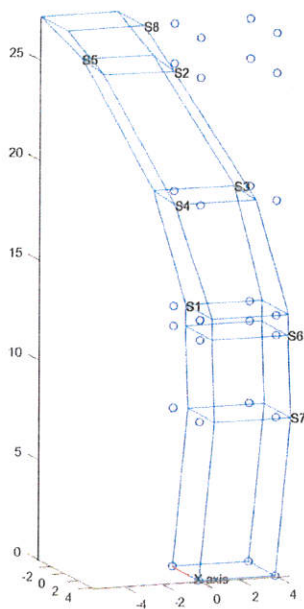


-0.2842
0.5743
0.4627
-0.1881
0.4254
-0.2509
0.1974
-0.0694
0.1784
-0.0891
0.0570
-0.0273
0.0663
-0.0238
0.0253
-0.0117

Μεταφορική
κυρίως κατά X



3333Hz



-0.5621

-0.3988

-0.1973

-0.4715

-0.2774

-0.3876

-0.0307

-0.0699

-0.0544

-0.1158

-0.0038

0.0672

0.0173

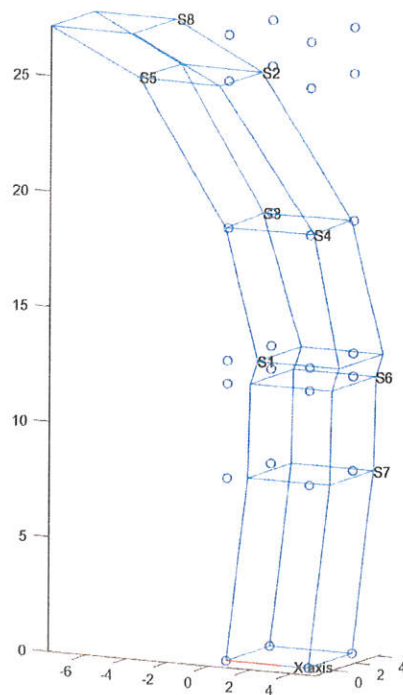
0.0574

0.0350

0.0673

Flexural εντός
επιπέδου YZ
κυρίως

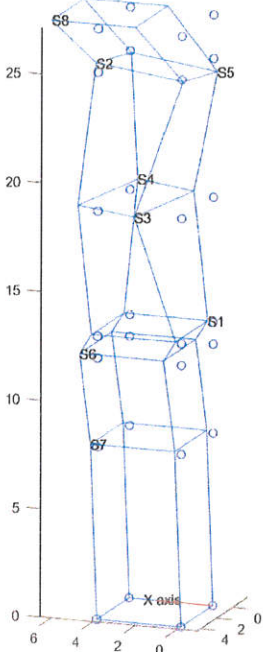
3.833Hz



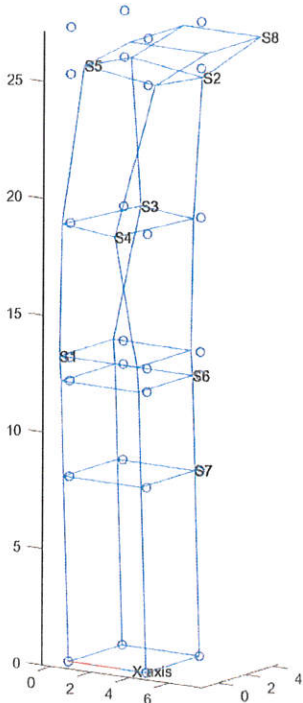
-0.1613
-0.7847
-0.3704
-0.1517
-0.3869
-0.0961
-0.0331
-0.0167
0.0053
0.0244
0.1241
0.0384
0.0892
0.0386
0.0785
0.0416

Flexural εγρός
επιπέδου ΧΖ
κυρίως

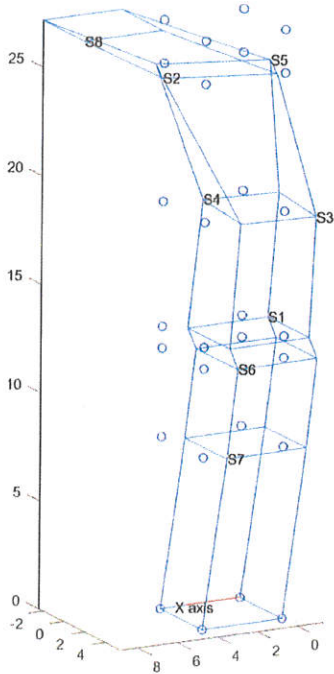


		<p>-0.1540</p> <p>0.5028</p> <p>0.1358</p> <p>-0.3082</p> <p>-0.1966</p> <p>0.4204</p> <p>0.4179</p> <p>0.0894</p> <p>0.0655</p> <p>-0.3658</p> <p>0.0706</p> <p>-0.0369</p> <p>0.2062</p> <p>-0.0964</p> <p>0.0906</p> <p>-0.0738</p>	<p>Στρεπτική</p>
--	--	--	------------------

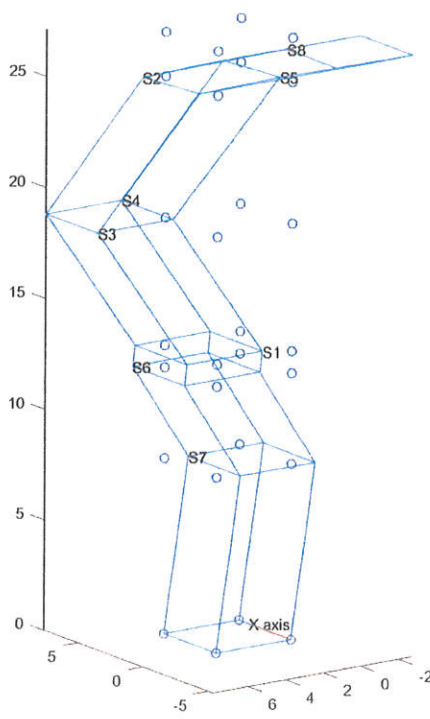


7.600Hz		-0.2031 0.7528 0.2093 -0.2848 -0.0906 0.3325 0.1123 0.0917 -0.1699 -0.2453 -0.1048 0.0007 -0.0572 -0.0430 -0.0474 -0.0157	Στάσις
---------	--	--	--------

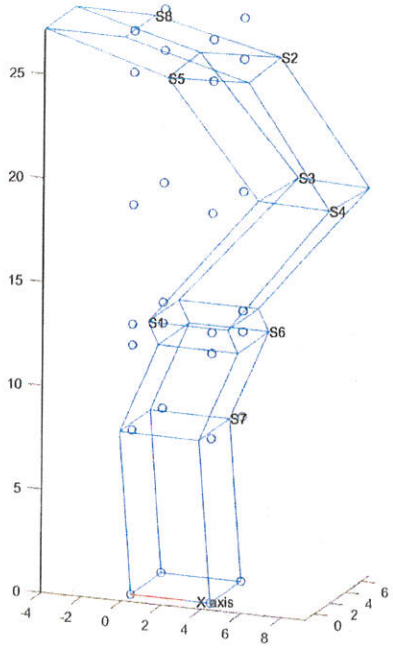


		-0.3505 0.7000 0.1760 -0.2560 -0.0645 0.2367 -0.1183 0.2158 -0.2469 0.0726 -0.1263 0.1129 -0.1844 0.1134 -0.1193 0.0945	Flexural - Στρεπτική
--	--	--	---------------------------------

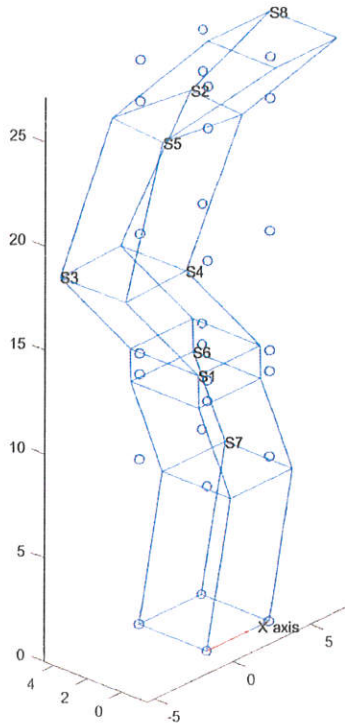


11.067Hz		-0.2694 -0.5406 0.0423 0.0951 0.0987 0.0019 0.3602 0.3896 0.3490 0.3943 0.0725 0.1101 0.0947 0.1073 -0.0357 -0.1002	Double flexural σε δύο επίπεδα
----------	--	--	-----------------------------------



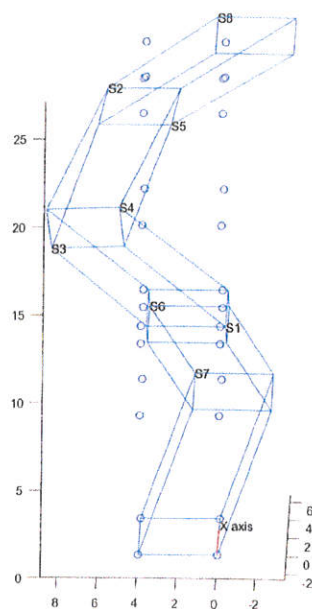
<p>11.333Hz</p>		<p>-0.1171 -0.4057 0.1461 0.0932 0.1797 -0.0245 0.5544 0.3102 0.4917 0.2382 0.0530 0.0656 0.1122 0.0494 -0.0436 -0.0487</p>	<p>Double flexural - Στρεπτική</p>
------------------------	--	---	---



<p>12.033Hz</p>		<p>-0.0941 0.3308 -0.1734 -0.0893 -0.2348 0.0500 -0.5493 -0.0324 -0.5362 0.0035 0.0070 0.0618 -0.0783 -0.0200 -0.0230 -0.1574</p>	<p>Double+ flexural</p>
-----------------	--	---	-----------------------------



12.367Hz



-0.3507

0.2780

-0.1256

0.1847

-0.1281

0.2556

-0.2590

0.4434

-0.2080

0.5201

-0.0019

-0.0276

0.0145

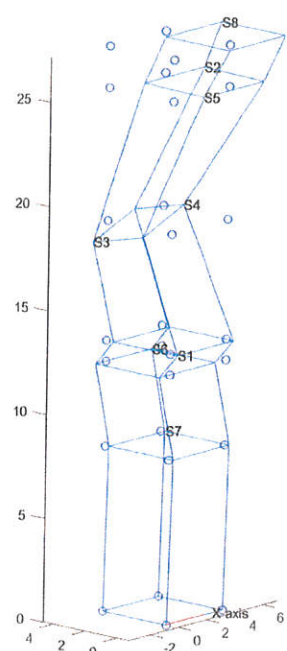
-0.0338

0.0691

-0.2633

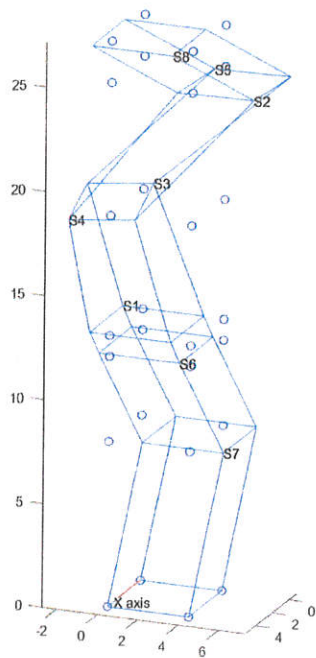
Double flexural
σε δύο επίπεδα



<p>16.700Hz</p>		<p>-0.1084</p> <p>0.4443</p> <p>0.2931</p> <p>-0.0892</p> <p>0.2281</p> <p>-0.0718</p> <p>-0.5142</p> <p>-0.3162</p> <p>0.1100</p> <p>0.4886</p> <p>-0.0030</p> <p>-0.0667</p> <p>-0.1035</p> <p>0.0035</p> <p>0.0202</p> <p>-0.0196</p>
-----------------	--	--



17.367Hz



-0.0886

Triple flexural

0.1363

-0.0058

0.4331

0.0685

0.5214

-0.1288

-0.5530

0.1822

-0.2237

-0.0103

-0.1465

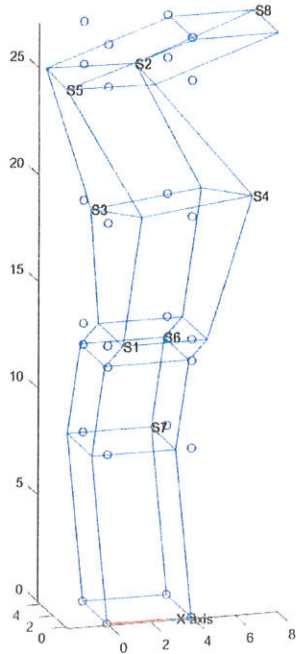
-0.0335

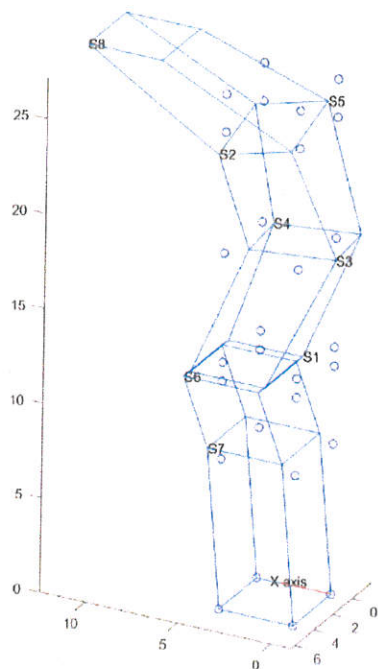
-0.0901

-0.0560

0.2138



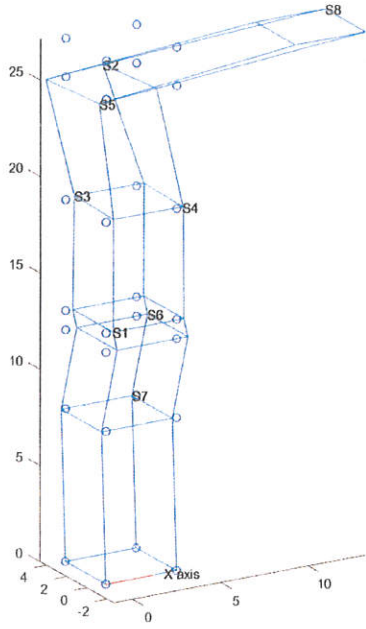
17.867Hz		-0.0471 0.5724 -0.2464 -0.0742 -0.2812 0.0153 -0.0163 -0.2248 0.5158 0.3674 0.0937 -0.0342 -0.0136 0.0207 -0.1084 -0.0058	Τρίπλοδοι - στρέψη
----------	--	--	-----------------------



-0.1934
0.8446
-0.0827
0.2386
0.1251
-0.1390
-0.1147
-0.1756
-0.0577
-0.0105
0.0873
0.1653
0.1882
0.0348
0.1128
-0.0789

Double
Flexural -εντός
διαφράγματος



<p>31.100Hz</p>		<p>-0.2692</p> <p>0.9241</p> <p>-0.1515</p> <p>0.0672</p> <p>-0.0613</p> <p>-0.0373</p> <p>0.0652</p> <p>0.0290</p> <p>0.0396</p> <p>0.0073</p> <p>0.0367</p> <p>-0.0065</p> <p>0.0625</p> <p>-0.0003</p> <p>-0.0233</p> <p>0.0027</p>	<p>Ρολοί</p>
-----------------	--	--	--------------



Νότιο καμπαναριό

Τοποθέτηση αισθητήρων:

S8: Ρολόι (τοιχος ποδιά οπής), υψόμετρο: +27.17, θέση Β

S2: Επίπεδο ρολογιού (πλάκα δαπέδου), υψόμετρο: +25.17, θέση ΒΑ

S5: Επίπεδο ρολογιού (πλάκα δαπέδου), υψόμετρο: +25.17, θέση ΝΔ

S3: Επίπεδο καμπάνας (πλάκα δαπέδου), υψόμετρο: +18.80, θέση ΒΔ

S4: Επίπεδο καμπάνας (πλάκα δαπέδου), υψόμετρο: +18.80, θέση ΝΑ

S1: Δώμα εκκλησίας (πλάκα δαπέδου), υψόμετρο: +13.05, θέση ΒΔ

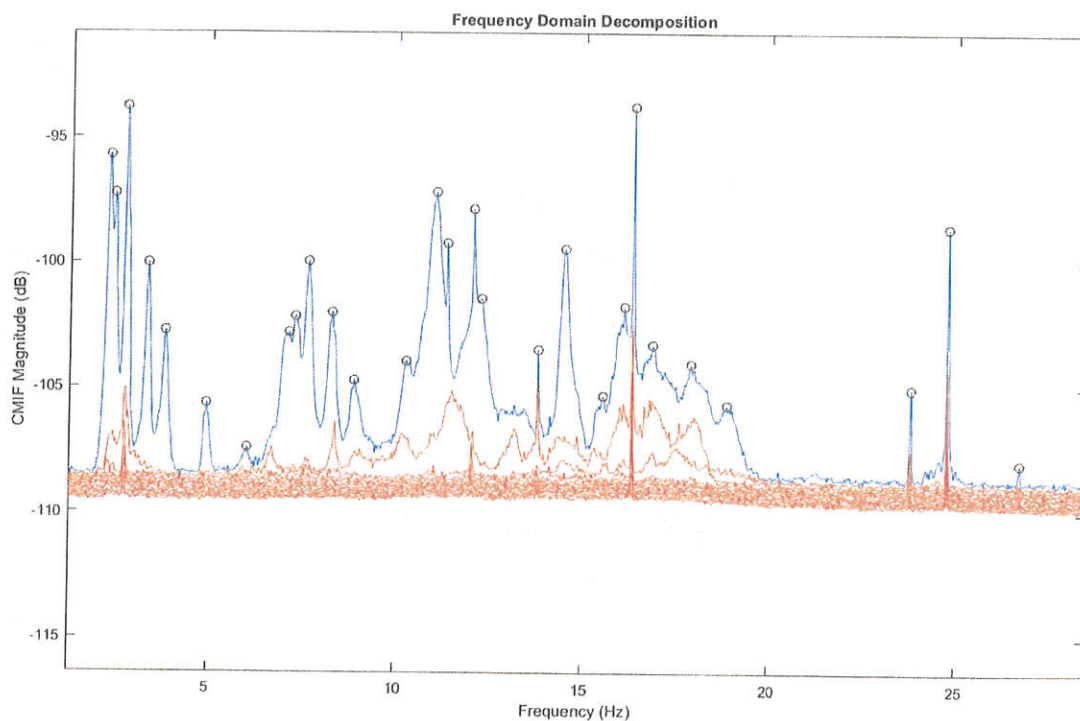
S6: Ποδιά παραθύρου, υψόμετρο: +12.05, θέση Ν

S7: Ποδιά παραθύρου, υψόμετρο: +7.95, θέση Ν

Διευθύνσεις: Υ από Ν προς Β, Χ από Δ προς Α

Κανάλια: 8×2 (όλα ΧΥ αισθητήρα) = 16

Χρόνος τοποθέτησης: Περίπου 24 ώρες



Σχήμα 2. FDD του νότιου καμπαναριού

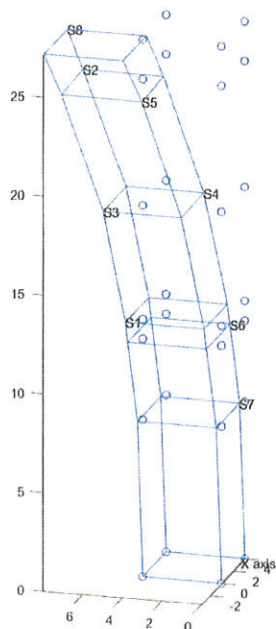


Ιδιοσυχνότητες - Ιδιομορφές

Ιδιοσυχνότητα	Απεικόνιση	Κανάλια (X,Y top - down)	Περιγραφή
2.333Hz		-0.1621 0.5539 -0.1822 0.4743 -0.1964 0.4646 -0.0690 0.2376 -0.0677 0.2375 -0.0225 0.1201 -0.0428 0.1086 -0.0113 0.0509	Μεταφορική κατά Y



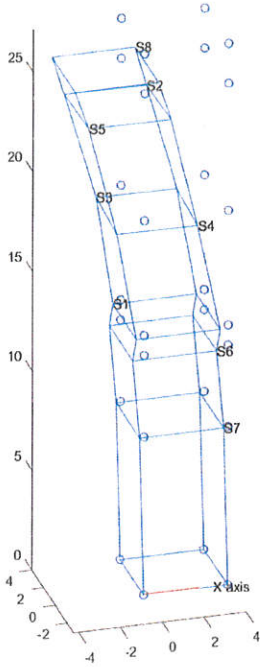
2.467Hz



-0.3800
0.4436
-0.3645
0.3599
-0.3813
0.3362
-0.1587
0.1740
-0.1542
0.1862
-0.0813
0.0741
-0.0792
0.0615
-0.0323
0.0200

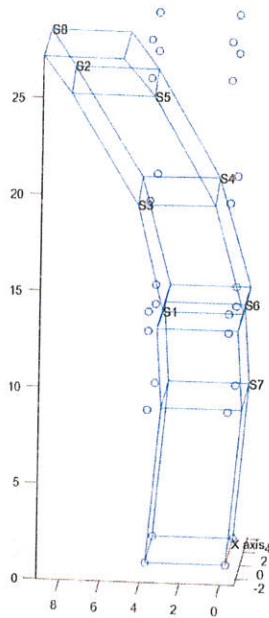
Μεταφορική
κατά Υ κ Χ



2.767Hz		-0.4705 -0.3508 -0.4081 -0.3452 -0.3910 -0.3254 -0.1621 -0.1048 -0.1990 -0.1295 -0.0523 -0.0363 -0.0742 -0.0491 -0.0252 -0.0072	Μεταφορική κατά Υ κ Χ
---------	--	--	--------------------------



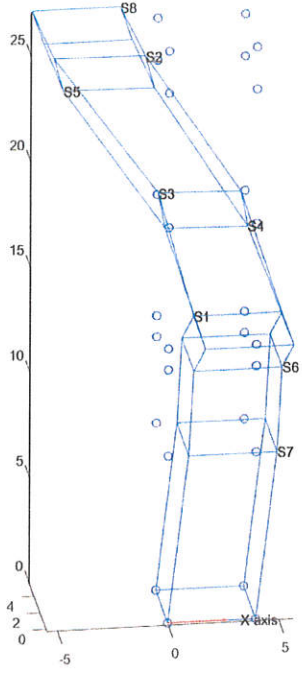
3.367Hz



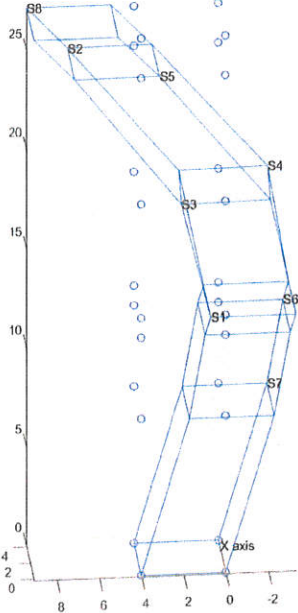
-0.3296
0.5717
-0.2915
0.4396
-0.2988
0.3974
-0.0744
0.0590
-0.0340
0.0966
0.0074
-0.0797
0.0396
-0.0462
0.0404
-0.0734

Flexural σε
δύο επίπεδα



<p>3.833Hz</p>		<p>-0.6086 0.1747 -0.4978 0.0670 -0.5201 0.0992 0.0078 0.0216 -0.0497 -0.0303 0.1826 -0.0302 0.1233 -0.0344 0.1024 -0.0098</p>	<p>Flexural εντός επιπέδου XZ κυρίως</p>
-----------------------	--	--	--



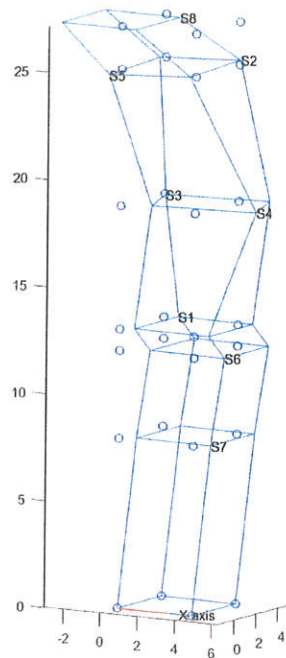
		0.0283 0.5634 0.0017 0.3516 0.0175 0.3467 -0.0234 -0.2103 0.0141 -0.2593 -0.0257 -0.3645 0.0028 -0.3376 -0.0238 -0.2517	Flexural εντός επιπέδου YZ κυρίως
--	--	--	--



<p>6.033Hz</p>		<p>-0.2474 0.4060 -0.1486 0.0779 -0.1412 0.1821 0.1294 -0.2200 0.1693 -0.5483 0.2327 -0.3260 0.1273 -0.2481 0.1565 -0.1817</p>	<p>Flexural σε δύο επίπεδα, στρέψη κ εντός διαφράγματος</p>
----------------	--	--	---



7.133Hz



-0.5991

Στρεπτική

-0.0989

-0.1317

0.2299

0.0486

-0.3112

0.0294

-0.0341

0.4545

0.3464

0.1045

0.0898

0.2406

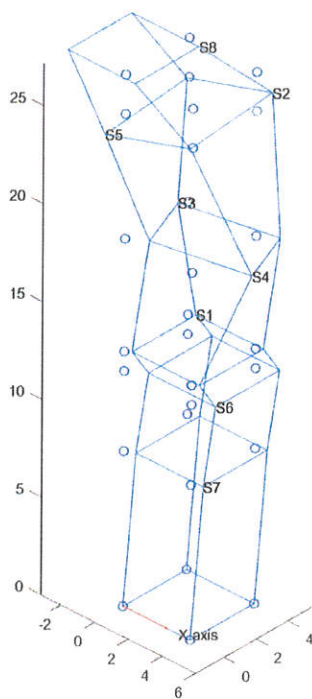
0.1535

0.1313

0.0974



7.300Hz

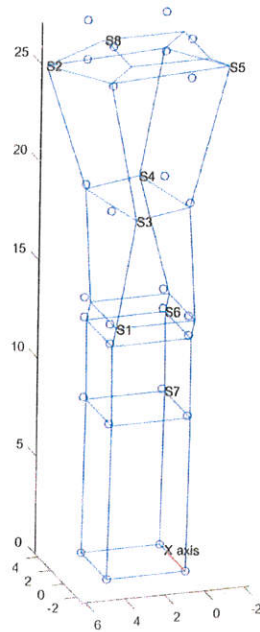


-0.6441
-0.0494
-0.1026
0.3063
0.0939
-0.3552
-0.0553
-0.0775
0.4101
0.3136
0.0544
0.0401
0.1759
0.1177
0.0977
0.0499

Στρέψτε κ
εντός
διαφράγματος

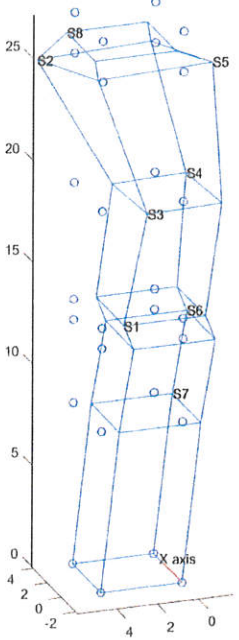


7.633Hz

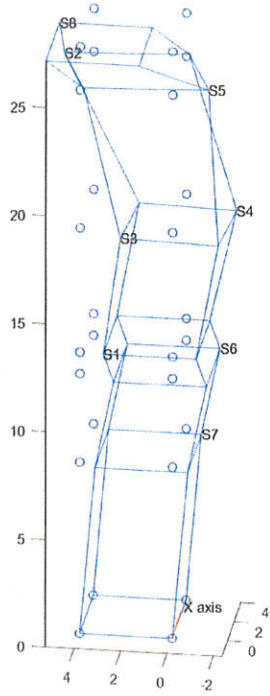


-0.5828	Στρεπτική κ εντός διαφράγματος
0.0134	
-0.0512	
0.4322	
0.2062	
-0.4516	
-0.3270	
-0.1450	
0.0843	
0.2289	
-0.1455	
-0.0149	
-0.0893	
0.0064	
-0.0647	
-0.0067	

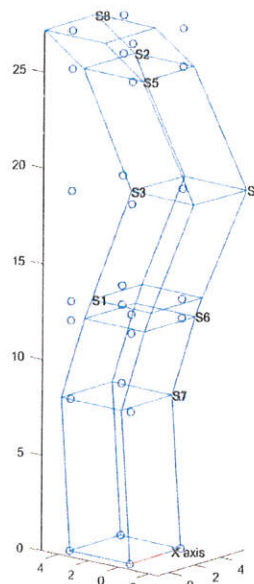


8.267Hz		<div> <div>-0.4585</div> <div>0.2376</div> <div>-0.0483</div> <div>0.3897</div> <div>0.1557</div> <div>-0.3358</div> <div>-0.2055</div> <div>-0.3785</div> <div>-0.1013</div> <div>-0.2677</div> <div>-0.0095</div> <div>-0.2172</div> <div>-0.1221</div> <div>-0.2744</div> <div>-0.0783</div> <div>-0.1503</div> </div> <div> <div>Εξωτερική</div> <div>εντός</div> <div>επιπέδου YZ</div> <div>κυρίως -</div> <div>στρεπτική κ</div> <div>εντός</div> <div>διαφράγματος</div> </div>
---------	--	---



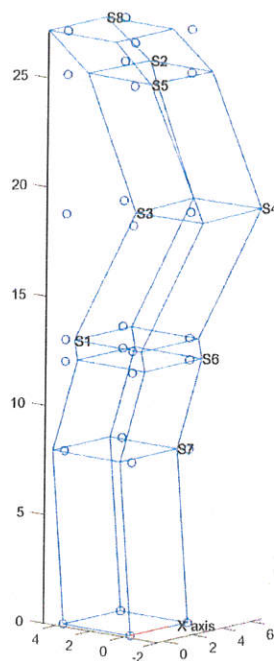
		-0.3259 0.2490 -0.0455 0.2496 0.1376 -0.2874 -0.1647 -0.3710 -0.2823 -0.4720 -0.0137 -0.2038 -0.1330 -0.3087 -0.0941 -0.1435	Flexural εντός επιπέδου YZ κυρίως - στρεπτική
--	--	---	--



10.267Hz		-0.1771 0.2275 0.0741 -0.0860 0.0811 -0.0756 0.3889 -0.4629 0.3850 -0.5305 0.1730 -0.1239 0.1350 -0.0655 -0.0182 0.1092	Double flexural σε δύο επίπεδα
----------	--	--	--------------------------------------



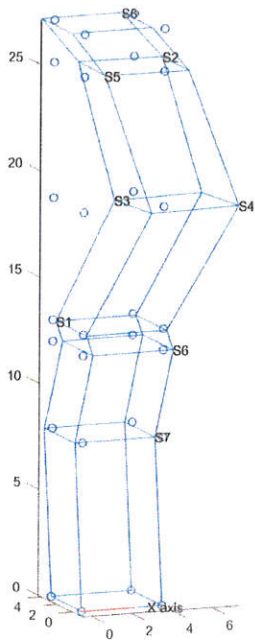
11.033Hz



-0.0967
0.1462
0.1785
-0.1479
0.1651
-0.0506
0.4475
-0.4447
0.5560
-0.3608
0.0348
-0.0755
0.1221
-0.0428
-0.0442
0.1015

**Double
flexural σε
δύο επίπεδα**

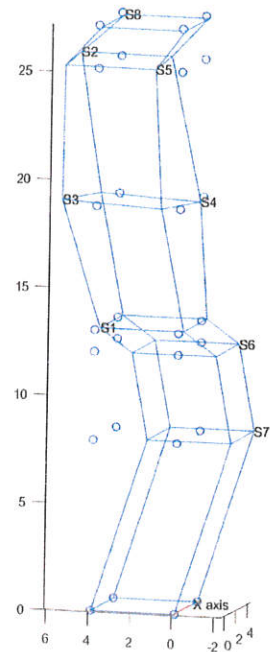


<p>11.333Hz</p>		<p>-0.0917</p> <p>0.0915</p> <p>0.2329</p> <p>-0.1274</p> <p>0.2029</p> <p>0.0043</p> <p>0.4764</p> <p>-0.3456</p> <p>0.6660</p> <p>-0.2150</p> <p>0.0043</p> <p>-0.0731</p> <p>0.0872</p> <p>-0.0287</p> <p>-0.0684</p> <p>0.0223</p>
-----------------	--	--



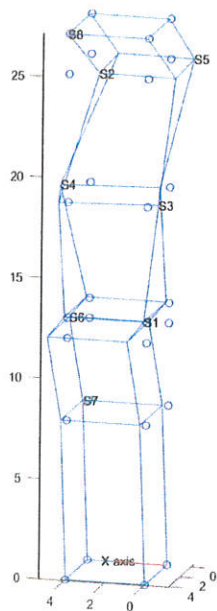
12.033Hz		-0.0400 -0.1768 0.1774 0.2652 0.1553 0.3313 0.2648 0.4499 0.3272 0.4598 0.0184 -0.0343 -0.0234 -0.0549 -0.0770 -0.2737	Double flexural σε δύο επίπεδα
----------	--	---	--------------------------------------



13.800Hz		<div>-0.1067</div> <div>-0.0548</div> <div>0.1053</div> <div>0.4130</div> <div>0.0878</div> <div>0.2754</div> <div>0.2692</div> <div>0.4024</div> <div>-0.2866</div> <div>-0.0511</div> <div>0.1313</div> <div>-0.0134</div> <div>0.0259</div> <div>-0.3545</div> <div>0.1318</div> <div>-0.4795</div>	<div>Double</div> <div>flexural σε</div> <div>επίπεδο YZ -</div> <div>στρέψη</div>
----------	--	--	--



15.533Hz



0.0084

Στρέψη

0.0031

-0.1711

-0.0664

-0.1358

-0.0426

-0.0496

-0.0618

0.1614

0.1023

0.0240

-0.0176

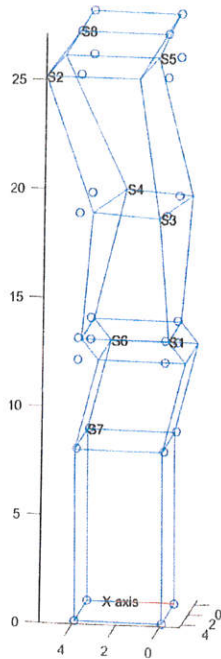
0.1244

0.0036

0.0370

0.0028

16.100Hz

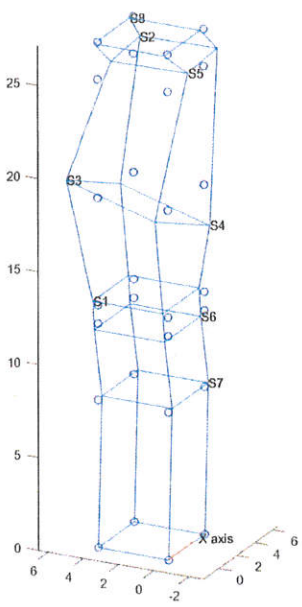


0.0073
0.0078
0.1911
0.0763
0.1225
0.0411
0.0318
0.0734
-0.1818
-0.1084
-0.0221
0.0210
-0.1170
-0.0069
0.0078
0.0179

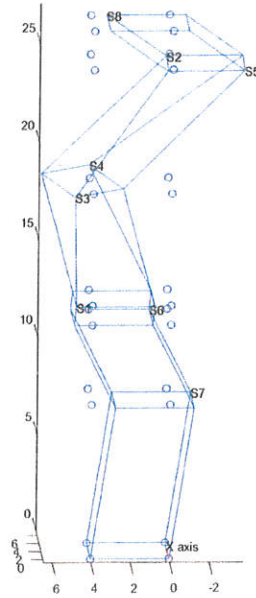
Στρέψη





<p>16.333Hz</p>		<p>-0.0323</p> <p>0.0078</p> <p>0.2893</p> <p>0.1003</p> <p>0.3452</p> <p>0.0335</p> <p>0.1877</p> <p>0.3207</p> <p>-0.6158</p> <p>-0.3554</p> <p>0.0458</p> <p>0.0607</p> <p>-0.1014</p> <p>-0.0263</p> <p>0.0718</p> <p>0.0100</p>	<p>Στρέψη – εντός επιπέδου</p>
------------------------	--	--	--

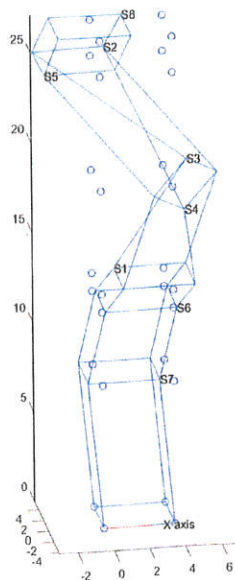
16.867Hz



0.0013
-0.0735
-0.0474
-0.3477
-0.0201
-0.3281
-0.0701
0.0877
0.2981
0.3523
-0.0251
0.0761
-0.0037
0.0839
-0.0758
-0.1070

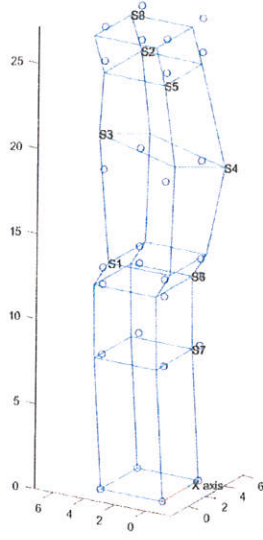
Triple
flexural σε
πίπεδο YZ
στρέψη

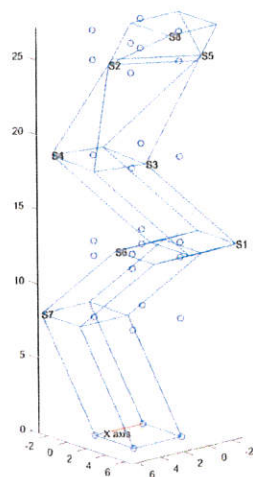




-0.2403	Triple flexural σε επίπεδο XZ – στρέψη – εντός διαφράγματος
0.0787	
-0.3412	
0.1741	
-0.3278	
0.0805	
0.6025	
0.1033	
0.0058	
-0.4700	
0.1450	
0.0814	
0.0199	
0.0009	
-0.0821	
0.0548	



18.867Hz		<div>-0.2260</div> <div>-0.0327</div> <div>-0.2268</div> <div>-0.1331</div> <div>-0.2638</div> <div>-0.1391</div> <div>0.6956</div> <div>0.4547</div> <div>-0.0434</div> <div>-0.2410</div> <div>0.1051</div> <div>0.0098</div> <div>-0.0466</div> <div>0.0526</div> <div>-0.1055</div> <div>0.0095</div>	<div>Στρέψη</div> <div>εντός</div> <div>διαφράγματος</div>
-----------------	---	---	--



-0.3208

0.0458

-0.0094

-0.2690

-0.2176

0.4360

0.3042

-0.0107

0.2238

-0.2014

-0.2781

0.3039

-0.1844

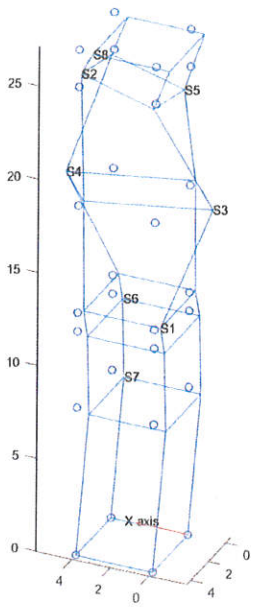
0.0218

0.2359

-0.3159

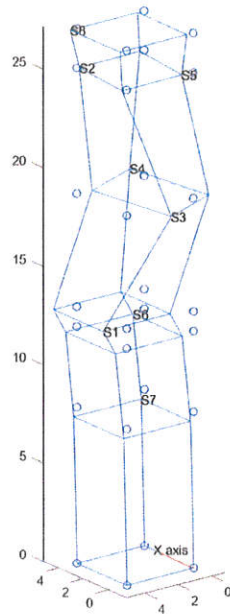
**Triple
flexural σε 2
επίπεδα -
στρέψη**



<p>24.767Hz</p>		<p>-0.1514</p> <p>0.0286</p> <p>0.0875</p> <p>-0.2411</p> <p>-0.1274</p> <p>0.4306</p> <p>-0.3965</p> <p>-0.4529</p> <p>0.3825</p> <p>0.2461</p> <p>-0.0389</p> <p>-0.0531</p> <p>-0.1264</p> <p>0.0470</p> <p>-0.1584</p> <p>0.0769</p>	<p>Στρέψη εντός διαφράγματος</p>
-----------------	--	--	--



26.700Hz



0.0021

0.0747

-0.0066

-0.0247

0.0141

0.1259

-0.2898

-0.3197

0.2468

-0.0124

0.0796

0.2217

-0.0538

0.1748

-0.2001

0.1858

**Double
flexural σε
δύο επίπεδα –
εντός
διαφράγματος**



Ναός - Τρούλος

Τοποθέτηση αισθητήρων:

S8: Σταυρός κορυφή τρούλου εξωτερικά, υψόμετρο: +24.00, θέση κέντρο

S7: Επίπεδο εσωτερικού μπαλκονιού ναού υψόμετρο: +18.00, θέση Ν(κέντρο)

S4: Επίπεδο εσωτερικού μπαλκονιού ναού υψόμετρο: +18.00, θέση ΒΑ

S3: Επίπεδο εσωτερικού μπαλκονιού ναού υψόμετρο: +18.00, θέση ΒΔ

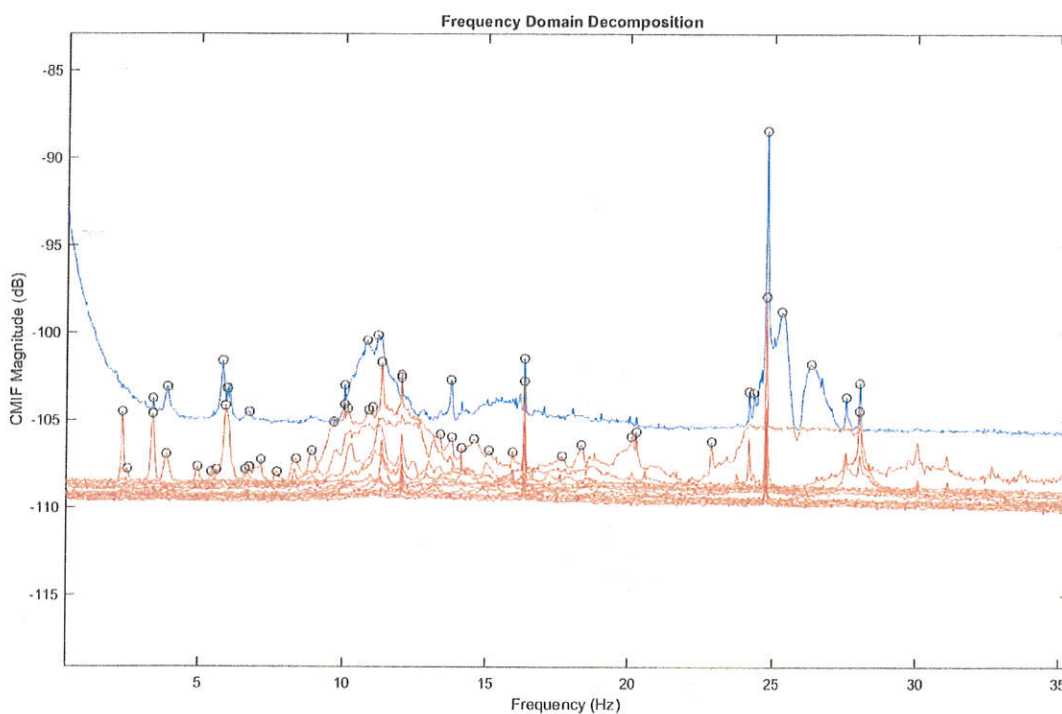
S5: Κορυφή κεντρικής κολώνας πλησίον οροφής γυναικωνίτη: +8.00, θέση ΒΑ

Διευθύνσεις: Υ από Ν προς Β, Χ από Δ προς Α

Κανάλια: 4x2(όλα ΧΥ αισθητήρα) + 1x3(Σταυρός) = 11

Χρόνος τοποθέτησης: Περίπου 48 ώρες

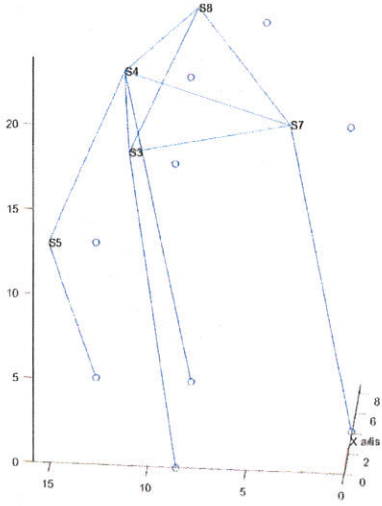
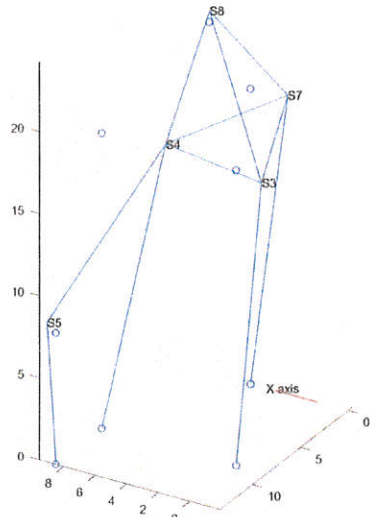
Τα υψόμετρα είναι κατά προσέγγιση



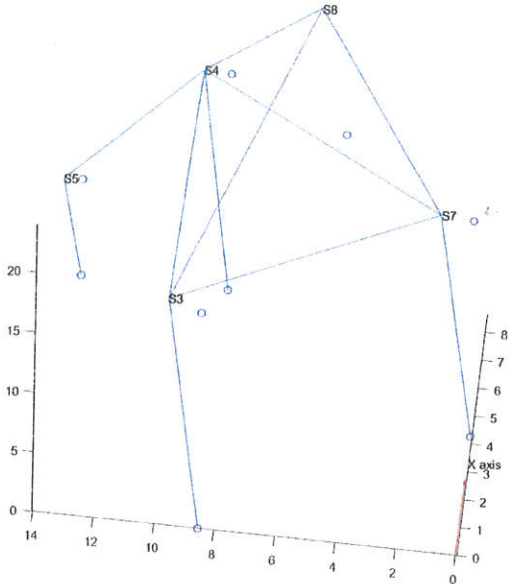
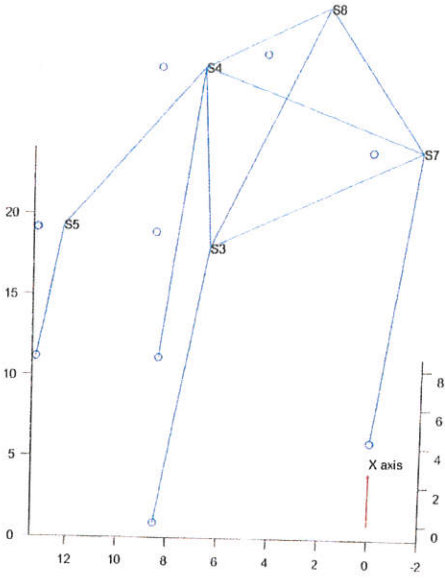
Σχήμα 3. FDD του Τρούλου - Ναού



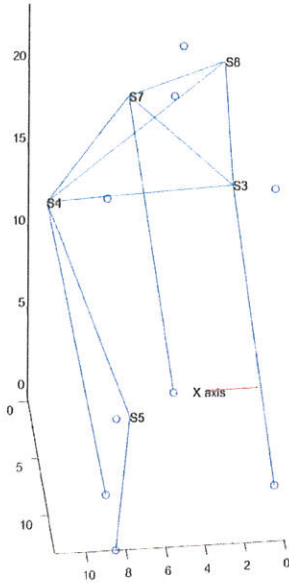
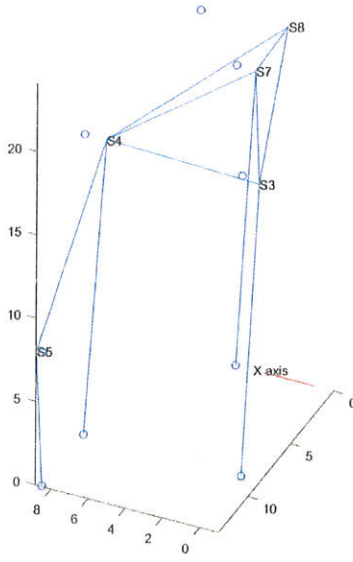
Ιδιοσυχνότητες - Ιδιομορφές

Ιδιοσυχνότητα	Απεικόνιση	Κανάλια (S8 Y,Z,X S7 X,Y S4 X,Y S3 X,Y S5 X,Y)	Περιγραφή
2.300Hz		0.5129 -0.0146 0.1969 -0.0026 0.4401 0.0470 0.4869 0.1365 0.3511 -0.0299 0.3489	Μεταφορική κατά Y
2.467Hz		-0.1286 0.0588 0.0740 -0.4223 -0.0802 -0.7300 -0.1421 -0.3874 0.1094 0.2117 -0.1684	Κατά X S3,4,7 και κατά Y κ X S5,8

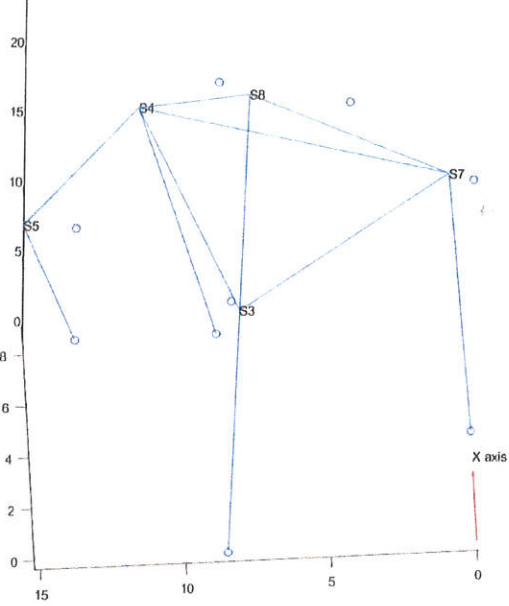
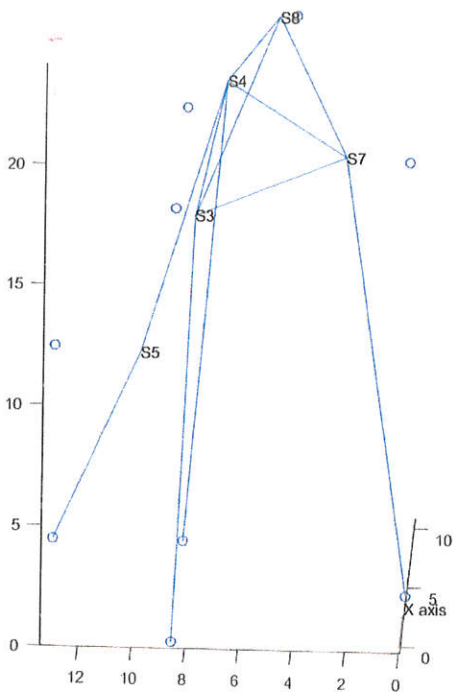


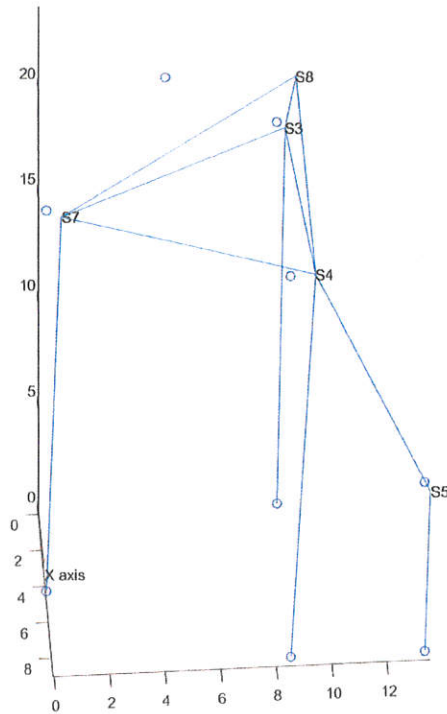
<p>3.367Hz</p>		<p>0.2616 -0.0095 0.8789 0.0154 0.2171 0.0112 0.1809 0.0807 0.2260 -0.0064 0.1231</p>	<p>Κυρίως τρούλος κατά X, υπόλοιπα Y</p>
<p>3.833Hz</p>		<p>-0.4912 0.0268 0.4715 0.0125 -0.4008 0.0047 -0.3480 -0.1516 -0.4321 0.0243 -0.2079</p>	<p>Μεταφορική κατά Y , τρούλος κατά Y κ X</p>



		0.1656 -0.0944 -0.4065 0.4613 -0.0504 0.6116 -0.0064 0.4197 -0.1138 -0.1372 -0.0233	
5.400Hz		-0.0738 0.0228 -0.9164 -0.2139 0.0154 -0.2320 -0.0056 -0.2124 0.0619 0.0618 0.0057	

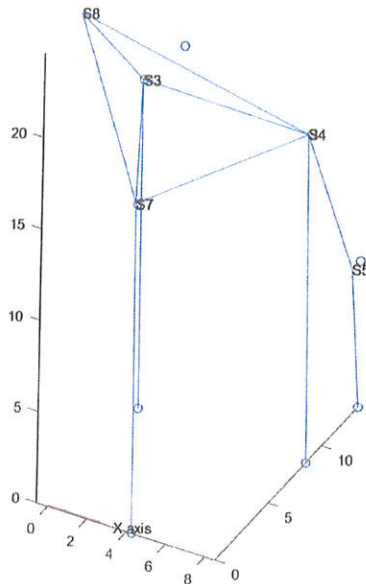
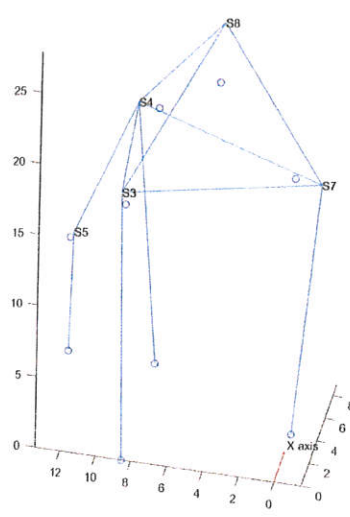


<p>5.600Hz</p>		<p>0.6907 0.0441 0.0724 0.0602 0.1667 -0.1673 0.5621 -0.0746 -0.0552 0.0404 0.3602</p>	<p>Περιστροφή</p>
<p>5.900Hz</p>		<p>0.1232 0.0375 -0.0928 0.0611 0.4745 0.4598 -0.2750 -0.1131 -0.1516 -0.0775 -0.6451</p>	<p>Breathing</p>



Τρούλος Y
0.9509
-0.1273
-0.1004
0.0797
0.1012
-0.0090
0.1814
0.0630
0.0575
0.1046
0.0361



6.733Hz		-0.1611 0.1271 -0.9665 -0.0236 0.0106 -0.0255 -0.0199 -0.0109 -0.0007 -0.0054 -0.1469	Τρούλος X
11.200Hz		-0.0218 0.7704 0.1001 -0.0416 -0.3021 0.0601 0.2444 0.1976 0.0868 0.0989 -0.0177	Τρούλος Z



Εγκατάσταση και λειτουργία μόνιμου επιταχυνσιογράφου στο βόρειο καμπαναριό με πρόσβαση στο διαδίκτυο

Στο βόρειο καμπαναριό τοποθετήθηκε τριαξονικός, ψηφιακός επιταχυνσιογράφος (Εικόνα 8) εύρους καταγραφής +/- 2g. Λειτουργεί σε μόνιμη βάση, με ρυθμό δειγματοληψίας τα 125Hz. Ο προσανατολισμός του αισθητήρα είναι: Axis 1 – Βορράς, Axis 2 – Δύση, Axis 3 – προς τα κάτω. Ο συγκεκριμένος επιταχυνσιογράφος είναι συνδεδεμένος στο διαδίκτυο, και είναι προσβάσιμες οι εξής λειτουργίες είτε από Η/Υ, είτε από κινητό τηλέφωνο μέσω https://structuresnsensors.com/welcome_dashboard.php:

- Χρονοϊστορίες επιταχύνσεων σε πραγματικό χρόνο.
- Αναζήτηση & εύρεση πλήθους συμβάντων υπέρβασης μιας εισαχθείσας τιμής επιτάχυνσης ανά διεύθυνση (threshold).
- Δυνατότητα λήψης χρονοϊστοριών επιταχύνσεων σε μορφή .txt (διάρκειας έως 6 ωρών).
- Δυνατότητα ειδοποίησης μέσω email – push alert, εφόσον ρυθμιστεί.

Unquake

Log In

Username Unit ID

*If left blank or given wrong, dashboard will load the first Unit ID from database list

**Timewindow duration (sec) equals to Points * SamplingRate(Hz)

WiFi settings for Accelerograph

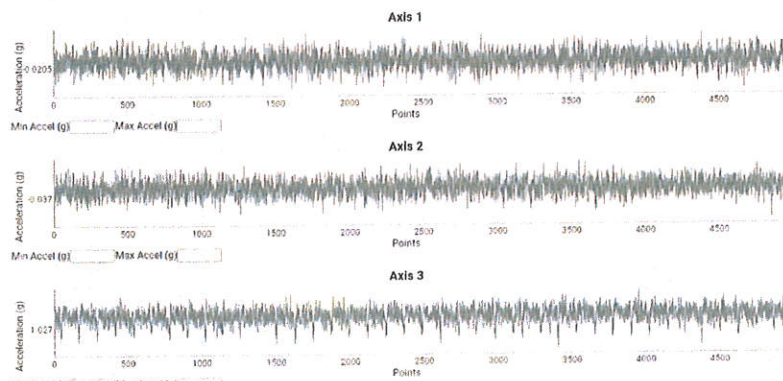
WiFi SSID WiFi password Server: API key Unit ID

***Do NOT change filename of WiFi settings, otherwise it won't work in accelerograph. (wifi settings.txt)

Εικόνα 6. Περιβάλλον χρήστη για τη σύνδεση στην πλατφόρμα

Unquake

Live (Agios Minas 125Hz)



Events & Data (Agios Minas 125Hz)

Since

Until

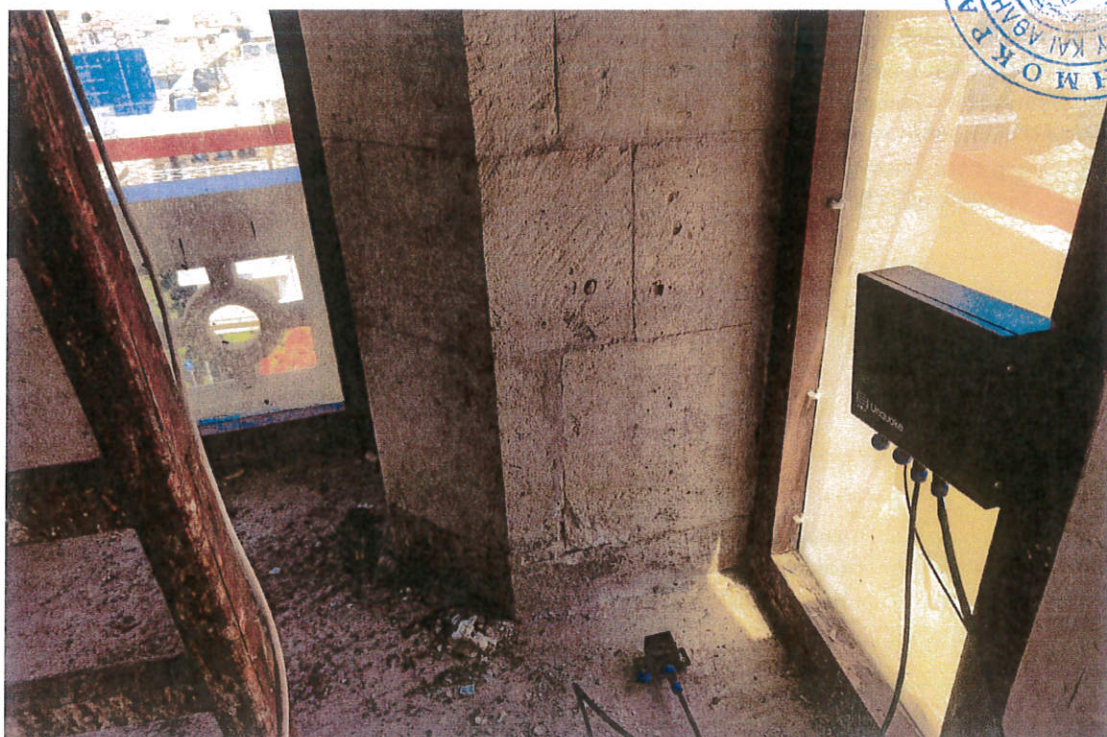
Threshold in Axis1 (g):

Threshold in Axis2 (g):

Threshold in Axis3 (g):

File (.txt) will be generated for download.
(If selected timeframe is at most 6 hours)

Εικόνα 7. Περιβάλλον χρήστη

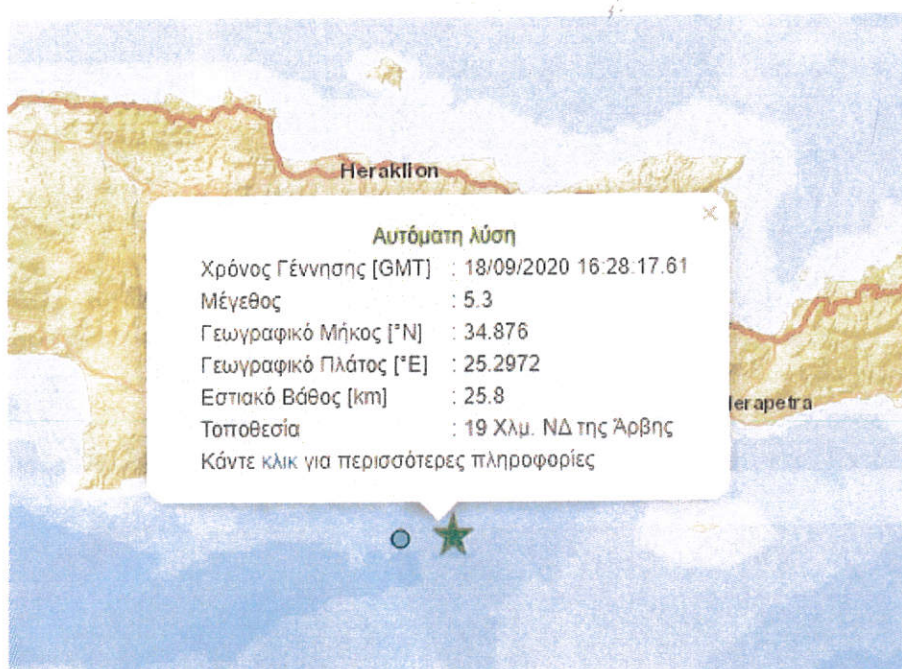


Εικόνα 8. Μόνιμος επιταχυνσιογράφος με το επιταχυνσιόμετρο να εδράζεται στην πλάκα δαπέδου στο επίπεδο ρολογιού.

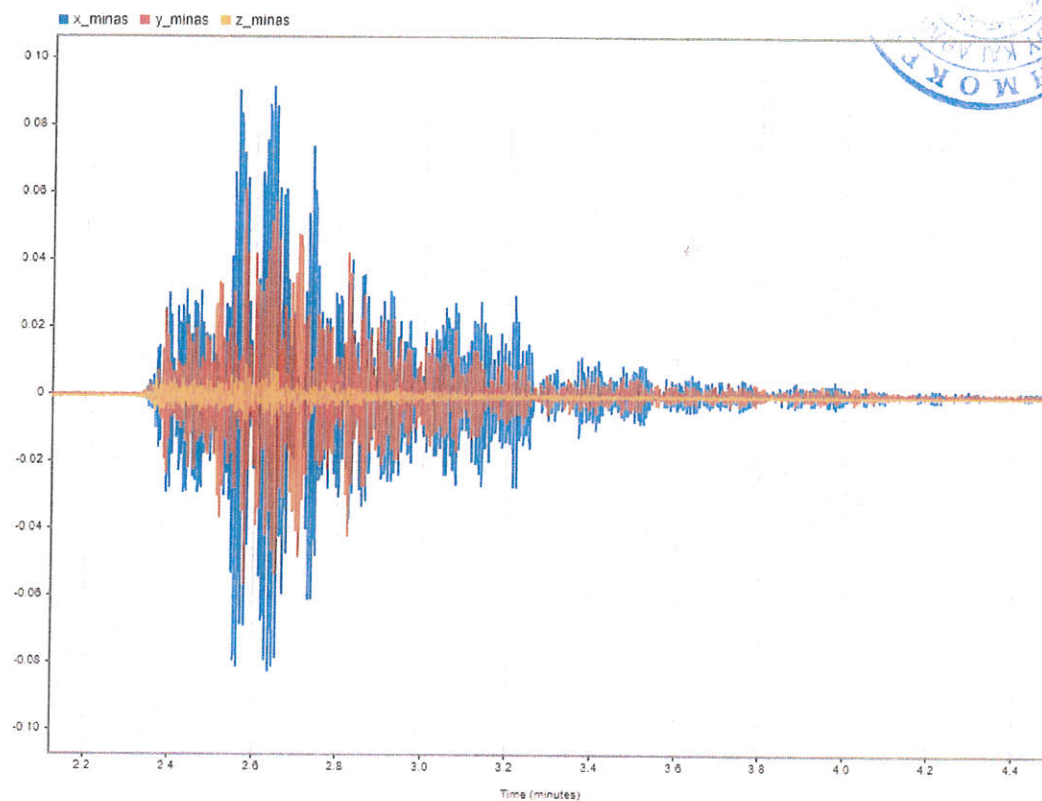


Καταγραφή σεισμικού γεγονότος και ανάλυση FFT

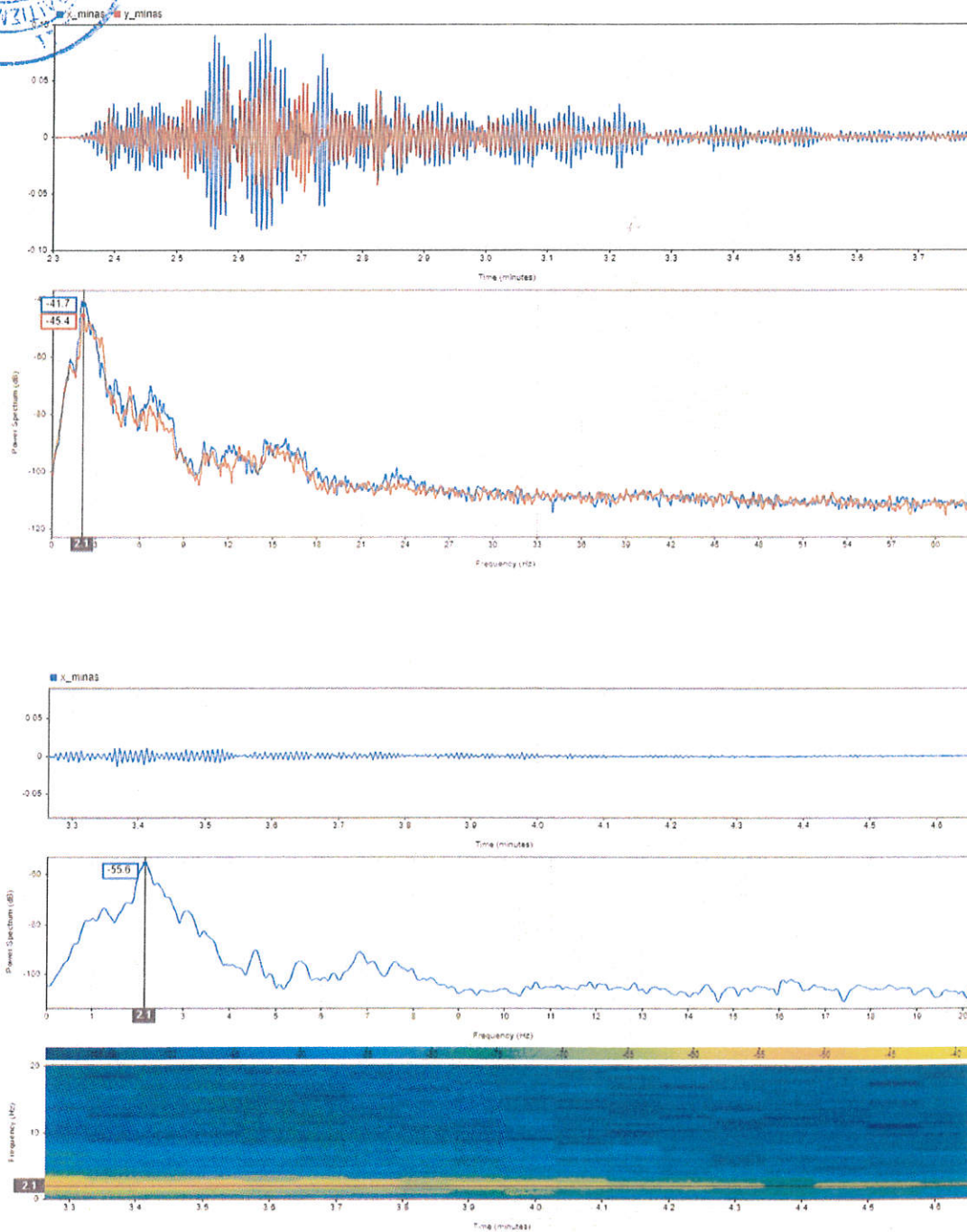
Στις 18/09/2020 και ώρα 16:28 ο σεισμός που συνέβη 19 Χλμ. ΝΔ της Άρβης καταγράφηκε από τον επιταχυνσιογράφο (Εικόνα 9). Όπως φαίνεται παρακάτω στα γραφήματα φάσματος συχνοτήτων (Spectrum) και φασματογράφου (Spectrogram), η κύρια συχνότητα απόκρισης της κατασκευής είναι 2.1-2.2Hz. Οι μέγιστες επιταχύνσεις που αναπτύχθηκαν στις μεταφορικές συνιστώσες είναι 0.0919g στον άξονα 1 – διεύθυνση X (Βορράς-Νότος) και 0.0612g στον άξονα 2 – διεύθυνση Y (Δύση-Ανατολή).



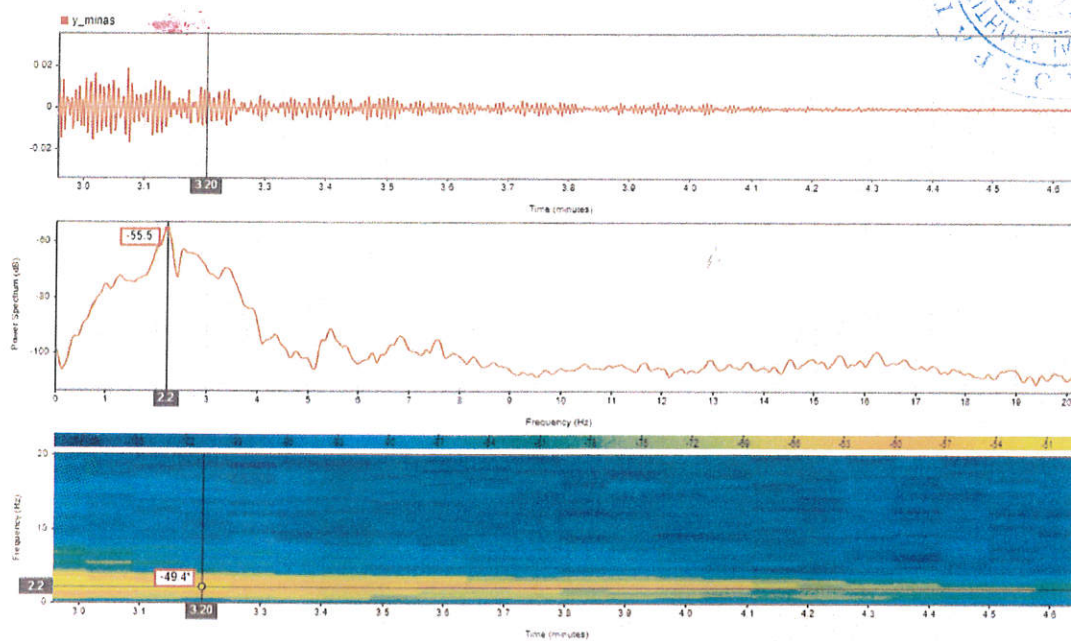
Εικόνα 9. Συντεταγμένες και μέγεθος σε κλίμακα Ρίχτερ του σεισμού



Εικόνα 10. Χρονοϊστορίες απόκρισης της κατασκευής



Εικόνα 12. Φάσματα συχνοτήτων για Χ διεθδοση μετά τη κύρια διάρκεια του σεισμού



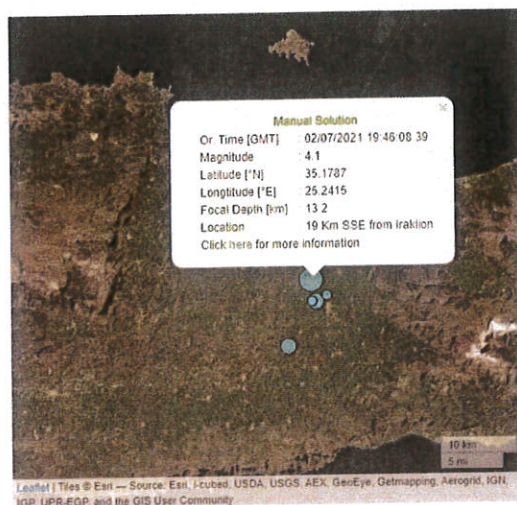
Εικόνα 13. Φάσματα συχνοτήτων για Υ διεύθυνση μετά τη κύρια διάρκεια του σεισμού



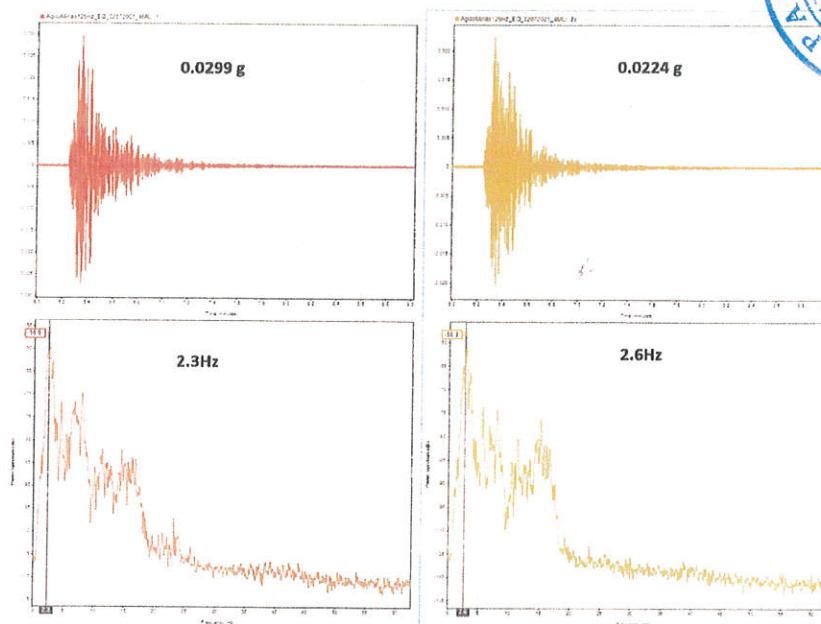
Διερεύνηση συχνοτήτων σε μικρού-μεσαίου μεγέθους σεισμούς σε βάθος διετίας

Η λειτουργία του μόνιμου επιταχυνσιογράφου δύο χρόνια κατόπιν της αρχικής τοποθέτησής του, μας έδωσε τη δυνατότητα να αναζητήσουμε εκ νέου τις συχνότητες που προκύπτουν από την απόκριση του Καμπαναριού κάτω από διεγέρσεις εδάφους ισχυρότερης και μη έντασης. Ως εκ τούτου, έχουν καταγραφεί πολλοί πλέον σεισμοί (EQs) που έγιναν σε κοντινή απόσταση από την εκκλησία του Αγίου Μηνά. Επιπλέον, μετά από έναν καταστροφικό που συνέβη, η μόνιμη εγκατάσταση επέτρεψε τη γρήγορη επανεκτίμηση των δυναμικών χαρακτηριστικών προκειμένου να εντοπιστούν τυχόν αλλαγές λόγω ζημιών.

Όπως φαίνεται παρακάτω, επιλέγεται ένας σεισμός μεσαίας έντασης (EQ. #1) ώστε να συγκριθεί η ιδιοσυχνότητα που προκύπτει κατά τη διάρκεια αυτού με εκείνη που προκύπτει από μετρήσεις περιβάλλοντος. Ο EQ #1 πραγματοποιήθηκε 19 χλμ ΝΑ από το Ηράκλειο με εστιακό βάθος 13.2 χλμ και 4.1 ML στις 02/07/2021 (Εικόνα 14). Οι μέγιστες τιμές απόκρισης επιτάχυνσης ανά οριζόντια κατεύθυνση φαίνονται στην Εικόνα 15., καθώς και το φάσμα συχνοτήτων.



Εικόνα 14. Τοποθεσία σεισμού EQ #1

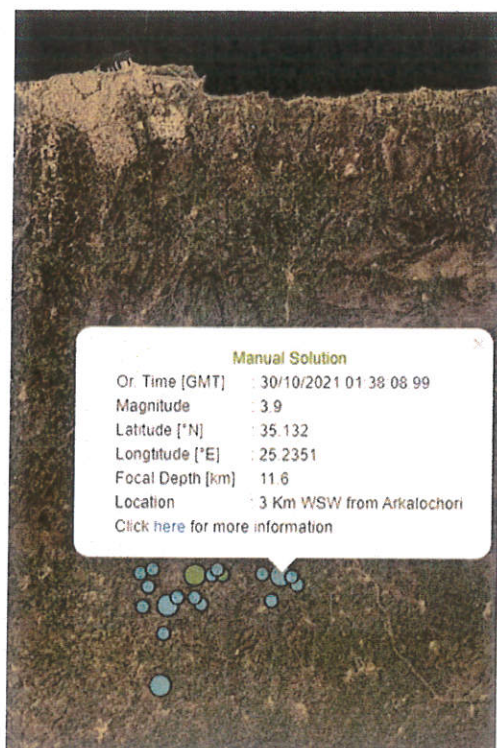


Εικόνα 15. Αποκρίσεις Επιταχύνσεων και Φάσματα Απόκρισης Συχνοτήτων για το σεισμό EQ #1

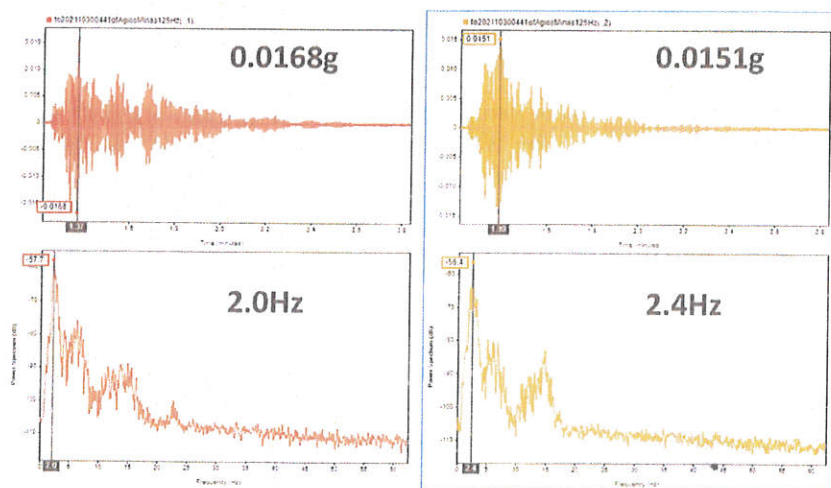
Ισχυρός σεισμός και ζημιές στην εκκλησία

Στις 27/09/2021 έγινε καταστροφικός σεισμός 6,0 ML, 6 χλμ Β των Θραψανών και με εστιακό βάθος 6 χλμ. Εκτός από σημαντικές καταστροφές στο δομημένο περιβάλλον κοντά στο επίκεντρο αφήνοντας εκατοντάδες ανθρώπους χωρίς σπίτια, υπήρξαν και θύματα, ένας άνθρωπος σκοτώθηκε και 36 τραυματίστηκαν στη γύρω περιοχή. Στην πόλη του Ηρακλείου η PGA (Peak Ground Acceleration) εκτιμάται ότι ήταν περίπου 0.15 g. Η εκκλησία του Αγίου Μηνά επλήγη σοβαρά από τον σεισμό ενώ επιτάχυνση άνω των 0.35g καταγράφηκε στην κορυφή του Βόρειου Καμπαναριού.

Όπως ήταν αναμενόμενο ακολούθησαν πολλοί μετασεισμοί. Ένας τέτοιος είναι ο EQ #2 των 3,9 ML (Εικόνα 10) που συνέβη στις 30/10/2021 σε 3 km WSW από το Αρκαλοχώρι και 11,6 km εστιακό βάθος και για το οποίο, οι συχνότητες υπολογίστηκαν ξανά όπως φαίνεται στην Εικόνα 16.



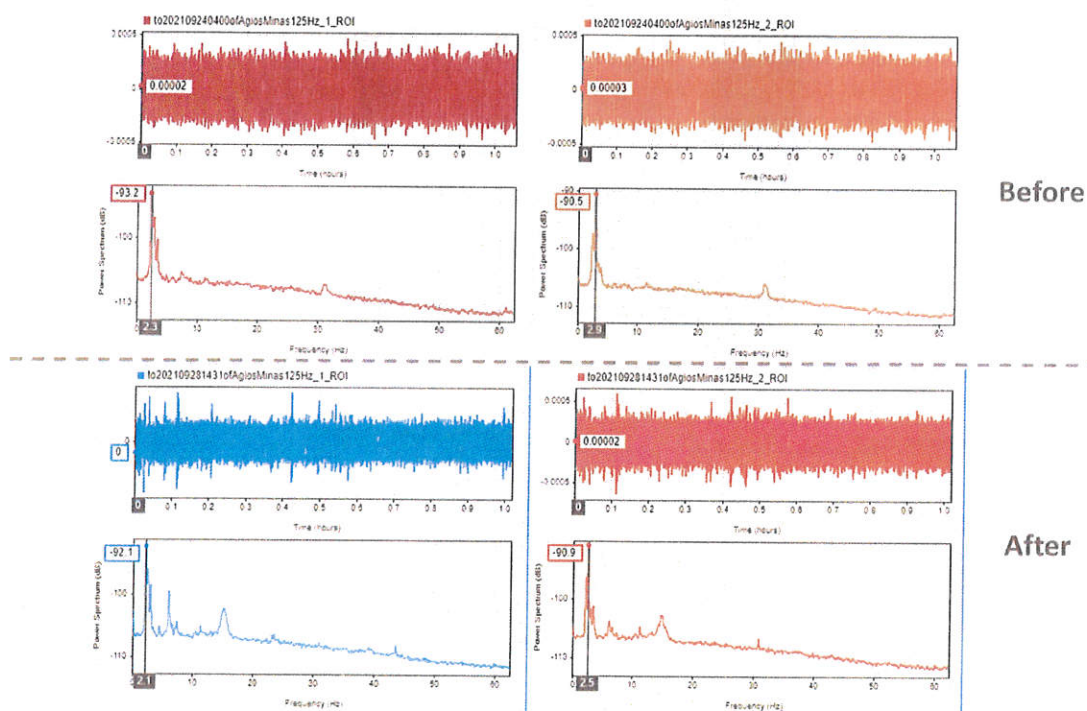
Εικόνα 16. Τοποθεσία σεισμού EQ #2



Εικόνα 17. Απόκριση επιτάχυνσης και φάσμα απόκρισης συχνότητας για το EQ #2

Μεταβολή δυναμικών χαρακτηριστικών σε AVR - Συμπεράσματα

Στην Εικόνα 18, τα FFT's δεδομένων διέγερσης περιβάλλοντος παρουσιάζονται πριν και μετά το ισχυρό σεισμό. Από τις μετρήσεις AVR και τη μικρή – μέση σεισμική διέγερση (Εικόνες 15 και 17) πριν και μετά το συμβάν, παρατηρείται αισθητή πτώση 8-14% και στις δύο μεταφορικές φυσικές συχνότητες. Η πτώση αυτή συσχετίζεται με παρατηρούμενες ζημιές στην εκκλησία. Οι δυνατότητες του SHM δεν περιορίζονται στην αποκάλυψη ζημιών από σεισμό, αλλά προσφέρει επίσης σε μηχανικούς και επιστήμονες πληροφορίες για το τι θα συμβεί όταν χτυπήσει ένας επόμενος σεισμός, καθώς οι νέες φυσικές συχνότητες παρέχουν πληροφορίες για τη νέα σεισμική ζήτηση και οι καταγεγραμμένες ιστορίες μπορούν να αποκαλύψουν πληροφορίες για τη φύση της μη γραμμικής συμπεριφοράς παλαιών μνημειακών κατασκευών, όπως ο Μητροπολιτικός Ναός του Αγίου Μηνά στο Ηράκλειο της Κρήτης.



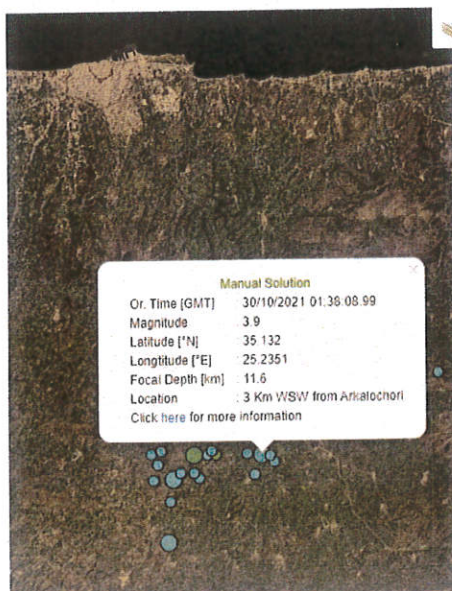
Εικόνα 18. Απόκριση σε δονήσεις περιβάλλοντος πριν και μετά από ισχυρό σεισμό 6,0 ML στις 27/09/2021 που δείχνει τη φυσική πτώση συχνότητας.



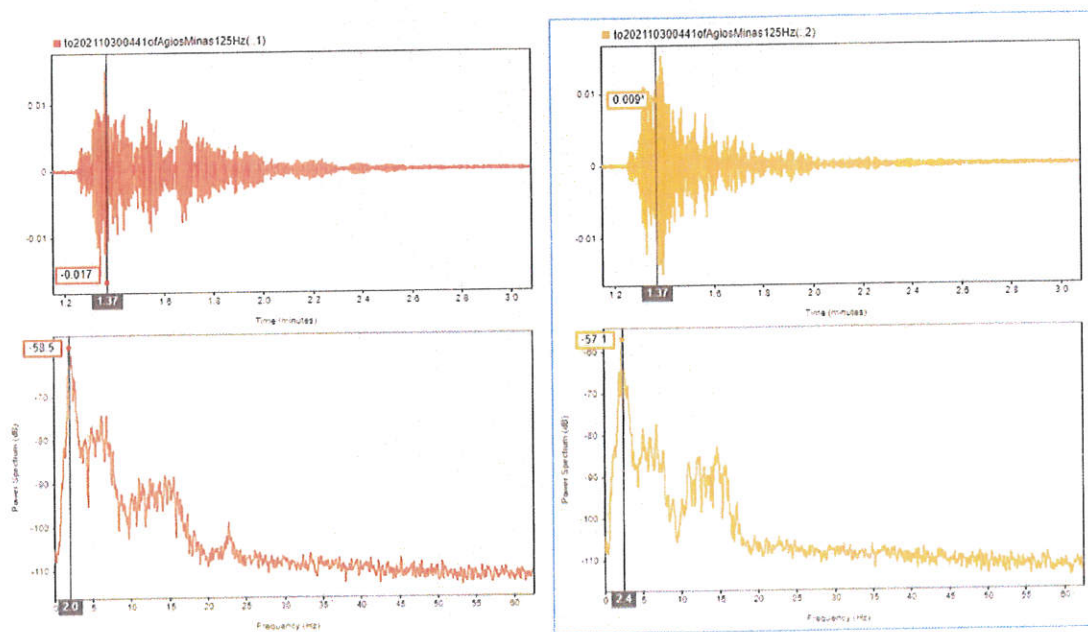
Λοιπά σεισμικά γεγονότα

30/10/2021 04:38, 3.9R

Μέγιστη καταγεγραμμένη επιτάχυνση: 0.017g



Εικόνα 19. Στοιχεία και επίκεντρο σεισμού



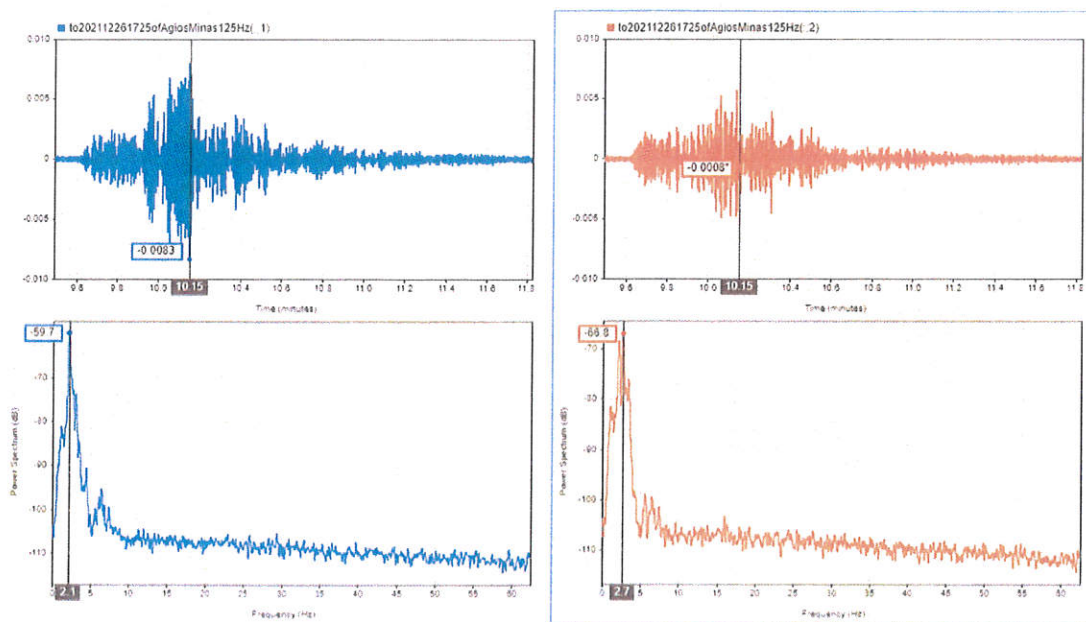
Εικόνα 20. Χρονοϊστορίες και συχνοτικά φάσματα απόκρισης του Βόρειου Καμπαναριού ανά B-N και A-A.

26/12/2021 17:15, 5.2R

Μέγιστη καταγεγραμμένη επιτάχυνση: 0.0083g



Εικόνα 21. Στοιχεία και επίκεντρο σεισμού



Εικόνα 22. Χρονοϊστορίες και συχνοτικά φάσματα απόκρισης του Βόρειου Καμπαναριού ανά B-N και A-Δ.

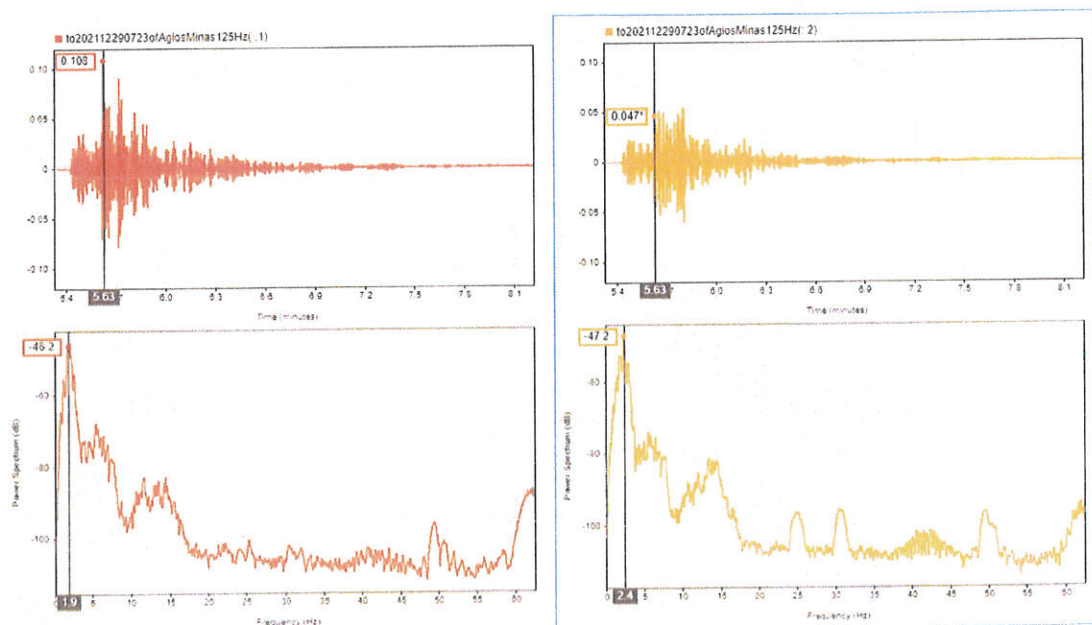


29/12/2021 08:08, 5.7R

Μέγιστη καταγεγραμμένη επιτάχυνση: 0.108g



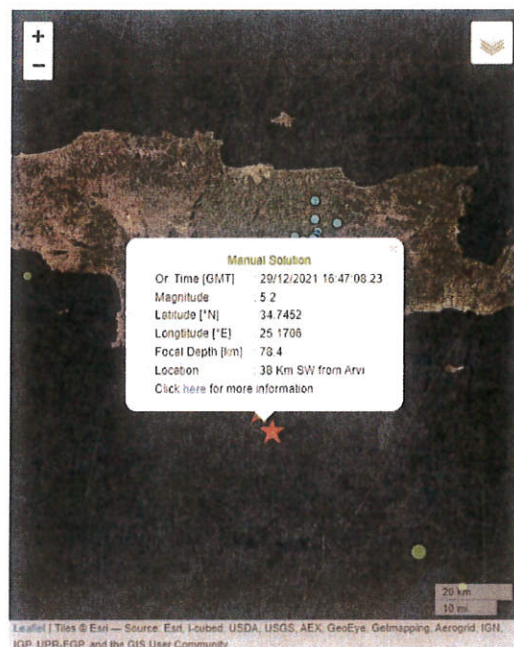
Εικόνα 23. Στοιχεία και επίκεντρο σεισμού



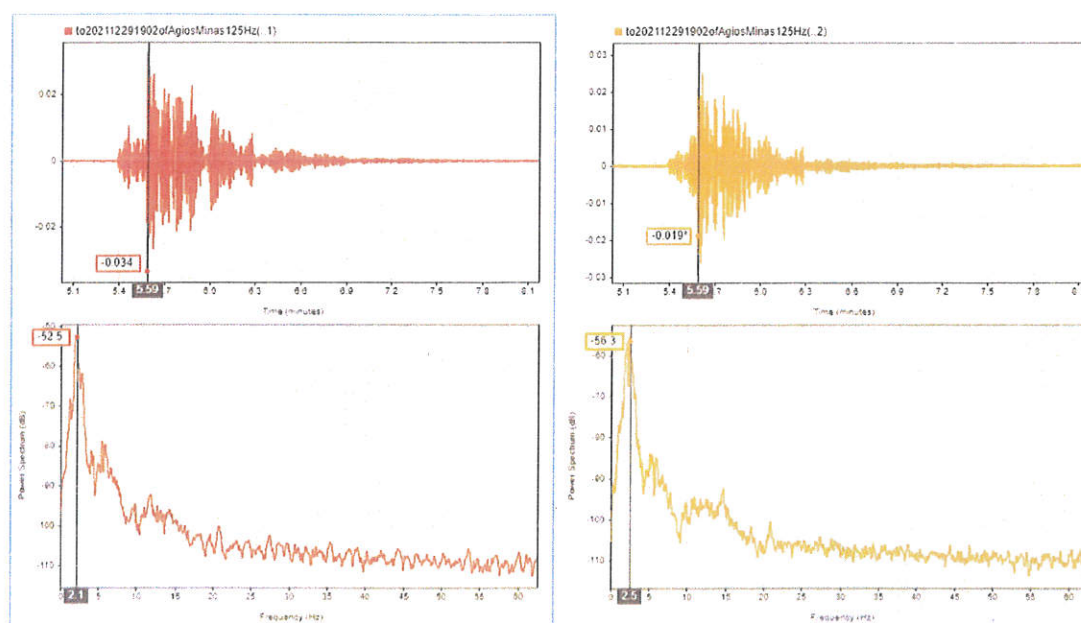
Εικόνα 24. Χρονοϊστορίες και συχνοτικά φάσματα απόκρισης του Βόρειου Καμπαναριού ανά B-N και A-A.

29/12/2021 19:47, 5.2R

Μέγιστη καταγεγραμμένη επιτάχυνση: 0.034g



Εικόνα 25. Στοιχεία και επίκεντρο σεισμού

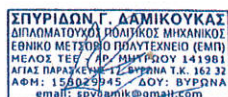


Εικόνα 26. Χρονοϊστορίες και συχνοτικά φάσματα απόκρισης του Βόρειου Καμπαναριού ανά B-N και A-A.

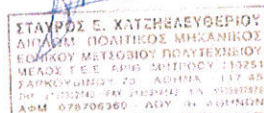
Αναφορές

- 1 Dunand, François, Pierre-yves Bard, and Janise Rodgers. "COIMPARISON OF THE DYNAMIC PARAMETERS EXTRACTED FROM WEAK, MODERATE AND STRONG MOTION RECORDED IN BUILDINGS." (2006)
- 2 Standoli, G., et al. "Model Updating of Historical Belfries Based on Oma Identification Techniques." *International Journal of Architectural Heritage* (2020): 1-25.
- 3 Δαμικούκας, Σ., Χατζηελευθερίου, Σ., Λαγαρός, Ν., «Αυτοματοποιημένος προσεισμικός έλεγχος τυπικών κατασκευών μέσω «έξυπνης» μετρητικής συσκευής», 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Αθήνας, Σεπτέμβριος 2019
- 4 Καθεδρικός Ναός Αγίου Μηνά. (2020, December 1). In Wikipedia. https://el.wikipedia.org/wiki/Καθεδρικός_Ναός_Αγίου_Μηνά
- 5 Brincker, R., Zhang, L., & Andersen, P. (2000). Modal Identification of Output-Only Systems using Frequency Domain Decomposition. In J. A. Güemes (Ed.), *Proceedings of the European COST F3 Conference on System Identification & Structural Health Monitoring*, 6-9 June, 2000, Universidad Politécnica de Madrid, Spain (pp. 273- 282). Universidad Politécnica de Madrid.
- 6 Pioldi, Fabio, Rosalba Ferrari, and Egidio Rizzi. "A refined FDD algorithm for Operational Modal Analysis of buildings under earthquake loading." *Proceedings of the 26th International Conference on Noise and Vibration Engineering*, Leuven, Belgium. Vol. 1. 2014.

Υπεύθυνοι εργασιών



Σπύρος Δαμικούκας



Σταύρος Χατζηελευθερίου

Το παρόν σχέδιο συντάσσεται
την με αριθ. 334848/12-7-2022
ΥΠ.ΠΟ.Α./ΓΔΑΜΤΕ/ΔΑΒΜΜ...../.....

Απόφαση.



