

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ : «ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ
ΕΝΟΡΓΑΝΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ

ΣΟΦΙΑ ΤΡΑΧΑΛΑΚΗ

Επιβλέπων : Καθηγητής **Κωνσταντίνος Προβιδάκης**

ΧΑΝΙΑ , 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρακάτω διατριβή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης με κατεύθυνση στη «Μηχανική και τεχνολογία υλικών και κατασκευών» από το Γενικό Τμήμα του Πολυτεχνείου Κρήτης και αφορά την εκτίμηση δυναμικών χαρακτηριστικών κατασκευών με ενόργανη παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο. Το θέμα προσδιορίστηκε από τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Προβιδάκη με αφορμή την ανάθεση του ερευνητικού προγράμματος του ΕΛΚΕ Πολυτεχνείου Κρήτης με τίτλο «Στατική μελέτη αποκατάστασης κτιρίου Παπαδόπετρου – Αρχιτεκτονικές επεμβάσεις» με επιστημονικό υπεύθυνο τη λέκτορα κ. Μαρία Σταυρουλάκη.

Για την ολοκλήρωση του έργου αυτού είμαι τυχερή διότι υπήρξαν πολλοί αρωγοί στην προσπάθειά μου:

Ιδιαίτερα θα ήθελα να τονίσω την συνεισφορά του επιβλέποντα Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Προβιδάκη που με τις γνώσεις και τις συμβουλές του καθοδήγησε και διευκόλυνε τη διαδικασία μελέτης και συγγραφής της διατριβής χαρίζοντάς μου παράλληλα γνώσεις πολύτιμες για τη μετέπειτα επαγγελματική μου πορεία.

Τη λέκτορα κ. Μαρία Σταυρουλάκη που πρόθυμα, πάντα, μου παρείχε όχι μόνο συμβουλές, σχόλια και εκτιμήσεις για τη κατάσταση του κτιρίου αλλά και τα αρχιτεκτονικά σχέδια, φωτογραφικό υλικό και άλλα στοιχεία απαραίτητα για τη διεξαγωγή και επεξεργασία των μετρήσεων.

Τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Ιωάννη Τσομπανάκη που αλόγιστα, βοήθησε με τις συμβουλές του στο περιεχόμενο και τη μορφοποίηση της διατριβής βελτιώνοντας αισθητά την ποιότητά της.

Κάποια ακόμη μέλη της οικογένειας του Πολυτεχνείου Κρήτης όπως οι υποψήφιοι διδάκτορες του Τομέα Μηχανικής του Γενικού Τμήματος κ. Καλλιόπη Στεφανάκη και κ. Βαγγέλη Λιαράκο χωρίς τη βοήθεια των οποίων η διεξαγωγή των πειραμάτων στο κτίριο Παπαδόπετρου θα ήταν εξαιρετικά δύσκολη έως αδύνατη. Ακόμη, ευχαριστώ θερμά τους φίλους μου Μαρία Λάγιου, μεταπτυχιακή φοιτήτρια του Τομέα Μηχανικής και τον Ευάγγελο Νιταδωράκη υποψήφιο διδάκτορα του Τομέα Μηχανικής του Γενικού Τμήματος για την συμβολή τους στη μορφοποίηση των διαγραμμάτων, την υπόδειξη χρήσιμης βιβλιογραφίας και κυρίως την ηθική συμπαράσταση.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένειά μου και τους φίλους μου που με αγάπη και αμέριστη συμπαράσταση με ενθάρρυναν στη συστηματική προσπάθεια που κατέβαλα για την ολοκλήρωση της διατριβής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διατριβή παρουσιάζεται η διαδικασία για την εκτίμηση των δυναμικών χαρακτηριστικών κατασκευών με ενόργανη παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο. Η διαδικασία αυτή εφαρμόστηκε σε διώροφο κτίριο με υπόγειο από φέρουσα λιθοδομή, εμβαδού ανά όροφο περίπου 235 τμ και ύψος 12μ. Οι μετρήσεις, που πραγματοποιήθηκαν με όργανα από δύο διαφορετικές εταιρείες, βασίστηκαν στις αρχές της λειτουργικής ιδιομορφικής ανάλυσης και επεκτάθηκαν και στον περιβάλλον χώρο για την σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά του κτιρίου. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε χρησιμοποιώντας για το κτίριο τις μεθόδους Peak-Picking (PP), Frequency Domain Decomposition (FDD) και Enhanced Frequency Domain Decomposition (EFDD) και για το έδαφος την μέθοδο Nakamura.

Μελετώντας δεδομένα των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις στο έδαφος καταλήξαμε στο ότι οι σημαντικότερες ιδιοσυχνότητες του περιβάλλον χώρου του κτιρίου είναι οι 0,45 Hz και 3,5 Hz, οι καμπύλες των φασμάτων λόγου H/V – συχνότητας σχεδόν ταυτίζονται στις χαμηλές συχνότητες και οι σημαντικότερες ιδιοσυχνότητες του εδάφους στις χαμηλές τιμές είναι οι ίδιες για όλες τις θέσεις ανεξάρτητα από το αν απομακρυνόμαστε ή πλησιάζουμε το κτίριο. Επίσης, μελετώντας τα αποτελέσματα από το κτίριο, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα δεν διαφέρουν σημαντικά ανάμεσα στα δύο όργανα ανά άξονα και θέση και οι δεσπόζουσες ιδιοσυχνότητες και στους τρεις άξονες είναι γύρω στο 3,7 Hz και 7,0 Hz. Ακόμη, σε όσο ψηλότερη απόσταση από το έδαφος βρισκόταν η θέση μέτρησης τόσο μεγαλύτερες τιμές είχαν οι καταγραφές. Στις θέσεις όπου το δάπεδο είναι ξύλινο δεν παρατηρείται διαφοροποιήσεις ως προς τα μέγιστα των κορυφών στους άξονες xx και yy αλλά παρατηρήθηκαν διαφοροποιήσεις προς τον άξονα zz συμπεραίνοντας έτσι ότι τα πατώματα λειτουργούν ως διαφράγματα. Τέλος, παρουσιάζεται έντονη μείωση της απόσβεσης από την τέταρτη στην πέμπτη ιδιομορφή και από την έκτη στην έβδομη, ενώ η 1η ιδιοσυχνότητα του κτιρίου είναι αρκετά κοντά με την 2η ιδιοσυχνότητα του εδάφους.

Τα παραπάνω αποτελέσματα θα χρησιμοποιηθούν στην αξιολόγηση της δομικής κατάστασης και αξιοπιστίας του κτιρίου, την αναβάθμιση του υπολογιστικού προσομοιώματος για εύρεση αποδοτικότερων λύσεων ενίσχυσης και την δημιουργία βάσης δεδομένων για την παρακολούθηση της «υγείας» του για μελλοντική ανίχνευση βλαβών σε περιπτώσεις έντονης διέγερσής της από ισχυρά σεισμικά φορτία.

ABSTRACT

This thesis refers to the real-time instrumental estimation of a construction's dynamic characteristics. The construction under consideration is a 12m height two storey building with basement covering 235m² area per floor. The measurements, which were carried out using instruments from two different manufacturers, were held according to the principles of operational modal analysis. Measurements were obtained both from the building and the surrounding's area soil for comparative purposes. The data gained from the building were analyzed using the methods Peak-Picking (PP), Frequency Domain Decomposition (FDD) and Enhanced Frequency Domain Decomposition (EFDD) and the data gained from the soil were analyzed using Nakamura method. Evaluating the outputs from the soil measurements the estimated fundamental frequencies are at 0,45 Hz and 3,5 Hz regardless the distance from the building and the H/V curves are almost identical at low frequencies. Moreover, analyzing the outputs from the building measurements the estimated fundamental frequencies are at 3,7 Hz and 7,0 Hz (the first frequency of the building is the same with the second frequency of the soil) and that the results do not differ significantly amongst the two different instruments nor amongst the different positions in the building. Also, irrespectively of the slab's material was (wood, wood-metal, concrete), the fundamental response was the same for the xx and yy axis leading to the conclusion that the building's slab acts as a diaphragm. Finally, we can detect significant decrease of the damping ratio between the fourth and the fifth eigenfrequency, whereas the first and the second eigenfrequency are very close. All the above conclusions will be used to evaluate the building's structural health and credibility, to find efficient ways to reinforce the building and also, to make a health monitoring database to detect future damage.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ	5
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	5
1.2 ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ	9
2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	13
2.1 Η ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	13
2.2 Η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	14
2.2.1 Ιστορικά στοιχεία της μεθόδου	14
2.2.2 Σκοπιμότητα της μεθόδου	15
2.2.3 Μέθοδος εξαναγκασμένης δυναμικής διέγερσης	15
2.2.4 Μέθοδος ελεύθερης δυναμικής διέγερσης	16
2.2.5 Μέθοδος των μικροδονήσεων	17
2.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	17
2.3.1 Θεωρία σημάτων	18
2.3.2 Θόρυβος στις μετρήσεις	19
2.3.3 Μετασχηματισμός Fourier – Φασματική απεικόνιση σημάτων	20
2.3.4 Προσδιορισμός των ιδιομορφικών χαρακτηριστικών μόνο με δεδομένα εξόδου	23
2.3.5 Μέθοδος Peak Picking	24
2.3.6 Η Τεχνική Αποδόμηση Πεδίου Συχνοτήτων [Frequency Domain Decomposition (FDD)] και Ενισχυμένη Τεχνική Αποσύνθεσης Πεδίου Συχνοτήτων [Enhanced Frequency Domain Decomposition (EFDD)]	25
2.3.7 Μέθοδος Nakamura, τεχνική λόγου H/V	26
3 ΟΡΓΑΝΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	28
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	28
3.2 ΜΕΤΡΗΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ «SYSCOM»	30
3.2.1 Αισθητήρας «MS2005+»	31

3.2.2	Χαρακτηριστικά καταγραφικού «MR2002»	35
3.2.3	Χαρακτηριστικά της συσκευής διαχείρισης «NCC light» («NCC»)	36
3.2.4	Συνδεσμολογία διάταξης οργάνων εταιρείας «Syscom»	37
3.2.5	Λογισμικό διαχείρισης και επεξεργασίας δεδομένων της εταιρείας «Syscom»	38
3.3	ΜΕΤΡΗΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ «TROMINO» ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ «MICROMED S.P.A.»	39
3.3.1	Γενικά	39
3.3.2	Πιεζοηλεκτρικό επιταχυνσιόμετρο	40
3.3.3	Σύστημα εγκατάστασης οριζοντίωσης και ενεργοποίησης της συσκευής	42
3.3.4	Λογισμικό συσκευής «Tromino»	43
4	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	45
4.1	Γενικά στοιχεία για τις μετρήσεις	45
4.2	Πλήθος και διάταξη των θέσεων μέτρησης	46
4.3	Μετρήσεις με το όργανο «Tromino»	47
4.3.1	Θέσεις οργάνου	47
4.3.2	Διαδικασία και παραμετροποίηση	51
4.4	Μετρήσεις με τα όργανα «Syscom»	53
4.4.1	Θέσεις αισθητήρων	53
4.4.2	Διαδικασία καταγραφών και παραμετροποίηση των οργάνων	57
5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	58
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	58
5.2	ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΝΑΚΑΜΥΡΑ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	60
5.2.1	Φάσμα λόγου H/V – συχνότητα στις θέσεις Π23, Π13, Π21, Π22, Π33	60
5.2.2	Φάσμα συχνοτήτων ως προς την απόσταση	63
5.3	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ PEAK-PICKING ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ	64
5.3.1	Μετρήσεις στο Ισόγειο, θέσεις A11, A13, A31, A33	65
5.3.2	Μετρήσεις στον όροφο, θέσεις B11, B31, B13, B33	77

	5.3.3 Μετρήσεις στο δώμα, θέσεις Γ11, Γ31.	89
5.4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ	95
5.5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	98
5.6	ΣΥΝΟΨΗ	99

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

I	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ
II	ΘΕΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩΝ
III	ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΑΠΕΔΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πειραματική ιδιομορφική ανάλυση (Operational Modal Analysis – OMA) είναι η διαδικασία προσδιορισμού των ιδιομορφικών χαρακτηριστικών (συχνότητα, συντελεστής απόσβεσης, κλπ) ενός συστήματος μέσω πειραμάτων. Ένας από τους συνηθέστερους λόγους για τον πειραματικό προσδιορισμό είναι η επαλήθευση ή διόρθωση των αποτελεσμάτων της αναλυτικής προσέγγισης (ενημέρωση θεωρητικού μοντέλου) ή, στην περίπτωση που το θεωρητικό μοντέλο δεν υπάρχει, για την μελλοντική εκτίμηση της κατασκευής έπειτα από δομικές αλλαγές και επεμβάσεις. Κατά κύριο λόγο, η πειραματική ιδιομορφική ανάλυση χρησιμοποιείται για να εξηγήσει το δυναμικό πρόβλημα, λόγω δονήσεων, το οποίο δεν είναι άμεσα εμφανές στο θεωρητικό μοντέλο. Η ιδιομορφική ανάλυση αν και από μόνη της δεν είναι η απάντηση στα προβλήματα δόνησης, είναι συχνά ένα σημαντικό κομμάτι της όλης διαδικασίας [1].

Ο προσδιορισμός των ιδιομορφικών χαρακτηριστικών μέσω πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε αρχικά από την μηχανολογία και την αεροναυπηγική την

δεκαετία του 1940. Εκείνη την εποχή οι αισθητήρες μέτρησης δεν ήταν αρκετά ανεπτυγμένοι και απαιτούνταν χρονοβόρες διαδικασίες ανάλυσης που πολλές φορές δεν ήταν πρακτικά εφαρμόσιμες. Με την κατασκευή υπολογιστών μικρού μεγέθους και την ανάπτυξη της μεθόδου ανάλυσης Γρήγορου Μετασχηματισμού Fourier (Fast Fourier Transform- FFT) την δεκαετία του 1960, ξεκίνησε η νέα εποχή της πειραματικής ιδιομορφικής ανάλυσης. Γρήγορα, η εφαρμογή αυτής της τεχνικής επεκτάθηκε και σε μεγαλύτερης κλίμακας κατασκευές όπως κτιριακές εγκαταστάσεις, συγκοινωνιακές υποδομές, κ.α. Σήμερα, η μέθοδος αυτή αντιπροσωπεύει ένα διεπιστημονικό πεδίο που συνδυάζει την θεωρία σημάτων, υπολογιστικά συστήματα, τη θεωρία μηχανικής, δονήσεων, ακουστικής, εφαρμοσμένα μαθηματικά κ.α. [8]. Παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου έχουν δώσει έμφαση τόσο στην αλληλεπίδραση εδάφους ανωδομής, όσο και σε γέφυρες, κτίρια κ.α.

Αναλυτικότερα έχει μελετηθεί η σχέση ανάμεσα στην καταστροφή και το πλάτος, τη συχνότητα και τη διάρκεια της κίνησης σε ένα πεδίο [2], τη συχνότητα συντονισμού εδάφους – κτιρίου [3] και τη δυναμική αλληλεπίδραση εδάφους – κατασκευής [4-6], την εξέλιξη των δυναμικών χαρακτηριστικών κατά την διάρκεια και μετά από καταστροφικούς σεισμούς [7][9][10] και την ενέργεια που μεταφέρεται πίσω στο έδαφος από ένα δονούμενο κτίριο [1, 11-15].

Ακόμη, ένα συχνά αναφερόμενο παράδειγμα είναι η ανάλυση της Z24 Γέφυρας στην Ελβετία, η οποία προτού κατεδαφιστεί, υποβλήθηκε σε καταστρεπτικά πειράματα και τα δεδομένα που αποκτήθηκαν αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας τόσο τη Τεχνική Αποδόμηση Πεδίου Συχνοτήτων [Frequency Domain Decomposition (FDD)] [16] όσο και με τη μέθοδο Στοχαστικού προσδιορισμού υποχώρου [Stochastic Subspace Identification (SSI)] [30]. Οι De Roeck κ.α. βρήκαν αξιόπιστα αποτελέσματα με την SSI μέθοδο γεγονός που επέτρεψε στην απομόνωση κοντινών ιδιομορφών. Παρ' όλο που αναγνώρισαν τα πλεονεκτήματα της μεθόδου SSI οι συγγραφείς υποστήριξαν ότι η πρώτη ίσως είναι πιο κατάλληλη για έναν μη εξοικειωμένο χρήστη [24].

Όσον αφορά την ανάλυση κτιρίων, ορόσημο ανάλυσης είναι οι μελέτες από τον Ventura σχετικά με το κτίριο «Heritage Court Tower στο Βανκούβερ» [17]. Ο DeRoeck ανέλυσε το κτίριο χρησιμοποιώντας την μέθοδο SSI και την παραδοσιακή μέθοδο peak - picking (PP) [18] τονίζοντας ότι αν και η SSI τεχνική έδινε ακριβέστερα αποτελέσματα, η PP μπορούσε να εφαρμοστεί σε πρωταρχικό στάδιο ανάλυσης. Οι Brincker and Andersen [17] αναλύοντας τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας την FFD και την SSI παρατήρησαν διαφορές μικρότερες του 2%

για τις 11 ληφθείσες ιδιοσυχνότητες μερικές από τις οποίες μάλιστα ήταν πολύ κοντινές [19].

Ένα ακόμη παράδειγμα χρήσης της OMA σε κτίριο ήταν η μελέτη από τον Ventura κ.α. για την ενημέρωση του θεωρητικού μοντέλου του 48ορόφων κτίριο «One Wall Centre tower» στο Βανκούβερ [20]. Μερικές ακόμη μελέτες έχουν γίνει στην Πορτογαλία όπου οι Mendes and Baptista ανέλυσαν το κτίριο PT-Marconi στην Λισαβόνα [22], και Magalhães κ.α. πραγματοποίησαν πειράματα στο στάδιο της Braga με την μέθοδο των μικροδονήσεων για να επαληθεύσουν το θεωρητικό μοντέλο [24].

Υπάρχει πλήθος εφαρμογών της μεθόδου OMA, σε κτίρια και εγκαταστάσεις από Ο/Σ. Η παρούσα διατριβή πραγματεύεται τον πειραματικό προσδιορισμό, σε πραγματικό χρόνο, των ιδιομορφικών χαρακτηριστικών με την μέθοδο OMA του διατηρητέου κτιρίου «Μέγαρο Παπαδόπετρου» από φέρουσα τοιχοποιία στην οδό Τζανακάκη στα Χανιά καθώς και του εδάφους του στον περιβάλλον χώρο, με τη χρήση εξειδικευμένων μετρητικών διατάξεων που παρείχε το Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Μηχανικής του Γενικού Τμήματος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Οι μετρήσεις έγιναν με βάση της αρχές της λειτουργικής ιδιομορφικής ανάλυσης και χρησιμοποιήθηκαν όργανα από δύο εταιρείες για την σύγκριση και επαλήθευσης των αποτελεσμάτων. Με την βοήθεια κατάλληλων λογισμικών εφαρμογών τα αποτελέσματα των μετρήσεων επεξεργάστηκαν και αξιολογήθηκαν χρησιμοποιώντας την μέθοδο Peak – Picking (PP). Τα αποτελέσματα θα βοηθήσουν στην ενημέρωση του υπολογιστικού προσομοιώματος με βάση το οποίο θα συνταχθεί και η μελέτη αποκατάστασης και ενίσχυσης του κτιρίου.

Αναλυτικότερα η εργασία διαρθρώνεται σε πέντε κεφάλαια, τα οποία είναι:

- Στο **1^ο κεφάλαιο** περιγράφεται το κτίριο «Μέγαρο Παπαδόπετρου» και δίνονται ιστορικά στοιχεία σχετικά με την κατασκευή και την χρήση του.
- Στο **2^ο κεφάλαιο** αναλύεται η μέθοδος της λειτουργικής ιδιομορφικής ανάλυσης στις αρχές της οποίας βασίστηκε η ενόργανη παρακολούθηση του κτιρίου.
- Στο **3^ο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα όργανα και οι λογισμικές εφαρμογές που χρησιμοποιήθηκαν.
- Στο **4^ο κεφάλαιο** περιγράφεται η διενέργεια των μετρήσεων και η διαδικασία της επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέχθηκαν.

- Στο **5^ο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και η σύγκριση αυτών για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τα δυναμικά χαρακτηριστικά του κτιρίου.

Τέλος, η εργασία συνοδεύεται από τα παραρτήματα με τα αρχιτεκτονικά σχέδια του κτιρίου, τις θέσεις τοποθέτησης των οργάνων σε κάθε όροφο αλλά και τα υλικά των δαπέδων που τοποθετήθηκαν τα όργανα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΤΟ ΜΕΓΑΡΟ ΠΑΠΑΔΟΠΕΤΡΟΥ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το διατηρητέο κτίριο Παπαδόπετρου είναι ένα διώροφο κτίριο στη συμβολή των οδών Στρατηγού Τζανακάκη και Βολουδάκηδων του Δήμου Χανίων. Κατασκευάστηκε το 1912 σύμφωνα με σχέδια και επίβλεψη του Μιχάλη Σαββάκη και εργολάβο τον Αλέξανδρο Πλατσιδάκη για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες του γραφείου και της κατοικίας του ιδιοκτήτη Γ. Παπαδόπετρου.

Το κτίσμα ακολούθησε την οικοδομική γραμμή που ορίστηκε από την ανέγερση των γύρω κτιρίων και τοποθετήθηκε σε επαφή με την οδό Τζανακάκη και Βολουδάκηδων. Οι χώροι υποδοχής και το γραφείο του ιδιοκτήτη τοποθετήθηκαν στο ισόγειο με είσοδο απευθείας από το δρόμο και η ιδιαίτερη κατοικία στον όροφο. Η ύπαρξη δύο εισόδων στο ισόγειο εξυπηρετεί την

λειτουργία του σπιτιού με την εμφανή ή όχι σύνδεση των χώρων υποδοχής και των ιδιαίτερων διαμερισμάτων ανάλογα με την περίπτωση. Κάτω από τις οδούς που εφάπτεται το κτίριο κατασκευάστηκε στοά πλάτους περίπου 2μ για την απομάκρυνση της υγρασίας και τη μόνωση του σπιτιού.

Τους χώρους του ισόγειου και του ορόφου συμπληρώνει το υπόγειο, στο ίδιο επίπεδο με τον κήπο, με όλους τους βοηθητικούς χώρους, καθώς και τη χαρακτηριστική μεσημβρινή ταράτσα. Τις κύριες όψεις του σπιτιού, βορεινή και δυτική, από πελεκητή πέτρα σε αυστηρή διάταξη και σύνθεση που φανερώνει την επίδραση της Δύσης στους μηχανικούς, διακόπτουν οι μικροί χαρακτηριστικοί εξώστες με τα μαρμάρινα φουρούσια και δάπεδα. Ο τεχνίτης των πελεκητών καντουνάδων του σπιτιού, μετά τους βομβαρδισμούς των Γερμανών στην κατοχή συμπλήρωσε και επιδιόρθωσε ο ίδιος τις φθορές, έτσι που ακόμη και σήμερα η τοιχοποιία του κτιρίου να διατηρείται σε αρκετά καλή κατάσταση [25].



Εικόνα 1.1: Άποψη του κτιρίου τη δεκαετία του 1970 [1].

Το 1983 με διαθήκη του ο Ιωσήφ Παπαδόπετρος παραχώρησε το 75% της κυριότητας του κτιρίου στο Πολυτεχνείο Κρήτης (η επικαρπία ανήκε στην σύζυγο του μέχρι τον θάνατό της το 1998) υπό τον όρο της οικονομικής ενίσχυσης δύο φοιτητών με καταγωγή από την γενέτειρά του, τα Σφακιά. Το υπόλοιπο 25% αγοράστηκε αργότερα από τους υπόλοιπους κληρονόμους. Η αποδοχή

κληρονομιάς από το Ίδρυμα πραγματοποιήθηκε το 2006 και ενώ εν τω μεταξύ το κτίριο είχε χαρακτηριστεί ως διατηρητέο (ΦΕΚ Δ'1161/27-11-87).

Το Μέγαρο Παπαδόπετρου χρησιμοποιήθηκε έως το 1940 για κατοικία του ιδιοκτήτη, από το 1940 έως 1975 ως επαγγελματική στέγη και από το 1975 έως το 2004 ως εκπαιδευτήριο της σχολής ΖΗΤΑ-Θεοδορόπουλου. Το 2006, όντας αχρησιμοποίητο επί χρόνια, καταλήφθηκε από το φοιτητικό σύλλογο του ιδρύματος για διάρκεια περίπου τριών ετών. Μετά την απομάκρυνση των καταληψιών, το Ίδρυμα ξεκίνησε προσπάθεια αποκατάστασης και ενίσχυσης του κτιρίου προκηρύσσοντας της σχετικές εργολαβίες.



Εικόνα 1.2: Πρόσοψη (βόρεια όψη) του κτιρίου στην οδό Τζανακάκη.



Εικόνα 1.3: Πίσω όψη (νότια όψη) του κτιρίου στην οδό Τζανακάκη.



Εικόνα 1.4: Όψη του κτιρίου (δυτική όψη) στην οδό Βολουδάκηδων.

1.2 ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ

Σήμερα, έχουν απομακρυνθεί όλα τα κουφώματα, έχουν καθαιρεθεί τα επιχρίσματα των οροφών και έχουν αποκαλυφθεί τα θεμέλια του κτιρίου. Όμως, λόγω εύρεσης αρχαιολογικών ευρημάτων στο επίπεδο της θεμελίωσης οι εργασίες αποκατάστασης έχουν σταματήσει από την αρμόδια εφορία αρχαιοτήτων.

Δομικά, το κτίριο δεν έχει αξιόλογες βλάβες στην φέρουσα τοιχοποιία. Τα δάπεδα του, όμως, αν και φαίνεται να έχουν καλή σύνδεση με τους περιμετρικούς τοίχους δεν παρουσιάζουν ομοιογένεια ως προς τα υλικά και τη μέθοδο κατασκευής τους. Στο παρελθόν έχουν ενισχυθεί με μεταλλικές δοκούς, οπλισμένο σκυρόδεμα, ξύλο κα. Ενδεικτικά παρατίθενται παρακάτω εικόνες από το εσωτερικό του κτιρίου (εικόνα 1.5), τα θεμέλια (εικόνα 1.6), την τοιχοποιία (εικόνα 1.7) και τις οροφές του (εικόνα 1.8 έως 1.11).

Μελλοντικά, προορίζεται να χρησιμοποιηθεί ως χώρος πολιτισμού ο οποίος θα διατίθεται για τη διοργάνωση εκδηλώσεων από την κοινότητα του Πολυτεχνείου και τους τοπικούς φορείς [26].



Εικόνα 1.5: Ενδεικτική άποψη του εσωτερικού του κτιρίου στον όροφο [27].



Εικόνα 1.6: Εικόνα από τη θεμελίωση κατά τη διάρκεια των αρχαιολογικών εκσκαφών [27].



Εικόνα 1.7: Φέρουσα τοιχοποιία του κτιρίου στο υπόγειο μετά την καθαίρεση των επιχρισμάτων [27].



Εικόνα 1.8: Πλάκα Zoellner στην οροφή ορόφου μετά την καθαίρεση των επιχρισμάτων [27].



Εικόνα 1.9: Ξύλινη οροφή στο ισόγειο μετά την καθαίρεση των επιχρισμάτων [27].



Εικόνα 1.10: Οροφή από σκυρόδεμα με μεταλλικά στοιχεία ενίσχυσης μετά την καθαίρεση των επιχρισμάτων [27].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

2.1 Η ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Κάθε αντικείμενο γύρω μας, έμβιο ή άψυχο, ταλαντώνεται μοναδικά (ιδιοταλαντώνεται). Η ταλάντωση αυτή επηρεάζεται από τις μικροδονήσεις του περιβάλλοντος είτε είναι ανθρωπογενείς (από την λειτουργία μηχανημάτων, την κυκλοφορία οχημάτων κλπ) είτε φυσικές (από σεισμούς, ωκεάνια κύματα, κλπ). Οι δονήσεις, άλλοτε αντιληπτές και άλλοτε όχι, επιδρούν πάνω στις κατασκευές προκαλώντας ακόμη και την καταστροφή τους. Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες για την κατανόηση της δυναμικής συμπεριφοράς μιας κατασκευής και τον προσδιορισμό των δυναμικών χαρακτηριστικών όπως ιδιοσυχνότητες, λόγοι απόσβεσης, ιδιομορφές κλπ. Το γνωστικό αντικείμενο που

μελετά την ιδιοταλάντωση μιας κατασκευής και την απόκρισή της στις μικροδονήσεις ονομάζεται **ιδιομορφική ανάλυση**.

Υπάρχουν δύο τρόποι για τον προσδιορισμό των δυναμικών παραμέτρων. Η πρώτη μέθοδος που ονομάζεται θεωρητική ιδιομορφική ανάλυση υπολογίζει τα χαρακτηριστικά αυτά μέσω της εξίσωσης 2.1 [28, 29]:

$$(K - \omega_i^2 M)\varphi_i = 0 \quad 2.1$$

Όπου K: το μητρώο δυσκαμψίας

M: το μητρώο μάζας

ω_i : η ιδιοσυχνότητα και

φ_i : διάνυσμα ιδιομορφών

Η δεύτερη μέθοδος, η επονομαζόμενη **πειραματική ιδιομορφική ανάλυση**, χρησιμοποιεί την απόκριση του συστήματος σε δονήσεις και με τη βοήθεια τεχνικών ιδιομορφικής ανάλυσης, που θα αναφερθούμε παρακάτω, υπολογίζει τα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής [28].

2.2 Η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

2.2.1 Ιστορικά στοιχεία της μεθόδου

Ο προσδιορισμός των ιδιομορφικών χαρακτηριστικών μέσω πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε αρχικά από την μηχανολογία και την αεροναυπηγική την δεκαετία του 1940. Εκείνη την εποχή οι αισθητήρες μέτρησης δεν ήταν αρκετά ανεπτυγμένοι και η αναλογικής φύσης προσέγγιση απαιτούσε χρονοβόρες διαδικασίες ανάλυσης που πολλές φορές δεν ήταν πρακτικά εφαρμόσιμες. Με την κατασκευή υπολογιστών μικρού μεγέθους και την ανάπτυξη της μεθόδου ανάλυσης Γρήγορου Μετασχηματισμού Fourier (Fast Fourier Transform- FFT) την δεκαετία του 1960, ξεκίνησε η νέα εποχή της πειραματικής ιδιομορφικής ανάλυσης. Γρήγορα, η εφαρμογή αυτής της τεχνικής επεκτάθηκε και σε μεγαλύτερης κλίμακας κατασκευές όπως κτιριακές εγκαταστάσεις, συγκοινωνιακές υποδομές κ.α. Σήμερα η μέθοδος αυτή αντιπροσωπεύει ένα διεπιστημονικό πεδίο που συνδυάζει την θεωρία σημάτων, υπολογιστικά

συστήματα, την θεωρία μηχανικής, δονήσεων, ακουστικής, εφαρμοσμένα μαθηματικά κ.α. [2].

2.2.2. Χρήση και είδη μεθόδου

Ο προσδιορισμός και η παρακολούθηση των δυναμικών χαρακτηριστικών μιας κατασκευής μπορεί να υπηρετήσει διάφορους σκοπούς σε μια κατασκευή όπως [28]:

- την αξιολόγηση δομικής κατάστασης και αξιοπιστίας,
- την δημιουργία βάσης δεδομένων και την παρακολούθηση της «υγείας» της κατασκευής για μελλοντική ανίχνευση βλαβών σε περιπτώσεις έντονης διέγερσής της από ισχυρά φορτία όπως σεισμοί, φορτία ανέμου κ.α.,
- την ενημέρωση του θεωρητικού μας μοντέλου και εύρεση αποδοτικότερων λύσεων ενίσχυσης.

Υπάρχουν τρεις τύποι δυναμικού ελέγχου των κατασκευών ανάλογα με τον τρόπο που διεγείρεται η κατασκευή:

1. έλεγχος με εξαναγκασμένη δυναμική διέγερση,
2. έλεγχος με ελεύθερη δυναμική διέγερση,
3. έλεγχος των μικροδονήσεων (λειτουργική ιδιομορφική ανάλυση).

2.2.3 Μέθοδος εξαναγκασμένης δυναμικής διέγερσης

Η μέθοδος της εξαναγκασμένης δυναμικής διέγερσης χρησιμοποιείται για δεκαετίες στην σεισμική μηχανική και θεωρείται ως μία από τις ακριβέστερες μεθόδους. Στην περίπτωση αυτή η κατασκευή υποβάλλεται σε γνωστή εκ των προτέρων δυναμική διέγερση με τεχνητά μέσα όπως σεισμικές τράπεζες. Συγκεκριμένα, καθόσον μια αρμονική διέγερση γνωστής συχνότητας εφαρμόζεται μέσω ενός δονητή στην κατασκευή, το πλάτος και η φάση της απόκρισης καταγράφονται. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται αλλάζοντας κάθε φορά τη συχνότητα της διέγερσης από χαμηλότερη σε υψηλότερη. Έτσι, σχεδιάζεται η καμπύλη συχνότητας-απόκρισης της κατασκευής μέσω της οποίας μπορούν να υπολογιστούν στη συνέχεια τα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής όπως ιδιοσυχνότητες, συντελεστές απόσβεσης, ιδιομορφές κλπ. [30].

Πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής σε σχέση με αντίστοιχες στο εργαστήριο είναι:

- ότι η κατασκευή δεν χρειάζεται να κατασκευαστεί υπό κλίμακα και να προσομοιαστεί στο εργαστήριο,
- το μοντέλο έχει τις σωστές διασυννοριακές συνθήκες.

Παρά τα πλεονεκτήματα πολλοί παράγοντες έχουν περιορίσει την χρήση αυτής της μεθόδου σήμερα όπως είναι οι παρακάτω: [30,31]:

- η αδυναμία των παραδοσιακών δονητών να διεγείρουν την κατασκευή με τέτοιο τρόπο ώστε να προσομοιάσουν μια σεισμική διέγερση μεγάλου εύρους,
- πρακτικές δυσκολίες που σχετίζονται με την τοποθέτηση αισθητήρων σε κάναβο αρκετά πυκνό ώστε να διερευνηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό η συμπεριφορά της κατασκευής,
- η λειτουργία της κατασκευής θα πρέπει να παύσει καθ' όλη τη διάρκεια της καταγραφής γεγονότος που μπορεί να είναι μεγάλο πρόβλημα για τις κατασκευές με έντονη δραστηριότητα όπως γέφυρες.

2.2.4 Μέθοδος ελεύθερης δυναμικής διέγερσης

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση έτσι κι εδώ η κατασκευή υποβάλλεται σε γνωστή εκ των προτέρων διέγερση με την διαφορά όμως ότι η διέγερση είναι στιγμιαία και η κατασκευή, κατά την διάρκεια της μέτρησης, λόγω της απόσβεσης επανέρχεται στην κατάσταση ισορροπίας που είχε αρχικά. Η απόκριση της κατασκευής καταγράφεται όσο η απόσβεση φθίνει την κίνηση. Η στιγμιαία διέγερση επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους όπως για παράδειγμα με την ξαφνική ελεύθερη πτώση ενός φορτίου στην κατασκευή ή με την ξαφνική ελευθέρωση μιας αναρτημένης μάζας. Σε αυτόν τον τύπο πειράματος ο εκ των προτέρων προσδιορισμός των ιδιομορφών είναι πολύ σημαντικός διότι το σημείο μετάδοσης της διέγερσης πρέπει να είναι στην θέση όπου θα ενεργοποιηθεί περισσότερο η σημαντικότερη ιδιομορφή.

Μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι και σε αυτήν την περίπτωση η λειτουργία της κατασκευής θα πρέπει να διακοπεί καθ' όλη την διάρκεια της καταγραφής. [32].

2.2.5 Μέθοδος των μικροδονήσεων

«Παραδοσιακά», ο προσδιορισμός των ιδιομορφικών χαρακτηριστικών, όπως είπαμε παραπάνω, γίνεται με βάσει τα δεδομένα εισόδου (δεδομένα σχετικά με τις συνθήκες στήριξης, επιβαλλόμενα φορτία κλπ) και εξόδου (δεδομένα από τα καταγραφικά των οργάνων) των μετρήσεων μέσα από την συνάρτηση συχνότητας - απόκρισης (frequency response function \ή FRF) σε πεδίο συχνοτήτων ή συνάρτηση ώθησης απόκρισης (impulse response function ή IRF) σε πεδίο χρόνου. Όμως, η πολυπλοκότητα κατασκευών μεγάλης κλίμακας καθιστά πολλές φορές μικρή την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων από τέτοιες διαδικασίες. Είναι φανερό ότι οι πραγματικές συνθήκες λειτουργίας μπορεί να διαφέρουν κατά πολύ από της συνθήκες του εργαστηρίου. Για αυτόν το λόγο η ανάγκη προσδιορισμού των ιδιομορφικών χαρακτηριστικών σε πραγματικές συνθήκες είναι επιβεβλημένη. Έτσι, αναπτύχθηκε η μέθοδος των μικροδονήσεων ή αλλιώς η λειτουργική ιδιομορφική ανάλυση (Operational Modal Analysis, «OMA») η οποία όχι μόνο δεν επηρεάζεται από τις διαταραχές που προκαλούν περιβαλλοντικοί παράγοντες στην κατασκευή όπως κυκλοφορία οχημάτων, άνεμος κλπ, αλλά τους χρησιμοποιεί ανιχνεύοντας έτσι, την απόκριση (δεδομένα εξόδου) της κατασκευής στην κατάσταση λειτουργίας της.

Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι:

- Ο έλεγχος με δεδομένα μόνο εξόδου είναι μέθοδος οικονομική αφού δεν χρειάζεται καθόλου εξοπλισμός για την διέγερση της κατασκευής. Για το λόγο αυτό έχει εφαρμοστεί με επιτυχία στην μελέτη της απόκρισης πολλών μεγάλης κλίμακας γεφυρών όπως η Golden Gate Bridge.
- Με την OMA μόνο τα δεδομένα εξόδου αναλύονται ενώ οι πραγματικές συνθήκες φόρτισης είναι εντελώς άγνωστες.

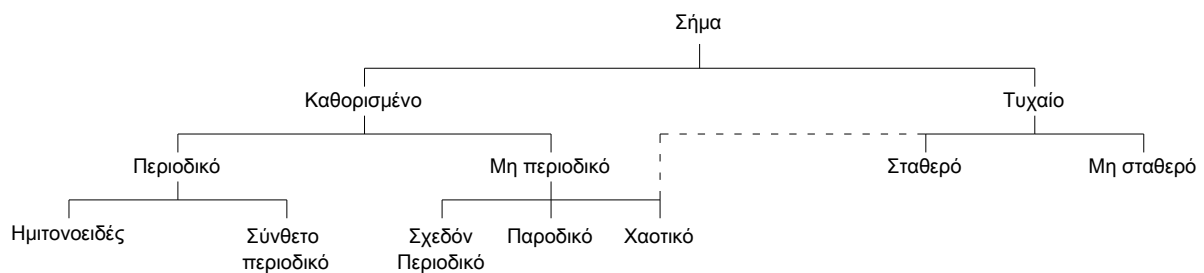
2.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων τα δεδομένα από της μετρήσεις ή αλλιώς τα σήματα αναλύθηκαν και επεξεργάστηκαν από τα ειδικά λογισμικά και μεθόδους ανάλυσης βασισμένες στην θεωρία σημάτων.

2.3.1 Θεωρία σημάτων

Παρατηρούμενα δεδομένα που αντιπροσωπεύουν ένα φυσικό φαινόμενο ονομάζονται χρονοϊστορίες ή σήμα. Παραδείγματα σημάτων είναι οι διαφοροποιήσεις της θερμοκρασίας σε ένα δωμάτιο σαν συνάρτηση του χρόνου, αλλαγές στην πίεση σε ένα σημείο, αλλαγές στο ρεύμα από ένα αισθητήρα δονήσεων κλπ. Τα σήματα χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τη φύση τους σε καθορισμένα ή τυχαία όπως φαίνεται στην εικόνα 2.2.

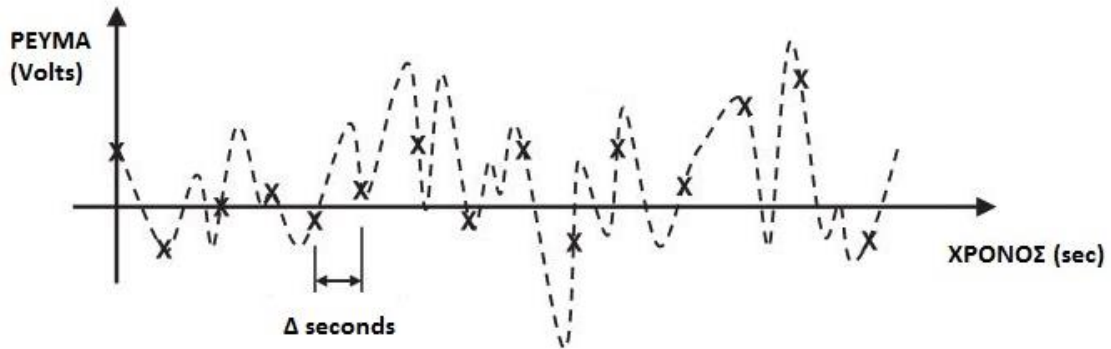
Ακόμη, μπορούν να χωριστούν και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους σε αναλογικά και διακριτά. Για παράδειγμα, το σήμα από έναν αισθητήρα δονήσεων αν μεταφερθεί σε ένα παλμογράφο συχνά θα έχει την εικόνα συνεχούς (ή αναλογικού) σήματος (εικόνα 2.3). Σε πολλές περιπτώσεις, τα δεδομένα είναι διακριτά από την φύση τους ή χάρη σε επιβαλλόμενη διαδικασία δειγματοληψίας όπως και στην περίπτωση των μετρήσεων στο κτίριο Παπαδόπετρου. Τότε, τα δεδομένα θα χαρακτηρίζονται από μια σειρά αριθμών σε ίσες χρονικά αποστάσεις μεταξύ τους (εικόνα 2.4) [33].



Εικόνα 2.2: Κατηγοριοποίηση σημάτων [33].



Εικόνα 2.3: Τυπικό αναλογικό σήμα από αισθητήρα [33].



Εικόνα 2.4: Ψηφιακό σήμα με δειγματοληψία κάθε Δ δευτερόλεπτα (σημειωμένο με x) [33].

2.3.2 Θόρυβος στις μετρήσεις

Ένας από τους κυριότερους παράγοντες αλλοίωσης των δεδομένων που λαμβάνουμε από τα όργανα μέτρησης είναι ο θόρυβος. Ως θόρυβος ορίζεται το σύνολο των ανεπιθύμητων πληροφοριών οι οποίες συνοδεύουν το σήμα και υποβαθμίζουν την ορθότητα και την ακρίβεια μιας μέτρησης.

Σε πολλές περιπτώσεις ο θόρυβος έχει καθορισμένη προέλευση και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, η γνώση των οποίων μπορεί να συμβάλλει αποτελεσματικά στην αντιμετώπισή του. Ο θόρυβος που συνυπάρχει με την μετρούμενη ποσότητα, γνωστός και ως σήμα υποβάθρου (background noise), εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά ποιότητας του αισθητήρα και δεν μπορεί να αντιμετωπισθεί στα επόμενα στάδια, εκτός εάν έχει διαφορετικά χρονοχαρακτηριστικά από εκείνα του κυρίως σήματος.

Τα απόλυτα μέτρα θορύβου έχουν ελάχιστη σημασία σε ένα όργανο, όπου ο θόρυβος μαζί με το σήμα διέρχονται από την μια μονάδα στην άλλη και υφίστανται ενισχύσεις, μειώσεις ή άλλες διεργασίες (εικόνα 2.7). Το ενδιαφέρον εστιάζεται στην σχετική μεταβολή των τιμών των σημάτων αυτών. Ορίζεται ως λόγος σήματος-προς θόρυβο (ή λόγος S/N):

$$\frac{\bar{S}}{N_{RMS}} \quad (2.5)$$

Όπου:

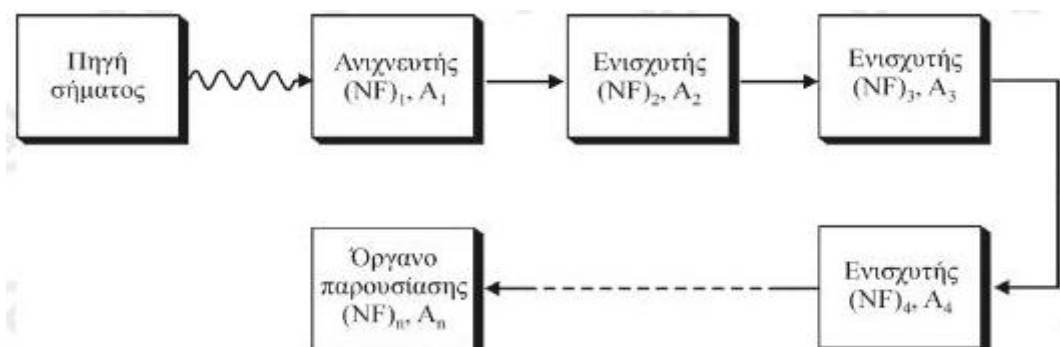
- $\bar{S}$ μέση τιμή του θορυβώδους σήματος $S(t)$,
- $N_{RMS}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (S - S_i)^2}{n}$ μέση τιμή τετραγώνων θορύβου,
- S_i ($i=1,2,\dots,n$) στιγμιαίες τιμές του θορυβώδους σήματος $S(t)$.

Ένα χρήσιμο μέτρο με το οποίο μπορεί να κριθεί το κατά πόσο μια μονάδα ενός οργάνου προσθέτει ή αποκόπτει θόρυβο από το σήμα είναι η εικόνα θορύβου (noise figure, NF), που δίνεται από τη σχέση:

$$NF = \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_i}{\left(\frac{S}{N}\right)_o} \quad (2.6)$$

Όπου:

$(S/N)_i$ είναι ο λόγος S/N του σήματος εισόδου και $(S/N)_o$ ο λόγος σήματος εξόδου της μονάδας. Είναι προφανές ότι εάν είναι $NF=1$ η μονάδα δεν επιβαρύνει το σήμα με θόρυβο, ενώ εάν είναι $NF>1$ η μονάδα επιβαρύνει το σήμα εξόδου με θόρυβο [34].



Εικόνα 2.7: Σχηματική αναπαράσταση διάδοσης σήματος και θορύβου μέσω μονάδων που απαρτίζουν μια διάταξη ενός δίαυλου [34].

2.3.3 Μετασχηματισμός Fourier – Φασματική απεικόνιση σημάτων

Γνωρίζοντας το είδος του σήματος είναι πιο εύκολο να διαλέξει κανείς την σωστότερη μέθοδο ανάλυσης και επεξεργασίας. Ο σκοπός της επεξεργασίας σημάτων είναι η εξαγωγή πληροφοριών σε περιπτώσεις που είναι δύσκολο να ανακτηθούν από την απευθείας παρακολούθηση του φαινομένου. Η μεθοδολογία εξαγωγής πληροφοριών από ένα σήμα περιλαμβάνει τρία στάδια: α) καταγραφή, β) επεξεργασία, γ) ερμηνεία.

Στο στάδιο της επεξεργασίας, τα περιοδικά σήματα αναλύονται χρησιμοποιώντας τις σειρές Fourier. Η βάση της ανάλυσης ενός περιοδικού σήματος με Fourier είναι η αναπαράσταση του σήματος αθροίζοντας ημιτονοειδείς

και συνημιτονοειδείς συναρτήσεις κατάλληλης συχνότητας, πλάτους και διαφοράς φάσης [33].

Κάθε φυσική διαδικασία μπορεί να περιγραφεί είτε στο πεδίο του χρόνου (time domain), είτε στο πεδίο των συχνοτήτων (frequency domain). Σύμφωνα με το θεώρημα του Fourier κάθε συνάρτηση χρόνου $h(t)$ μπορεί να μετασχηματισθεί σε συνάρτηση συχνότητας $H(f)$ (φάσμα συχνότητας (frequency spectrum) και αντιστρόφως. Οι μετασχηματισμοί πραγματοποιούνται με βάση τις ακόλουθες εξισώσεις

$$H(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t)[\cos(2\pi ft) - j \sin(2\pi ft)] dt \quad (2.8)$$

$$h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} H(f)[\cos(2\pi ft) - j \sin(2\pi ft)] df \quad (2.9)$$

Οι εξισώσεις 2.8 και 2.9 αποδίδουν αντιστοίχως τον ευθύ και τον αντίστροφο μετασχηματισμό Fourier («forward» και «reverse Fourier transform») και οι αντίστοιχες συμβολικές παραστάσεις τους είναι $H(f)=F\{h(t)\}$ και $h(t)=F^{-1}\{H(f)\}$.

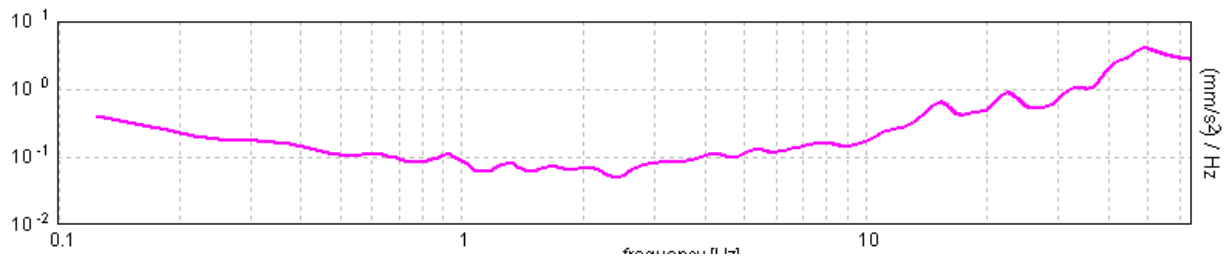
Τα πραγματικά σήματα δεν έχουν καθορισμένη έκφραση. Πραγματοποιείται δειγματοληψία N τιμών του σήματος (χρονικώς ισαπέχουσες, $\Delta t=t_{n+1}-t_n$, =σταθερά) ($h(t_0)$, $h(t_1)$, $h(t_{N-1})$) και εισάγονται σε ψηφιακούς υπολογιστές, όπου ο μετασχηματισμός εκτελείται με βάση όχι το ολοκλήρωμα Fourier, αλλά την αριθμητική του έκφραση, που συνιστά Διακριτό Μετασχηματισμό Fourier (Discrete Fourier Transform)

$$H(f_k) = \sum_{i=0}^{N-1} h(t_i)[\cos(2\pi f_k t_i) + j \sin(2\pi f_k t_i)]\Delta\tau \quad (2.10)$$

Ο υπολογισμός των διακριτών τιμών $H(f_k)$, που απαρτίζουν το φάσμα συχνοτήτων του σήματος απαιτεί μεγάλο αριθμό μαθηματικών πράξεων, ο οποίος αυξάνει εκθετικά, όσο αυξάνει ο αριθμός N . Ο υπολογισμός αυτός πραγματοποιείται αποκλειστικά με υπολογιστές και με την βοήθεια ενός αλγόριθμου γνωστού ως ταχύς μετασχηματισμός Fourier (Fast Fourier Transform, FFT), επειδή ελαχιστοποιεί τον αριθμό των απαιτούμενων πράξεων.

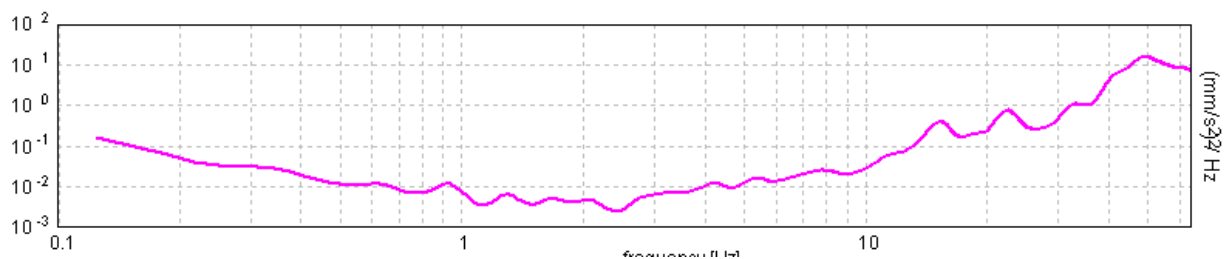
Τα συνηθέστερα φάσματα στο πεδίο συχνοτήτων που χρησιμοποιούμε είναι το φάσμα πυκνότητας πλάτους (amplitude density spectrum) και το φάσμα πυκνότητας ισχύος (power density spectrum). Το φάσμα πυκνότητας πλάτους ή απλά φάσμα πλάτους (εικόνα 2.11) αντιπροσωπεύει την γραφική παράσταση της

πυκνότητας πλάτους (π.χ. σε μονάδες mm/sec^2) ως προς την συχνότητα (σε μονάδες Hz).



Εικόνα 2.11: Φάσμα πυκνότητας πλάτους στο ισόγειο του κτιρίου με το όργανο «Tromino» κατά την διεύθυνση Βοράς -Νότος

Το φάσμα πυκνότητας ισχύος ή απλά φάσμα ισχύος (εικόνα 2.12) , είναι η γραφική παράσταση της πυκνότητας ισχύος (π.χ. σε μονάδες mm/sec^2) ως προς την συχνότητα (σε μονάδες Hz) και αποδίδει τη διασπορά της ενέργειας ενός σήματος σε διάφορες συχνότητες. Επειδή η ισχύς είναι ανάλογη του τετραγώνου του πλάτους του σήματος τα φάσματα ισχύος δεν περιέχουν αρνητικές κορυφές, όπως τα φάσματα πλάτους και στην ουσία αποτελούν την γραφική παράσταση $[H(f)]^2 \cdot f$ [34].



Εικόνα 2.12: Φάσμα πυκνότητας ισχύος της θέσης A11 στο ισόγειο του κτιρίου με το όργανο «Tromino» κατά την διεύθυνση Βοράς -Νότος

Από τα φάσματα τόσο του σήματος, όσο και του θορύβου, είναι δυνατόν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα, όπως τα ακόλουθα:

- Σε ποια περιοχή συχνοτήτων βρίσκονται οι ημιτονοειδείς συνιστώσες που συνθέτουν το σήμα στο σύνολο ή κατά το μεγαλύτερο μέρος του.
- Σε ποια περιοχή συχνοτήτων βρίσκονται οι ημιτονοειδείς συνιστώσες που συνθέτουν το σήμα του θορύβου στο σύνολο ή κατά το μεγαλύτερο μέρος του.
- Ο τύπος και η προέλευση του θορύβου.

- Οι περιοχές συχνοτήτων οι οποίες μπορούν να αποκοπούν, ώστε να περιορισθεί η παρουσία του θορύβου στο ελάχιστο δυνατόν επίπεδο, χωρίς να υποστεί σημαντική αλλοίωση η επιθυμητή πληροφορία σήματος.
- Σε περίπτωση δειγματοληψίας και όχι συνεχούς καταγραφής του ολικού σήματος η ελάχιστη δυνατή συχνότητα δειγματοληψίας.
- Τα ιδιομορφικά χαρακτηριστικά της κατασκευής όπως οι ιδιομορφές, οι ιδιοσυχνότητες και η απόσβεση δεν εισάγουν παράσιτικές συνιστώσες σύμφωνα με το θεώρημα Nyquist.

2.3.4 Προσδιορισμός των ιδιομορφικών χαρακτηριστικών μόνο με δεδομένα εξόδου

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων απαιτούνται ειδικές τεχνικές για να διαχειριστούν τις πολύ μικρού μεγέθους δονήσεις αλλοιωμένες, μάλιστα με «θόρυβο», χωρίς την γνώση των επιβεβλημένων στην κατασκευή δυνάμεων. Ορισμένες από αυτές είναι:

1. Εντοπισμός κορυφών (Peak-Picking, PP) στο φάσμα συχνοτήτων (power spectral densities) ή κλασσική προσέγγιση στο πεδίο συχνοτήτων (Basic Frequency Domain BFD) τεχνική [46] με τις προεκτάσεις της μεθόδου Frequency Domain Decomposition (FDD), Enhanced Frequency Domain Decomposition EFDD, Nakamura.
2. Διαδικασία αυτοανάδρομου κινούμενου μέσου όρου (Auto regressive-moving average, «ARMA») βασισμένο σε δεδομένα με διακριτές τιμές (discrete – time data) [45].
3. Τεχνική φυσικής διέγερσης (Natural Excitation Technique, «NExT») [46].
4. Στοχαστική αναγνώριση υποχώρου (stochastic subspace identification) [45].

Στην πραγματικότητα, το μαθηματικό υπόβαθρο είναι παρόμοιο. Οι διαφορές έγκειται στις παραμέτρους εφαρμογής όπως μείωση των δεδομένων, τύπος επιλυτή εξισώσεων, ακολουθία πινάκων, κλπ [46].

2.3.5 Μέθοδος Peak Picking

Η μέθοδος που θα χρησιμοποιήσουμε είναι ο εντοπισμός κορυφών στο φάσμα συχνοτήτων μόνο με δεδομένα εξόδου (Peak-Picking, PP). Η μέθοδος είναι η απλούστερη από όλες τις γνωστές και βασίζεται στο ότι η συνάρτηση συχνότητας – απόκρισης (FRF) λαμβάνει ακραίες τιμές γύρω από τις φυσικές συχνότητες. Η τιμή της συχνότητας γύρω από την οποία συμβαίνει η ακραία τιμή είναι συνήθως και η ιδιοσυχνότητα του συστήματος. Η απόκριση μπορεί να είναι καταγραφές μετακίνησης ή, όπως στο κτίριο Παπαδόπετρου, ταχύτητας και επιτάχυνσης. Στη περίπτωση της OMA η συνάρτηση FRF αντικαθίσταται από το αυτόματο φάσμα των δεδομένων εξόδου. Με αυτόν τον τρόπο οι ιδιοσυχνότητες προσδιορίζονται απλά από την παρακολούθηση των κορυφών του κανονικοποιημένου φάσματος πυκνότητας ισχύος (Averaged Normalized Power Spectral Densities, ANPSDs). Τα ANPSDs προσδιορίζονται με την επεξεργασία των καταγεγραμμένων μετρήσεων στο πεδίο συχνοτήτων μέσω του γρήγορου μετασχηματισμού Fourier (Fast Fourier Transform, FFT).

Παρόλο που οι επιβαλλόμενες δυνάμεις δεν είναι καταγεγραμμένες μπορεί να γίνει εντοπισμός συντονισμού. Αυτό γίνεται με την υπόθεση ότι τα δεδομένα από ένα από τα σημεία καταγραφής, που πλέον θα αναφέρεται ως σημείο αναφοράς, έχουν χρησιμοποιηθεί σαν δεδομένα εισόδου και οι συναρτήσεις FRF υπολογίζονται για την κάθε μέτρηση σε σχέση με το σημείο αναφοράς. Η σύγκριση των φασμάτων δύο ταυτόχρονων καταγραφών έχει τιμές παρόμοιες και επομένως η μελέτη των συναρτήσεων FRF μπορεί να βοηθήσει στην επιλογή των ιδιοσυχνοτήτων.

Στην παρούσα μέθοδο (εντοπισμός των κορυφών) τα ιδιομορφικά χαρακτηριστικά καθορίζονται από τις τιμές των συναρτήσεων μετακίνησης στις θέσεις όπου εντοπίζονται οι ιδιοσυχνότητες (δηλαδή όπου εμφανίζονται τα μέγιστα των τιμών των συχνοτήτων στο κανονικοποιημένο φάσμα πυκνότητας ισχύος). Πρέπει να σημειώσουμε εδώ ότι, στη λειτουργική ιδιομορφική ανάλυση, συνάρτηση μετακίνησης δεν σημαίνει ο λόγος απόκρισης προς την επιβαλλόμενη δύναμη, αλλά ο λόγος της καταγεγραμμένης απόκρισης του αισθητήρα προς την καταγεγραμμένη απόκριση του αισθητήρα αναφοράς [46].

2.3.6 Η Τεχνική Αποδόμησης Πεδίου Συχνοτήτων και Ενισχυμένη Τεχνική Αποδόμησης Πεδίου Συχνοτήτων

Η τεχνική της αποδόμησης πεδίου συχνοτήτων (Frequency Domain Decomposition ή FDD) είναι μια προέκταση της «Peak Picking» τεχνικής. Η PP προσέγγιση βασίζεται στην απλή επεξεργασία του σήματος χρησιμοποιώντας τον διακριτό μετασχηματισμό Fourier (Discrete Fourier Transform) και εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι όταν οι ιδιοσυχνότητες είναι αρκετά απομακρυσμένες μεταξύ τους τότε μπορούν εύκολα να εντοπιστούν από το φάσμα πυκνότητας ισχύος [40] .

Η PP τεχνική δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα των φυσικών συχνοτήτων μόνο όταν οι ιδιοσυχνότητες είναι αρκετά απομακρυσμένες μεταξύ τους αφού σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να είναι δύσκολο να ανιχνευτούν. Επίσης, ο υπολογισμός των συχνοτήτων εξαρτάται από την ανάλυση του φάσματος πυκνότητας και σε κάθε περίπτωση η εκτίμηση της απόσβεσης είναι επισφαλής αν όχι αδύνατη.

Η τεχνική της αποδόμησης πεδίου συχνοτήτων (Frequency Domain Decomposition FDD) αν και εξίσου εύχρηστη δεν έχει τα αρνητικά της PP μεθόδου. Χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο SVD (Singular Value Decomposition)* στο μητρώο φάσματος, για την αποσύνθεσή του σε μια ομάδα αυτόματων συναρτήσεων φασμάτων πυκνότητας η κάθε μια από τις οποίες θα ανταποκρίνεται σε ένα σύστημα του ενός βαθμού ελευθερίας. Το αποτέλεσμα είναι ακριβές στις περιπτώσεις λευκού θορύβου (ο θόρυβος του οποίου η ισχύς στο φάσμα πυκνότητας ισχύος είναι σταθερή για οποιαδήποτε συχνότητα), όταν η κατασκευή έχει μικρή απόσβεση και όταν οι ιδιομορφές στις περιπτώσεις κοντινών ιδιομορφών είναι γεωμετρικά ορθογώνιες. Ακόμη και αν αυτές οι παραδοχές δεν ικανοποιούνται τα αποτελέσματα εξακολουθούν να είναι περισσότερο αξιόπιστα από αυτά της κλασσικής μεθόδου [41].

Η τεχνική περιλαμβάνει τέσσερα κύρια βήματα:

1. Εκτίμηση φασματικών μητρώων πυκνότητας από τα δεδομένα χρονικών σειρών.
2. Εκτέλεση του αλγορίθμου SVD* στα μητρώα των φασμάτων πυκνότητας.
3. Εάν είναι διαθέσιμα πολλά δεδομένα μετρήσεων, τότε υπολογίζει το μέσο όρο της πρώτης χαρακτηριστικής τιμής (singular value) όλων των μετρήσεων και υπολογίζει το μέσο όρο της δεύτερης κλπ.

4. Επιλογή των μέγιστων στις μέσες χαρακτηριστικές τιμές (average singular value). Για τις επαρκώς απομακρυσμένες ιδιοσυχνότητες επιλέγεται πάντα η πρώτη χαρακτηριστική τιμή.

Από αυτά τα βήματα, τα πρώτα τρία πραγματοποιούνται αυτόματα κατά την επεξεργασία των δεδομένων. Το τελευταίο βήμα γίνεται χειροκίνητα. Η τεχνική είναι μια απολύτως μη παραμετρική τεχνική όπου οι ιδιομορφές υπολογίζονται καθαρά από την επεξεργασία του σήματος [43].

Η τεχνική EFDD προσθέτει ένα ιδιομορφικό επίπεδο εκτίμησης στην τεχνική FDD και βασίζεται στην στατιστική επεξεργασία κατανομής Gauss. Απαραίτητο είναι για τον υπολογισμό των ιδιοσυχνοτήτων και των αντίστοιχων συντελεστών απόσβεσης, να έχει προηγηθεί ο προσδιορισμός των μέγιστων μέσω της FDD [42].

2.3.7 Μέθοδος Nakamura, τεχνική λόγου H/V

Η μέθοδος Nakamura βασίζεται στην πρωτοποριακή εργασία των Kannai και Tanaka σχετικά με την μέθοδο των μικροδονήσεων. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι η συνάρτηση των οριζόντιων μετακινήσεων υποδηλώνει περισσότερο τα χαρακτηριστικά της πηγής παρά την συνάρτηση μεταφοράς του πεδίου.

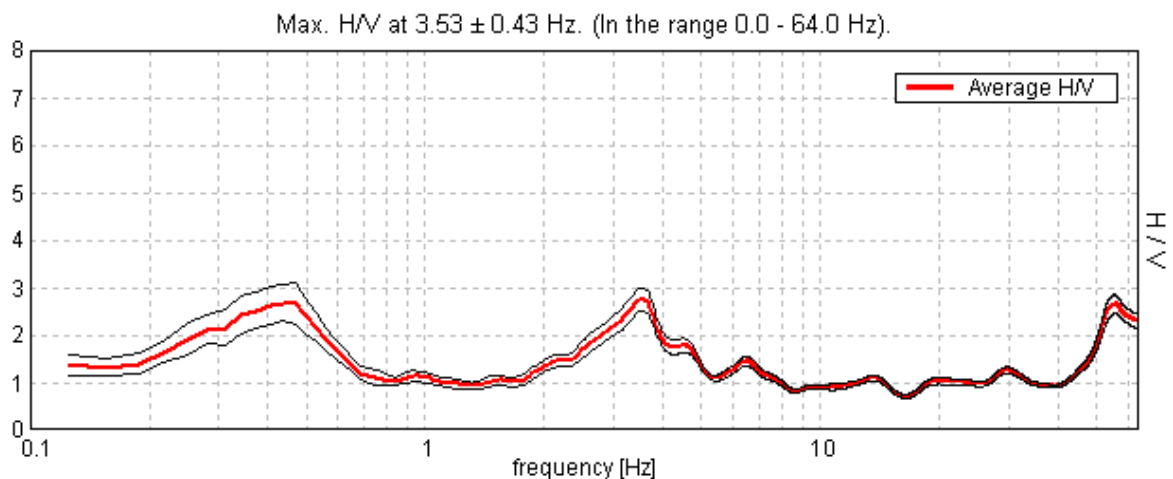
Ο Yukta Nakamura το 1989 τροποποίησε την ανάλυση μικροδονήσεων προτείνοντας μια νέα τεχνική, την H/V τεχνική. Σε αυτήν την τεχνική η επίδραση της πηγής φαίνεται να μπορεί να ελαχιστοποιηθεί κανονικοποιώντας το οριζόντιο με το κατακόρυφο φάσμα πυκνότητας. Θεωρώντας ότι το διατμητικό κύμα κυριαρχεί των μικροδονήσεων, ο Nakamura υποδεικνύει ότι ο λόγος των οριζόντιων προς κατακόρυφων φασμάτων σε ένα πεδίο, σχεδόν ισοδυναμεί με τη συνάρτηση μεταφοράς του κύματος S ανάμεσα στην επιφάνεια και το βραχύδες υπέδαφος. Αυτό σημαίνει ότι στο φάσμα H/V, η τιμή του λόγου και η τιμή της περιόδου στο μέγιστο αντιστοιχού στον συντελεστή ενίσχυσης και στη φυσική

* Αλγόριθμος SVD (Singular Value Decomposition) είναι ο αλγόριθμος ο οποίος αναλύει ένα μητρώο (M) σε μια ομάδα μητρώων (USV^*) μέσα από τα οποία μπορούμε να προσδιορίσουμε τις χαρακτηριστικές τιμές του αρχικού μητρώου: $M = USV^*$. Οι χαρακτηριστικές τιμές του μητρώου M είναι τιμές τις διαγωνίου του μητρώου Σ [42].

περίοδο του υπεδάφους αντίστοιχα [44]. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι το ότι:

- μπορεί να εφαρμοστεί ακόμη και σε περιοχές μικρής σεισμικής δράσης,
- απαιτείται καταγραφή μικρής διάρκειας,
- απαιτείται μικρό υπολογιστικό κόστος.

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό Grilla για την επεξεργασία των μετρήσεων της συσκευής «Tromino» με βάση την θεωρία Nakamura προέκυψαν τα φάσματα του λόγου H/V για την κάθε θέση. Ενδεικτικά παρατίθεται παρακάτω το φάσμα H/V για την θέση Π23 (εικόνα 2.13). Αναλυτικότερα τα διαγράμματα για όλες τις θέσεις παρατίθενται στο παράρτημα.



Εικόνα 2.13: Λόγος οριζόντιου προς κατακόρυφο φάσμα σύμφωνα με την μέθοδο Nakamura στην θέση Π23. Η κόκκινη γραμμή απεικονίζει το μέσο όρο ενώ οι δύο μαύρες περικλείουν τις τιμές για το διάστημα εμπιστοσύνης στο 95%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΟΡΓΑΝΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την εύρεση των ιδιομορφικών χαρακτηριστικών του εδάφους και του κτιρίου χρησιμοποιήθηκαν επιταχυνσιόμετρα από δύο εταιρίες. Από την εταιρία «Micromed S.p.a» το «Tromino» και από την εταιρία «Syscom» η συστοιχία συσκευών «MS2005+» , «MR2002» και «NCC (Network Control Center)». Και τα δύο όργανα μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο στο έδαφος όσο και στις κατασκευές, στο μέγαρο Παπαδόπετρου χρησιμοποιήθηκε το Tromino για το έδαφος και το κτίριο και τα όργανα Syscom μόνο για το κτίριο.

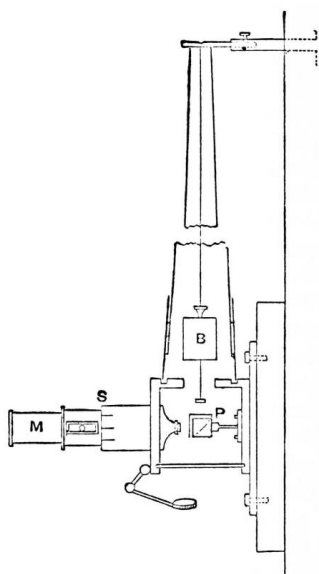
Τα επιταχυνσιόμετρα χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν την επιτάχυνση (δόνηση) μιας κατασκευής όταν αυτή εκτίθεται σε δυναμικά φορτία όπως

κυκλοφορία οχημάτων, φορτία ανέμου, σεισμικές δονήσεις κλπ. Τα πρώτα όργανα που κατασκευάστηκαν για την ανίχνευση των μικροδονήσεων της επιφάνειας όπου τοποθετούνται ονομάστηκαν τρεμογράφοι (εικόνα 3.1.1) και αποτελούνταν από ένα οριζόντιο εκκρεμές μάζας 100gr αναρτημένο από λεπτό συρμάτινο καλώδιο μήκους 150cm (μέσα σε σωλήνα για να μην επηρεάζεται από τα ρεύματα αέρα). Η θέση της μάζας προσδιοριζόταν από μικροσκόπιο και μικρής κλίμακας μέτρο. Με την διάταξη αυτή μπορούσαν να ανιχνευτούν μικροδονήσεις με πλάτος περίπου 10^{-6} .

Τα σύγχρονα επιταχυνσιόμετρα είναι μικροηλεκτρομηχανικά συστήματα (MEMS) και αποτελούνται από μια δοκό με αναρτημένη μάζα. Όταν η μάζα αποκλίνει από την αρχική της θέση, η απόκλιση μετριέται από ειδικούς αισθητήρες και «μεταφράζεται» σε επιτάχυνση. Τα περισσότερα επιταχυνσιόμετρα λειτουργούν στο επίπεδο και έτσι είναι ευαίσθητα μόνο σε μία κατεύθυνση. Ενσωματώνοντας δύο συσκευές κάθετα μεταξύ τους σε μία μήτρα προκύπτει ένα διαξονικό επιταχυνσιόμετρο. Προσθέτοντας μια ακόμη προκύπτει το τριαξονικό επιταχυνσιόμετρο το οποίο λειτουργεί με μεγαλύτερη ακρίβεια από τρία μονοαξονικά επιταχυνσιόμετρα σε τρεις κατευθύνσεις.

Ο τύποι αισθητήρων μέτρησης μικροδονήσεων που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις στο κτίριο Παπαδόπετρου και που είναι και οι συνηθέστεροι είναι οι παρακάτω [38]:

1. Χωρητικός αισθητήρας με δύναμη αντιστάθμισης (force balance based sensor) στο όργανο της εταιρείας «Syscom».
2. Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας στο όργανο «Tromino».



Εικόνα 3.1: Απεικόνιση τρεμογράφου. Η ανίχνευση της ταλάντωσης της μάζας B επιτυγχάνεται μέσω της παρατήρησής από το μικροσκόπιο M [39].

3.2 Μετρητική διάταξη της εταιρείας Syscom

Η μετρητική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε από την εταιρία Syscom αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία:

1. Ηλεκτρονικός υπολογιστής (εικόνα 3.2) εξοπλισμένος με το κατάλληλο λογισμικό «MR2002 communication» για τον έλεγχο της συσκευής συντονισμού.
2. Αισθητήρες επιτάχυνσης MS2005+ («MS») (εικόνα 3.3) σε τρεις άξονες.
3. Συσκευή καταγραφικού «MR2002» («MR») (εικόνα 3.9) που λαμβάνει το σήμα του αισθητήρα, το αποθηκεύει και το μεταφέρει στην συσκευή συντονισμού.
4. Συσκευή συντονισμού «NCC (Network Control Center)» («NCC») (εικόνα 3.11) συνδεδεμένη με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και τα καταγραφικά για ταυτόχρονη λειτουργία και συντονισμό αυτών.



Εικόνα 3.2: Ηλεκτρονικός υπολογιστής που χρησιμοποιήθηκε για την διαχείριση και συντονισμό των συσκευών της εταιρείας Syscom.

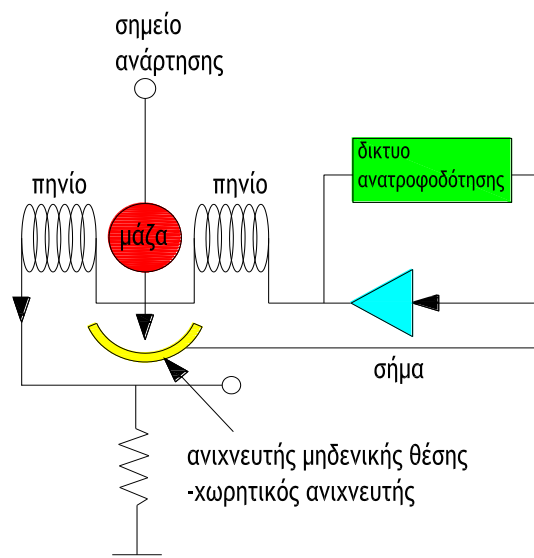
3.2.1 Ο αισθητήρας «MS2005+»

Ο αισθητήρας «MS2005+» («MS») είναι ένα τριαξονικό servo επιταχυνσιόμετρο που βασίζει την λειτουργία του στις αρχές ενός χωρητικού αισθητήρα δύναμης αντιστάθμισης. Έχει μικρές διαστάσεις θήκης (80x75x57 mm) και μικρό βάρος 500gr. Έχει εύρος μετρήσεων $\pm 4g$ και συχνοτήτων από 0 έως 150Hz [54].



Εικόνα 3.3: Αισθητήρες επιτάχυνσης «MS» πάνω όψη & πλάγια όψη όπου φαίνεται η υποδοχή του καλωδίου σύνδεσης.

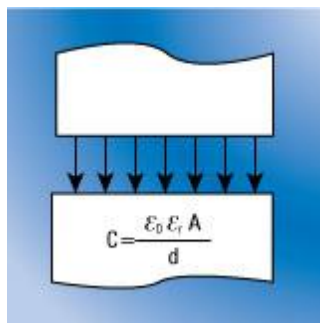
Σύμφωνα με την αρχή της δύναμης αντιστάθμισης, η μάζα που μετατοπίζεται από την θέση ηρεμίας (μηδενική θέση) εξαιτίας μιας άγνωστη δύναμης επανέρχεται στην θέση της με την εφαρμογή σε αυτήν μιας δύναμης αντίθετης. Το μέγεθος της δύναμης σταθεροποίησης είναι εύκολα υπολογίσιμο και ανάλογο με αυτό της άγνωστης δύναμης. Αναλυτικότερα, η διάταξη του αισθητήρα μετατόπισης για κάθε άξονα x,y,z είναι αυτή που φαίνεται στην εικόνα 3.4. Όπως φαίνεται και εκεί μια αναρτημένη μάζα υψηλής μαγνητικής διαπερατότητας που αρχικά βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας στην θέση μηδέν αναγκάζεται να μετακινηθεί λόγω των δονήσεων. Η κίνηση αυτή γίνεται αντιληπτή από έναν χωρητικό αισθητήρα ο οποίος με την σειρά του ενεργοποιεί ένα πηνίο με την βοήθεια ενός servo ενισχυτή. Το πηνίο, παράγει τόσο ρεύμα όσο χρειάζεται ώστε η μάζα να σταθεροποιηθεί [55]. Έτσι, μετρώντας το ρεύμα που παράγει το πηνίο προσδιορίζεται το μέγεθος της δύναμης και άρα της μετατόπισης.



Εικόνα 3.4: Διάταξη αισθητήρα μετατόπισης [55].

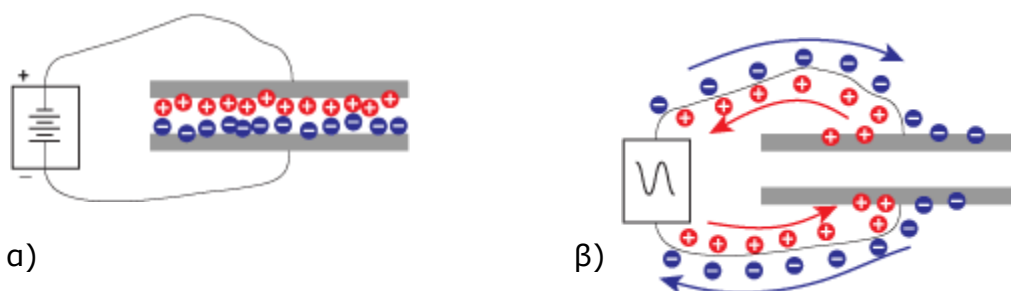
Βασικό στοιχείο της διάταξης είναι ο χωρητικός αισθητήρας καθώς πρέπει να έχει μεγάλη ανάλυση και εύρος. Υψηλής ακρίβειας αισθητήρες μπορούν εύκολα να κατασκευαστούν καθώς το εύρος της μετακίνησης της μάζας είναι εξαιρετικά μικρό. Μάλιστα αυξάνοντας την ευαισθησία του ανιχνευτή η ακρίβεια στις μετρήσεις της επιτάχυνσης θα είναι πολλαπλά μεγαλύτερη. Καθώς το ενεργό μέρος της διάταξης δεν μετακινείται σημαντικά σε συνήθη λειτουργία η υστέρηση στην απόδοση της καταγραφής είναι εξαιρετικά μικρή και οφείλεται περισσότερο σε υστέρηση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων παρά σε μηχανική υστέρηση. Αυτού του τύπου οι αισθητήρες δεν είναι κατάλληλοι για χρήση σε περιβάλλον με ισχυρές μετακινήσεις καθώς κατά την πραγματοποίηση ενός έντονου γεγονότος οι δυνάμεις που επιβάλλονται στην αναρτημένη μάζα είναι επίσης έντονα μεγάλες [55].

Οι χωρητικοί αισθητήρες χρησιμοποιούν την ιδιότητα της χωρητικότητας για την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Η χωρητικότητα είναι μια ιδιότητα που υπάρχει ανάμεσα σε οποιαδήποτε αγωγή αντικείμενα όταν η μεταξύ τους απόσταση είναι αρκετά μικρή (εικόνα 3.5). Αλλαγές στην απόσταση ανάμεσα στις δύο επιφάνειες έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή στην χωρητικότητα. Είναι αυτή η αλλαγή που οι χωρητικοί αισθητήρες χρησιμοποιούν για να υποδείξουν τυχόν διαφοροποίηση στη θέση του στόχου.



Εικόνα 3.5: Σχηματική αναπαράσταση της ιδιότητας της χωρητικότητας [56].

Αναλυτικότερα, όταν τάση εφαρμόζεται στα αγωγίμα αντικείμενα δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο ανάμεσά τους με θετικό και αρνητικό πόλο (εικόνα 3.6α). Αν η πολικότητα αντιστραφεί θα προκληθεί μεταφορά φορτίου δημιουργώντας μεταβολή του ρεύματος που ανιχνεύεται από τον αισθητήρα (εικόνα 3.6β).



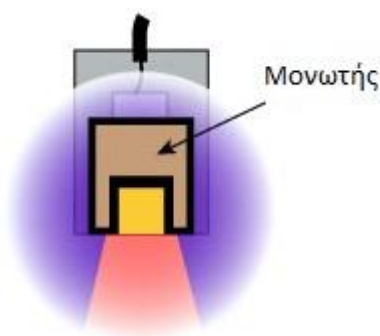
Εικόνα 3.6: Θετική και αρνητική φόρτιση των αγωγίμων υλικών σε συνεχές(α) και εναλλασσόμενο ρεύμα(β)[56].

Με τη δημιουργία εναλλασσόμενου ηλεκτρικού πεδίου το φορτίο που μεταφέρεται ανιχνεύεται από τους χωρητικούς αισθητήρες και το μέγεθος της ροής εξαρτάται από την χωρητικότητα (εικόνα 3.6). Η χωρητικότητα με τη σειρά της είναι ανάλογη της επιφάνειας των αντικειμένων και της διηλεκτρικής σταθεράς του υλικού που βρίσκεται στο μέσον αλλά είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης ανάμεσα στα αντικείμενα. Έτσι, μεγαλύτερα και πιο κοντινά αντικείμενα προκαλούν μεγαλύτερη ροή ρεύματος σε σχέση με πιο μικρά και απομακρυσμένα αντικείμενα.

Καθώς το μέγεθος και το ενδιάμεσο υλικό θεωρείται ότι είναι σταθερά οποιαδήποτε αλλαγή στην χωρητικότητα είναι αποτέλεσμα της αλλαγής στην μεταξύ τους απόσταση.



Εικόνα 3.7: Στοιχεία χωρητικού αισθητήρα [56].



Εικόνα 3.8: Σχηματική τομή όπου φαίνεται ο μονωτής και η αισθητήρια περιοχή [56].

Πλεονεκτήματα αυτού του τύπου αισθητήρα σε σχέση με άλλους αισθητήρες είναι [56]:

- η δυνατότητα μεγάλης ανάλυσης στις μετρήσεις, της τάξης ακόμη και μικρότερη των νανόμετρων,
- το γεγονός ότι δεν επηρεάζονται από αλλαγές στο υλικό των αγωγών,
- είναι οικονομικότεροι σε σχέση με αισθητήρες laser.

Οι χωρητικοί αισθητήρες δεν θα πρέπει να επιλέγονται όταν πρόκειται για μετρήσεις:

- σε μολυσμένο ή υγρό περιβάλλον,
- όταν υπάρχει μεγάλο κενό ανάμεσα στον αισθητήρα και τον αντικείμενο.

3.2.2 Χαρακτηριστικά καταγραφικού «MR2002».

Η συσκευή καταγραφικού «MR2002» («MR») είναι διαστάσεων 210x200x110mm και βάρους περίπου 7,5Kgr. Ο ρόλος της συσκευής αυτής είναι η ενεργοποίηση και η διαχείριση του αισθητήρα καθώς και η καταγραφή και

αποθήκευση των αποτελεσμάτων του. Με τη συσκευή αυτή και τη βοήθεια του λογισμικού «MR communication» ο χρήστης ελέγχει την έναρξη, τη λήξη και τη διάρκεια των καταγραφών είτε χειροκίνητα είτε από λογικές συνθήκες που έχει προεπιλέξει είτε και από συνδυασμό τους. Η μνήμη του είναι 2MB SRAM και μπορεί να λειτουργήσει χωρίς τροφοδοσία ηλεκτρικού ρεύματος για περίπου 40ώρες [50]. Στο επάνω μέρος της θήκης (εικόνα 3.9) υπάρχουν λυχνίες και οθόνη για την ενημέρωση του χρήστη για την κατάσταση της λειτουργίας της συσκευής, της ελεύθερης μνήμης, των μηνιαίων αυτοελέγχων και τυχόν σφαλμάτων. Από την πλαϊνή όψη υπάρχουν οι υποδοχές για την σύνδεση της συσκευής με τον αισθητήρα, την παροχή ρεύματος, τον υπολογιστή και τη συσκευή διαχείρισης «NCC».

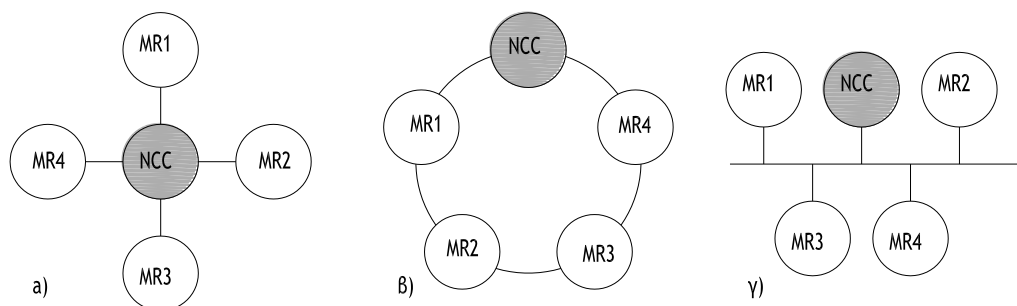


Εικόνα 3.9: Συσκευή καταγραφικού «MR», πάνω όψη και πλάγια όψη όπου φαίνονται οι υποδοχές των καλωδίων σύνδεσης.

3.2.3 Χαρακτηριστικά της συσκευής διαχείρισης «NCC light» («NCC»)

Η συσκευή διαχείρισης αποτελείται από μια θήκη αλουμινίου διαστάσεων 210x200x170mm και ζυγίζει περίπου 9Kgr. Μπορεί να συνδέσει μέχρι και 4 MR σε ένα δίκτυο με τοπολογία αστέρα (εικόνα 3.10). Η ανίχνευση και καταγραφή πραγματοποιείται αυτόνομα από τα «MR» αλλά και συντονισμένα από τη συσκευή «NCC». Η σύνδεση των αισθητήρων, των καταγραφικών και της συσκευής

συντονισμού είναι ψηφιακή με ειδικά καλώδια τα οποία ανθίσταται σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές[51].



Εικόνα 3.10: Τρεις κυριότερες τοπολογίες δικτύων: α) Αστέρα, β) Δακτυλίου και γ) Διαύλου.

Αναλυτικότερα, η συσκευή διαχείρισης «NCC light»:

- Παρακολουθεί αδιάλειπτα την κατάσταση λειτουργίας κάθε MR του δικτύου και τη μεταξύ τους σύνδεση.
- Πραγματοποιεί ταυτόχρονη έναρξη των καταγραφικών σε όλα τα κανάλια.
- Λειτουργεί σαν λειτουργικός διακόπτης με το οποίο μπορούμε να ανακτήσουμε όλες τις καταγραφές και να παραμετροποιήσουμε όλα τα MR του δικτύου.
- Στέλνει στοιχεία ημερομηνίας και ώρας σε όλα τα MR για να έχουν σχετικό συντονισμό.
- Φέρει συσκευή GSM για απομακρυσμένη διαχείριση.
- Μπορεί να στέλνει μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου σε περίπτωση βλάβης ή εκδήλωσης συναγερμού

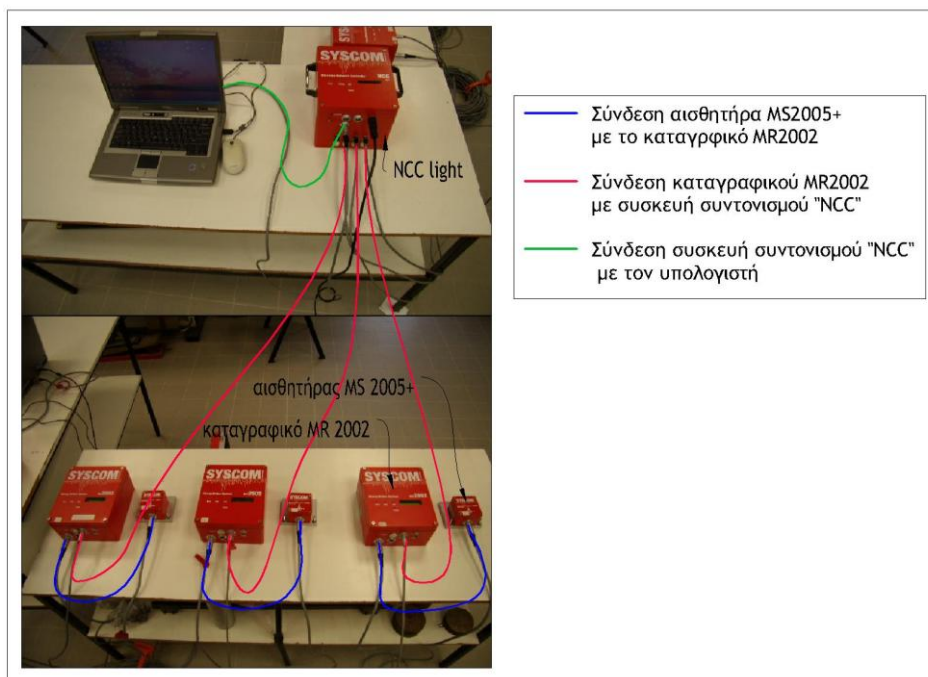
Η επικοινωνία ανάμεσα στο «NCC» και τα «MR» έχει τη μορφή ερωταπαντήσεων. Τα «MR2002» ενεργούν πάντα παθητικά απαντώντας στις «ερωτήσεις» του «NCC» διασφαλίζοντας έτσι ότι οποιαδήποτε βλάβη στην επικοινωνία θα εντοπιστεί αμέσως.



Εικόνα 3.11: Συσκευή διαχείρισης «NCC light», πάνω όψη όπου φαίνονται οι λυχνίες και η οθόνη και πλάγια όψη όπου φαίνονται οι υποδοχές των καλωδίων σύνδεσης.

3.2.4 Συνδεσμολογία διάταξης οργάνων εταιρείας «syscom»

Η συνδεσμολογία των οργάνων γίνεται με την ακόλουθη σειρά. Ο αισθητήρας «MS» συνδέεται με το καταγραφικό «MR», το καταγραφικό με τη συσκευή διαχείρισης «NCC» και η συσκευή διαχείρισης με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Έτσι, η τελική συνδεσμολογία είναι αυτή που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 3.12.

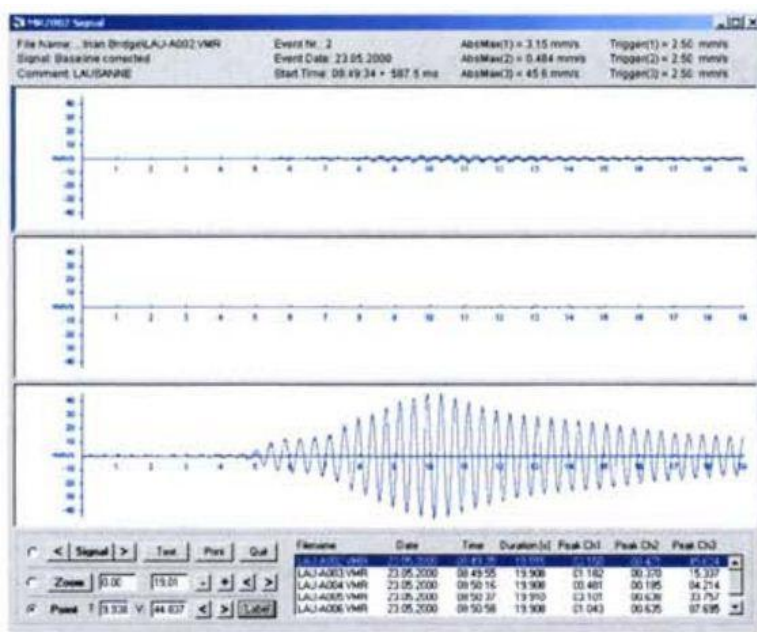


Εικόνα 3.12: συνδεσμολογία των οργάνων της εταιρείας «Syscom».

3.2.5 Λογισμικό διαχείρισης και επεξεργασίας δεδομένων της εταιρίας «Syscom».

Για την επί τόπου διαχείριση των συσκευών της εταιρίας «Syscom» χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό «MR2002 communication». Έτσι, μπόρεσε να γίνει η παραμετροποίηση των αισθητήρων «MS», των καταγραφικών «MR», και της συσκευής συντονισμού «NCC» καθώς και να οριστεί η διάρκεια των μετρήσεων αλλά και η ταυτόχρονη έναρξη της καταγραφής.

Η ανάλυση των καταγραφών έγινε με την βοήθεια του λογισμικού «View 2002». Με το λογισμικό αυτό είναι δυνατόν η επεξεργασία των δεδομένων και η παρουσίασή τους υπό μορφή γραφημάτων. Η χρονική ανάλυση περιλαμβάνει την παρουσίαση των καταγεγραμμένων σημάτων σαν χρονοϊστορίες (εικόνα 3.13), τον υπολογισμό των σημάτων σαν μετατόπιση, ταχύτητα και επιτάχυνση (ανάλογα τον αισθητήρα που χρησιμοποιείται) και τον υπολογισμό του συνολικού διανύσματος. Η ανάλυση συχνοτήτων μπορεί να γίνει σε όρους πλάτους ή φάσματος δύναμης, με δυνατότητες «zero stuffing» και «windowing [52]. Αναλυτικότερα στοιχεία για την διαδικασία επεξεργασίας των καταγραφών με το λογισμικό «View 2002» δίνονται σε επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 3.13: παράθυρο παρουσίασης των δεδομένων ως χρονοϊστορίες [52].

3.3 ΜΕΤΡΗΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ «TROMINO» ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ «MICROMED S.P.A.».

3.3.1 Γενικά

Η συσκευή «Tromino» της εταιρείας «Micromed S.p.a» (εικόνα 3.14) είναι μια συσκευή υψηλής ανάλυσης για την παρακολούθηση και την καταγραφή σεισμικών διεγέρσεων και μικροδονήσεων.



Εικόνα 3.14: Συσκευή παρακολούθησης και καταγραφής μικροδονήσεων «Tromino» της εταιρείας Micromed S.p.a .

Η συσκευή περιβάλλεται από μια θήκη αλουμινίου εξωτερικών διαστάσεων 10x14x7x7 cm, έχει βάρος 1,1Kgr, και περιλαμβάνει τα παρακάτω στοιχεία:

1. 3 ταχυμετρικά κανάλια για καταγραφές μικροδονήσεων (έως $\pm 1,50\text{mm/s}$).
2. 3 πιεζοηλεκτρικά επιταχυνσιόμετρα για δονήσεις (έως $\pm 5\text{g}$).
3. Ένα αναλογικό κανάλι (π.χ. εξωτερικής ενεργοποίησης για MASW/διάθλαση).

4. Εσωτερικό δέκτη GPS, εσωτερική και/ή εξωτερική κεραία προσδιορισμού θέσης και απόλυτου συγχρονισμού με άλλες μονάδες.
5. Εσωτερικό δέκτη/πομπό για συγχρονισμό με άλλες μονάδες σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους.
6. Κάρτα μνήμης 1024Mb.

Με τη βοήθεια του οργάνου, κάθε δόνηση που ανιχνεύεται, ενισχύεται, μετατρέπεται σε ψηφιακό σήμα, οργανώνεται και αποθηκεύεται στην ενσωματωμένη κάρτα μνήμης [52]. Το «Tromino» λειτουργεί σε πεδίο συχνοτήτων 0,1-1024 Hz σε όλα τα κανάλια (έως 32KHz σε δύο κανάλια) και μπορεί να καταγράφει είτε αδιάλειπτα χωρίς χρονικούς περιορισμούς είτε σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Η έναρξη και λήξη μπορεί να είναι χειροκίνητη ή επίσης προκαθορισμένη.

3.3.2 Πιεζοηλεκτρικό επιταχυνσιόμετρο

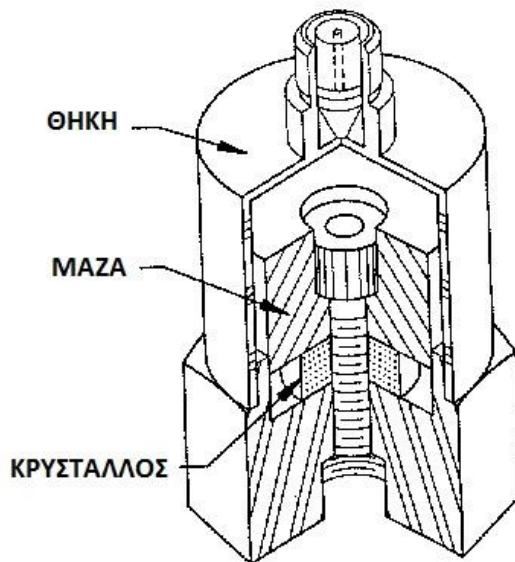
Για τις μετρήσεις στο κτίριο Παπαδόπετρου χρησιμοποιήθηκαν τα πιεζοηλεκτρικά επιταχυνσιόμετρα που διαθέτει η συσκευή. Τα επιταχυνσιόμετρα αυτού του τύπου χρησιμοποιούν το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο κάποιων υλικών για να ανιχνεύσουν παραμέτρους όπως επιτάχυνση, δόνηση κλπ και να τη μετατρέψουν σε ηλεκτρικό σήμα παρέχοντας έτσι πληροφορίες για την ποσότητα, ιδιότητα ή κατάσταση που ανιχνεύουν. Όπως και στα περισσότερα επιταχυνσιόμετρα έτσι και εδώ χρησιμοποιείται η γενική μέθοδος αίσθησης σύμφωνα με την οποία η επιτάχυνση ενεργεί πάνω σε μια μάζα που είναι αναρτημένη από ένα ελατήριο (εικόνα 3.15).

Όταν μια δύναμη ασκείται στο επιταχυνσιόμετρο, η μάζα ενεργεί στο πιεζοηλεκτρικό υλικό σύμφωνα με τον Νόμο του Νεύτωνα ($F=ma$). Η ασκούμενη στο πιεζοηλεκτρικό υλικό δύναμη υποδεικνύεται από την αλλαγή στην ηλεκτροστατική δύναμη ή την ηλεκτρική τάση που παράγει το υλικό. Αυτό διαφέρει από το φαινόμενο της πιεζοαντίστασης κατά το οποίο στα αντίστοιχα υλικά αλλάζει το μέτρο της αντίστασής τους και όχι η ηλεκτρική τους τάση ή φόρτιση. Η δύναμη που ασκείται στο πιεζοηλεκτρικό υλικό μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε δύο τύπους την καμπτική και την θλιπτική. Η τάση από τη θλιπτική δύναμη μπορεί να γίνει αντιληπτή σαν μια δύναμη στην μια πλευρά του υλικού όταν η άλλη πλευρά παραμένει πάνω σε μια σταθερή επιφάνεια. Αντίθετα,

η καμπτική δύναμη αφορά την περίπτωση όπου τάση ασκείται και από τις δύο πλευρές του υλικού.

Η συσκευή αποτελείται από έναν σωλήνα σφραγισμένο σε κάθε του πλευρά από δύο πιεζοηλεκτρικούς αισθητήρες και γεμίζεται μερικά με ένα ρευστό μεγάλου ειδικού βάρους. Οι αισθητήρες είναι αντίθετα φορτισμένοι και έχουν επιλεχθεί ώστε να έχουν συγκεκριμένη χωρητικότητα. Καθώς η δόνηση ενεργεί πάνω στο ρευστό, ο όγκος του ρευστού αναπροσαρμόζεται ασκώντας κάθε φορά διαφορετική πίεση στο πιεζοηλεκτρικό υλικό. Το υλικό παράγει ηλεκτρική τάση η οποία καταγράφεται συνέχεια. Εν συνεχεία η διαφορά τάσης υπολογίζεται, πινακοποιείται και η δεσπόζουσα επιτάχυνση αναγνωρίζεται.

Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά που χρησιμοποιούνται μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες τα κρυσταλλικά και τα κεραμικά. Περισσότερο διαδεδομένα είναι τα κρυσταλλικά υλικά (συνήθως quartz). Τα υλικά αυτά αν και έχουν μεγάλης διάρκειας ζωής χωρίς να μειωθεί η ευαισθησία τους στον χρόνο είναι λιγότερο ευαίσθητα και περισσότερο ακριβά σε σχέση με τα κεραμικά. Τα κεραμικά υλικά χρησιμοποιούν στοιχεία όπως το βάριο, το τινάνιο κλπ. και το μειονέκτημά τους είναι ότι η ευαισθησία τους φθίνει σχετικά γρήγορα [54].



Εικόνα 3.15: Τομή πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα θλιπτικής δύναμης [54].

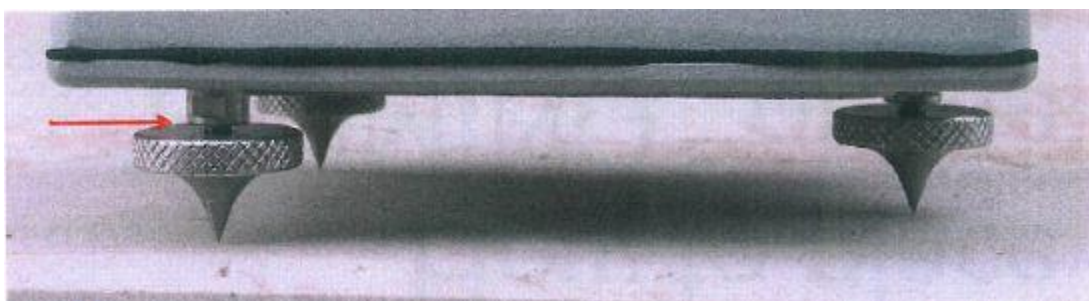
Σε εφαρμογές όπου χρησιμοποιούνται μικρής ευαισθησίας υλικά μπορούν πολλοί κρύσταλλοι να συνδεθούν μεταξύ τους για ενίσχυση των αποτελεσμάτων. Εξαιτίας της μικρής έντασης του σήματος εξόδου του επιταχυνσιόμετρου παλαιότερα χρησιμοποιούνταν εξωτερικοί ενισχυτές. Όμως, επειδή η μέθοδος

αυτή είναι γενικά μη πρακτική λόγω του θορύβου που προκαλείται από τη συσκευή ενίσχυσης, οι ενισχυτές σήματος, σήμερα, είναι ενσωματωμένοι στην θήκη των επιταχυνσιομέτρων.

Η πιεζοηλεκτρική τεχνολογία δεν επηρεάζεται από ηλεκτρομαγνητικά πεδία και ραδιενέργεια, επιτρέποντας την διενέργεια μετρήσεων ακόμη κάτω από αντίξοες συνθήκες. Ένα μειονέκτημα των πιεζοηλεκτρικών αισθητήρων είναι ότι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πραγματικά στατικές μετρήσεις. Μια στατική δύναμη θα έχει ως αποτέλεσμα σταθερή φόρτιση του υλικού, και καθώς λειτουργεί με εσωτερικούς αισθητήρες, μη τέλεια μονωμένα υλικά και μείωση της ικανότητας αίσθησης, θα έχουμε ως αποτέλεσμα συνεχή ελάττωση των ηλεκτρονίων και συνεχή μείωση της έντασης του σήματος.

3.3.3 Σύστημα εγκατάστασης, οριζοντίωσης και ενεργοποίησης της συσκευής

Για την λειτουργία της η συσκευή διαθέτει επί της θήκης αλουμινίου ειδικά πλήκτρα έναρξης/διαχείρισης καθώς και οθόνη LCD όπου φαίνεται η τρέχουσα κατάσταση της συσκευής και των καταγραφών. Η παροχή ενέργειας επιτυγχάνεται από την χρήση 2 εσωτερικών μπαταριών AA. Ακόμη, για την πραγματοποίηση των μετρήσεων απαραίτητη είναι η τοποθέτηση τριών ακίδων στήριξης στην βάση του οργάνου. Ανάλογα με την επιφάνεια που εγκαθίσταται το όργανο, οι ακίδες στήριξης είναι είτε κοντές με μήκος διεύθυνσης 1,7cm (εικόνα 3.16), είτε μακρύτερες με μήκος διεύθυνσης 3,5cm (εικόνα 3.17) για την περίπτωση σκληρής επιφάνειας/ βράχου ή μαλακού εδάφους αντίστοιχα.



Εικόνα 3.16: Κοντές ακίδες στην βάση του οργάνου σε περίπτωση τοποθέτησής του σε σκληρή επιφάνεια ή βράχο [52].



Εικόνα 3.17: Μακριές ακίδες στην βάση του οργάνου σε περίπτωση τοποθέτησής του σε μαλακό έδαφος [52].

Η οριζοντίωση της συσκευής γίνεται χειροκίνητα από τον χειριστή με την βοήθεια των ρυθμιζόμενων ακίδων και της φυσαλίδας οριζοντίωσης που υπάρχει στο επάνω μέρος της θήκης (εικόνα 3.17).



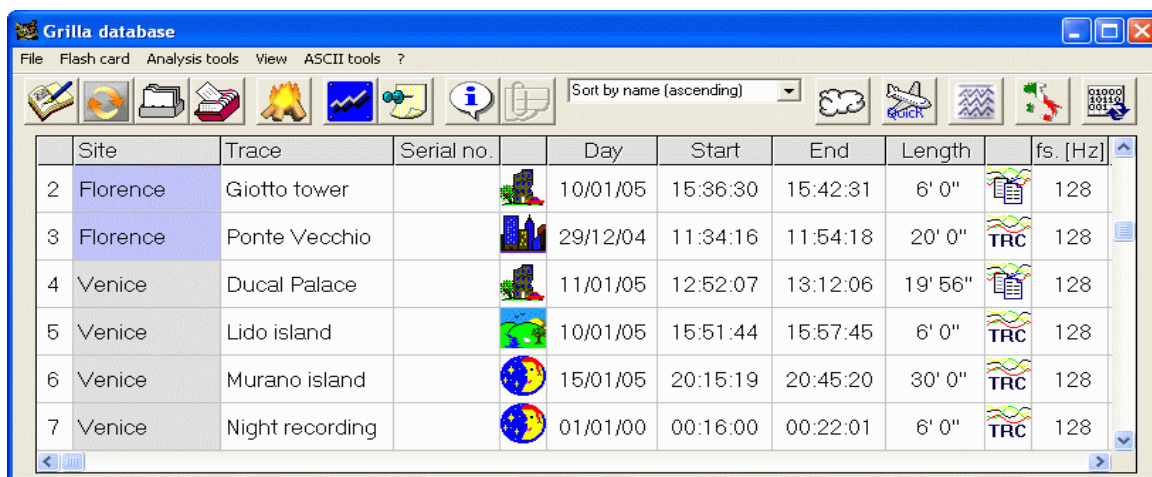
Εικόνα 3.17: Λεπτομέρεια όπου φαίνεται η φυσαλίδα οριζοντίωσης του οργάνου.

3.3.4 Λογισμικό συσκευής «Tromino»

Η διαχείριση του οργάνου μπορεί να γίνει και από απόσταση με την βοήθεια κατάλληλου λογισμικού του «Tromino manager» το οποίο επιτρέπει τη συνεχή παρακολούθηση και αποθήκευση των δεδομένων αλλά και τον ορισμό «συναγερμών» που ενεργοποιούν ή σταματούν την αποθήκευση ανάλογα με το αν οι καταγραφές βρίσκονται σε προκαθορισμένα από τον χρήστη όρια μετρήσεων.

Για την επεξεργασία των μετρήσεων του οργάνου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό «Grilla», το οποίο μας επιτρέπει να έχουμε πρόσβαση, να αποθηκεύουμε και να αναλύουμε τις καταγραφές. Από την ανάλυση μπορούμε να παράγουμε φασματικές αναλύσεις, συνάρτηση του λόγου οριζόντιας προς κατακόρυφης καταγραφής (HVSR) ως προς τον χρόνο ή την κατεύθυνση, δεδομένα εξόδου εικόνας και κειμένου [52].

Όπως φαίνεται και στη παρακάτω εικόνα (εικόνα 3.18) τα πεδία στο παράθυρο διαχείρισης αφορούν: τη θέση των μετρήσεων, την ημερομηνία, ώρα και διάρκεια των μετρήσεων, την κατάσταση που βρίσκονται οι μετρήσεις (αν έχουν αναλυθεί ή όχι) και τις πληροφορίες GPS (εφ' όσον αυτές υπάρχουν).



The screenshot shows the 'Grilla database' application window. It has a menu bar with 'File', 'Flash card', 'Analysis tools', 'View', 'ASCII tools', and '?'. Below the menu is a toolbar with various icons for file operations, analysis, and viewing. A dropdown menu is set to 'Sort by name (ascending)'. The main area contains a table with the following data:

	Site	Trace	Serial no.		Day	Start	End	Length		fs. [Hz]
2	Florence	Giotto tower			10/01/05	15:36:30	15:42:31	6' 0"		128
3	Florence	Ponte Vecchio			29/12/04	11:34:16	11:54:18	20' 0"	TBC	128
4	Venice	Ducal Palace			11/01/05	12:52:07	13:12:06	19' 56"		128
5	Venice	Lido island			10/01/05	15:51:44	15:57:45	6' 0"	TBC	128
6	Venice	Murano island			15/01/05	20:15:19	20:45:20	30' 0"	TBC	128
7	Venice	Night recording			01/01/00	00:16:00	00:22:01	6' 0"	TBC	128

Εικόνα 3.18: Αρχικό παράθυρο διαχείρισης όπου φαίνονται συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά όλων των καταγραφών [52].

Τέλος, με το λογισμικό «Grilla» ο χειριστής μπορεί να αποτυπώσει συναρτήσεις από διαφορετικές μετρήσεις σε ένα γράφημα για λόγους σύγκρισης. Αναλυτικότερα στοιχεία για την διαδικασία επεξεργασίας των καταγραφών με το λογισμικό «Grilla» δίνονται σε επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Το Μέγαρο Παπαδόπετρου είναι ένα διώροφο κτίριο διαστάσεων 16,70μx14.05μ και ύψους 12μ κατασκευασμένο από φέρουσα λιθοδομή το 1912. Τα δάπεδα είναι ξύλινα με ενισχύσεις από οπλισμένο σκυρόδεμα, μέταλλο ή άλλα υλικά. Γενικά, θεωρείται ότι βρίσκονται σε αρκετά καλή κατάσταση και ότι εξασφαλίζουν τη διαφραγματική λειτουργία ανά όροφο.

4.2 ΠΛΗΘΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Σημαντικός παράγοντας για την ορθότητα των αποτελεσμάτων είναι η σωστή εκλογή των θέσεων όπου θα εγκατασταθούν τα επιταχυνσιόμετρα. Οι θέσεις αυτές πρέπει να είναι εκεί όπου παρατηρούνται οι μεγαλύτερες σχετικές μετακινήσεις του κτιρίου ώστε να είναι περισσότερο αντιληπτή η απόκριση από τους αισθητήρες. Έτσι, αποφεύγονται θέσεις όπως αυτές κατά μήκος των αξόνων συμμετρίας του κτιρίου και θέσεις κοντά στο ελαστικό κέντρο του. Αντίθετα, προτιμώνται θέσεις στα όρια των πλακών (όπως στις γωνίες της πλάκας) και γενικά θέσεις όσο το δυνατόν πιο απομακρυσμένες από το ελαστικό κέντρο.

Καθώς το κτίριο είναι ορθογωνικής κάτοψης από φέρουσα τοιχοποιία θεωρείται ότι το κέντρο ελαστικής στροφής θα βρίσκεται περίπου στο κέντρο βάρους της κάτοψης. Άρα, θα χρειαστεί να επιλεχθούν οι θέσεις στις τέσσερις γωνίες του κτιρίου που θα παρατηρούνται και οι μεγαλύτερες μετακινήσεις. Επιπλέον, για να εξασφαλίσουμε ικανό πλήθος δεδομένων από διαφορετικές θέσεις για την στατιστική επεξεργασία τους αποφασίστηκε να ληφθούν μετρήσεις και από άλλα σημεία. Για τον προσδιορισμό του αριθμού και τον τόπο των θέσεων εγκατάστασης, το κτίριο χωρίστηκε σε κάναβο. Επιλέχθηκε κάναβος 3x3 ανά όροφο και έτσι προέκυψαν 9 θέσεις ανά όροφο. Επίσης, ειδικά για το όργανο «Tromino» που μπορεί να λαμβάνει μετρήσεις και επί εδάφους καθορίστηκαν και πέντε θέσεις στον περιβάλλον χώρο νότια του κτιρίου εκ των οποίων οι τρεις συνευθειακές (εικόνα 4.1).

Κάθε θέση ορίζεται ως εξής: X_{ij}^Z

Όπου: X=A για τον ισόγειο όροφο

B για τον πρώτο όροφο

Γ για το δώμα

Π για τον περιβάλλον χώρο

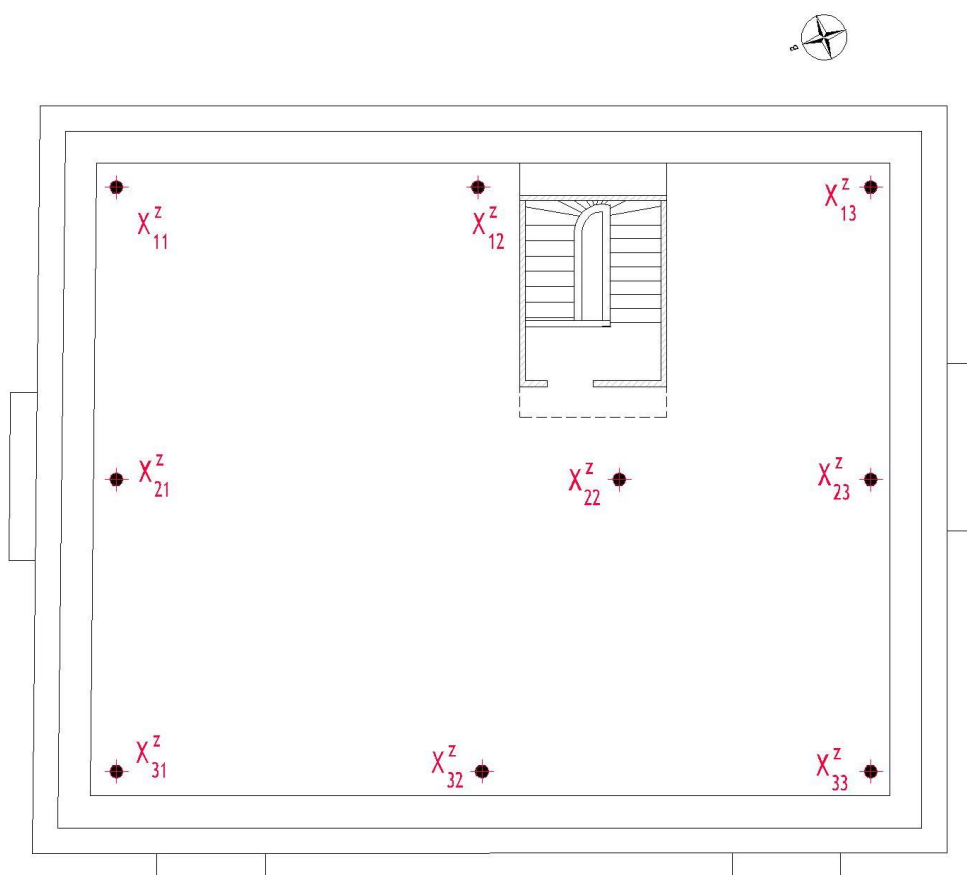
RF θέση αναφοράς στο δώμα μόνο για τα όργανα «syscom»

Z=tr για το όργανο «Tromino»

s για τα όργανα της εταιρείας «syscom»

ij=αριθμός θέσης οργάνου στον κάναβο

Για παράδειγμα, η θέση B_{21}^{tr} είναι μια μέτρηση που έγινε με το «Tromino» στον δεύτερο όροφο δεύτερη σειρά πρώτη στήλη κοιτάζοντας την κάτοψη με το βορρά να δείχνει αριστερά.



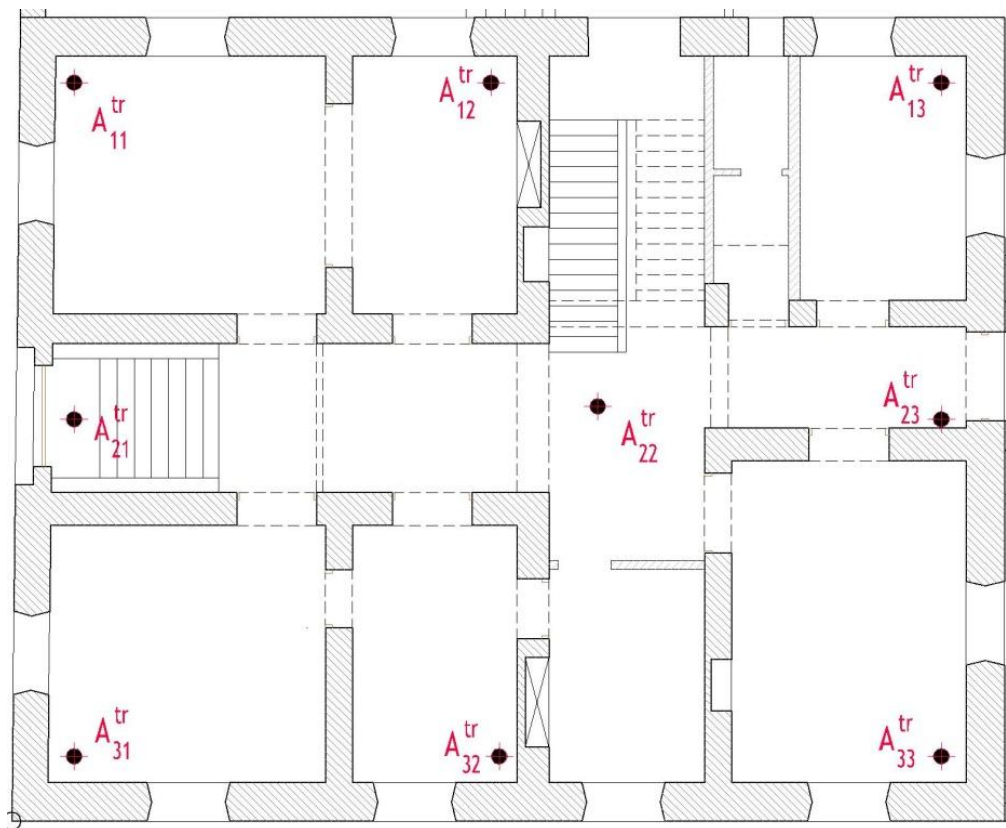
Εικόνα 4.1: Δημιουργία κανάβου και επιλογή των θέσεων.

4.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΟ ΟΡΓΑΝΟ «TROMINO»

Οι μετρήσεις με το όργανο «Tromino» πραγματοποιήθηκαν την περίοδο 26/6/2011 έως 28/6/2011. Κατά την περίοδο αυτή το κτίριο δεν λειτουργούσε και οι εφαπτόμενοι οδοί είχαν χαμηλό κυκλοφοριακό φόρτο εκτός από την Τρίτη μέρα που οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ώρες λειτουργίας των καταστημάτων και υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου.

4.3.1 Θέσεις οργάνου

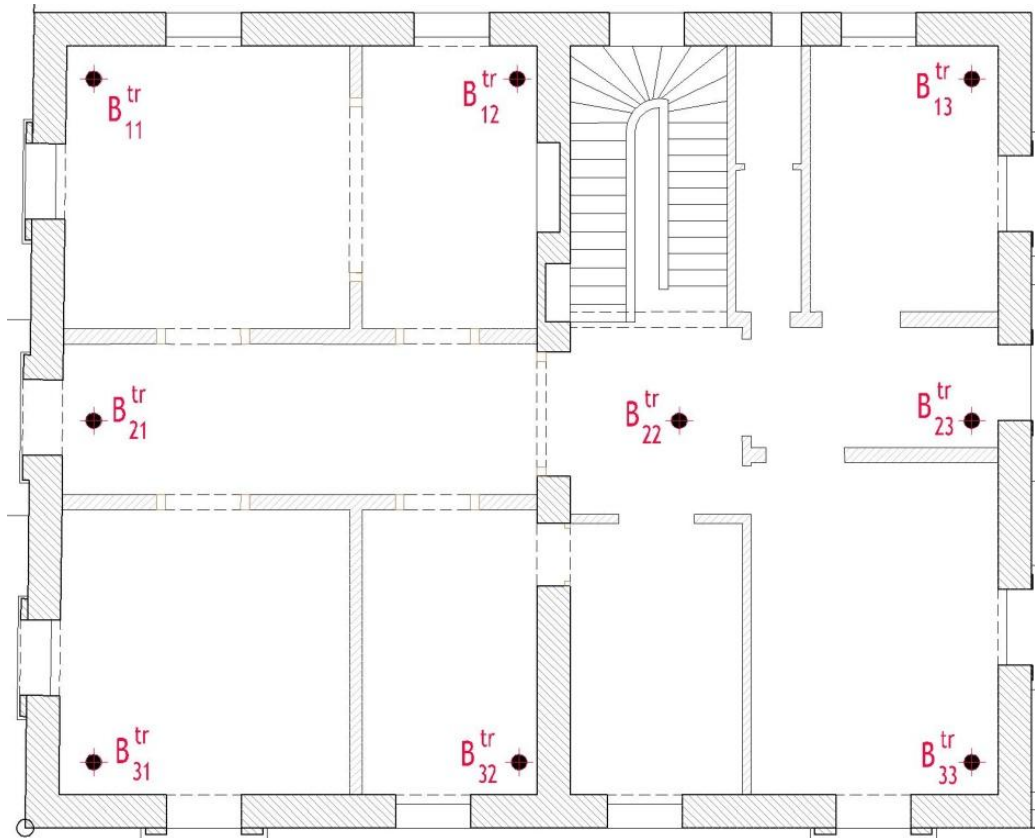
Αναλυτικότερα, οι θέσεις των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν με το όργανο «Tromino» είναι αυτές που φαίνονται στην εικόνα 4.2 έως 4.7.



Εικόνα 4.2: Θέσεις οργάνου «Tromino» στο ισόγειο του κτιρίου. Λεπτομερέστερο σχέδιο υπό κλίμακα βρίσκεται στο παράρτημα του τεύχους.



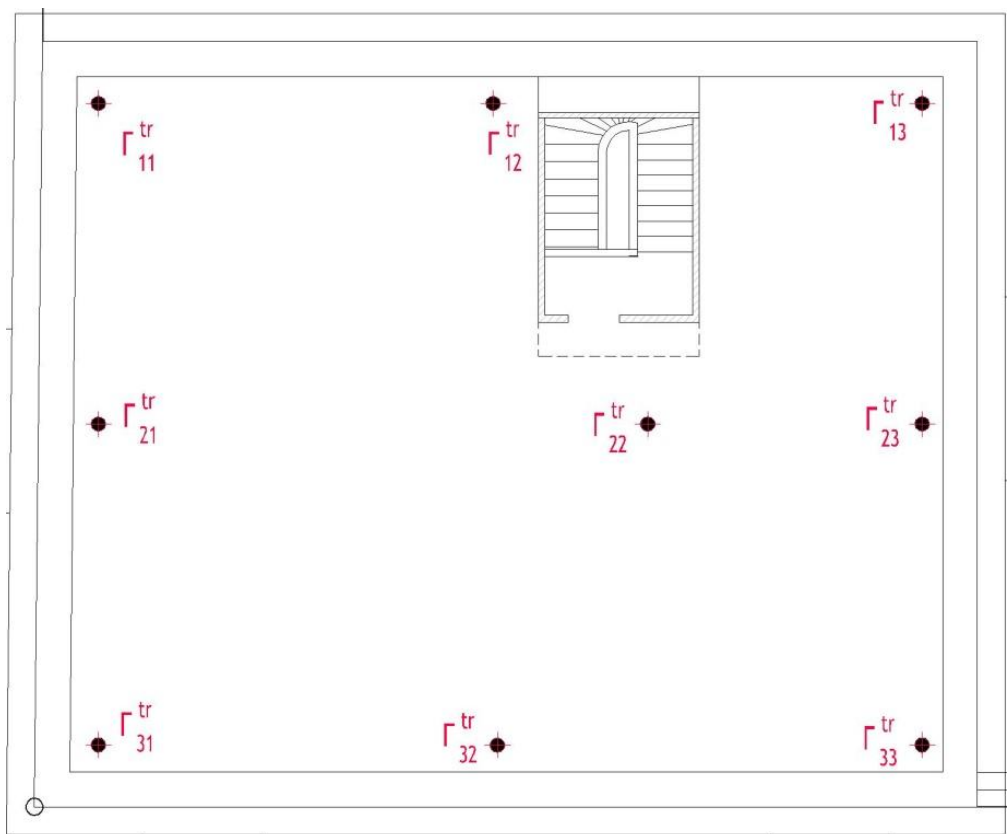
Εικόνα 4.3: Θέση A_{32}^{tr} οργάνου «Tromino» στο ισόγειο του κτιρίου.



Εικόνα 4.4: Θέσεις οργάνου «Tromino» στον όροφο του κτιρίου. Λεπτομερέστερο σχέδιο υπό κλίμακα βρίσκεται στο παράρτημα του τεύχους.



Εικόνα 4.5: Θέση B_{22}^{tr} οργάνου «Tromino» στον όροφο του κτιρίου.



Εικόνα 4.6: Θέσεις οργάνου «Tromino» στο δώμα του κτιρίου. Λεπτομερέστερο σχέδιο υπό κλίμακα βρίσκεται στο παράρτημα του τεύχους.



Εικόνα 4.7: Θέση Γ_{11}^{tr} οργάνου «Tromino» στο δώμα του κτιρίου.

4.3.2 Διαδικασία και παραμετροποίηση

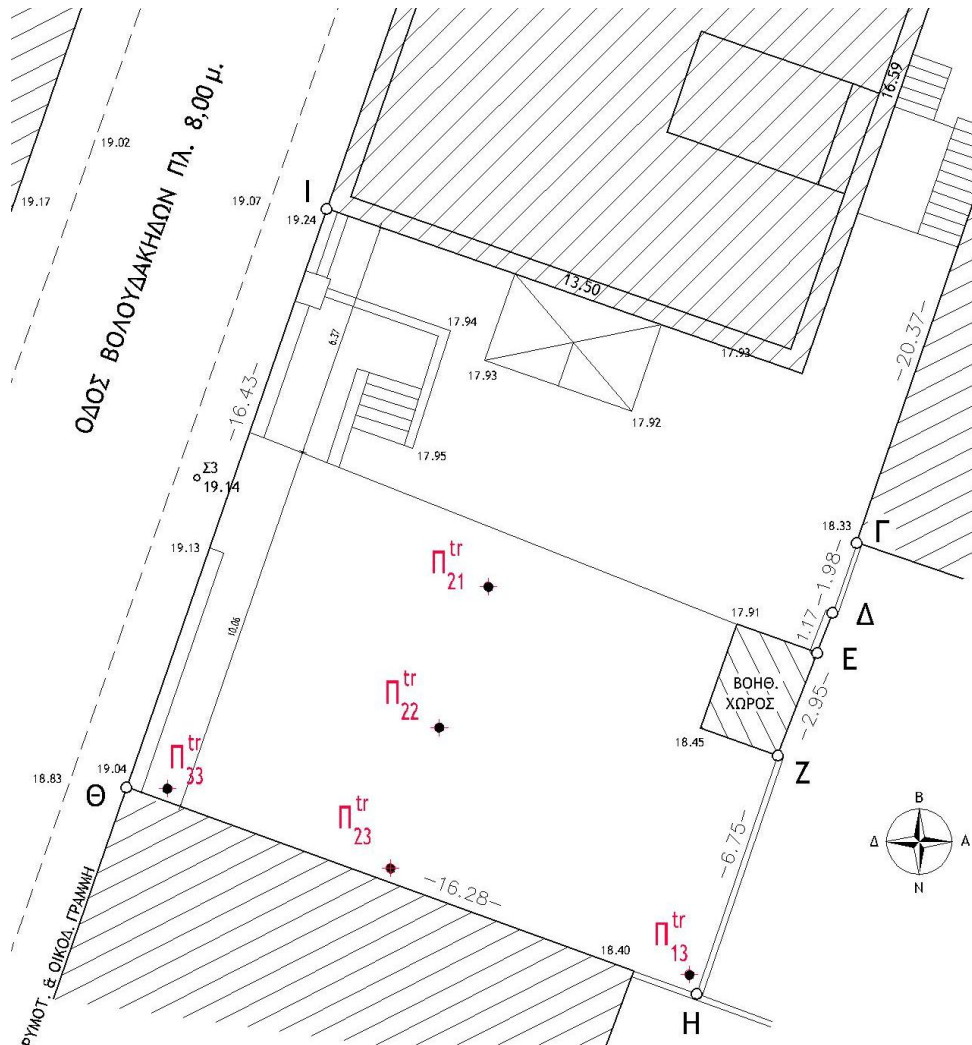
Η διαδικασία εγκατάστασης και χρήσης είναι η εξής:

1. Αρχικά τοποθετούνται οι κατάλληλες ακίδες στην βάση του. Οι κοντές (εικόνα 3.16) για το κτίριο και οι μακρύτερες (εικόνα 3.17) για τον περιβάλλοντα χώρο.
2. Εν συνεχεία απομακρύνονται από την επιφάνεια τυχόν ξένα σώματα αφού είναι σημαντικό η βάση του οργάνου να μην έχει σχετικές μετακινήσεις ως προς το κτίριο [56].
3. Το όργανο τοποθετείται ώστε ο άξονας X του αισθητήρα να έχει κατεύθυνση προς τον Βορρά.
4. Με την βοήθεια την φουσαλίδας οριζοντίωσης και των κοχλιών σύνδεσης των ακίδων με την θήκη επιτυγχάνεται και η οριζοντίωσή του.
5. Εν συνεχεία το όργανο ενεργοποιείται από το πλήκτρο έναρξης και παραμετροποιείται ανάλογα με τις προτιμήσεις του χρήστη. Στην προκειμένη περίπτωση καθορίσθηκε η διάρκεια των καταγραφών να είναι 20 λεπτά και η δειγματοληψία να γίνεται σε 128 Hz. Επίσης, επιλέχθηκε το κανάλι 1 σύμφωνα με το οποίο το όργανο δεν έχει ενεργοποιημένο την κεραία GPS. Έτσι δεν μπορεί να συγχρονιστεί με άλλες συσκευές αλλά ούτε και να δώσει πληροφορίες θέσης.



Εικόνα 4.8: Το πλήκτρο έναρξης έχει την ένδειξη «ON». Τα υπόλοιπα πλήκτρα χρησιμοποιούνται για επιβεβαίωση επιλογών και περιήγηση στις επιλογές χρήσης. Στην οθόνη φαίνεται ο χρόνος που απομένει μέχρι το τέλος των καταγραφών.

6. Η έναρξη των καταγραφών γίνεται χειροκίνητα με την πίεση του πλήκτρου έναρξης ενώ έχει ρυθμιστεί έτσι ώστε η λήξη να γίνεται αυτόματα μετά το προκαθορισμένο διάστημα. Ο χειριστής ειδοποιείται για την λήξη των καταγραφών με ηχητικό σήμα και αφού το απενεργοποιήσει μπορεί να το μεταφέρει στην επόμενη θέση με ασφάλεια.



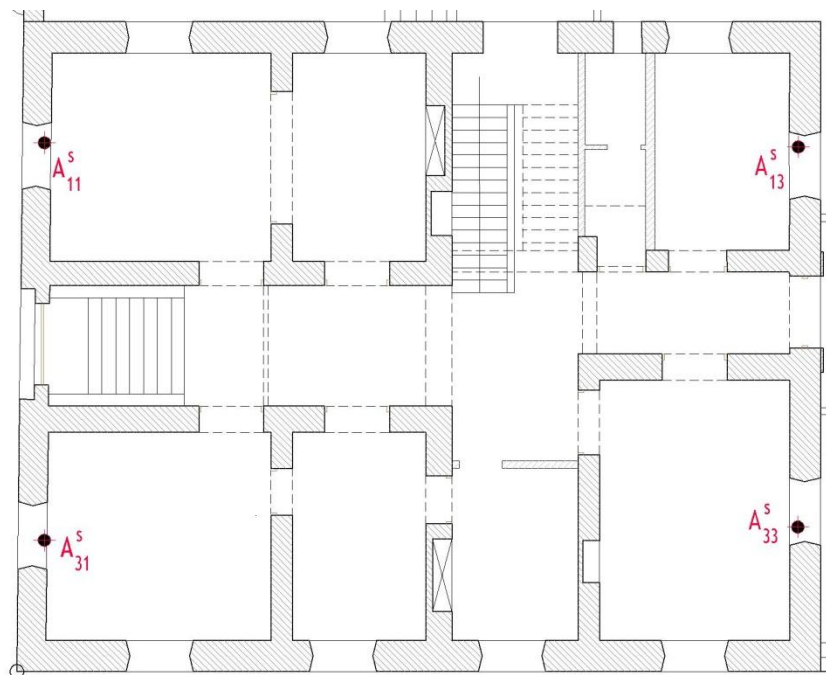
Εικόνα 4.9: Θέσεις οργάνου «Tromino» στον περιβάλλον χώρο του κτιρίου. Λεπτομερέστερο σχέδιο υπό κλίμακα βρίσκεται στο παράρτημα του τεύχους.

4.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΑ ΟΡΓΑΝΑ «SYSCOM»

Οι μετρήσεις με τα όργανα «syscom» πραγματοποιήθηκαν την 5/11/2011. Λόγω του ότι οι μετρήσεις με τα όργανα «syscom» ήταν περισσότερο χρονοβόρες και παρόλα αυτά έπρεπε να γίνουν κατά την διάρκεια μιας μόνο ημέρας, το πλήθος το μετρήσεων μειώθηκε στις 4 μετρήσεις ανά όροφο συν μια θέση αναφοράς δηλαδή συνολικά 13 θέσεις. Όμως λόγω μικρής μνήμης του οργάνου δύο μετρήσεις στο δώμα διαγράφηκαν και έτσι για επεξεργασία είχαμε τελικά 11 θέσεις.

4.4.1 Θέσεις αισθητήρων

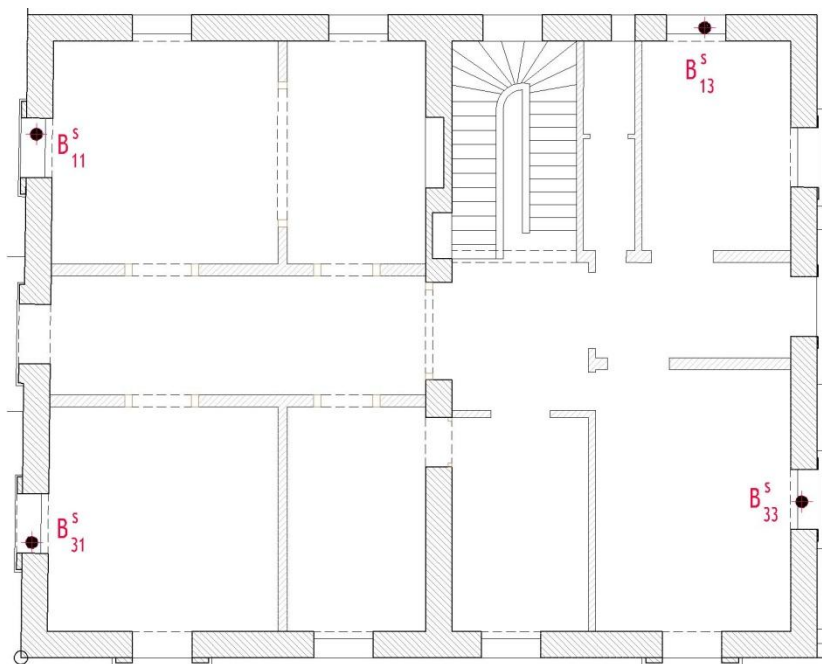
Καθώς μεγάλο μέρος των δαπέδων του κτιρίου είχαν επίστρωση από ξύλο υπήρχε ο κίνδυνος το δάπεδο να λειτουργήσει σαν αποσβεστήρας και οι αποκρίσεις που θα ανίχνευε το όργανο θα ήταν αλλοιωμένες. Έτσι, αποφασίστηκε οι αισθητήρες να τοποθετηθούν στα περβάζια των παραθύρων που ήταν πλησιέστερα στις προεπιλεγμένες θέσεις (εικόνα 4.1). Τελικά οι θέσεις των οργάνων «syscom» που τελικά επεξεργάστηκαν είναι αυτές που φαίνονται στις εικόνες 4.10 έως 4.16.



Εικόνα 4.10: Θέσεις οργάνων «syscom» στον ισόγειο όροφο του κτιρίου. Λεπτομερέστερο σχέδιο υπό κλίμακα βρίσκεται στο παράρτημα του τεύχους.



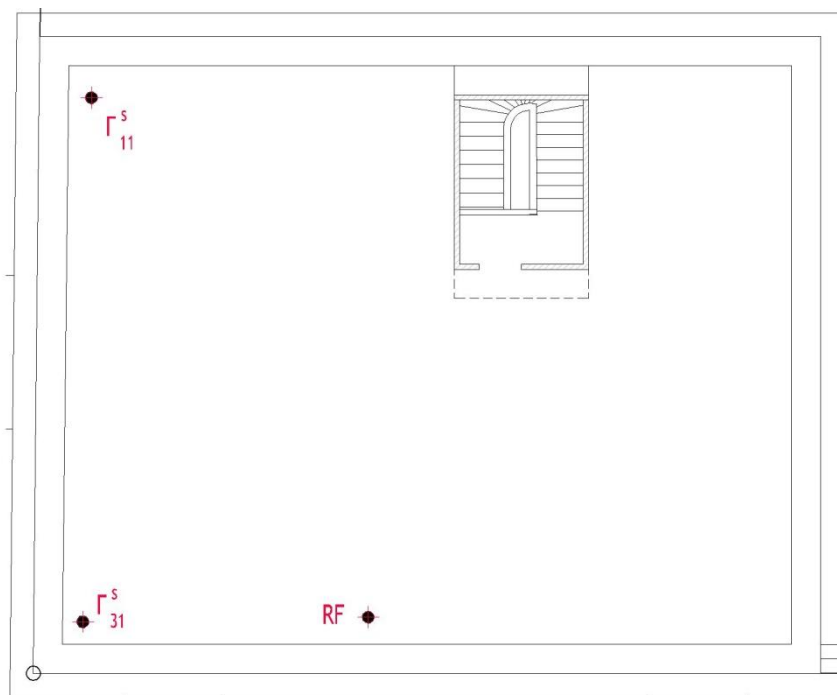
Εικόνα 4.11: Θέση A_{11}^s καταγραφικού και αισθητήρα «syscom» στο ισόγειο του κτιρίου.



Εικόνα 4.12: Θέσεις οργάνων «syscom» στον πρώτο όροφο του κτιρίου. Λεπτομερέστερο σχέδιο υπό κλίμακα βρίσκεται στο παράρτημα του τεύχους.



Εικόνα 4.13: Θέση B_{33}^s καταγραφικού και αισθητήρα «syscom» στον όροφο του κτιρίου.



Εικόνα 4.14: Θέσεις οργάνων «syscom» στο δώμα του κτιρίου. Λεπτομερέστερο σχέδιο υπό κλίμακα βρίσκεται στο παράρτημα του τεύχους.



Εικόνα 4.15: Θέση Γ_{11}^S καταγραφικού και αισθητήρα «syscom» στον δώμα του κτιρίου.

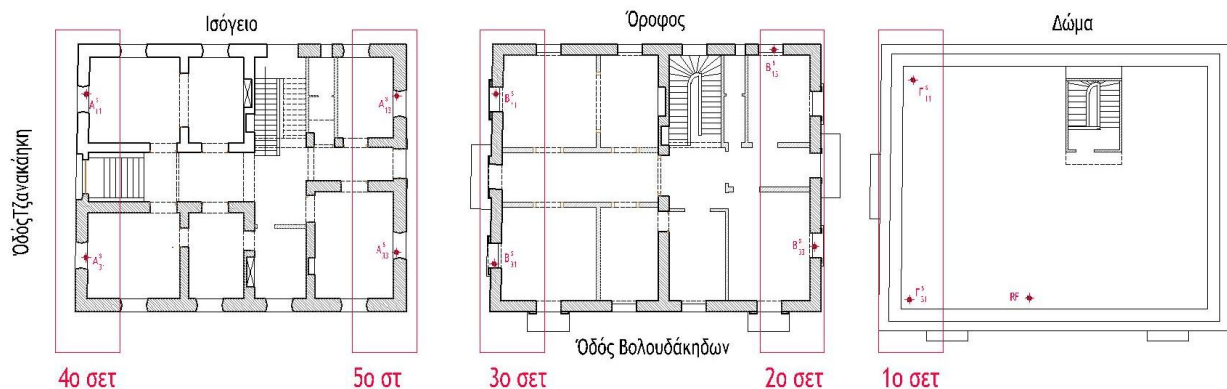


Εικόνα 4.16: Αισθητήρας και καταγραφικό της θέσης αναφοράς RF στο δώμα του κτιρίου.

4.4.2 Διαδικασία καταγραφών και παραμετροποίηση των οργάνων

Οι καταγραφές έγιναν σε σετ των 5 μετρήσεων. Σε κάθε σετ από τα τρία καταγραφικά το ένα βρισκόταν πάντα στην θέση αναφοράς (εικόνα 4.16). Τα υπόλοιπα δύο βρισκόταν αντιδιαμετρικά από τον άξονα συμμετρίας παράλληλο με την οδό Βολουδάκηδων. Έτσι, οι αισθητήρες συνέλλεξαν καταγραφές (εικόνα 4.17) από τις θέσεις

- Γ_{11}^s και Γ_{31}^s στο πρώτο σετ,
- B_{13}^s και B_{33}^s στο δεύτερο σετ,
- B_{11}^s και B_{31}^s στο τρίτο σετ,
- A_{11}^s και A_{31}^s στο τέταρτο σετ και
- A_{13}^s και A_{33}^s στο πέμπτο σετ.



Εικόνα 4.17: Τα σετ των μετρήσεων για τον κάθε όροφο. Λεπτομερέστερο σχέδιο υπό κλίμακα βρίσκεται στο παράρτημα του τεύχους.

Για κάθε σετ μετρήσεων η διαδικασία είχε ως εξής.

1. Τοποθετούνταν οι δύο αισθητήρες στην επιλεγμένη θέση με τον άξονα Υ τους παράλληλο με τον άξονα συμμετρίας του κτιρίου (παράλληλα με την οδό Βολουδάκηδων).
2. Ο κάθε αισθητήρας ξεχωριστά συνδέονταν με το αντίστοιχο καταγραφικό μέσω του ειδικού καλωδίου και ενεργοποιούσαμε τα καταγραφικά από το σχετικό διακόπτη. Από εκείνη τη στιγμή αν και οι αισθητήρες βρισκόταν σε λειτουργία και επικοινωνία με τα καταγραφικά ούτε οι δονήσεις αποθηκευόντουσαν αλλά ούτε και ήταν συντονισμένοι μεταξύ τους (εικόνα 4.18).
3. Συνδέαμε τα καταγραφικά με τη συσκευή «NCC» και την ενεργοποιούσαμε ώστε να αναγνωρίσει τα καταγραφικά.
4. Συνδέαμε τη συσκευή NCC με τον υπολογιστή (εικόνα 4.19).
5. Ενεργοποιούσαμε τον υπολογιστή και ανοίγαμε το λογισμικό διαχείρισης των οργάνων «MR communication».
6. Μέσα από το πρόγραμμα αυτό ορίζαμε
 - (a) ποιος από τους αισθητήρες θα ήταν στην θέση αναφοράς,
 - (b) όλα τα καταγραφικά να έχουν την ίδια ώρα μεταξύ τους και με τον υπολογιστή,
 - (c) να οριζοντιωθούν αυτόματα,
 - (d) να ξεκινήσει ταυτόχρονα η διαδικασία καταγραφής.

7. Μετά από είκοσι λεπτά σταματούσαμε την καταγραφή χειροκίνητα με εντολή από το λογισμικό και μεταφέραμε τα αποθηκευμένα δεδομένα από τα καταγραφικά στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.
8. Τέλος, απενεργοποιούσαμε τα καταγραφικά και μπορούσαμε να μεταφέρουμε αυτά και τους αισθητήρες στις επόμενες θέσεις με ασφάλεια.



Εικόνα 4.18: όπου φαίνεται η σύνδεση αισθητήρα-καταγραφικού.



Εικόνα 4.19: Συνδεσμολογία «NCC» με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή κατά την διάρκεια των μετρήσεων στο κτίριο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιλογή της μεθόδου ανάλυσης των δεδομένων αποτελεσμάτων έγινε με κριτήριο τη θέση όπου τοποθετήθηκε το όργανο, καθώς και το δυναμικό χαρακτηριστικό που επιθυμούσαμε να προσδιορίσουμε. Έτσι, στις θέσεις εδάφους, που μετρήθηκαν με το όργανο «Tromino» (Π12, Π22, Π23, Π33, Π13), ο προσδιορισμός την σημαντικότερης ιδιοσυχνότητας έγινε με την μέθοδο Nakamura με την βοήθεια του λογισμικού «Grilla» της εταιρείας «Micromed». Επιπλέον, το ίδιο λογισμικό χρησιμοποιήθηκε για να διερευνηθεί κατά πόσο τα

δυναμικά χαρακτηριστικά του εδάφους διαφοροποιούνται από θέση σε θέση αλλά και σε σχέση με την απόστασή τους από το κτίριο.

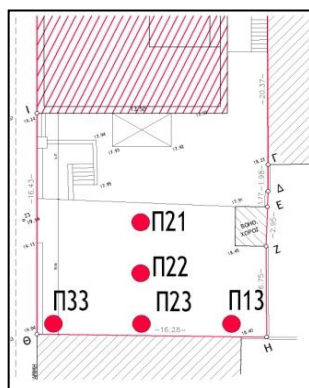
Η μέθοδος Peak – Picking χρησιμοποιήθηκε για τις θέσεις στο κτίριο ώστε να ανιχνευτούν οι ιδιοσυχνότητες στις οποίες εντοπίζονται τα μέγιστα. Για τα δεδομένα εξόδου που λήφθηκαν από το όργανο «Tromino» χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό «Grilla» ενώ για τα δεδομένα εξόδου από τα όργανα της εταιρείας «Syscom» χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό «View 2002».

Τέλος, για τον προσδιορισμό των ιδιοσυχνοτήτων, των ιδιομορφών και των συντελεστών απόσβεσης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος EFDD με τη βοήθεια του λογισμικού «ARTEMIS Extractor» από την εταιρεία «Kinematics». Στη συνέχεια παρατίθενται τα σχετικά γραφήματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων.

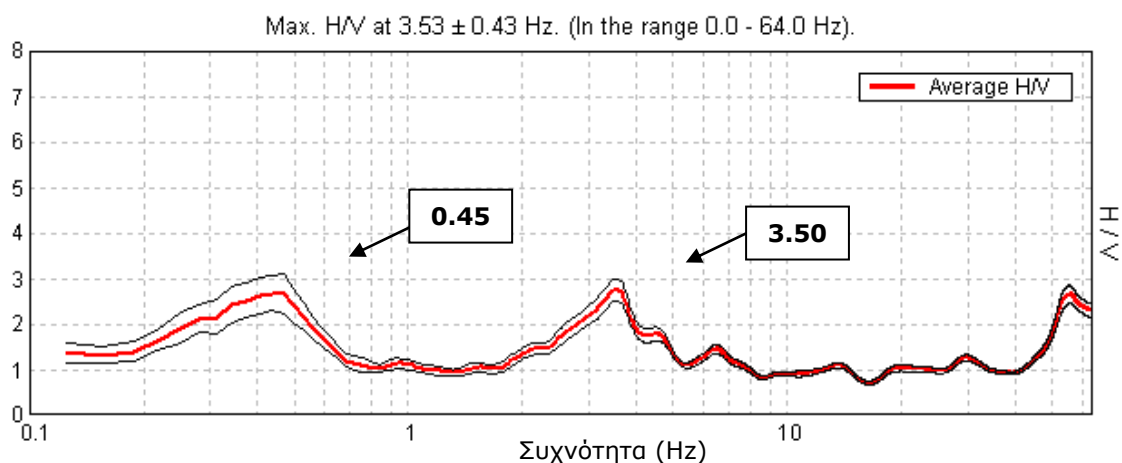
5.2 ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΝΑΚΑΜURA ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

5.2.1 Φάσμα λόγου H/V – συχνότητα στις θέσεις Π23, Π13, Π21, Π22, Π33

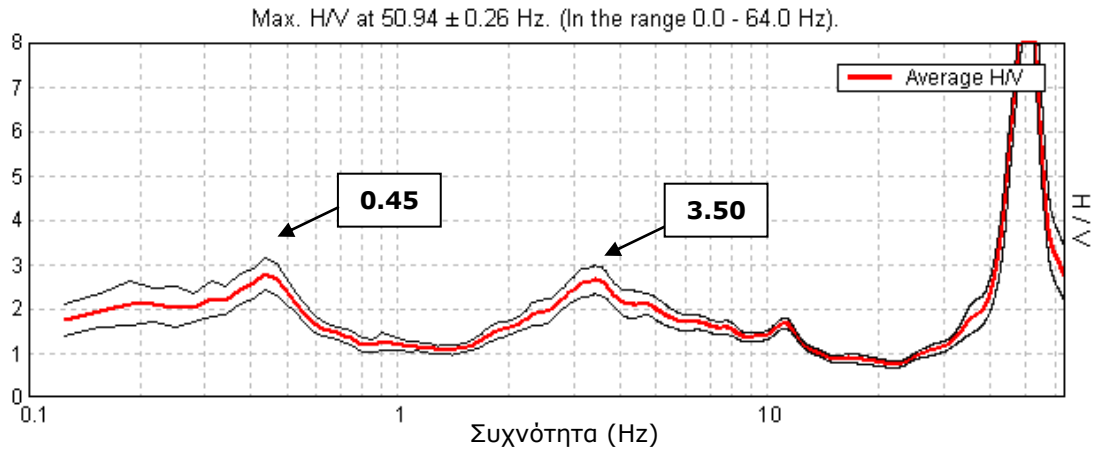
Παρακάτω παρουσιάζονται τα φάσματα λόγου H/V – συχνότητας στις θέσεις Π23, Π13, Π21, Π22, Π33 του περιβάλλοντος χώρου για κάθε θέση ξεχωριστά (σχήμα 5.2 έως 5.6) και για όλες τις θέσεις μαζί (σχήμα 5.7). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε έδαφος μαλακό και υπό συνθήκες χαμηλού κυκλοφοριακού φόρτου. Η κόκκινη γραμμή αναπαριστά το μέσο λόγο H/V ενώ οι μαύρες το διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Διακρίνουμε δύο κορυφές στο φάσμα συχνότητας - λόγου H/V στις τιμές συχνότητας 0,45 και 3,50 Hz για τις θέσεις Π23, Π13, Π21, Π22 και 0,40 και 045 Hz για την θέση Π33. Επίσης, στις μικρές τιμές συχνοτήτων οι καμπύλες όλων των θέσεων σχεδόν ταυτίζονται (σχήμα 5.7).



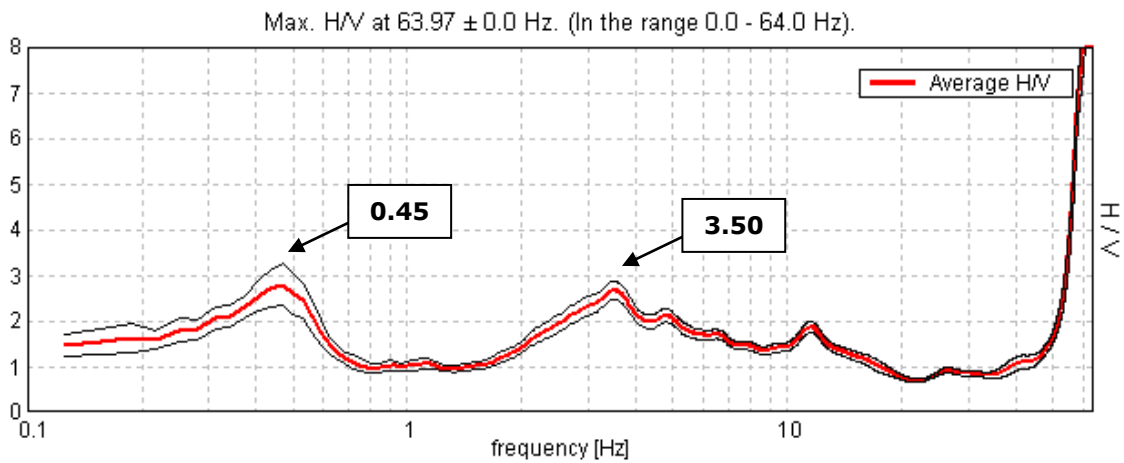
Σχήμα 5.1: Σχηματική αναπαράσταση όλων των θέσεων μέτρησης στον περιβάλλον χώρο.



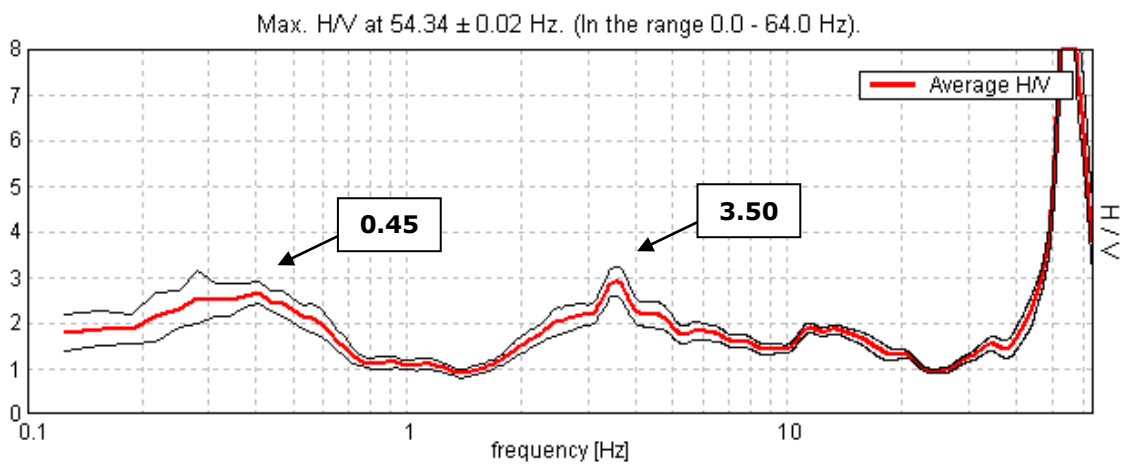
Σχήμα 5.2: Φάσμα λόγου H/V-συχνότητας στην θέση **Π23**.



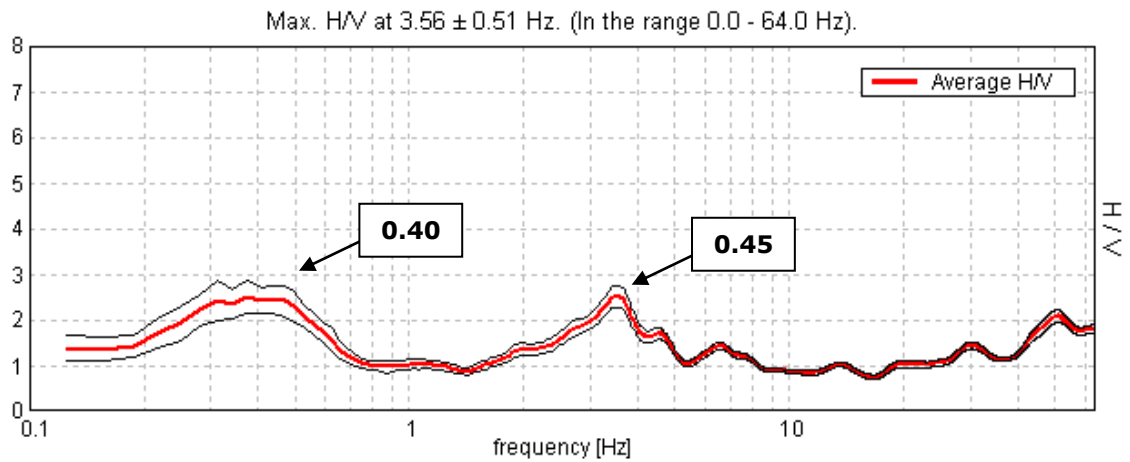
Σχήμα 5.3: Φάσμα λόγου H/V-συχνότητας στην θέση **Π13**.



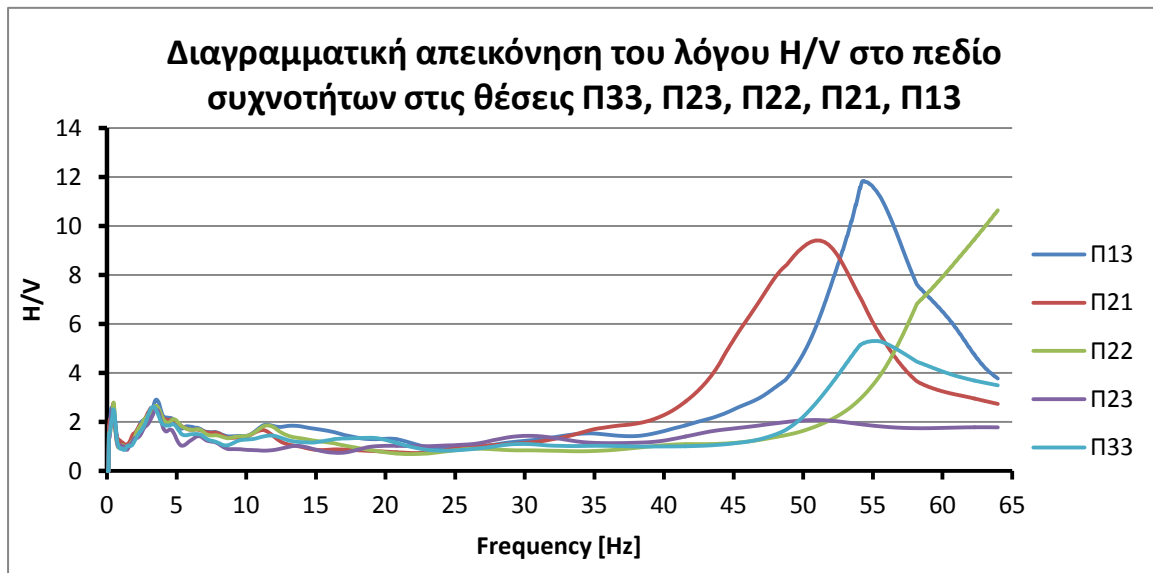
Σχήμα 5.4: Φάσμα λόγου H/V-συχνότητας στην θέση **Π21**.



Σχήμα 5.5: Φάσμα λόγου H/V-συχνότητας στην θέση **Π22**.



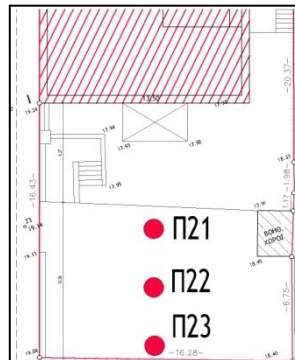
Σχήμα 5.6: Φάσμα λόγου H/V -συχνότητας στην θέση **Π33**.



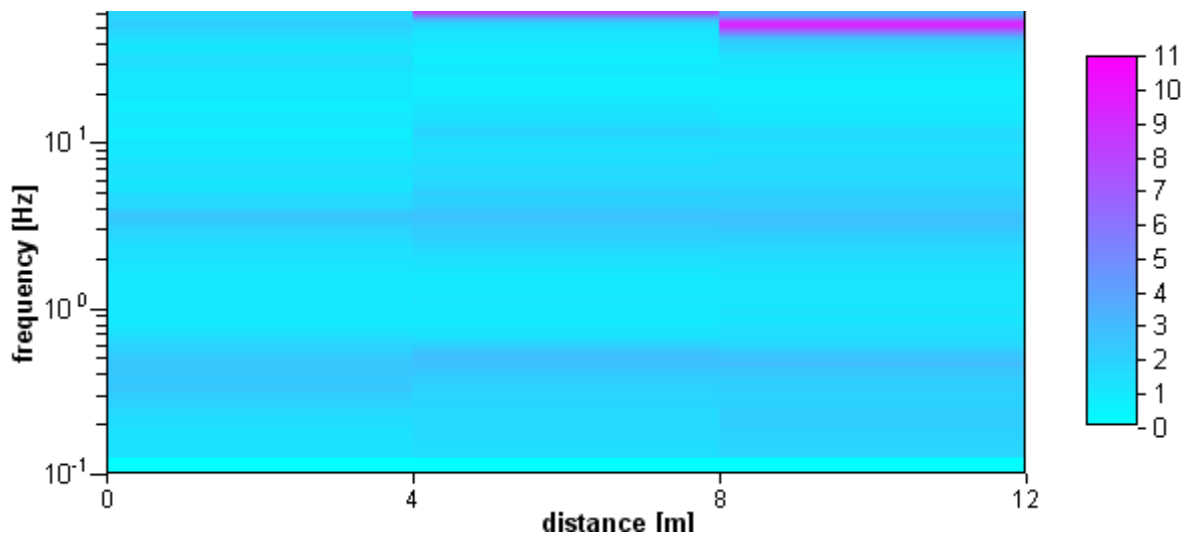
Σχήμα 5.7: Φάσμα λόγου H/V - συχνότητας σε **όλες** τις θέσεις (Π23, Π13, Π21, Π22, Π33).

5.2.2 Φάσμα συχνοτήτων ως προς την απόσταση

Απεικόνιση καταγεγραμμένων συχνοτήτων κατά μήκος της νοητής γραμμής Π23 – Π22 –Π21 θεωρώντας ως σημείο αναφοράς την θέση Π23. Παρατηρούμε ότι οι τιμές των συχνοτήτων παραμένουν περίπου σταθερές σε όλες τις θέσεις ανεξάρτητα από το αν απομακρυνόμαστε ή πλησιάζουμε στο κτίριο.



Σχήμα 5.8: Σχηματική αναπαράσταση όλων των θέσεων μέτρησης Π23, Π22, Π21 στον περιβάλλον χώρο.



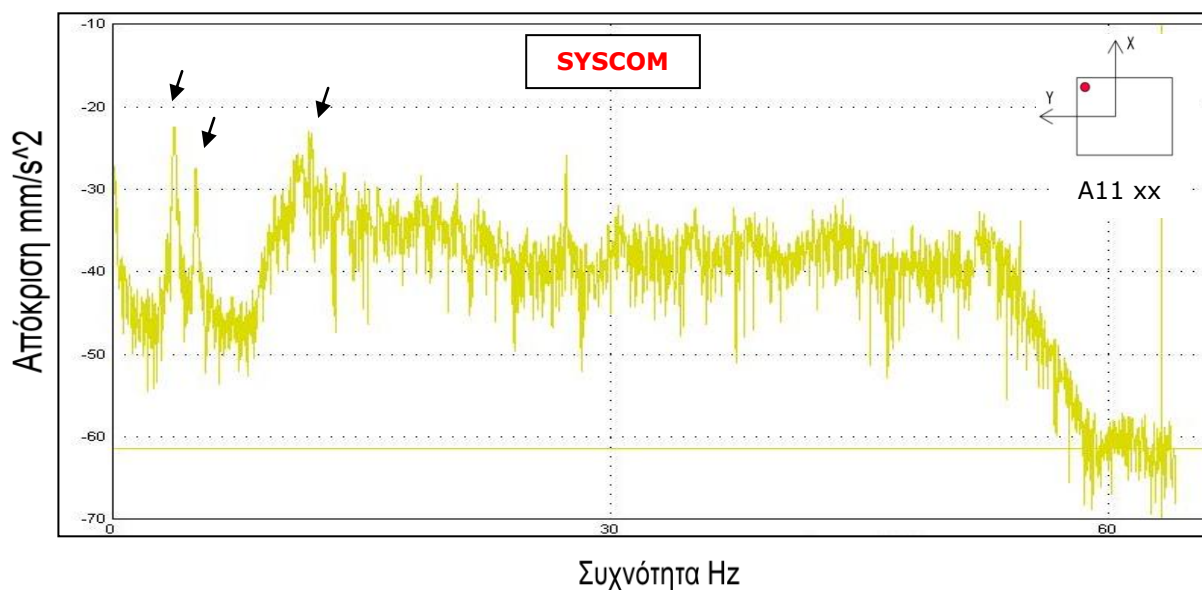
Σχήμα 5.9: Απεικόνιση καταγεγραμμένων συχνοτήτων κατά μήκος της νοητής γραμμής Π23 – Π22 –Π21

5.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ PEAK-PICKING ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ ΑΝΑ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ

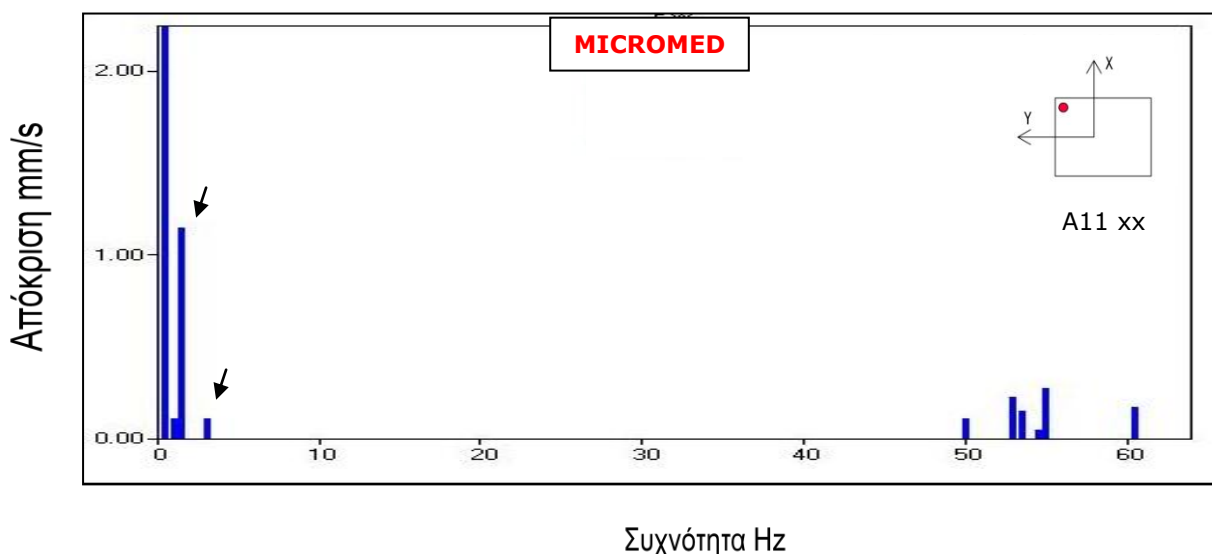
Η εκτίμηση των ιδιοσυχνοτήτων έγινε με την μέθοδο Peak – Picking στα διαγράμματα απόκρισης – συχνότητας. Παρακάτω παρατίθενται τα σχετικά διαγράμματα ανά θέση, βαθμό ελευθερίας και όργανο. Τα διαγράμματα που προέκυψαν από τα όργανα της εταιρείας Syscom και την επεξεργασία τους με το λογισμικό View 2002 είναι διαγράμματα επιτάχυνσης – συχνότητας. Αντίθετα, τα διαγράμματα που προέκυψαν από το όργανο της εταιρείας Micromed και την επεξεργασία τους από το λογισμικό Grilla είναι διαγράμματα ταχύτητας – συχνότητας. Σε κάθε περίπτωση, είναι σημαντικό να εντοπιστεί η συχνότητα στο μέγιστο της απόκρισης και όχι η απόλυτη τιμή της απόκρισης.

5.3.1 Μετρήσεις στο Ισόγειο, θέσεις A11, A13, A31, A33

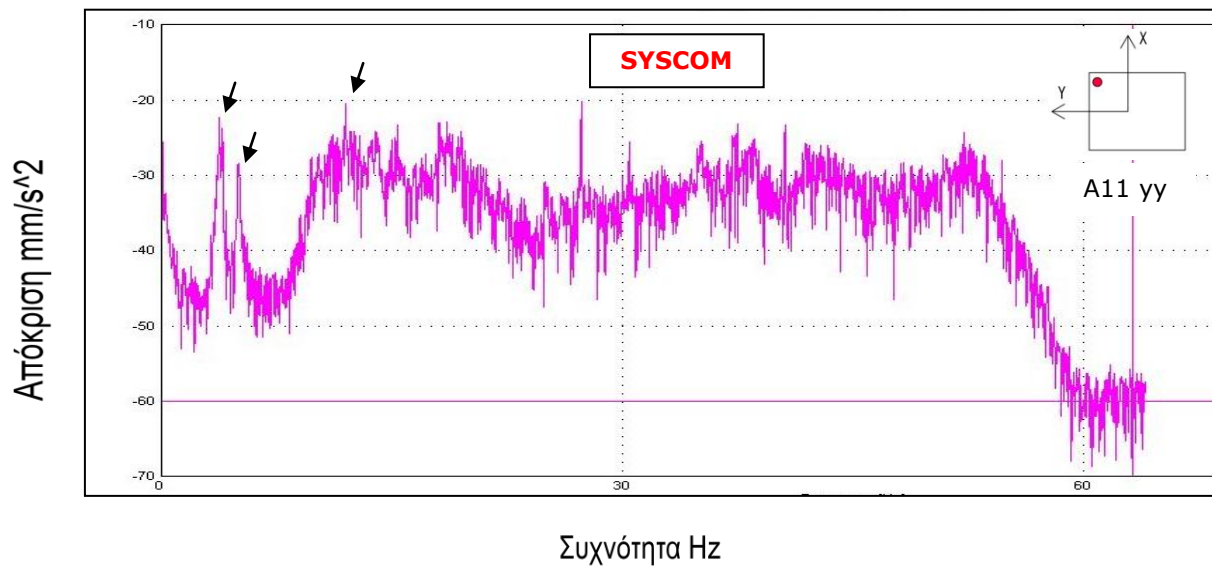
Οι μετρήσεις στο ισόγειο του κτιρίου πραγματοποιήθηκαν υπό συνθήκες χαμηλού κυκλοφοριακού φόρτου. Επίσης, το δάπεδο σε όλες τις θέσεις είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα πυκνότητας πλάτους όπου διακρίνονται οι εντονότερες κορυφές στο 3.50Hz , 4.00Hz, 11,00Hz από τα διαγράμματα της Syscom και 3.50Hz και 4.00Hz από τα διαγράμματα της Grilla.



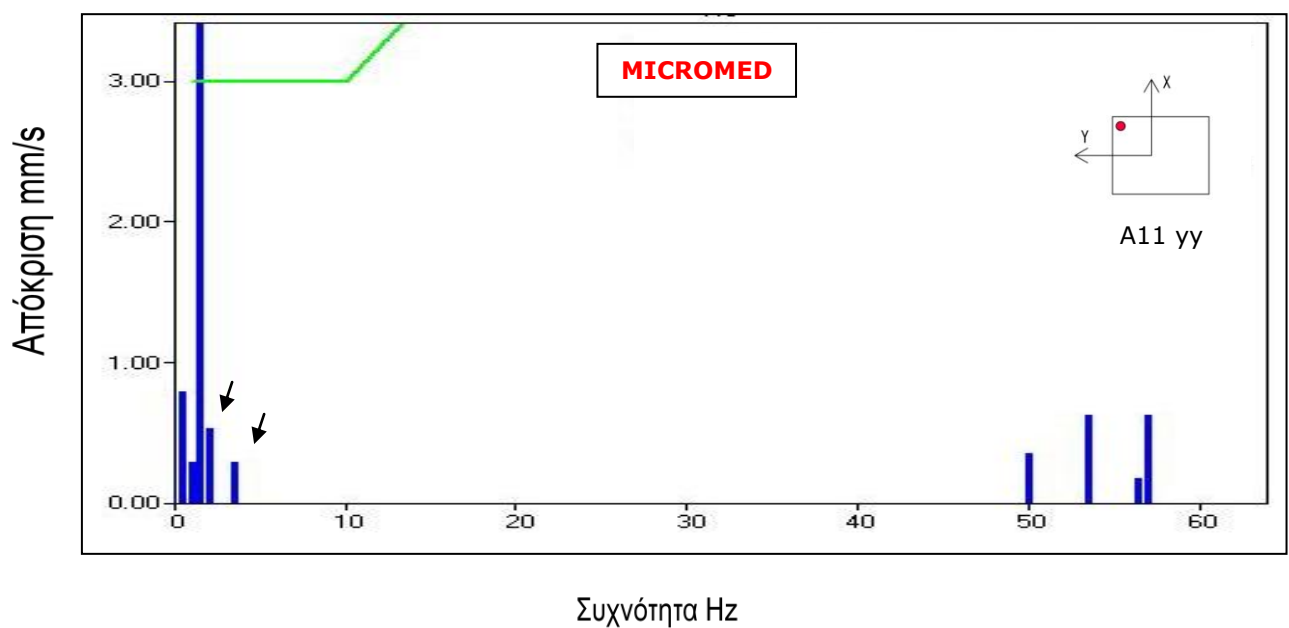
Σχήμα 5.10α: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση A1xx



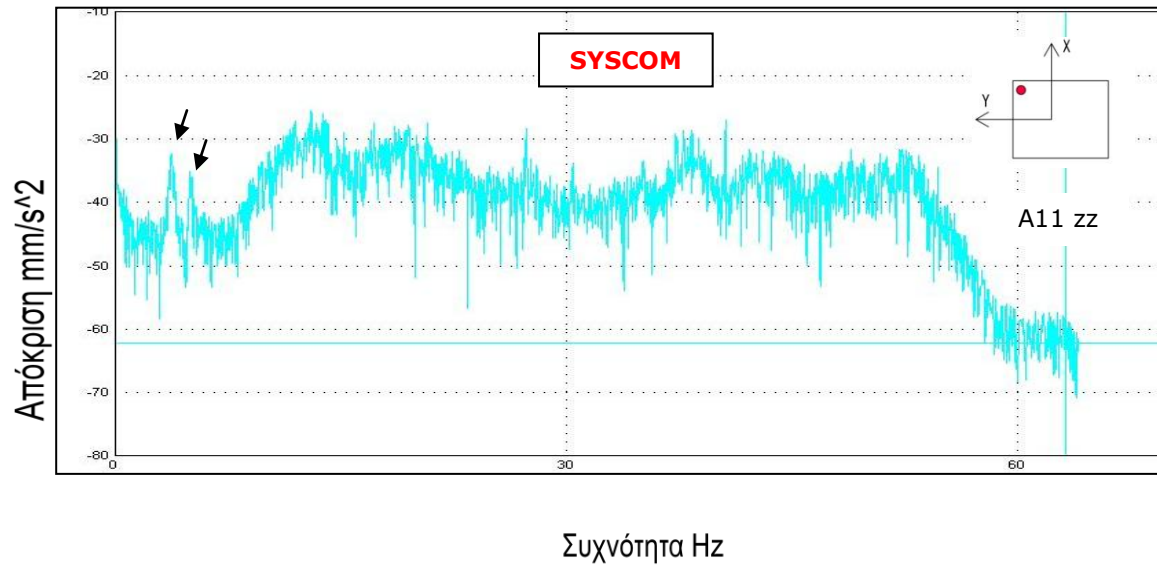
Σχήμα 5.10b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση A1xx.



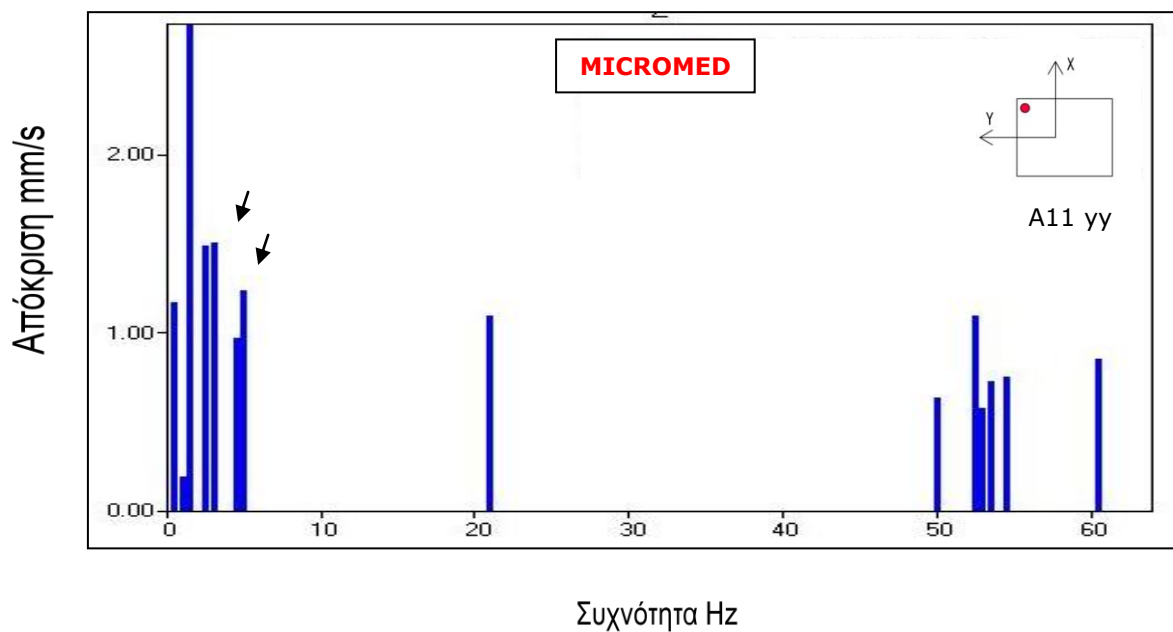
Σχήμα 5.11a: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση A11yy.



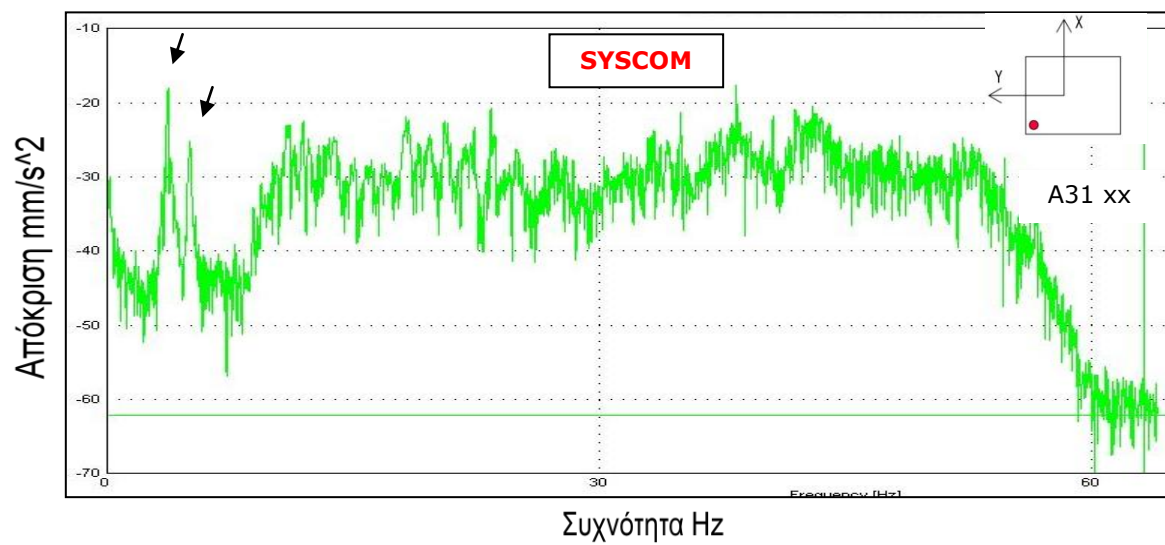
Σχήμα 5.11b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση A11yy.



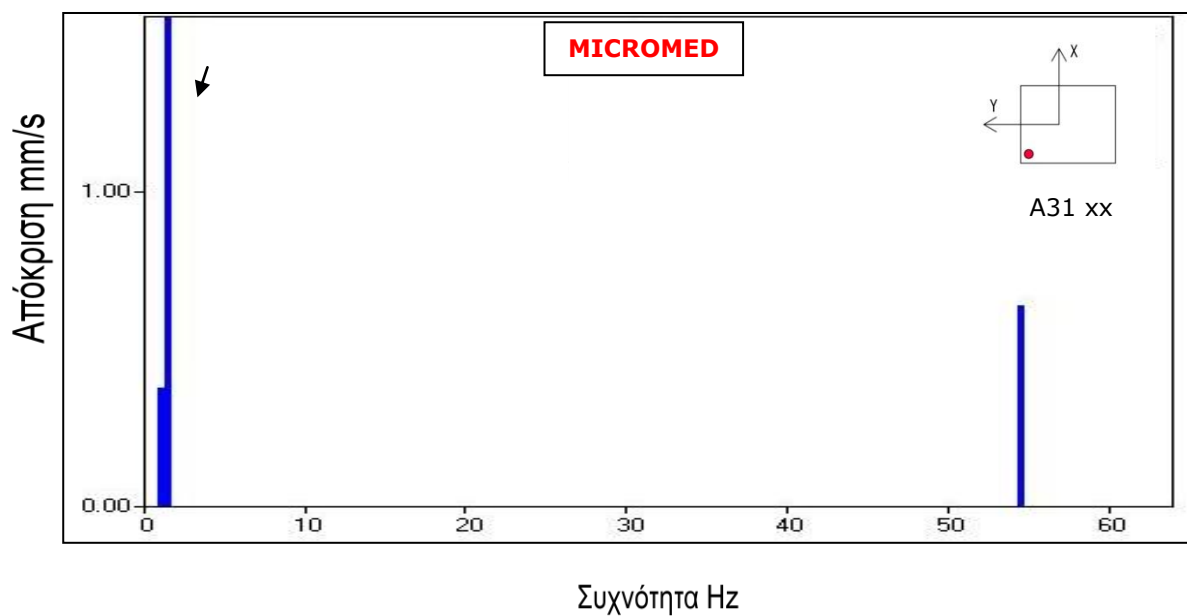
Σχήμα 5.12a: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση A11zz.



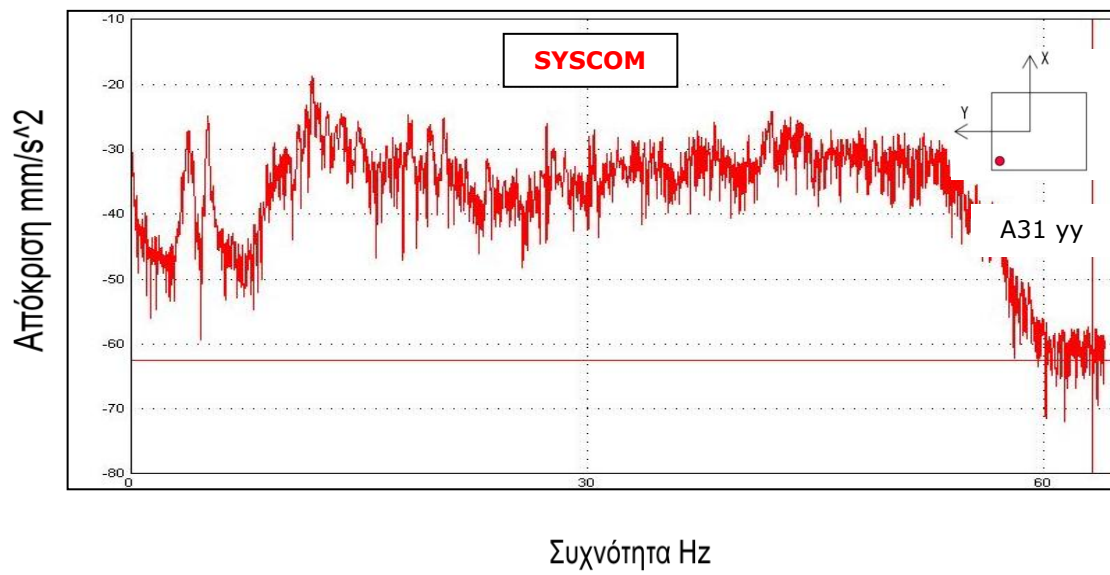
Σχήμα 5.12b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση A11zz.



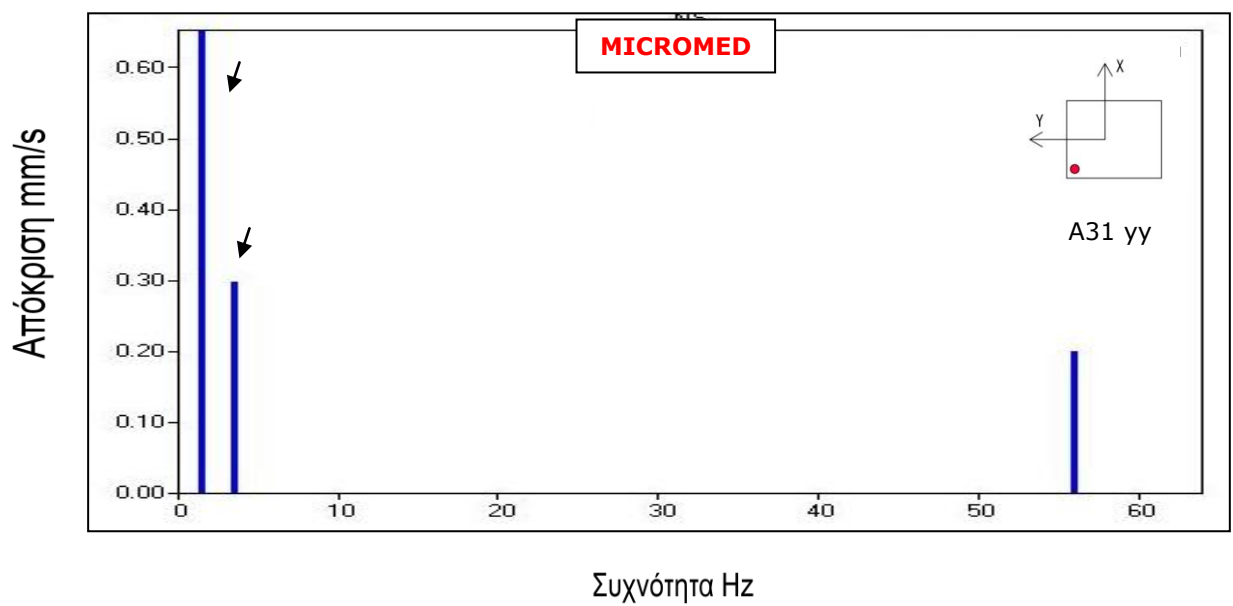
Σχήμα 5.13a: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση A31xx.



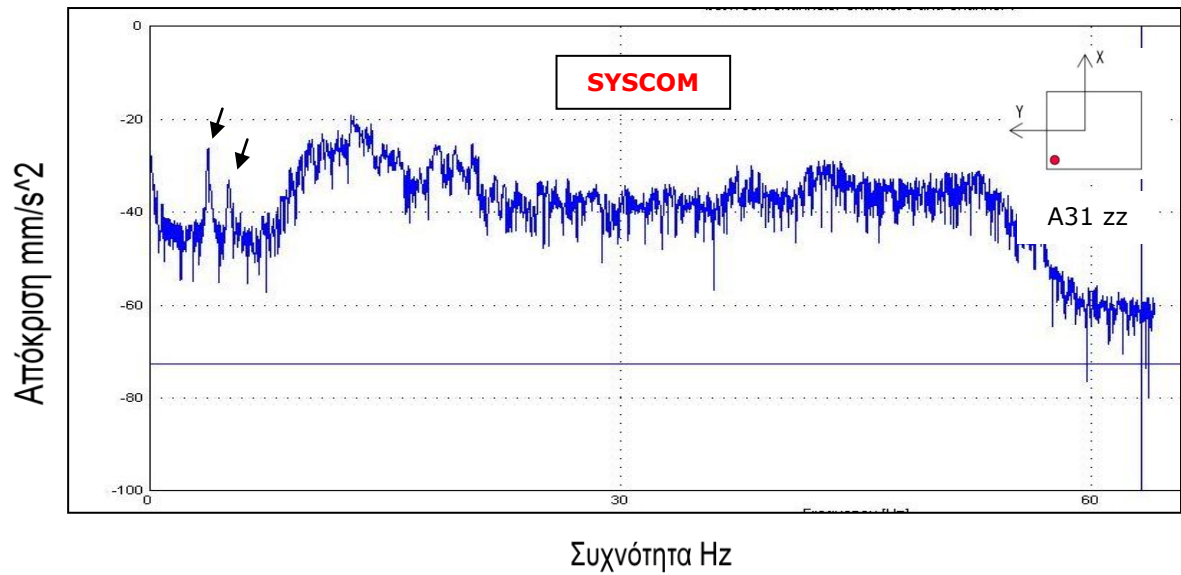
Σχήμα 5.13b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση A31xx.



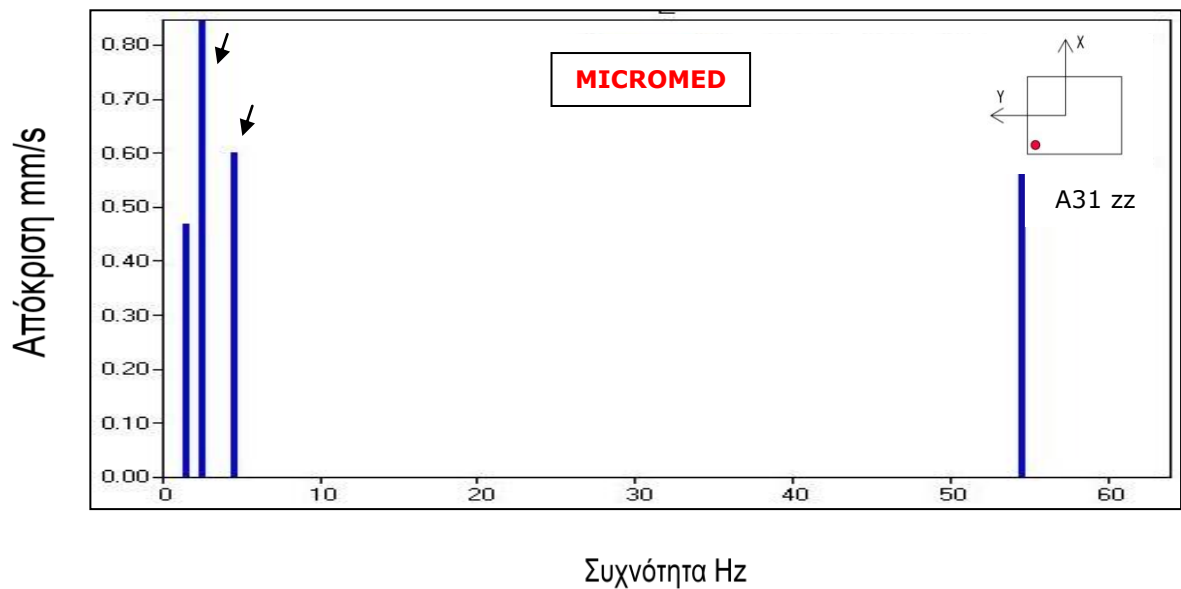
Σχήμα 5.14α: Διάγραμμα απόκρισης – συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση A31yy.



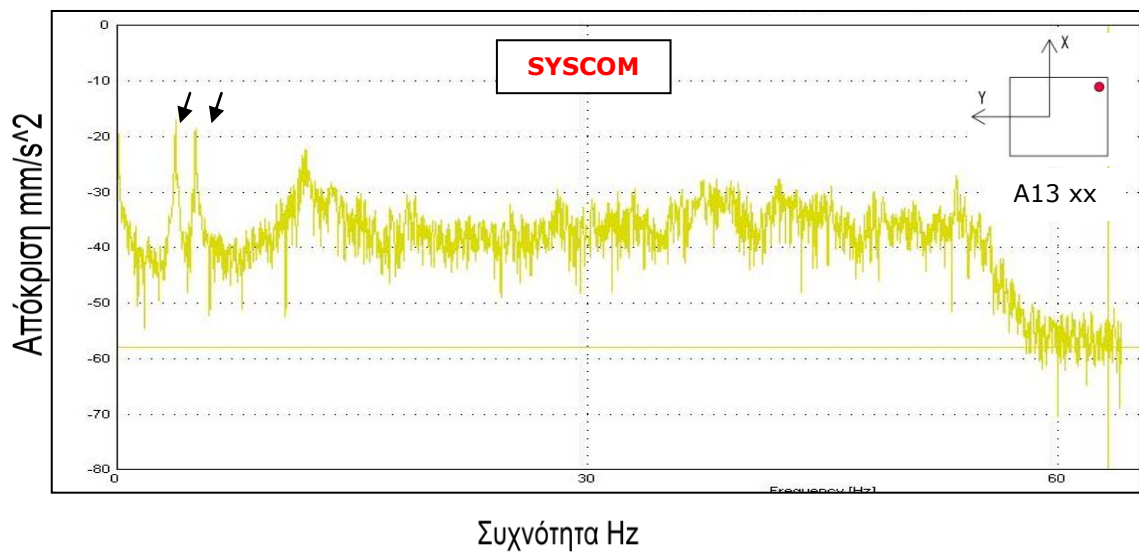
Σχήμα 5.14b: Διάγραμμα απόκρισης – συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση A31yy.



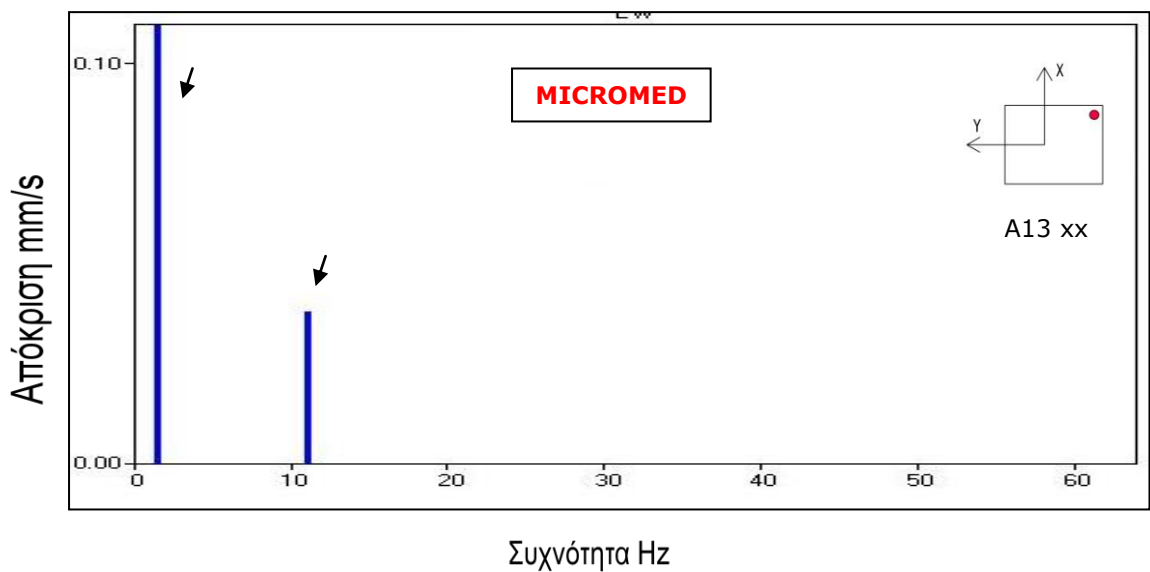
Σχήμα 5.15α: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση A31zz.



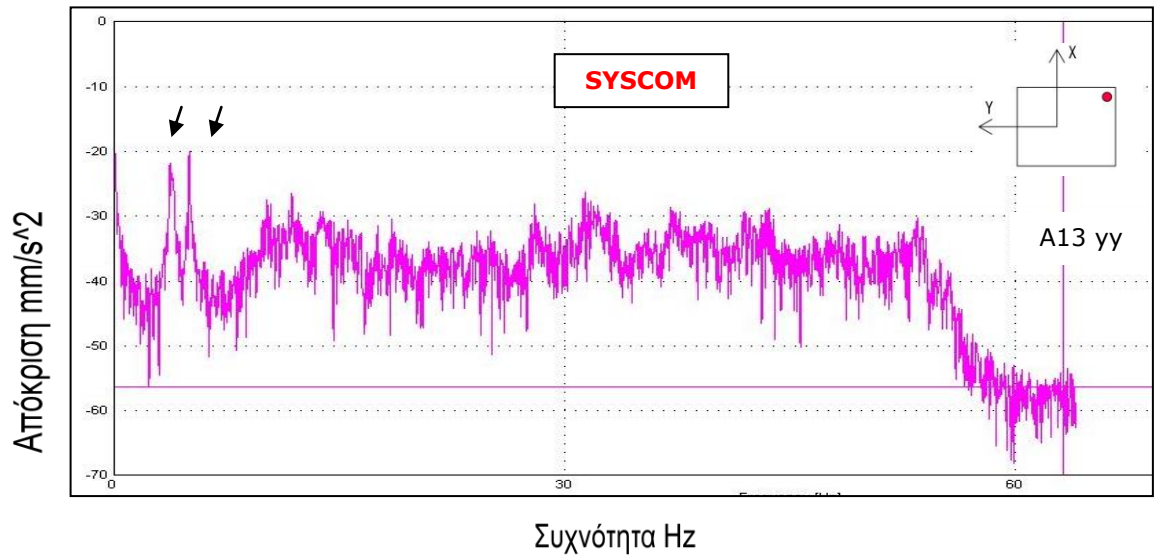
Σχήμα 5.15b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση A31zz.



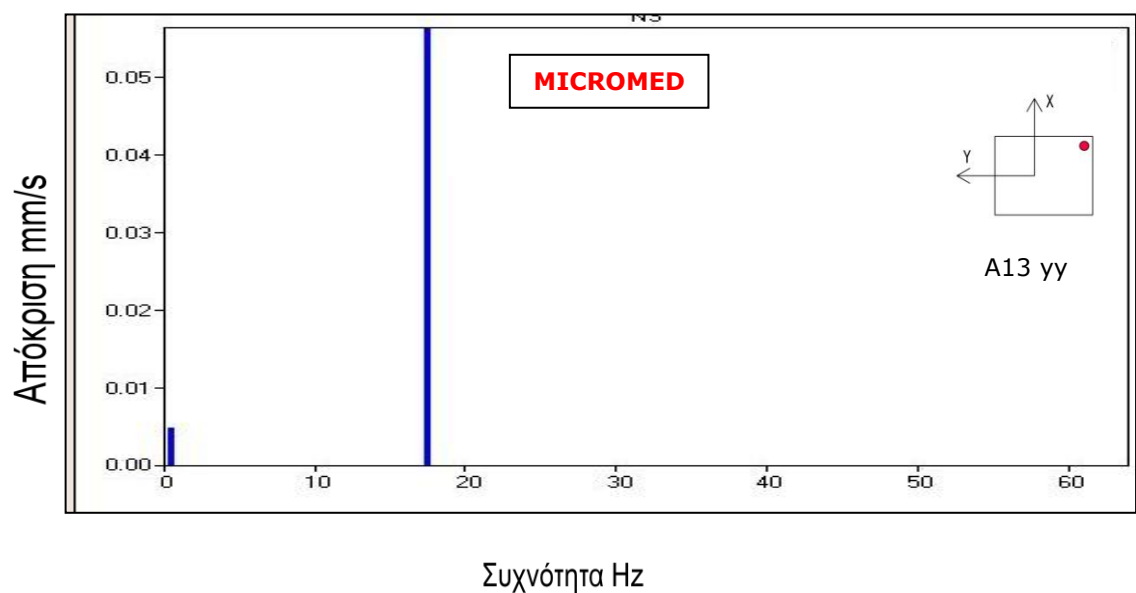
Σχήμα 5.16a: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση A13xx.



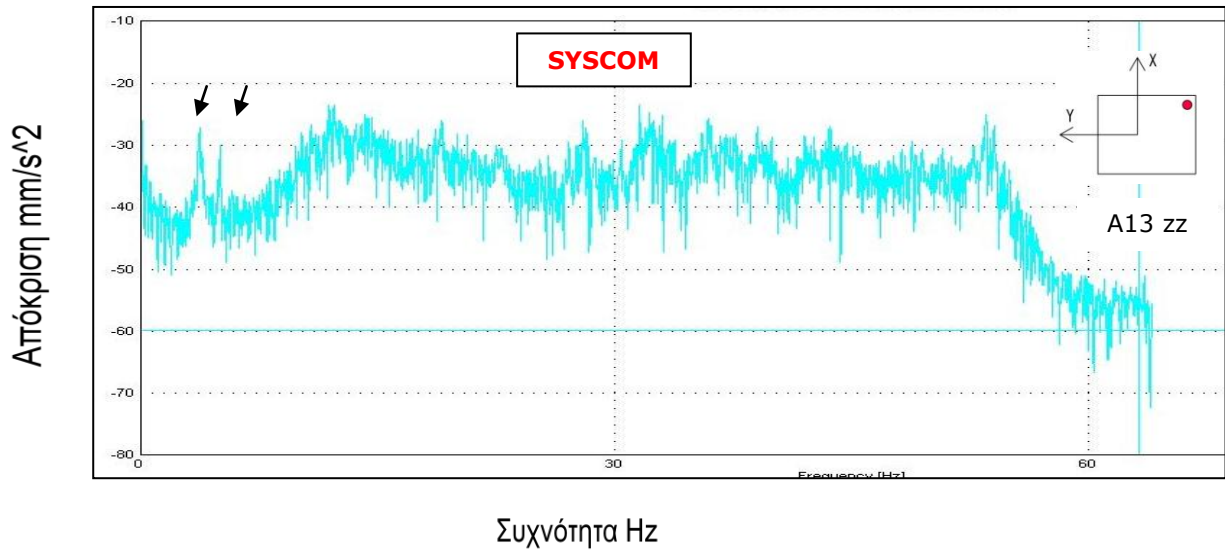
Σχήμα 5.16b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση A13xx.



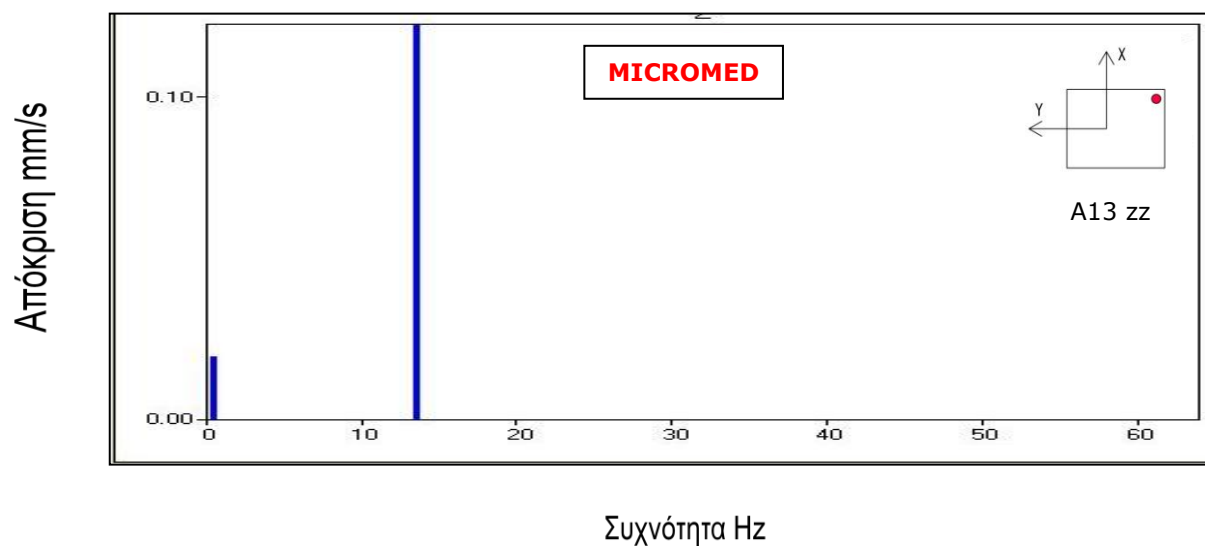
Σχήμα 5.17α: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση A13yy.



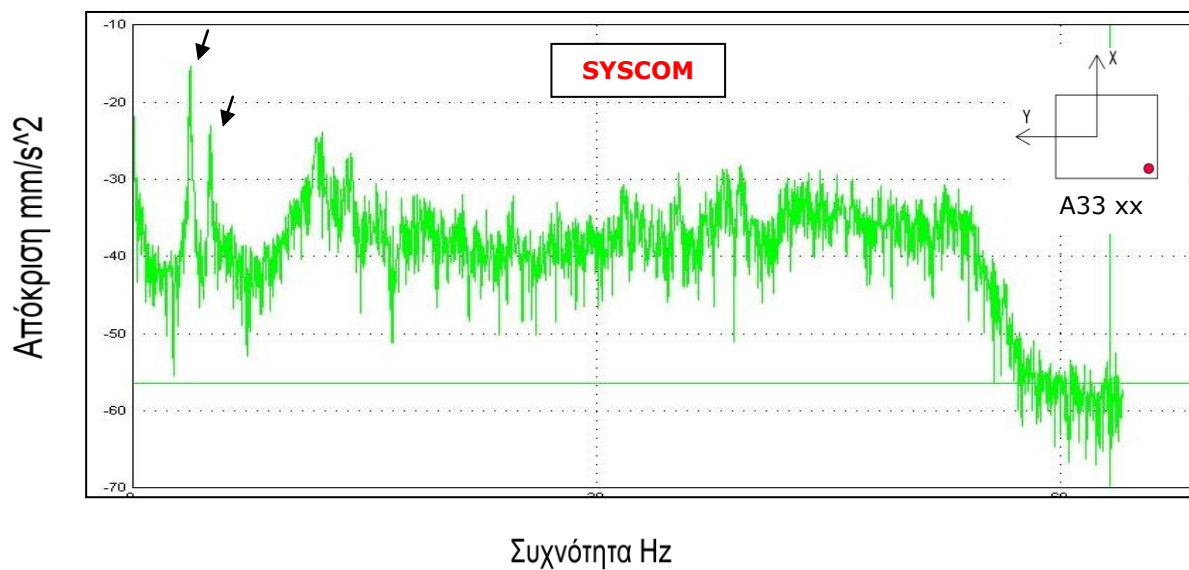
Σχήμα 5.17b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση A31yy.



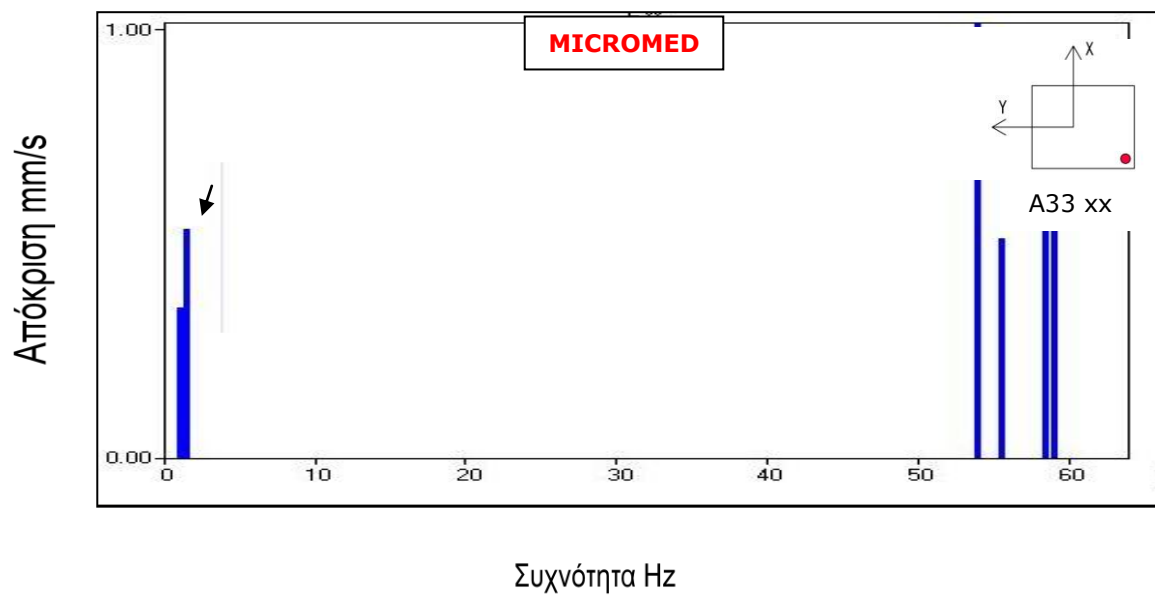
Σχήμα 5.18a: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση A13γγ.



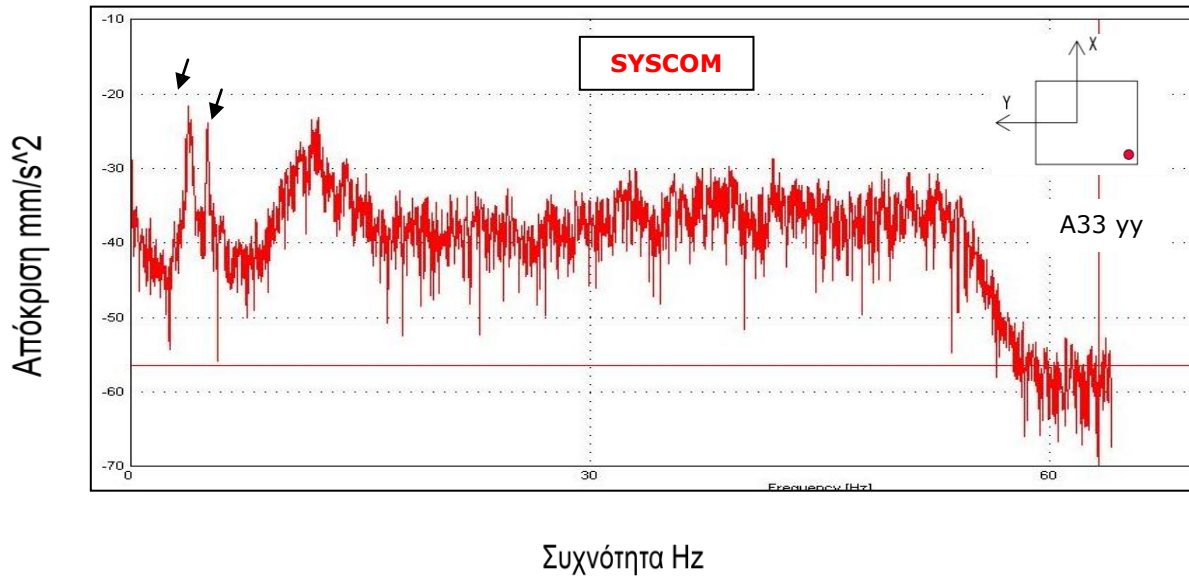
Σχήμα 5.18b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση A13γγ.



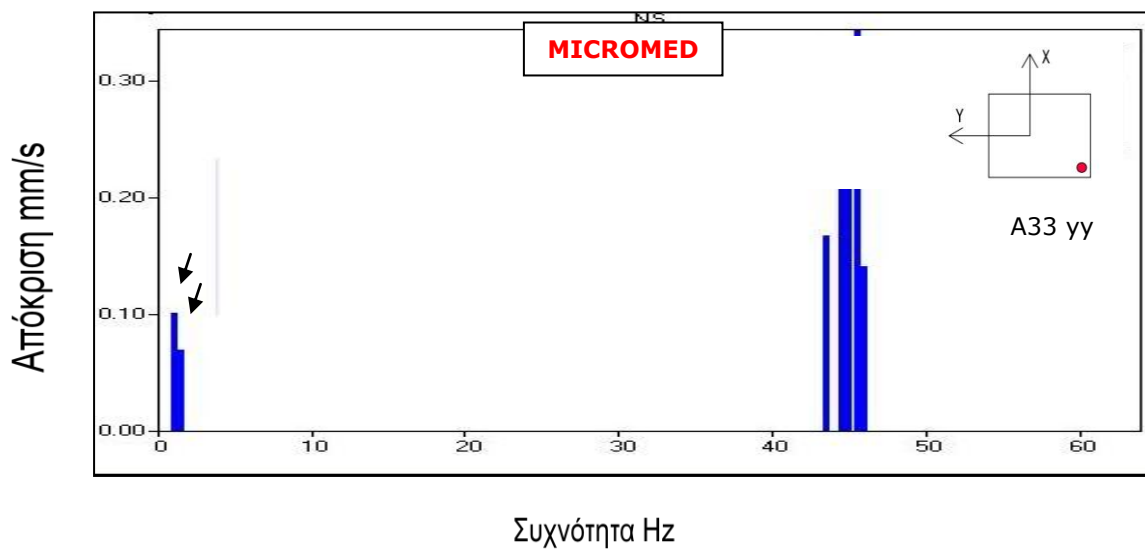
Σχήμα 5.19α: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση A33xx.



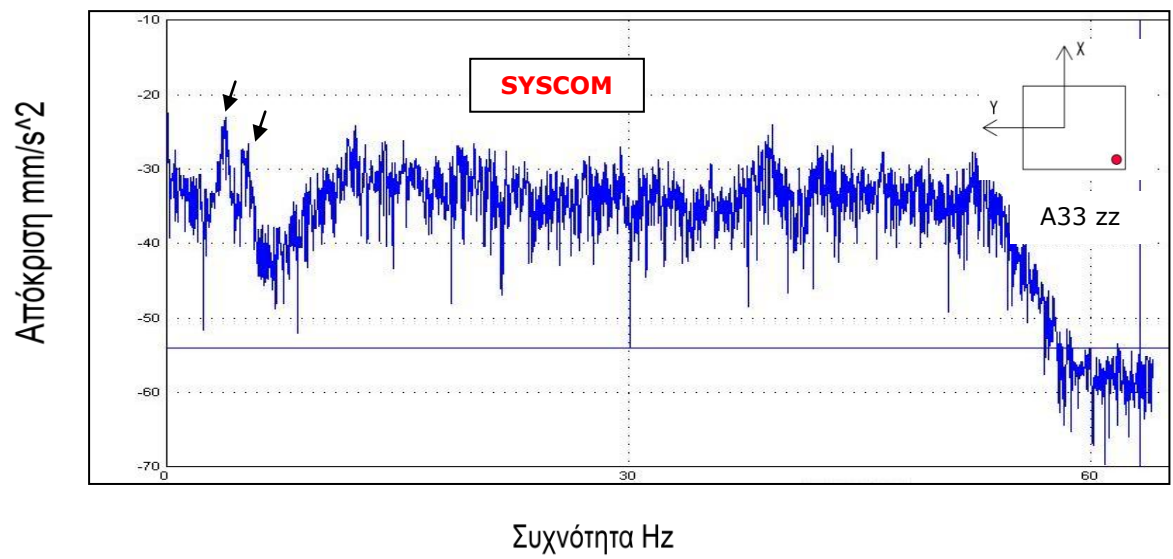
Σχήμα 5.19b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση A33xx.



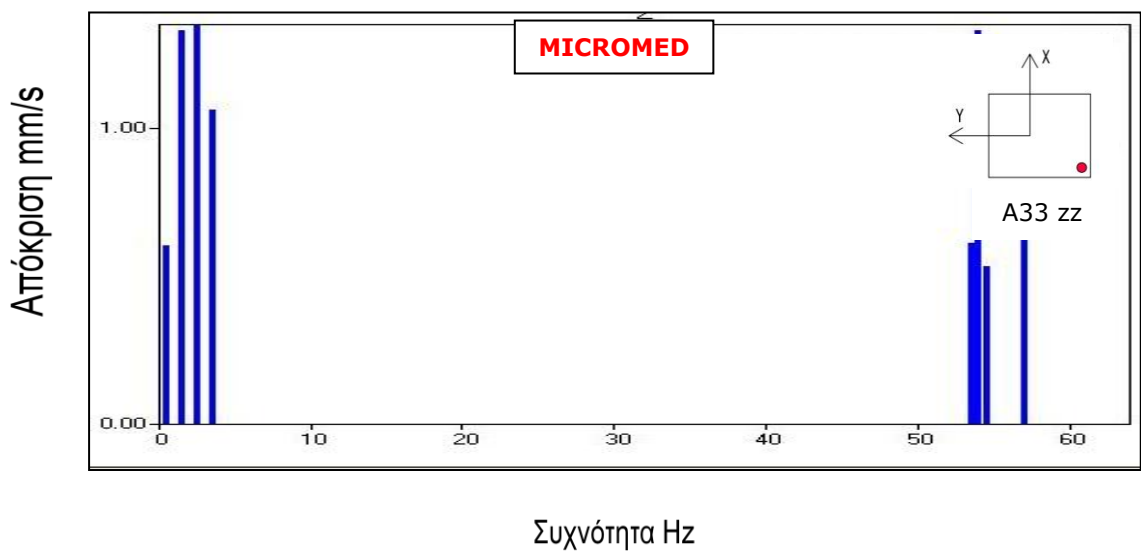
Σχήμα 5.20α: Διάγραμμα απόκρισης – συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση A33yy.



Σχήμα 5.20b: Διάγραμμα απόκρισης – συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση A33yy.



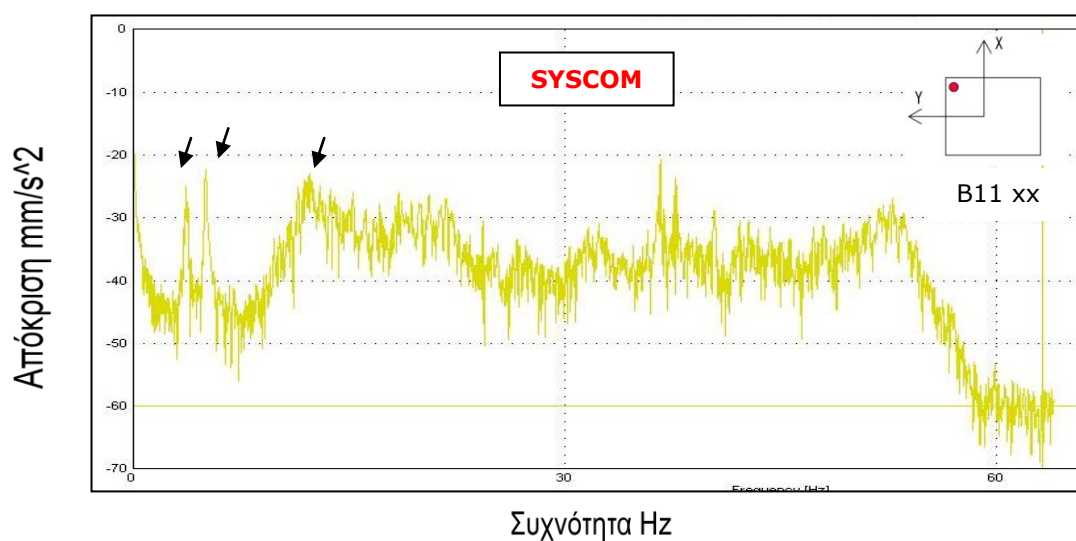
Σχήμα 5.21α: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση A33zz.



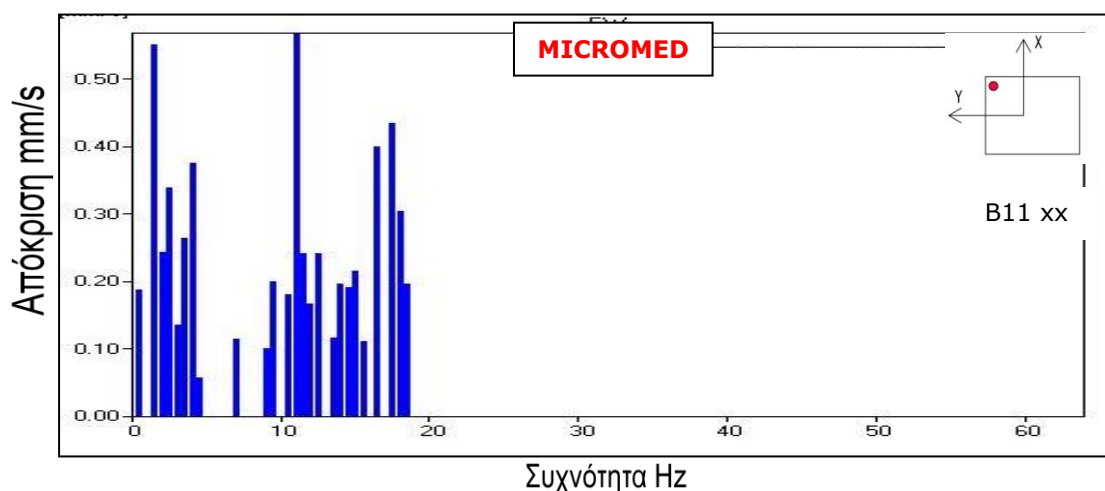
Σχήμα 5.21b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση A33zz.

5.3.2 Μετρήσεις στον όροφο, θέσεις B11, B31, B13, B33

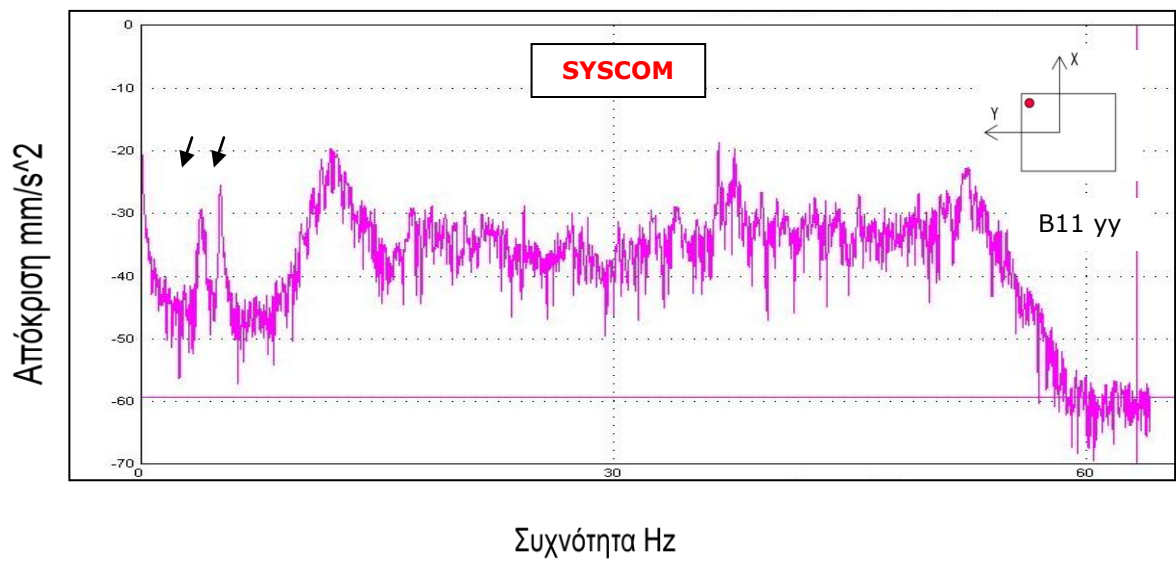
Οι μετρήσεις στον όροφο του κτιρίου πραγματοποιήθηκαν επίσης υπό συνθήκες χαμηλού κυκλοφοριακού φόρτου. Το δάπεδο στην θέση B33 είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα, στις θέσεις B31, B13 είναι από ξύλο και στην θέση B11 από συνδυασμό σκυρόδεμα-ξύλο. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα πυκνότητας πλάτους όπου διακρίνονται οι εντονότερες κορυφές στο 3.50Hz , 4.00Hz και 11.00 Hz από τα διαγράμματα της Syscom και 3.50Hz 4.00 Hz σε ορισμένα από τα διαγράμματα της Grilla.



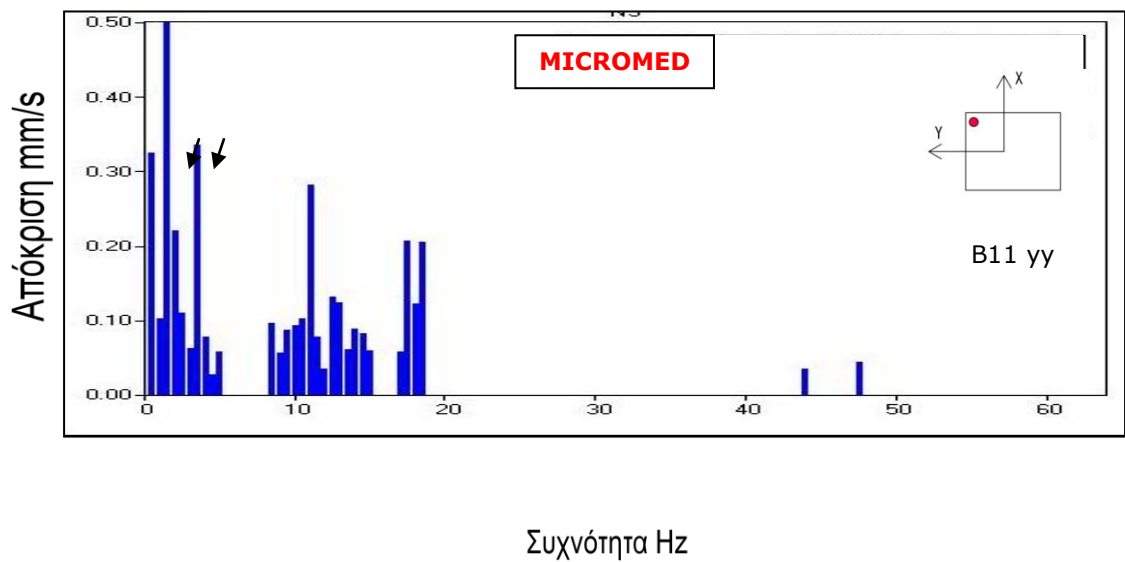
Σχήμα 5.22α: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση B11xx.



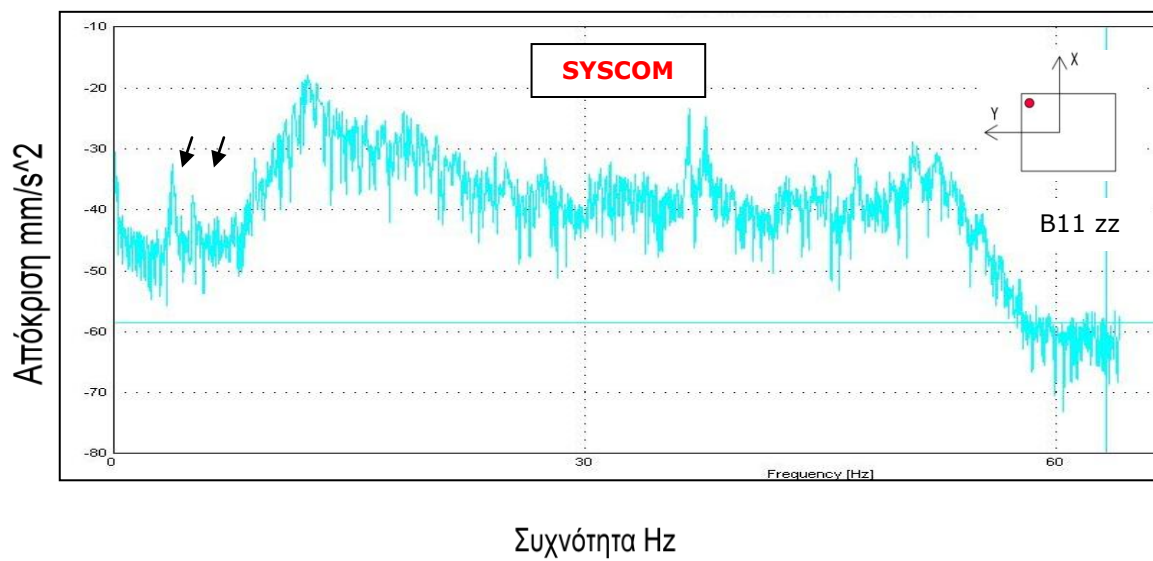
Σχήμα 5.22β: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση B11xx.



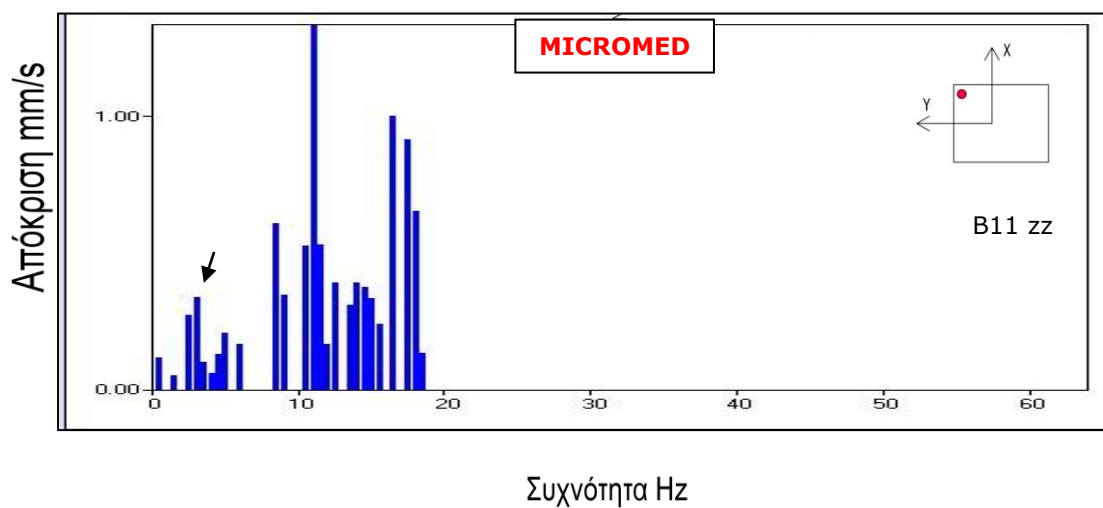
Σχήμα 5.23α: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση A33zz.



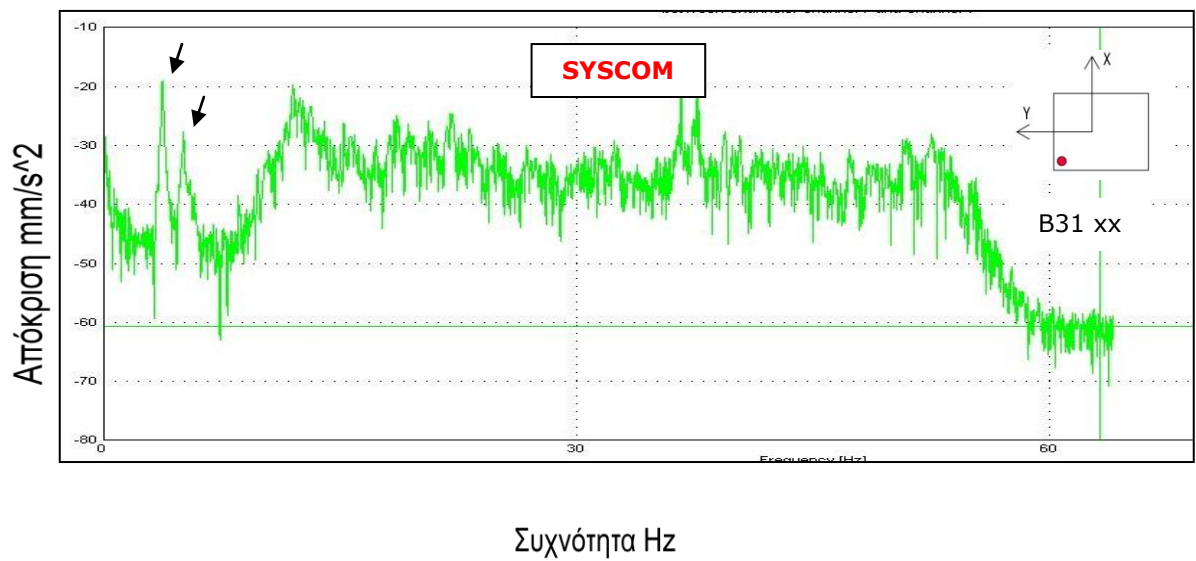
Σχήμα 5.23b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση B11γγ.



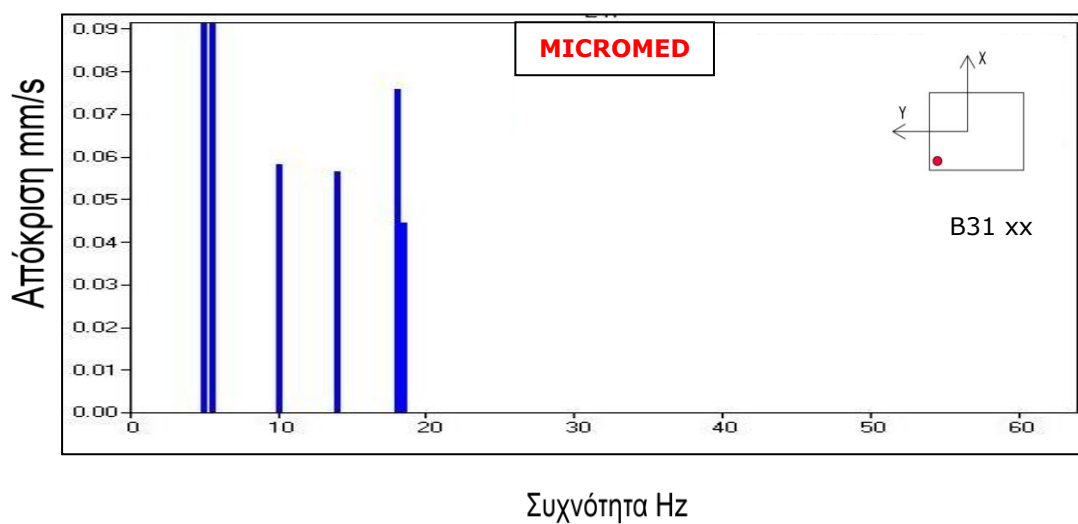
Σχήμα 5.24a: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση B11zz.



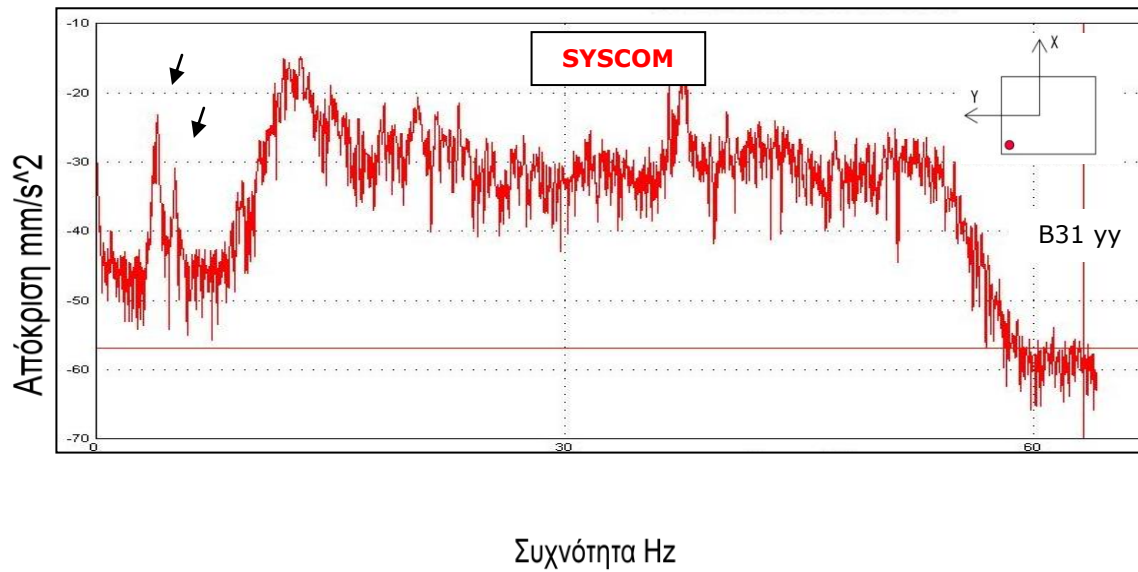
Σχήμα 5.24b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση B11zz.



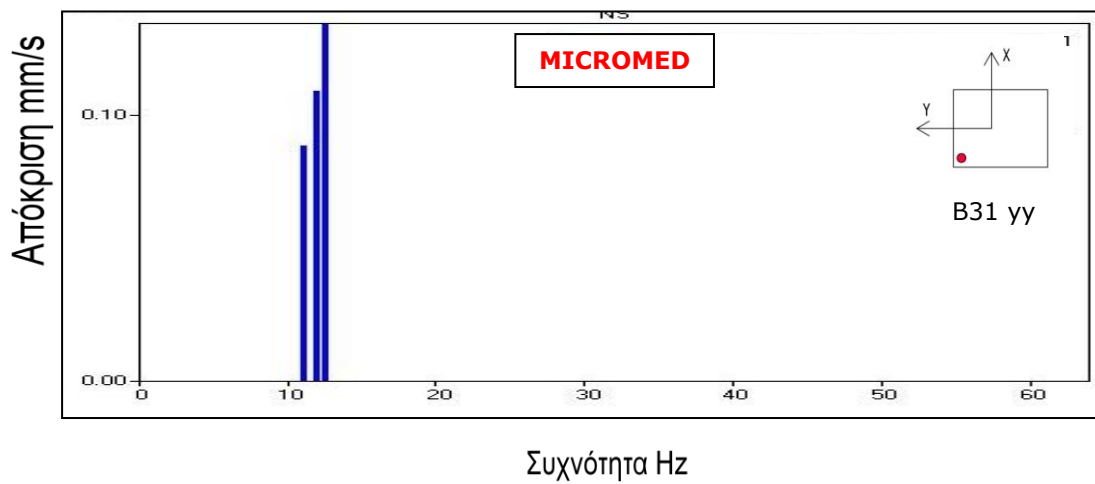
Σχήμα 5.25a: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση B31xx.



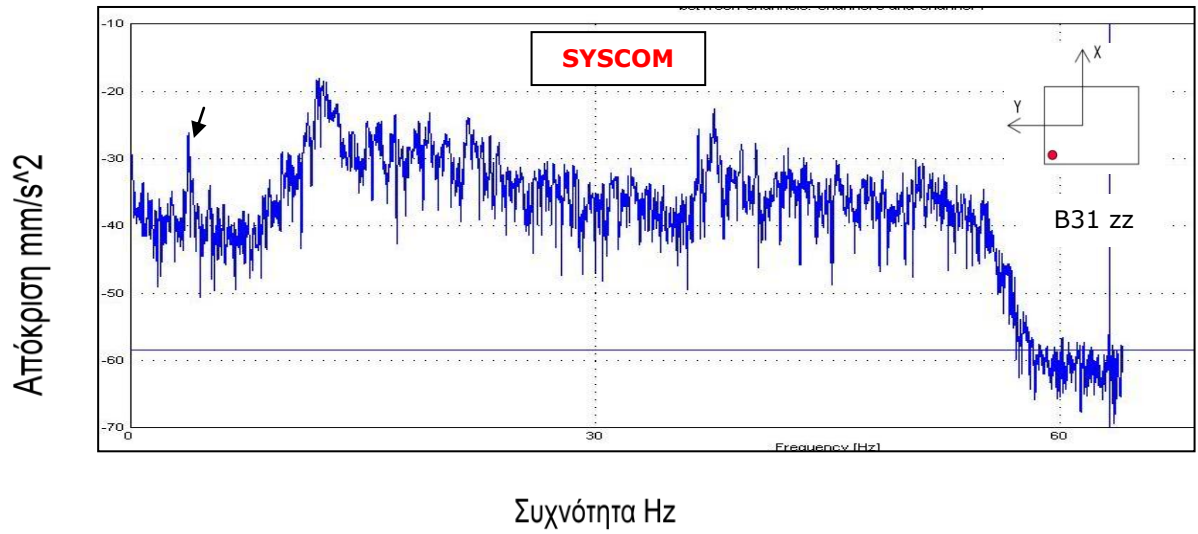
Σχήμα 5.25b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση B31xx.



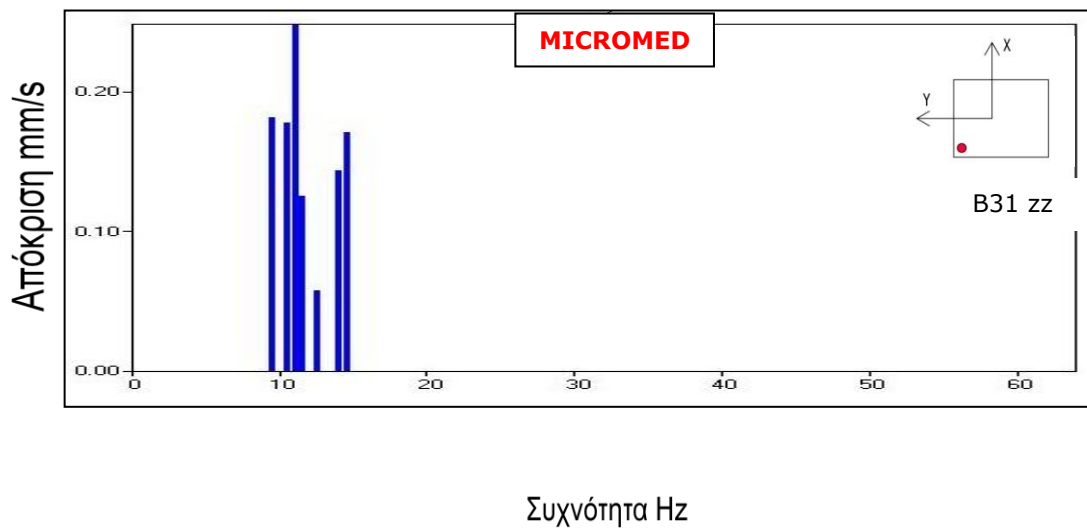
Σχήμα 5.26α: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση B31γγ.



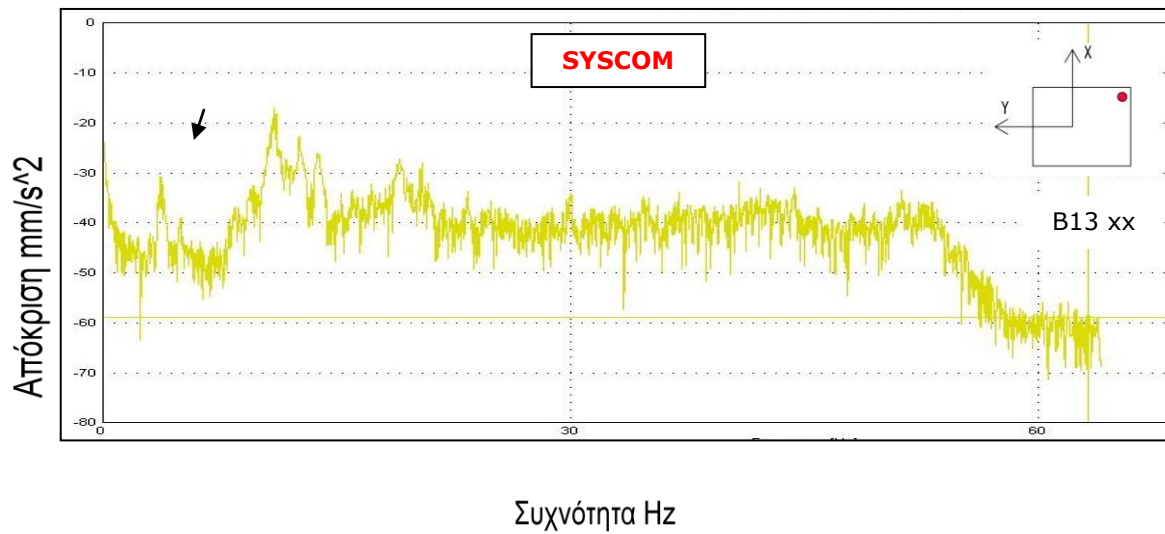
Σχήμα 5.26b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση B31γγ.



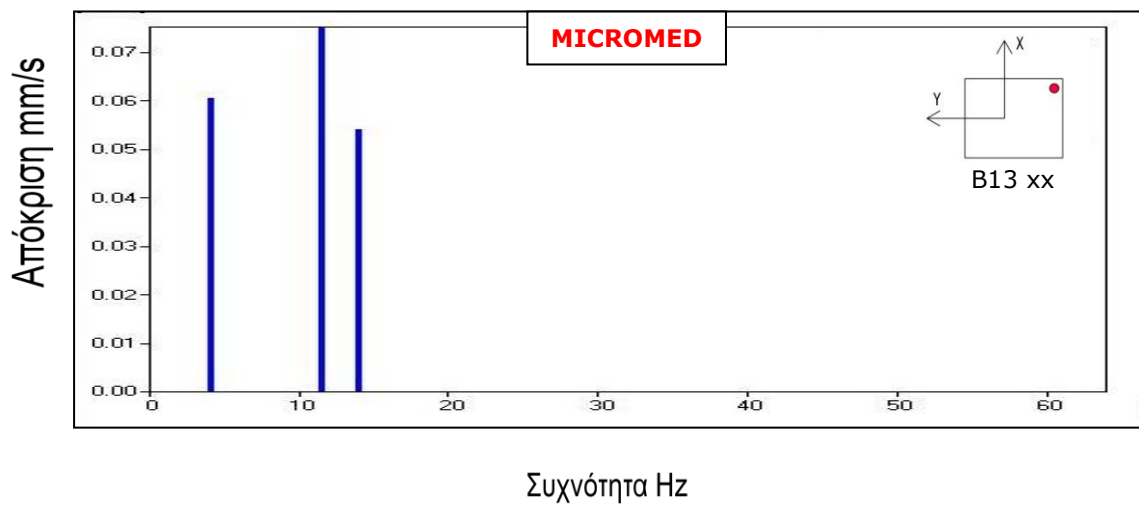
Σχήμα 5.27α: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση B31zz.



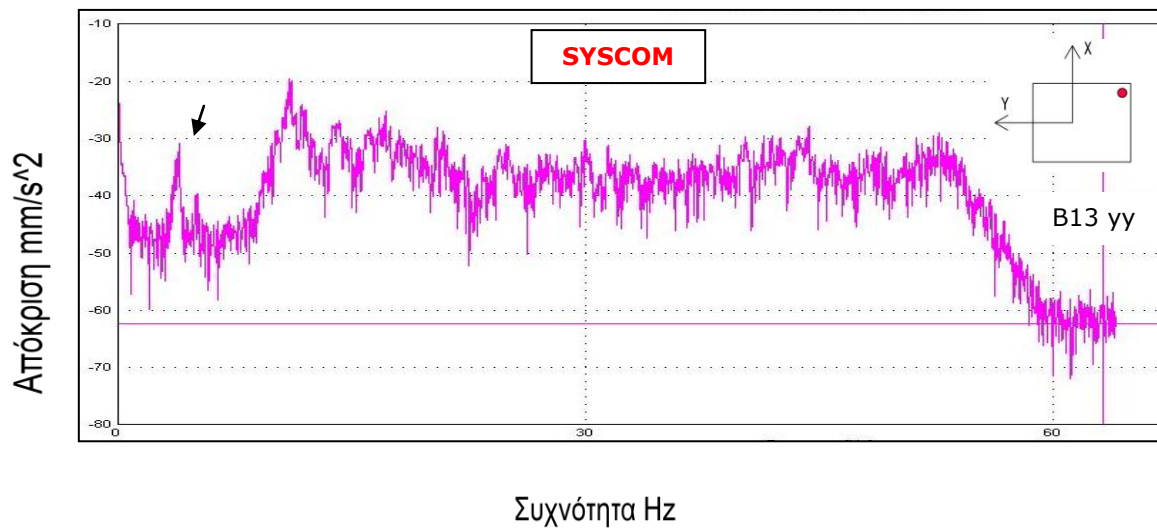
Σχήμα 5.27b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση B31zz.



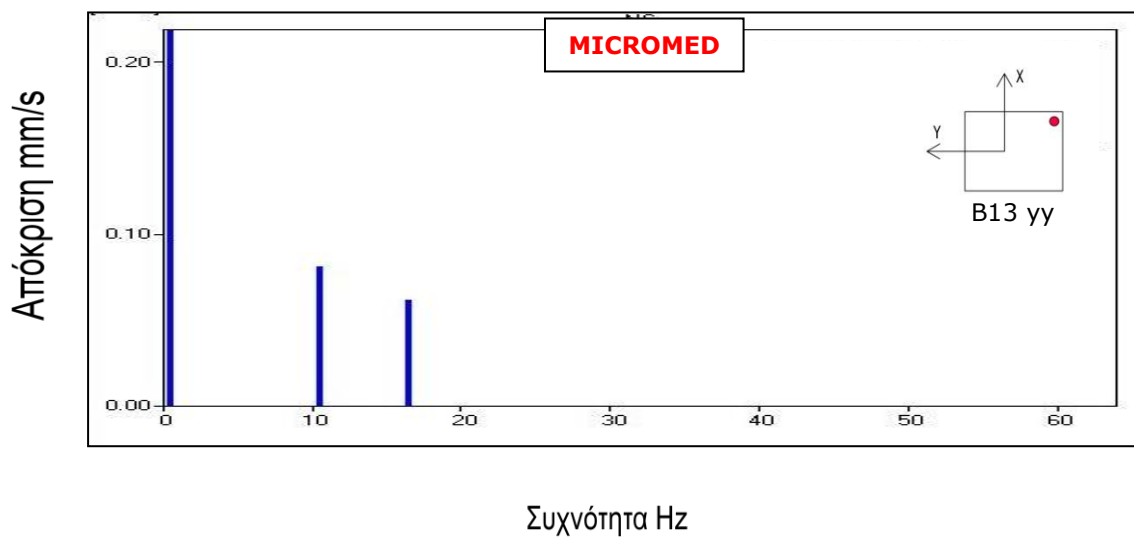
Σχήμα 5.28a: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση B13xx.



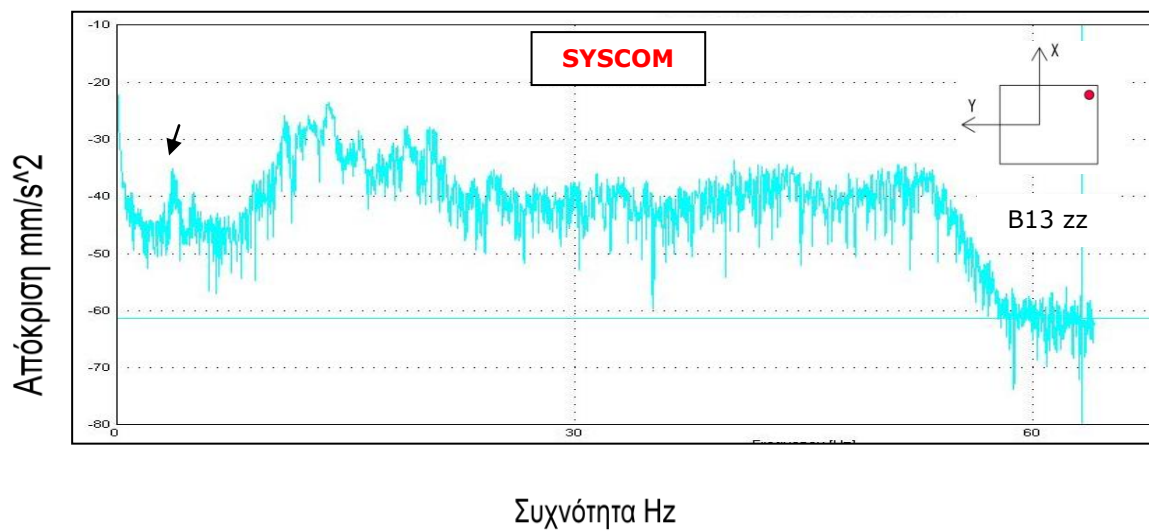
Σχήμα 5.27b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση B13xx.



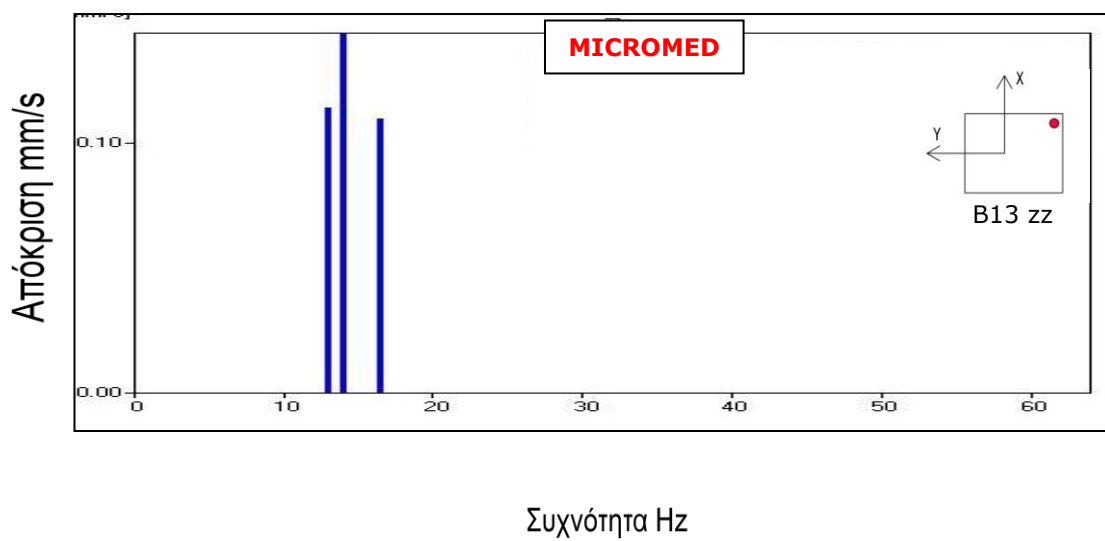
Σχήμα 5.28a: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση B13yy.



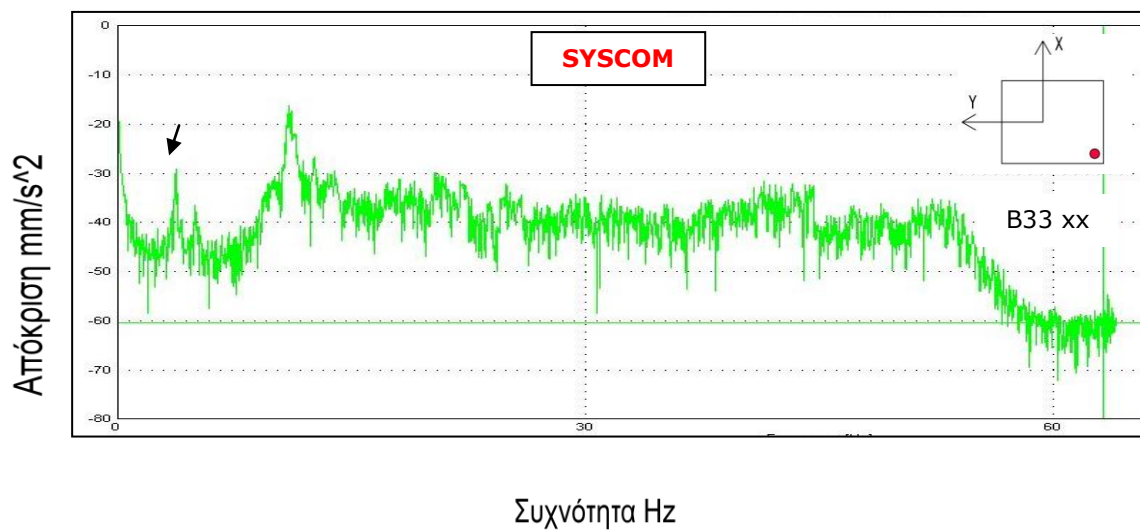
Σχήμα 5.28b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση B13yy.



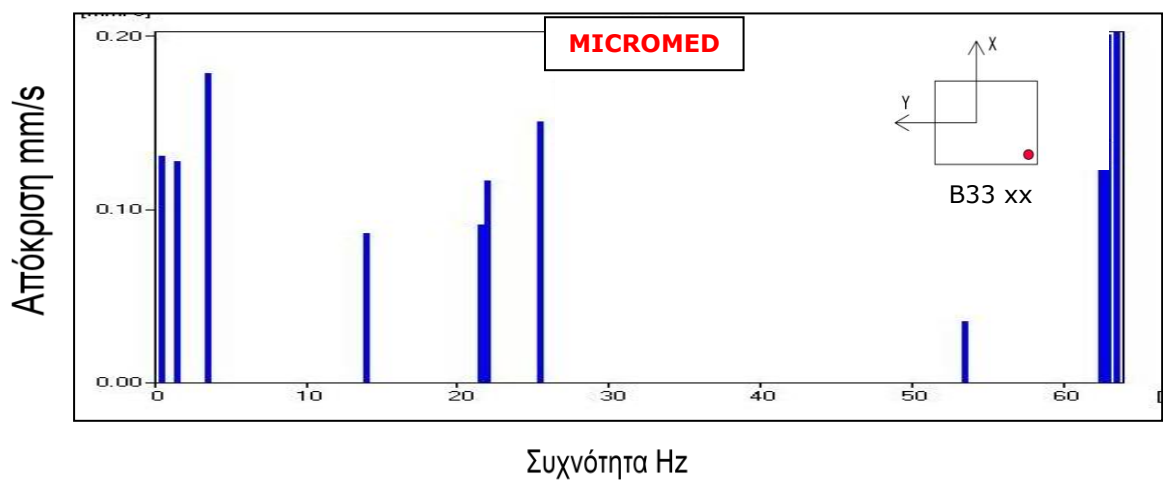
Σχήμα 5.29α: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση B13zz.



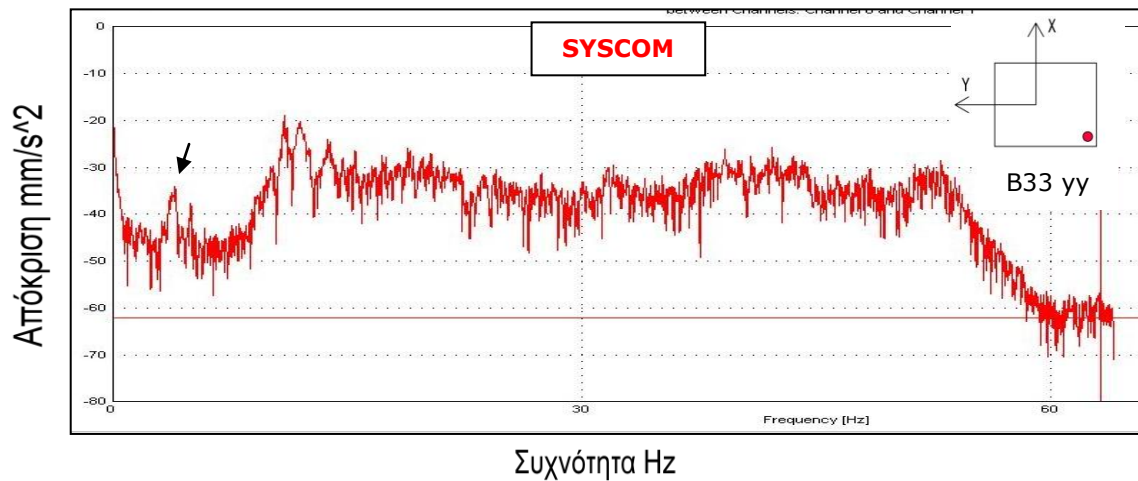
Σχήμα 5.29b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση B13zz.



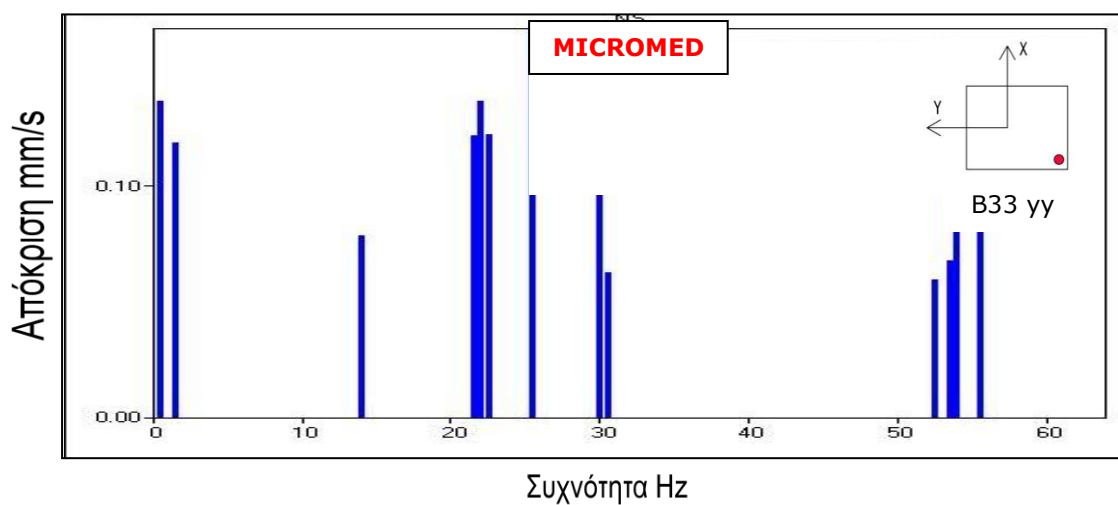
Σχήμα 5.30α: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση B33xx.



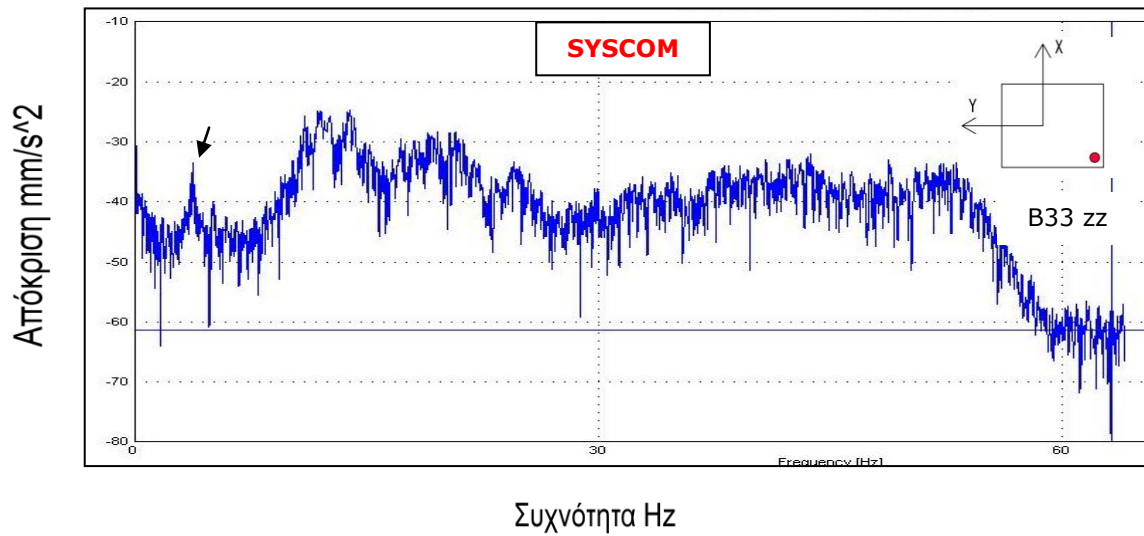
Σχήμα 5.30b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση B33xx.



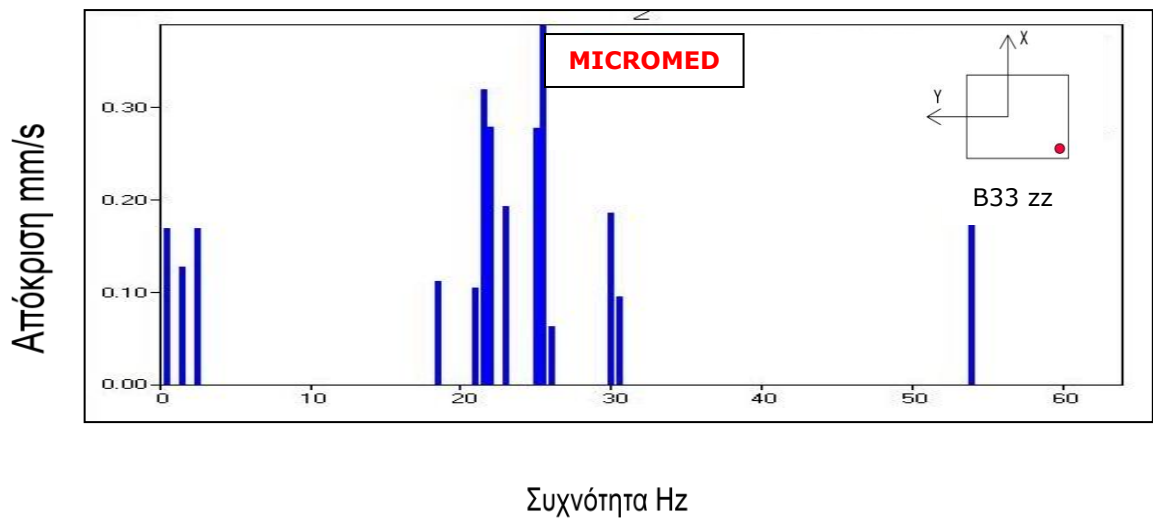
Σχήμα 5.31a: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση B33yy.



Σχήμα 5.31b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση B33yy.



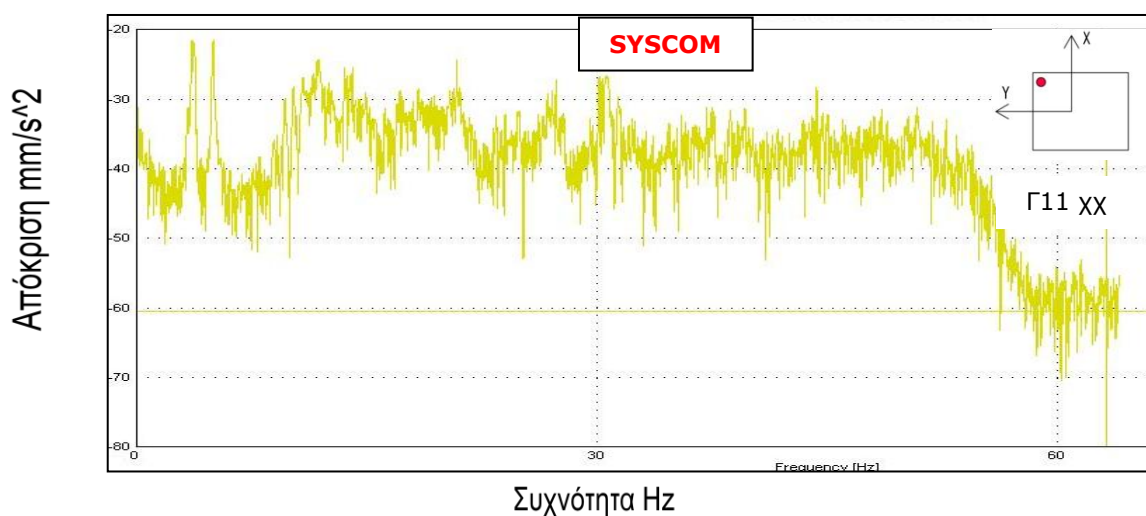
Σχήμα 5.32a: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση B33zz.



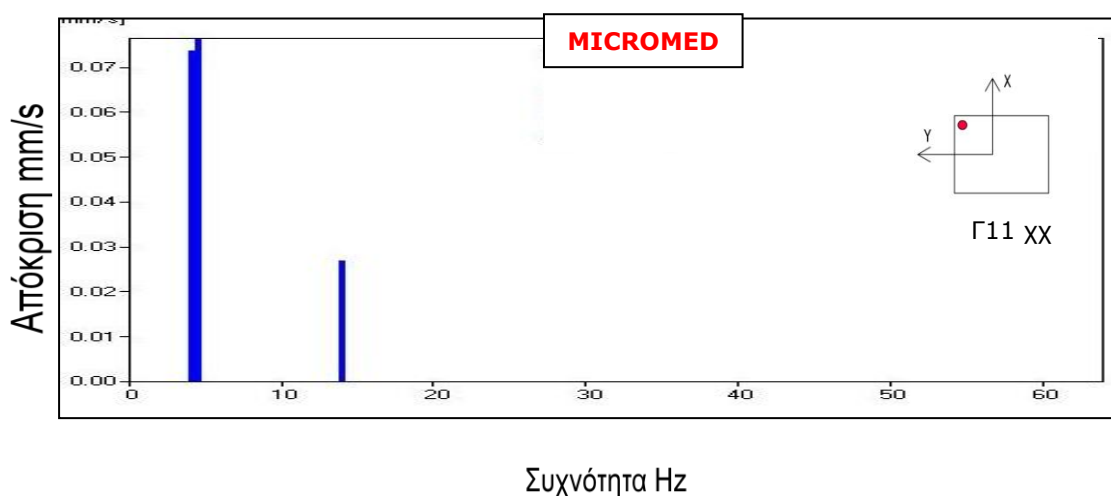
Σχήμα 5.32b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση B33zz.

5.3.3 Μετρήσεις στο δώμα, θέσεις Γ11, Γ31.

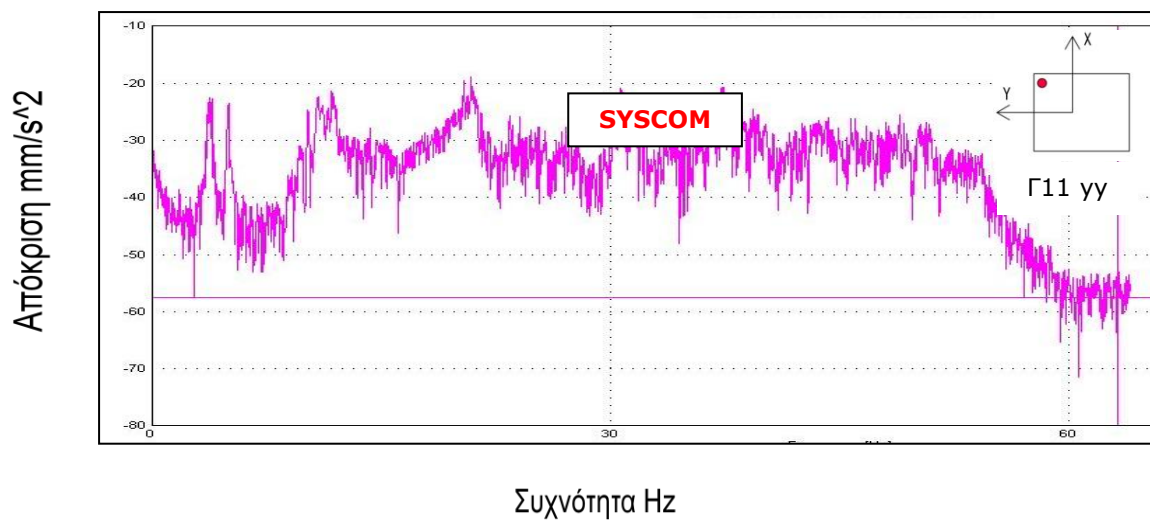
Οι μετρήσεις στο δώμα του κτιρίου πραγματοποιήθηκαν επίσης υπό συνθήκες χαμηλού κυκλοφοριακού φόρτου. Το δάπεδο και στις δύο θέσεις είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα πυκνότητας πλάτους όπου διακρίνονται οι εντονότερες κορυφές στο 3.50Hz , 4.00Hz και 11.00 Hz από τα διαγράμματα της Syscom και 3.50Hz 4.00 Hz σε περισσότερα από τα διαγράμματα της Grilla.



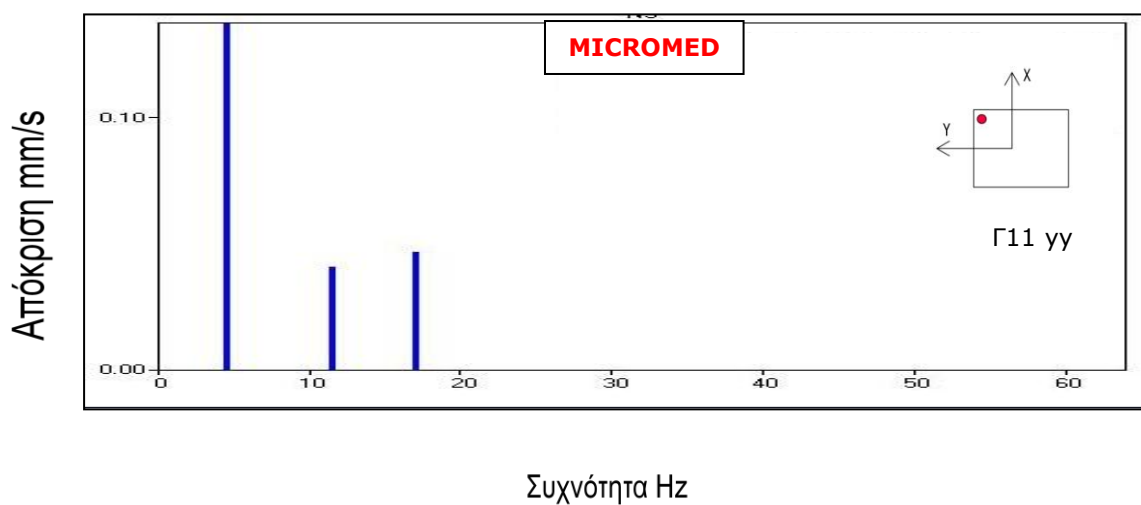
Σχήμα 5.33a: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση Γ11xx.



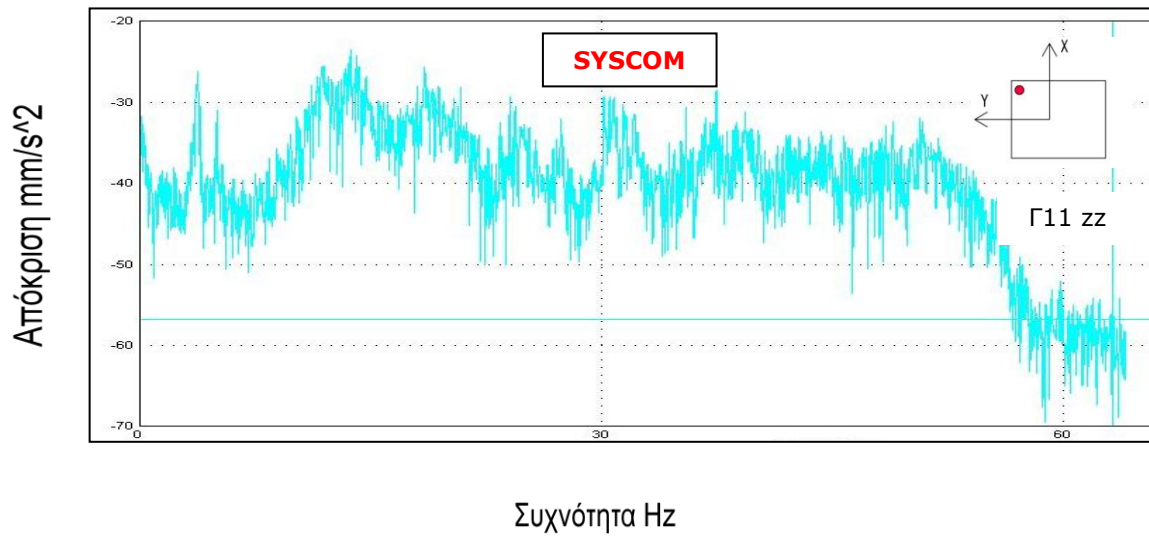
Σχήμα 5.33b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση Γ11xx.



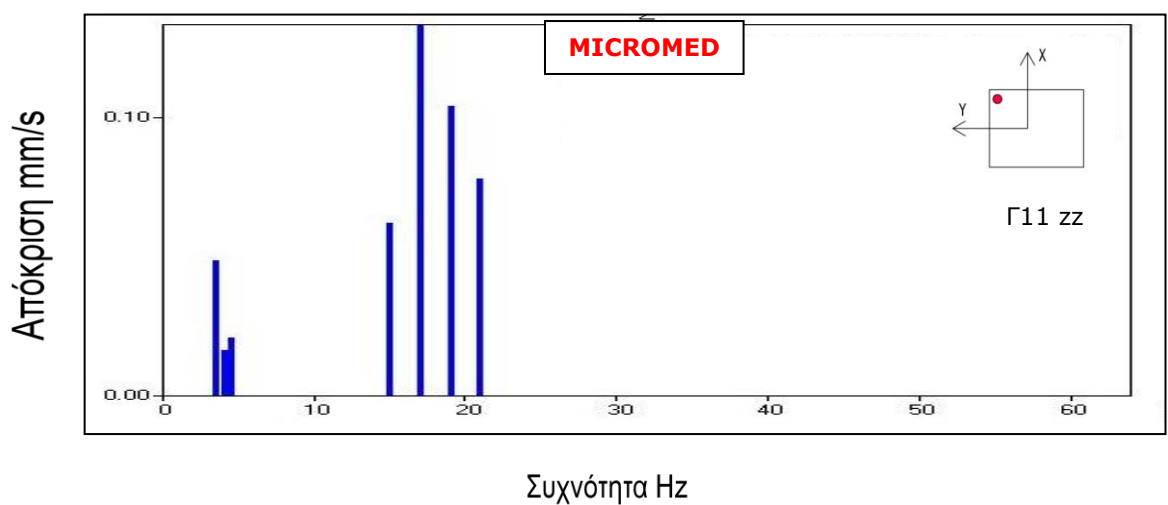
Σχήμα 5.34a: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση Γ11γγ.



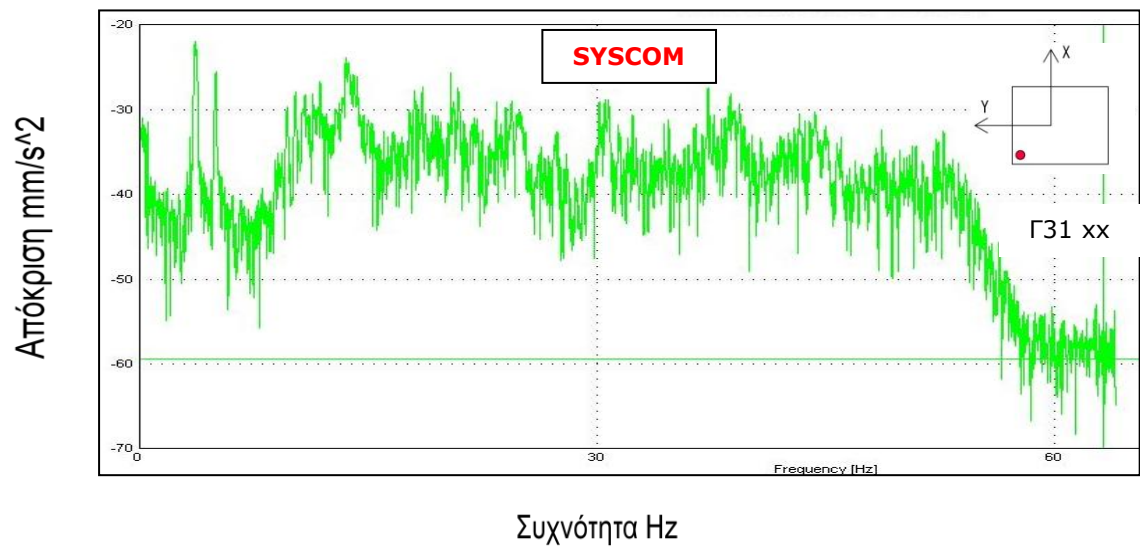
Σχήμα 5.34b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση Γ11γγ.



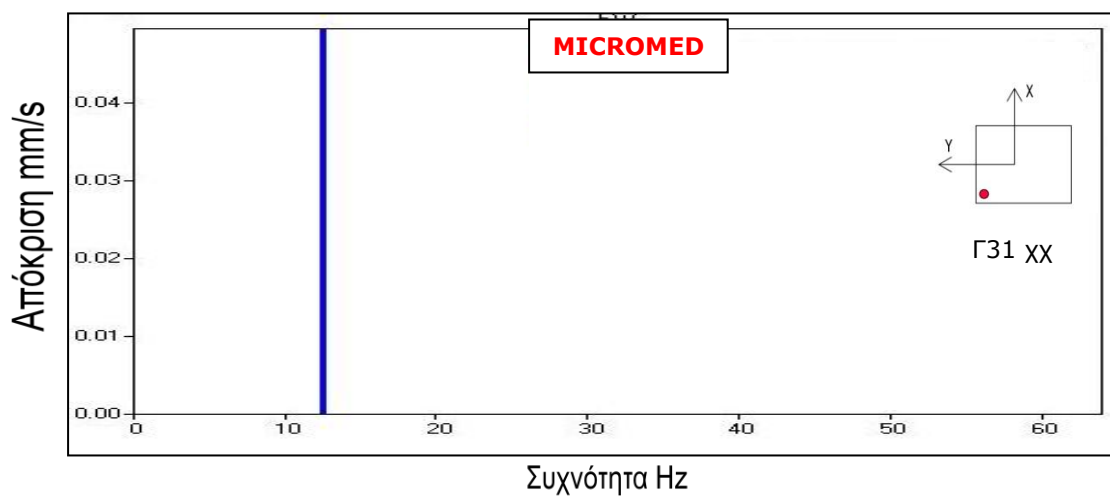
Σχήμα 5.35a: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση Γ11zz.



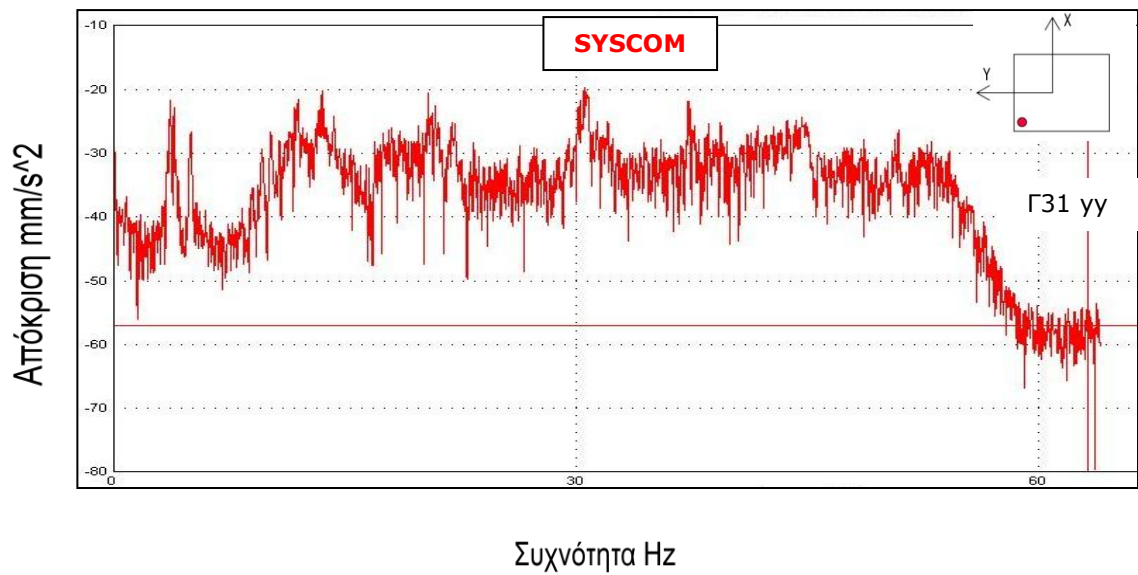
Σχήμα 5.35b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση Γ11zz.



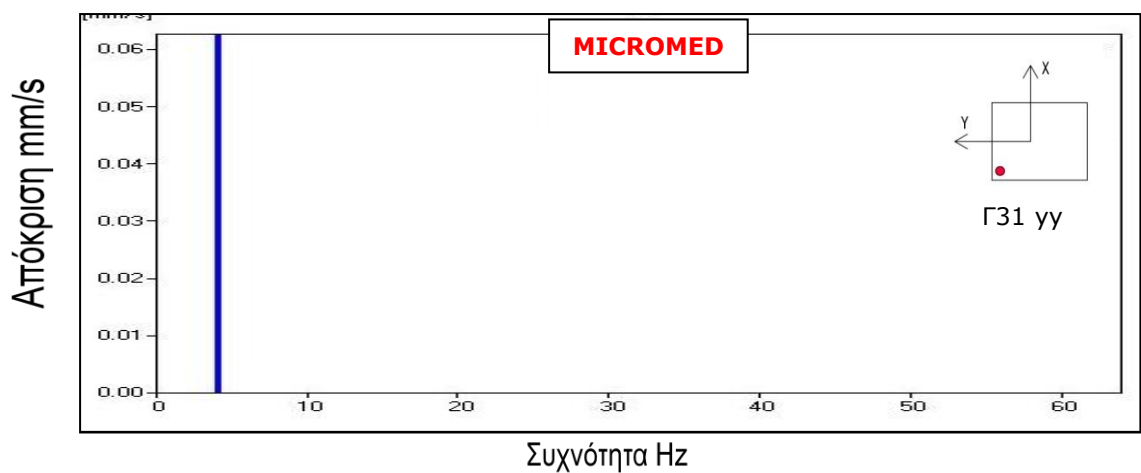
Σχήμα 5.36a: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση Γ31xx.



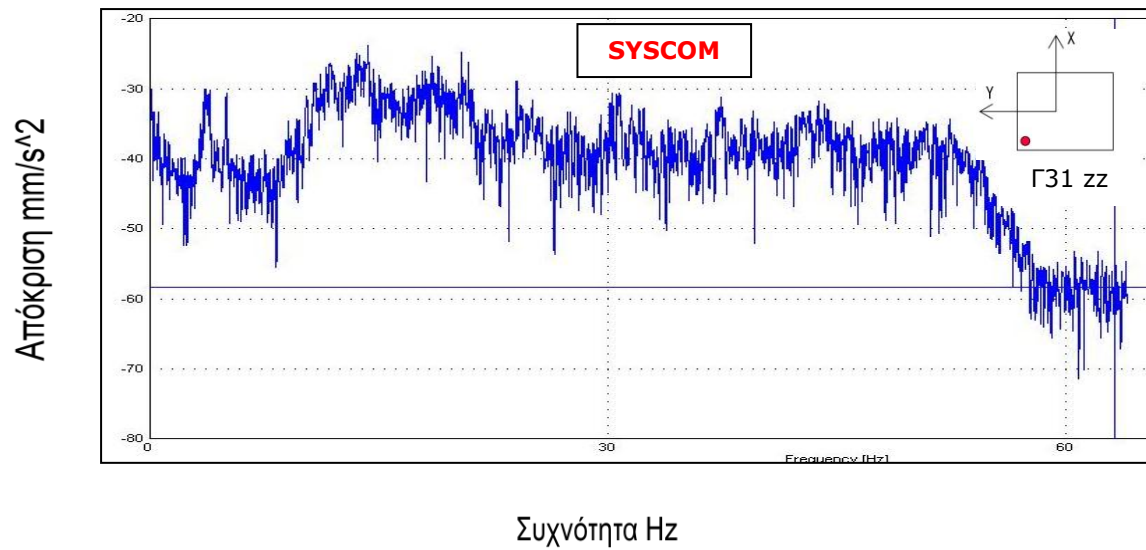
Σχήμα 5.36b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση Γ31xx.



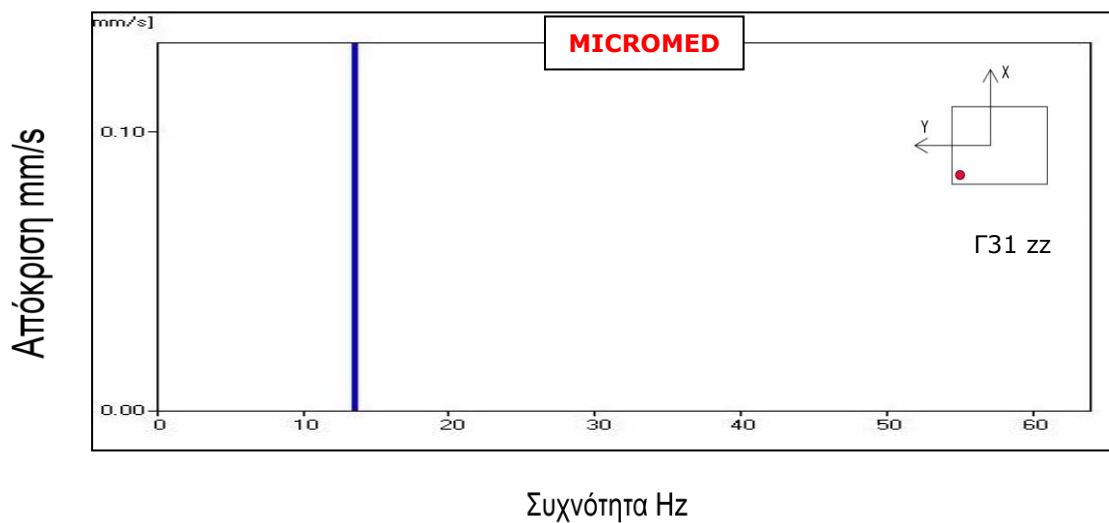
Σχήμα 5.37α: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση Γ31γγ.



Σχήμα 5.37b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση Γ31γγ.



Σχήμα 5.38a: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από τα όργανα της εταιρείας Syscom στην θέση Γ31zz.

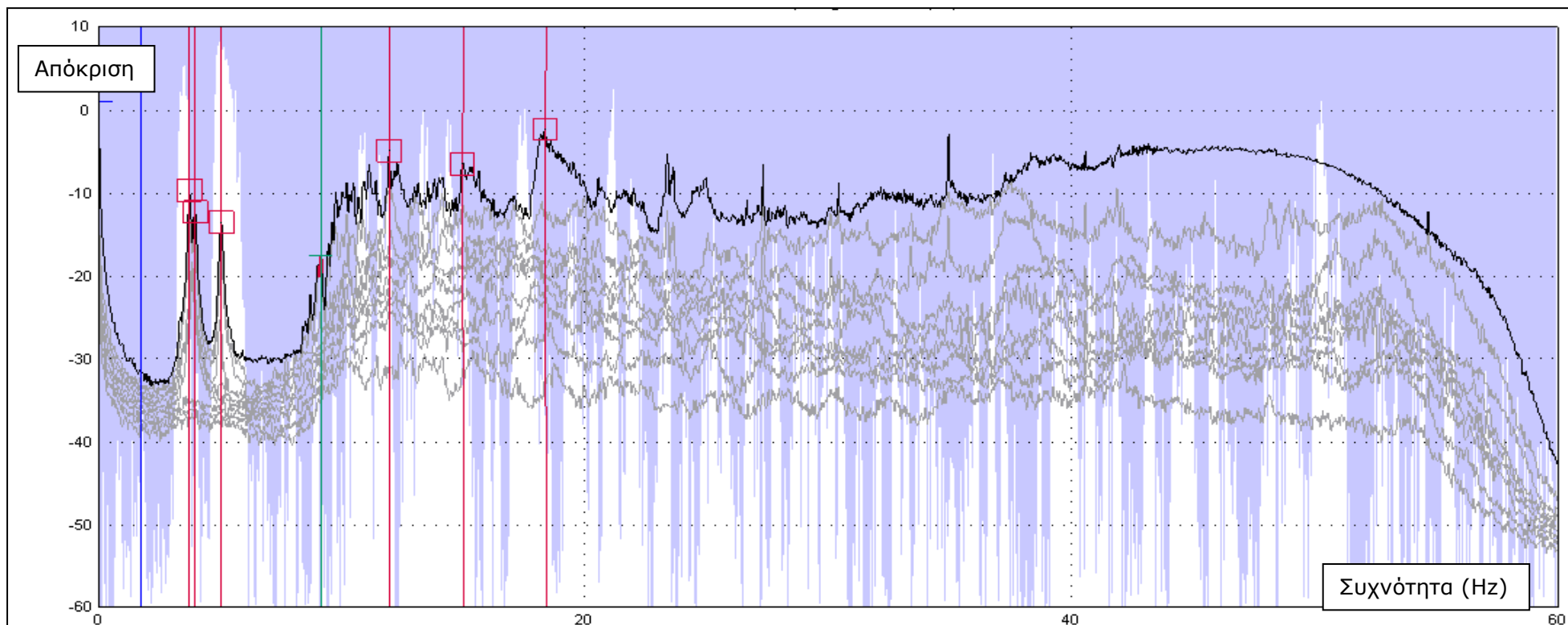


Σχήμα 5.38b: Διάγραμμα απόκρισης - συχνότητας από το όργανο της εταιρείας Micromed στην θέση Γ31zz.

5.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

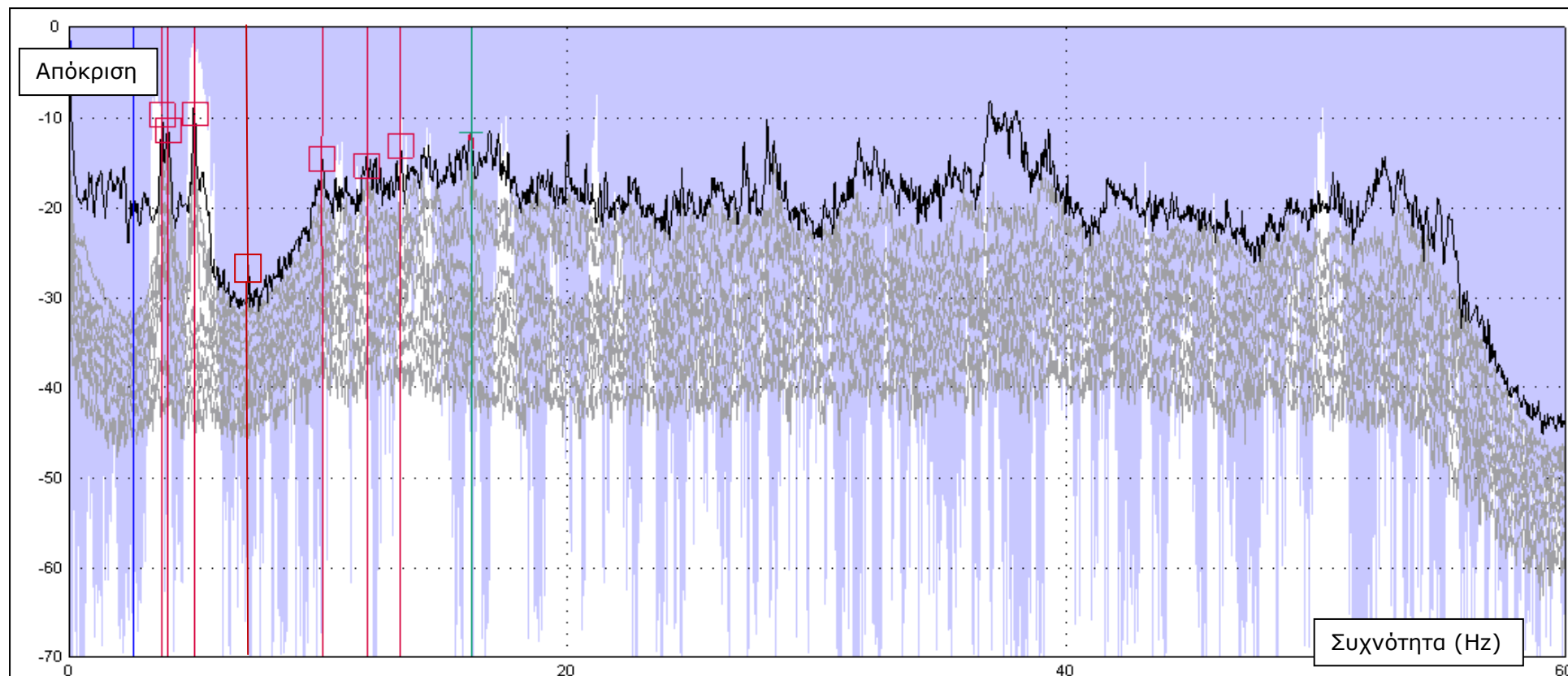
Ο προσδιορισμός των ιδιομορφικών χαρακτηριστικών του κτιρίου έγινε και με την χρήση του προγράμματος ARTeMIS. Το λογισμικό αυτό, προσδιορίζει τις ιδιοσυχνότητες κατασκευών και τις συσχετίζει με χαρακτηριστικά απόσβεσης χρησιμοποιώντας την γεωμετρία της κατασκευής και τις καταγεγραμμένες αποκρίσεις. Παρακάτω παρατίθενται, για την κάθε ομάδα μέτρησης ξεχωριστά αλλά και για όλες τις μετρήσεις μαζί, οι τιμές των ιδιοσυχνοτήτων και τις αντίστοιχες τιμές απόσβεσης όπως επιλέχθηκαν από τον χρήστη χειροκίνητα από τα διαγράμματα πυκνότητας ισχύος απόκρισης – συχνότητας. Στο διάγραμμα οι γκρι γραμμές αντιπροσωπεύουν την απόκριση για κάθε βαθμό ελευθερίας σε κάθε θέση ενώ η μαύρη γραμμή αντιπροσωπεύει την περιβάλλουσα αυτών (σχήμα 5.39 έως 5.44). Κάτω από το γράφημα δίνονται υπό μορφή πίνακα ο αύξων αριθμός της ιδιομορφής (πρώτη στήλη), η ιδιοσυχνότητα (δεύτερη στήλη), η τυπική απόκλιση της συχνότητας (τρίτη στήλη), ο συντελεστής απόσβεσης (τέταρτη στήλη) και η τυπική απόκλιση του συντελεστή απόσβεσης (πέμπτη στήλη).

Επίσης, στα σχήματα 5.45 & 5.46 αναπαριστώνται οι ιδιομορφές των σημείων A11, B11, Γ11 και A31, B31, Γ31 όπως υπολογίστηκαν με την μέθοδο EFDD ανά ιδιοσυχνότητα για τους βαθμούς ελευθερίας x και y .



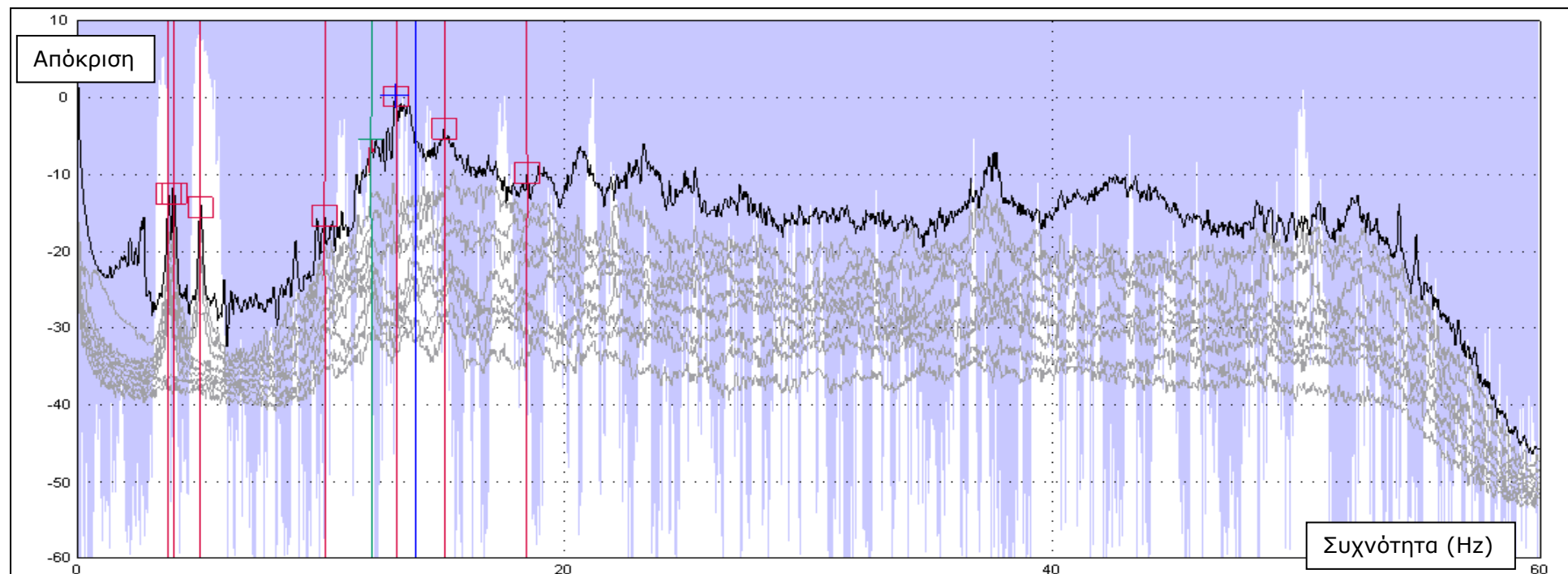
Α/Α Ιδιομορφή	Συχνότητα (Hz)	Τυπική απόκ. Συχν. (%)	Απόσβεση (%)	Τυπική απόκ. Απόσβ. (%)
1	3,746	0,02119	1,113	0,4463
2	3,953	0,01747	1,007	0,3247
3	5,03	0,01341	0,6459	0,3558
4	9,148	0,004668	0,3768	0,2612
5	12,01	0,05391	0,4835	0,2377
6	15,06	0,09958	0,5354	0,3627
7	18,43	0,0385	0,9114	1,158

Σχήμα 5.39: Διάγραμμα πυκνότητας ισχύος της απόκρισης – συχνότητας του 4^{ου} σετ μετρήσεων (A_{11}^s και A_{31}^s) και οι τιμές αποτελεσμάτων όπως υπολογίστηκαν αυτόματα από το λογισμικό ARTeMIS με την μέθοδο EFDD.



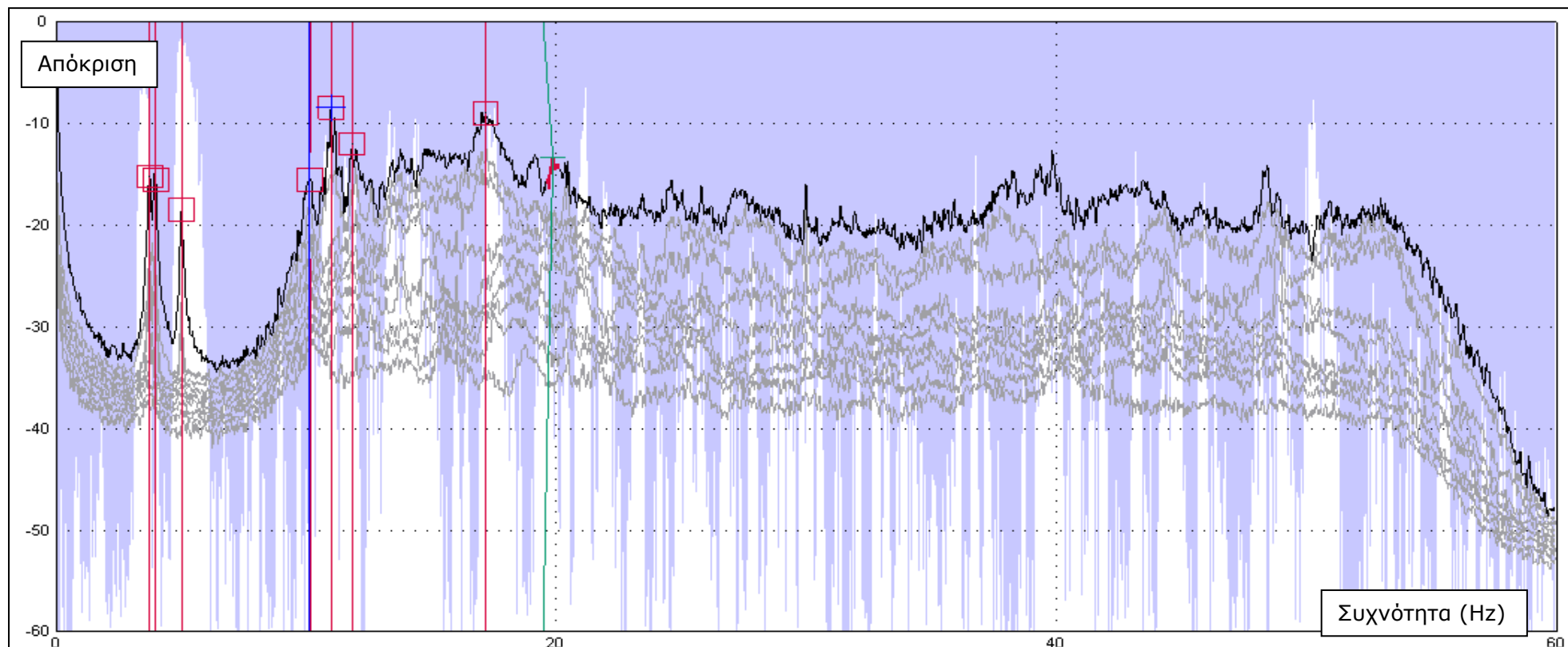
Α/Α Ιδιομορφή	Συχνότητα (Hz)	Τυπική απόκ. Συχν. (%)	Απόσβεση (%)	Τυπική απόκ. Απόσβ. (%)
1	3,746	0,02119	1,113	0,4463
2	3,953	0,01747	1,007	0,3247
3	5,039	0,03262	0,9076	0,2273
4	7,171	1,746	1,084	0,0255
5	10,18	0,04182	0,7584	0,895
6	11,99	0,02946	0,3062	0,2411
7	13,14	0,03496	0,5638	0,7554
8	16,19	0,0816	0,2911	0,09704

Σχήμα 5.40: Διάγραμμα πυκνότητας ισχύος της απόκρισης – συχνότητας του 5^{ου} σετ μετρήσεων (A_{13}^s και A_{33}^s) και οι τιμές αποτελεσμάτων όπως υπολογίστηκαν αυτόματα από το λογισμικό ARTeMIS με την μέθοδο EFDD.



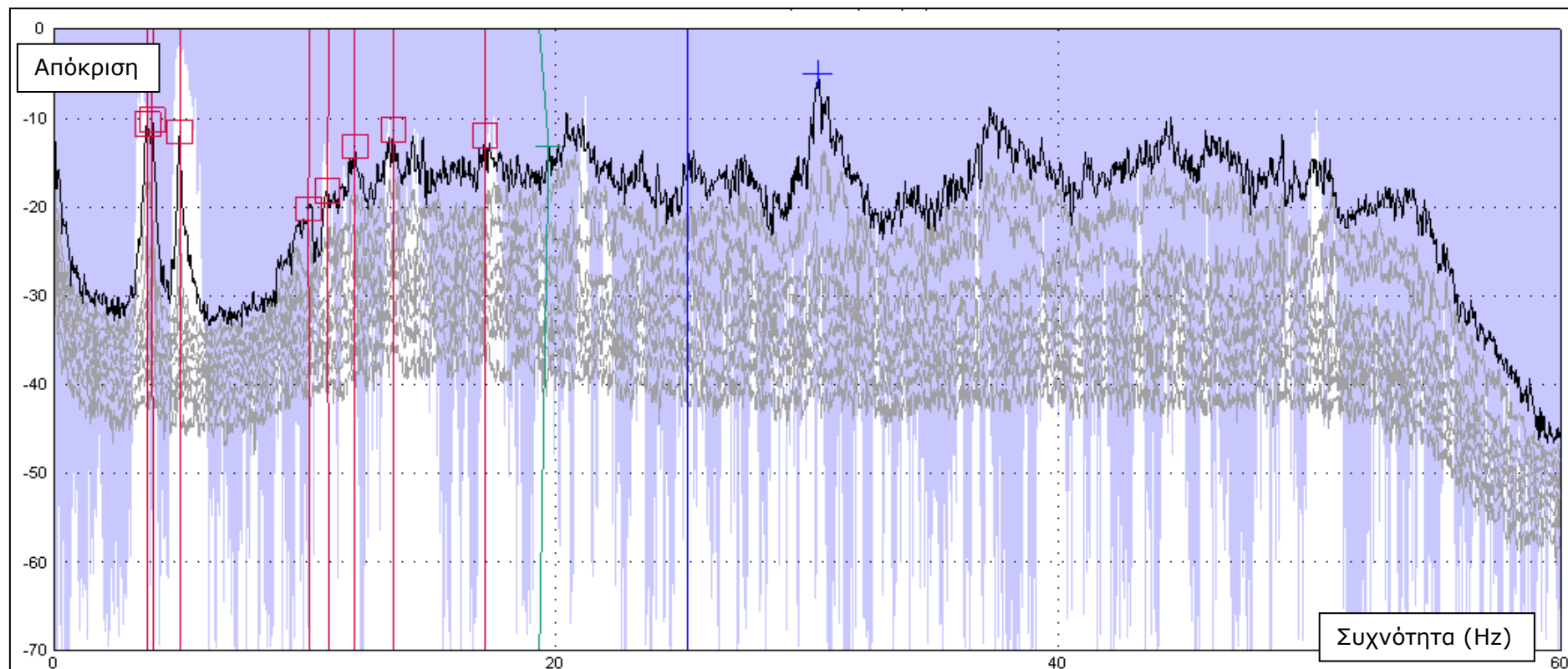
Α/Α Ιδιομορφή	Συχνότητα (Hz)	Τυπική απόκ. Συχν. (%)	Απόσβεση (%)	Τυπική απόκ. Απόσβ. (%)
1	3,746	0,02119	1,113	0,4463
2	3,953	0,01747	1,007	0,3247
3	5,039	0,03262	0,9076	0,2273
4	10,18	0,04182	0,7584	0,895
5	12,11	0,1477	0,6926	0,3742
6	13,14	0,03496	0,5638	0,7554
7	15,06	0,1001	0,7171	0,3887
8	18,43	0,0385	0,9114	1,158

Σχήμα 5.41: Διάγραμμα πυκνότητας ισχύος της απόκρισης – συχνότητας του 3^{ου} σετ μετρήσεων (B_{11}^s και B_{31}^s) και οι τιμές αποτελεσμάτων όπως υπολογίστηκαν αυτόματα από το λογισμικό ARTeMIS με την μέθοδο EFDD.



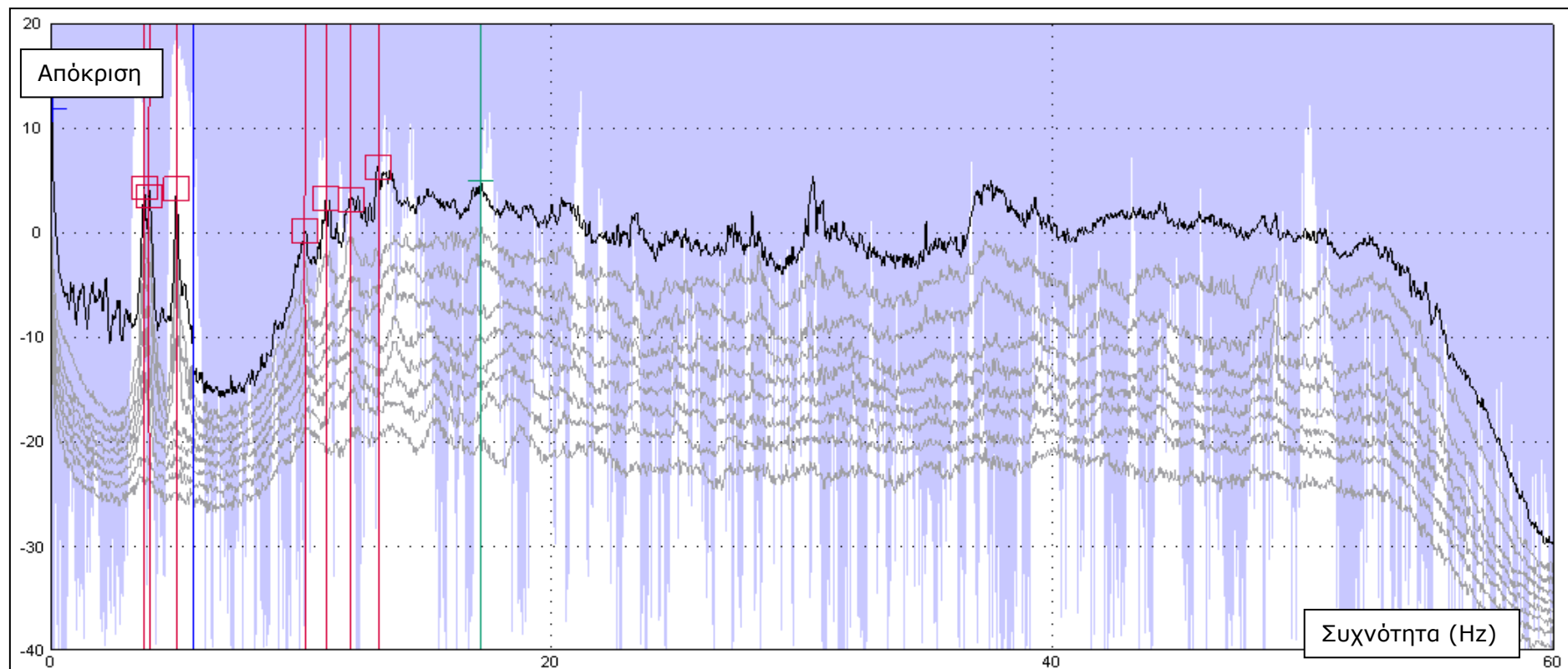
Α/Α Ιδιομορφή	Συχνότητα (Hz)	Τυπική απόκ. Συχν. (%)	Απόσβεση (%)	Τυπική απόκ. Απόσβ. (%)
1	3.746	0.02119	1.113	0.4463
2	3.953	0.1747	1.007	0.3247
3	5.03	0.01341	0.6459	0.3558
4	10.18	0.04182	0.7584	0.895
5	11.04	0.637	0.5024	0.4116
6	12,01	0,05391	0,4835	0,2377
7	17.16	0.08109	0.2997	0.0822
8	19.49	0.6009	0.3564	0.2973

Σχήμα 5.42: Διάγραμμα πυκνότητας ισχύος της απόκρισης – συχνότητας του 2^{ου} σετ μετρήσεων (B_{13}^S και B_{33}^S) και οι τιμές αποτελεσμάτων όπως υπολογίστηκαν αυτόματα από το λογισμικό ARTeMIS με την μέθοδο EFDD.



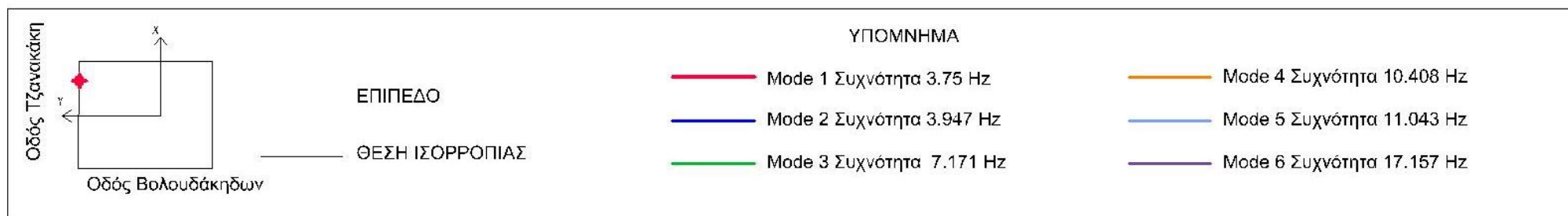
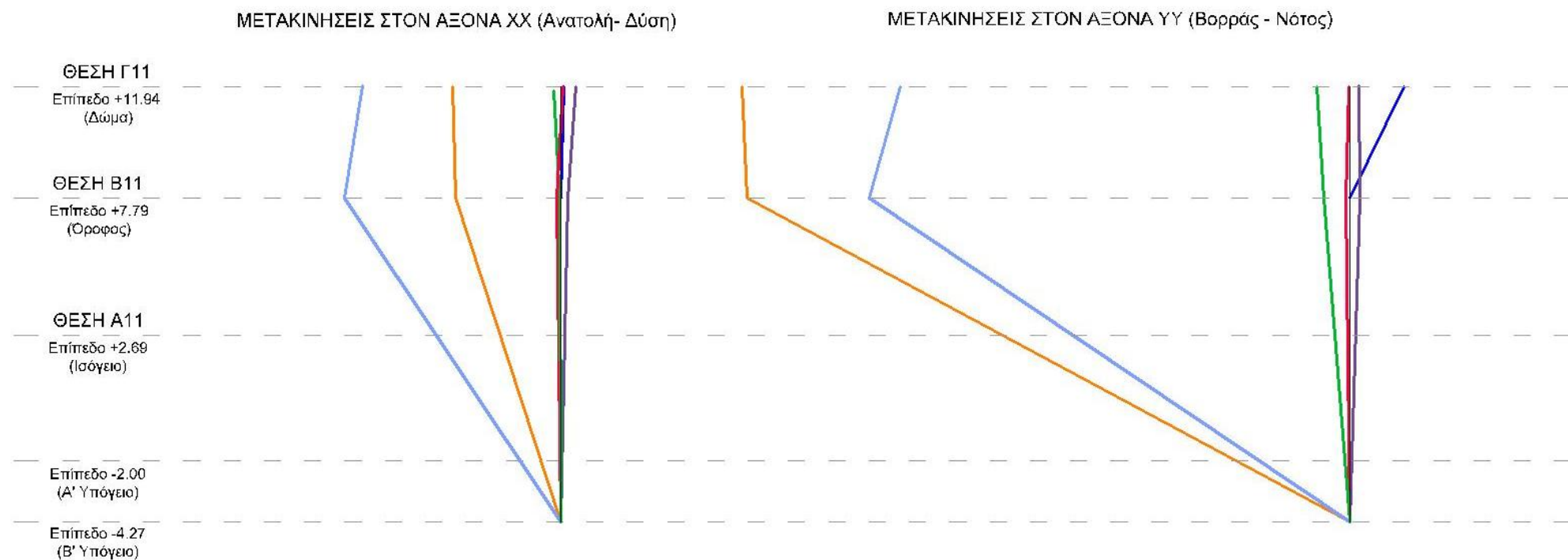
Α/Α Ιδιομορφή	Συχνότητα (Hz)	Τυπική απόκ. Συχν. (%)	Απόσβεση (%)	Τυπική απόκ. Απόσβ. (%)
1	3.749	0.02119	1.113	0.4463
2	3,953	0,01747	1,007	0,3247
3	5.03	0.01341	0.6459	0.3558
4	10.18	0.04182	0.7584	0.895
5	11,04	0,637	0,5024	0,4116
6	12.01	0.05391	0.4835	0.2377
7	13.53	0.2294	0.521	0.5379
8	17.16	0.08109	0.2997	0.0822

Σχήμα 5.43: Διάγραμμα πυκνότητας ισχύος της απόκρισης – συχνότητας του 1^{ου} σετ μετρήσεων (Γ_{11}^s και Γ_{31}^s) και οι τιμές αποτελεσμάτων όπως υπολογίστηκαν αυτόματα από το λογισμικό ARTeMIS με την μέθοδο EFDD.

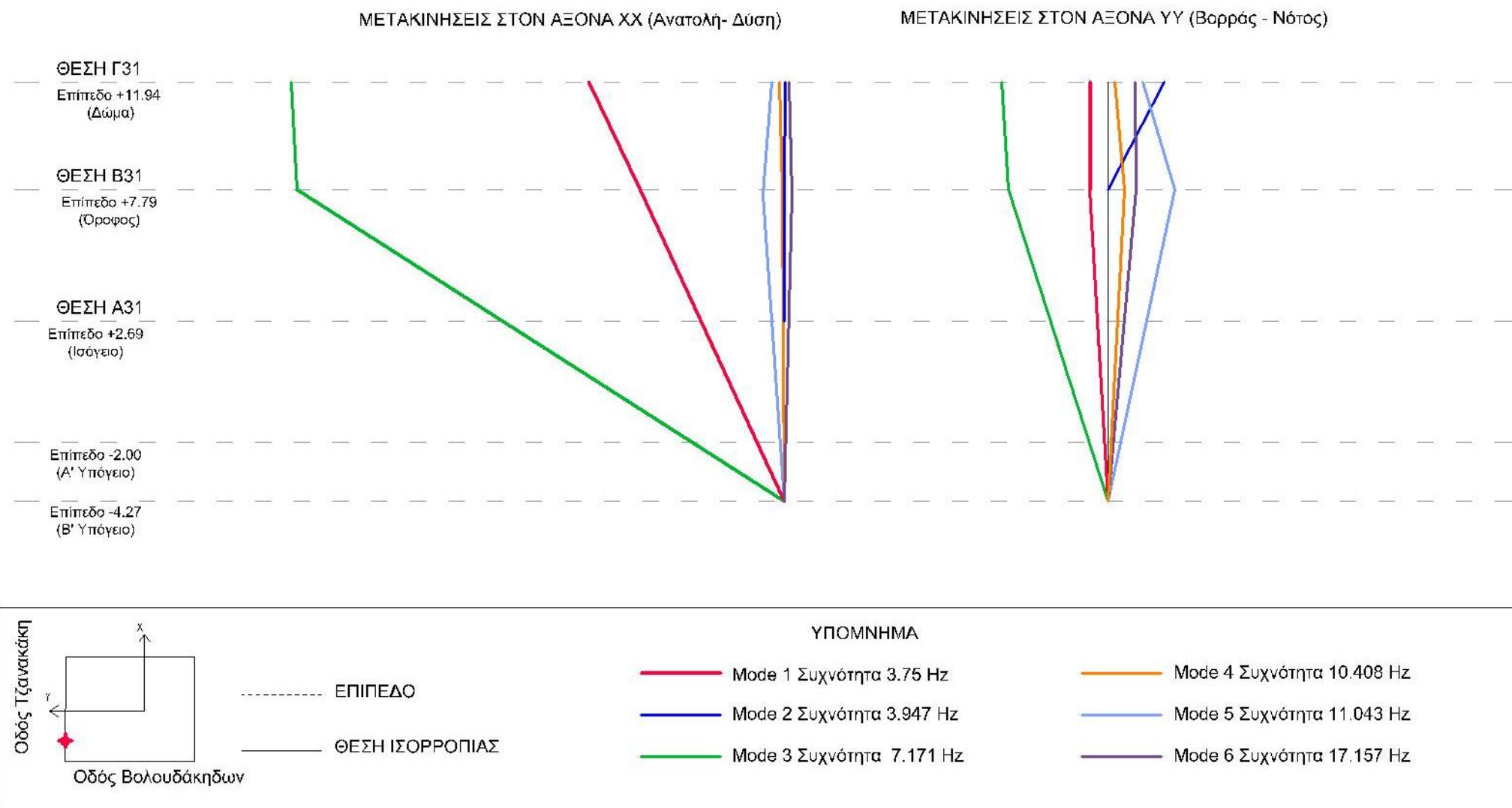


Α/Α Ιδιομορφή	Συχνότητα (Hz)	Τυπική απόκ. Συχν. (%)	Απόσβεση (%)	Τυπική απόκ. Απόσβ. (%)
1	3.746	0.02119	1.113	0.4463
2	3.954	0.01376	0.9029	0.3686
3	5.03	0.01341	0.6459	0.3558
4	10.18	0.04182	0.7584	0.895
5	11.04	0.0637	0.5024	0.4116
6	12.01	0.05391	0.4835	0.2377
7	13.14	0.03496	0.5638	0.7554
8	17.16	0.08109	0.2997	0.0822

Σχήμα 5.44: Διάγραμμα πυκνότητας ισχύος της απόκρισης – συχνότητας όλων των ομάδων μετρήσεων και οι τιμές αποτελεσμάτων όπως υπολογίστηκαν αυτόματα από το λογισμικό ARTeMIS με την μέθοδο EFDD.



Σχήμα 5.45: Μέγιστες μετακινήσεις των σημείων Α11, Β11, Γ11 (που βρίσκονται στην ίδια κατακόρυφο) όπως υπολογίστηκαν με την μέθοδο EFDD ανά ιδιοσυχνότητα και άξονα.



Σχήμα 5.46: Μέγιστες μετακινήσεις των σημείων Α31, Β31, Γ31 (που βρίσκονται στην ίδια κατακόρυφο) όπως υπολογίστηκαν με την μέθοδο EFDD ανά ιδιοσυχνότητα και άξονα.

5.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εύρεση των ιδιομορφικών χαρακτηριστικών του εδάφους πραγματοποιήθηκε με την χρήση της μεθόδου Nakamura για το έδαφος και της μεθόδου PP και EFDD για το κτίριο. Από τα γραφήματα που προέκυψαν με την μέθοδο Nakamura παρατηρούμε ότι οι τιμές των σημαντικότερων ιδιοσυχνοτήτων στο έδαφος είναι οι 0,45 Hz και 3,5 Hz σε όλες τις θέσης εκτός από μια (Θέση Π33) που διαφοροποιείται ελαφρά λαμβάνοντας τιμές 0,40Hz και 3,5 Hz. Ακόμη, οι καμπύλες των φασμάτων λόγου H/V – συχνότητας, σχεδόν ταυτίζονται στις χαμηλές συχνότητες ενώ οι σημαντικότερες ιδιοσυχνότητες του εδάφους, στις χαμηλές τιμές, είναι οι ίδιες για όλες τις θέσεις ανεξάρτητα από το αν απομακρυνόμαστε ή πλησιάζουμε το κτίριο.

Μελετώντας τα γραφήματα που προέκυψαν με την μέθοδο Peak Picking καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα δεν διαφέρουν σημαντικά ανάμεσα στα δύο όργανα ανά άξονα και θέση. Επίσης, οι κορυφές γύρω στο 3,7 Hz και 4,0 Hz επαναλαμβάνονται στον άξονα xx και yy και παρατηρούνται και στον άξονα zz με μειωμένες όμως τιμές απόκρισης όπως είναι αναμενόμενο. Στις μετρήσεις όπου το δάπεδο είναι ξύλινο δεν παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στη θέση των μέγιστων κορυφών στους άξονες xx και yy, αλλά μόνο στον άξονα zz γεγονός που πιθανώς να οφείλεται στο υλικό του δαπέδου. Τέλος, σε όσο μεγαλύτερο υψός από το έδαφος ήταν οι θέσεις μέτρησης, τόσο πιο μεγάλες τιμές είχαν οι καταγραφές απόκρισης. Χρησιμοποιώντας την μέθοδο EFDD καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι σημαντικότερες ιδιοσυχνότητες του κτιρίου είναι οι 3,746, 3,953, 5,03, 10,18, 11,04, 12,01, 13,14, 15,16, 17,16 με συντελεστές απόσβεσης 1,113, 1,007, 0,6459, 0,7584, 0,5024, 0,4835, 0,5638, 0,5354, 0,2997 αντίστοιχα όπως φαίνονται και στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 5.47).

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα και των τριών μεθόδων παρατηρούμε ότι οι ιδιοσυχνότητες γύρω στο 3,7Hz, 4,0Hz και 11,0 Hz εμφανίζονται στο κτίριο τόσο με τη μέθοδο PP όσο και με την μέθοδο EFDD. Επίσης, η 1^η ιδιομορφή (3,7Hz) του κτιρίου είναι αρκετά κοντά με την 2^η ιδιοσυχνότητα του εδάφους (3,5Hz). Από την απεικόνιση των ιδιομορφών στα σχήματα 5.45, 5.46 διακρίνουμε ότι οι σχετικές μετακινήσεις κατά την μια κατακόρυφο (A11, B11, Γ11) δεν ακολουθούν τις μετακινήσεις της δεύτερης κατακόρυφου (A31, B31, Γ31), καθώς η κατακόρυφος A11, B11, Γ11 έχει μεγαλύτερη απόκριση στις μεγαλύτερες

ιδιοσυχνότητες (10.408Hz, 11.043Hz) ενώ η κατακόρυφος A31, B31, Γ31 έχει μεγαλύτερη απόκριση στις μικρότερες ιδιοσυχνότητες (3.75Hz, 3.9747Hz) υποδηλώνοντας έτσι πιθανή στρεπτική ταλάντωση του κτιρίου.

A/A Ιδιομορφή	Συχνότητα (Hz)	Τυπ. Απόκ. Συχνότητας (%)	Απόσβεση (%)	Τυπ. Απόκ. Απόσβεσης (%)	Ομάδα Μέτρησης
1	3,746	0,02119	1,113	0,4463	A1, B1, B3, A3, Γ1, όλες
2	3,953	0,01747	1,007	0,3247	A1, A3, B1, B3, Γ1, όλες
3	5,03	0,01341	0,6459	0,3558	B3, Γ1, όλες, A1, A3, B1
	7,171	1,746	1,084	0,0255	A3
	9,148	0,004668	0,3768	0,2612	A1
4	10,18	0,04182	0,7584	0,895	A3, B1, B3, όλες
5	11,04	0,637	0,5024	0,4116	B3, όλες, B1, Γ1
6	12,01	0,05391	0,4835	0,2377	Γ1, όλες, B3, A1
	12,11	0,1477	0,6926	0,3742	B1
7	13,14	0,03496	0,5638	0,7554	όλες, B1, A3
	13,53	0,2294	0,521	0,5379	Γ1
8	15,06	0,09958	0,5354	0,3627	A1, B1
	16,19	0,0816	0,2911	0,09704	A3
9	17,16	0,08109	0,2997	0,0822	B3, Γ1, όλες
	18,43	0,0385	0,9114	1,158	A1, B1
	19,49	0,6009	0,3564	0,2973	B3

Πίνακας 5.47: Συγκεντρωτικός πίνακας των ιδιοσυχνοτήτων και των αποσβέσεων που αντιστοιχούν σε αυτές όπως προσδιορίστηκαν με την μέθοδο EFDD

5.6 ΣΥΝΟΨΗ

Το τριώροφο κτίριο «Μέγαρο Παπαδόπετρου», επιφάνειας ορόφου περίπου 225μ² από φέρουσα τοιχοποιία είναι ένα εγκαταλελειμμένο διατηρητέο κτίριο στα Χανιά που αποτελεί μνημείο για την αρχιτεκτονική κληρονομιά της πόλης. Η πρόβλεψη για τη χρήση του ως χώρου πολιτισμού καθιστά όχι μόνο απαραίτητη την επισκευή, αλλά και την συνεχή παρακολούθηση της δομικής ακεραιότητάς του στο μέλλον.

Τόσο στο κτίριο όσο και στον περιβάλλον χώρο, πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση των δυναμικών τους χαρακτηριστικών με τη μέθοδο της Λειτουργικής Ιδιομορφικής Ανάλυσης χρησιμοποιώντας επιταχυνσιόμετρα από δύο εταιρείες.

Η μεθοδολογία ανάλυσης των δεδομένων έγινε με βάση τις αρχές της τεχνικής Εντοπισμού Κορυφών (Peak Picking method), της Ενισχυμένης τεχνικής Αποδόμησης Πεδίου (EFDD) για τις μετρήσεις στο κτίριο και της μεθόδου Nakamura για τις μετρήσεις στο έδαφος.

Σημαντικές διαφορές στις τιμές των ιδιοσυχνοτήτων του κτιρίου δεν υπήρξαν ούτε συγκρίνοντας τα αποτελέσματα από τα δύο όργανα αλλά ούτε και τα αποτελέσματα από τις δύο μεθόδους ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν. Επίσης, ο περιβάλλον χώρος του κτιρίου παρουσιάζει σχετικά σταθερά ιδιομορφικά χαρακτηριστικά και μια από τις δεσπόζουσες ιδιοσυχνότητες του πλησιάζει αρκετά μια από τις ιδιοσυχνότητες του κτιρίου.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της δομικής κατάστασης και αξιοπιστίας του κτιρίου. Θα βοηθήσουν όχι μόνο στην επιλογή του υπολογιστικού προσομοιώματος του οποίου η δυναμική συμπεριφορά θα πλησιάζει όσο το δυνατόν περισσότερο αυτήν του κτιρίου αλλά και στην «ενημέρωσή» του για εύρεση αποδοτικότερων λύσεων ενίσχυσης. Τέλος, επιτεύχθηκε η δημιουργία βάσης δεδομένων για την παρακολούθηση της «υγείας» του κτιρίου και τη μελλοντική ανίχνευση βλαβών ύστερα από περιπτώσεις έντονης διέγερσής από ισχυρά σεισμικά φορτία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. M. Mucciarelli, A. Masi, M. Gallipoli, P. Harabaglia, M. Vona, F. Ponzio, M. Dolce, «Analysis of RC Building Dynamic Response and Soil-Building Resonance Based on Data Recorded during a Damaging Earthquake», Molise, Italy (2002).
2. R. Allemang, «Vibrations Analytical and experimental modal analysis», University of Cincinnati (1999).
3. Trifunac, M. D., M. I. Todorovska, «Long period microtremors, microseisms and earthquake damage» Northridge, CA, earthquake of 17 January 1994, Soil Dyn. Earthquake Eng. 19, 253–267, (2000).
4. C. Lomnitz, «The end of earthquake hazard», Seism. Res. Lett. 70, 387–388, (1999).
5. T. Ganev, F. Yamazaki, T. Katayama, «Observation and numerical analysis of soil–structure interaction of a reinforced concrete tower», Earthquake Eng. Structural Dyn. 24, no. 4, 491–503 (1995).

6. I. Takewaki, «Resonance and criticality measure of ground motions via probabilistic critical excitation method», *SoilDyn.EarthquakeEng.* 21, 645–659 (2001).
7. J. P. Wolf and C. Song, «Some cornerstones of dynamic soil structure interaction», *Eng. Struct.* 24, 13–28 (2002).
8. M. D. Trifunac, S. S. Ivanovic, and M. I. Todorovska, «Apparent period of a building. I. Fourier analysis» , *J. Struct. Eng.* 27, no. 5, 517–526, (2001a)
9. M. D. Trifunac, S. S. Ivanovic, and M. I. Todorovska, «Apparent period of a building. II time-frequency analysis» , *J. Struct. Eng.* 27, no. 5, 527–537, (2001b).
10. M. R. Gallipoli, M. Mucciarelli, R. R. Castro, G. Monachesi, and P. Contri Structure, «Soil-structure response and effects of damage based on observations of horizontal-to-vertical spectral ratio of microtremors», *Soil Dyn. Earthquake Eng.* 24, 487–495, (2003a).
11. A. Wirgin and P-Y. Bard, «Effects of buildings on the duration and amplitude of ground motion in Mexico City», *Bull, Seism. Soc. Am.* 86, 914–920, (1996).
12. P. Gueguen, P-Y. Bard, and C. S. «Oliveira Experimental and numerical analysis of soil motion caused by free vibration of a building model», *Bull. Seism. Soc. Am.* 90, 1464–1479, (2000).
13. P. Gueguen, P-Y. Bard, and F. J. Chavez-García, «Site-city seismic interaction in Mexico City-like environments: an analytical study», *Bull., Seism. Soc. Am.* 92, no. 2, 794–811, (2002).
14. M. Mucciarelli, M. R. Gallipoli, F. Ponzo, and M. Dolce, «Seismic waves generated by oscillating buildings: analysis of a release test», *Soil Dyn. Earthquake Eng.*, 23, 255–262, (2003a).
15. C. Tsogka, and A. Wirgin, «Simulation of seismic response in an, idealized city», *Soil Dyn. Earthquake Eng.* 23, 391–402, (2003).
16. M. Vanali, A. Cigada, «Long Term Operational Modal Analysis of a Stadium Grandstand to Structural Health Monitoring Purposes». *IEEE Workshop on Environmental, Energy and Structural Monitoring Systems*. Crema, Italy, September 24-25, (2009).
17. House of Commons ODPM: Housing, Planning, Local Government and the Regions Committee, *The Role of Historic Buildings in Urban Regeneration Eleventh Report of Session 2003–04 Volume I – Report*, together with

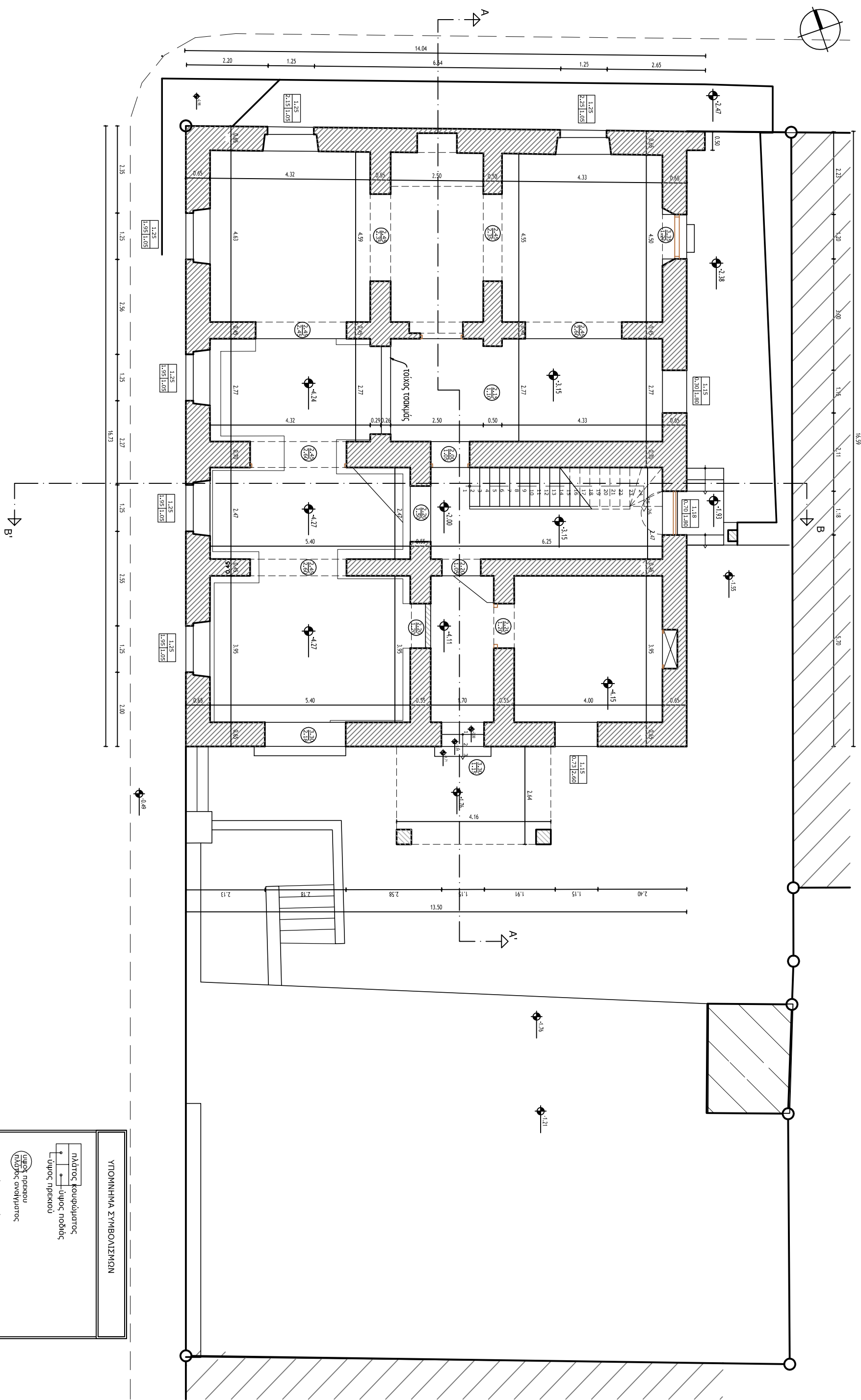
- formal minutes, oral and written evidence, Ordered by The House of Commons to be printed 21 July 2004
- 18.U.Grundstrom, «Operational Modal Analysis of the Stockholm Waterfront Congress Centre Master of Science Thesis Stockholm, Sweden (2010).
 - 19.R. Brincker, P. Andersen, «Ambient Response Analysis of the Heritage Court Building Structure». Proc. 18th International Modal Analysis Conference. San Antonio, Texas, USA, February 7-10, (2000).
 - 20.CE. Ventura, JF. Lord, RD. Simpson, «Effective use of Ambient Vibration Measurements for Modal Updating of a 48 Storey Building in Vancouver, Canada», 4th Structural Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering Montréal, Québec, Canada, June 5-8, (2002).
 - 21.JMW. Brownjohn, «Ambient Vibration Studies for System Identification of Tall Buildings», Earthquake Engineering and Structural Dynamics 32:71-95. DOI: 10.1002/eqe.215, (2003).
 - 22.A. Bayraktar, T Türker, Sevim, AC Altunişik, F. Yildirim, «Modal Parameter Identification of Hagia Sophia Bell-Tower via Ambient Vibration Test», Journal of Nondestructive Evaluation 28:37-47. DOI: 10.1007/s10921-009-0045-9, (2009).
 - 23.P. Mendes, MA. Baptista, «“Output Only” Analysis Applied on a Reinforced Concrete Building», Lisbon. Proc. 22th International Modal Analysis Conference. Detroit, USA, (2008).
 - 24.F. Malgahães, E. Caetano, Á. Cunha, «Operational Modal Analysis of the Braga Sports Stadium Suspended Roof», Engineering Structures, 30(6):1688-1698 (2008).
 - 25.Αιμ. Κλάδου-Μπλέτσα, «Τα Χανιά έξω από τα τείχη», εκδ. ΤΕΕ ΤΔΚ, Αθήνα, Β' έκδοση (1998)
 - 26.www.chania magazine.gr, 08-12-2011
 - 27.Ειδικός Λογαριασμός Έρευνας Πολυτεχνείου Κρήτης, Επιστημονικός υπεύθυνος Λέκτορας Μαρία Σταυρουλάκη Έκθεση ερευνητικού προγράμματος «Στατική μελέτη αποκατάστασης κτιρίου Παπαδόπετρου – Αρχιτεκτονικές επεμβάσεις», Χανιά, (2011).
 - 28.G.Kerschen, JC. Golinval, «Experimental Modal Analysis»
 - 29.K. Αναστασιάδης, «Αντισεισμικές κατασκευές Ι», Θεσσαλονίκη, (2001).
 - 30.E. Yo, D. H. Whang, J. P. Conte, J. P. Stewart and J. W. Wallace, «Force vibration testing of buildings using the linear shaker seismic simulation» (LSSS) testing method, (2005).

- 31.Wei-Xin Ren and Zhou-Hong Zong, «Output only modal parameter identification of civil engineering structures», China (2003).
- 32.LDS group, «Basics of Structural Vibration Testing and Analysis», (2003).
- 33.K. shin, J. Hammond, «Fundamentals of signal processing for sound and vibration engineers», John Wiley & Sons, Ltd (January 2008).
- 34.K. Ευστάθιος, Καθηγητής τμήματος Χημείας Παν/μιου Αθηνών, Χημική οργανολογία-Μικρουπολογιστές, Αθήνα (2002).
- 35.Bendat, S. Julius and A. G. Piersol, «Random Data, Analysis and Measurement Procedures», John Wiley and Sons, (1986).
- 36.P.Andersen, R. Brincker & P.H. Kirkegaard, «Theory of Covariance Equivalent ARMAV Models of Civil Engineering Structures», Proc. Of IMAC 14, Dearborn, Michigan, USA, (1996).
- 37.G.H. James III, T.G. Carne & J.P. Laufer, «The natural excitation technique (NExT) for Modal parameter extraction from operating structures», Int. J. of Analytical and Experimental Modal Analysis, VOL 10, (1995).
- 38.Van Overschee, P. & B. De Moor, «Subspace identification for linear systems: theory – implementation – applications». Kluwer Academic Publisers, Dordrecht, The Netherlands.
- 39.R. Brincker, P. Andersen, «Ambient Response Analysis Modal Analysis for Large Structures», sixth international congress on sound and vibration, Denmark, Copenhagen.
- 40.Bendat, S. Julius and A. G. Piersol: «Random Data, Analysis and Measurement Procedures», John Wiley and Sons, (1986).
- 41.R. Brincker, L. Zhang, P. Andersen, «Modal Identification from Ambient Responses using Frequency Domain Decomposition».
- 42.Wikipediahttp://en.wikipedia.org/wiki/Singular_value_decomposition
- 43.ARTeMIS help topic
- 44.Wikipedia Nakamura method, 08-12-2012
- 45.<http://en.wikipedia.org/wiki/Accelerometer>, 08-12-2012
- 46.The Popular science monthly (1886) Volume:29 Subject:Science; Technology Publisher: New York, Popular Science Pub. Co, etc.
- 47.Εγχειρίδιο λειτουργίας MS2005+ της εταιρείας Syscom Instruments.
- 48.<http://www.sensorland.com/HowPage019.html> , 08-12-2012
- 49.<http://www.capacitive-sensing.com>, 08-12-2012
- 50.Εγχειρίδιο λειτουργίας MR2002 της εταιρείας Syscom Instruments.

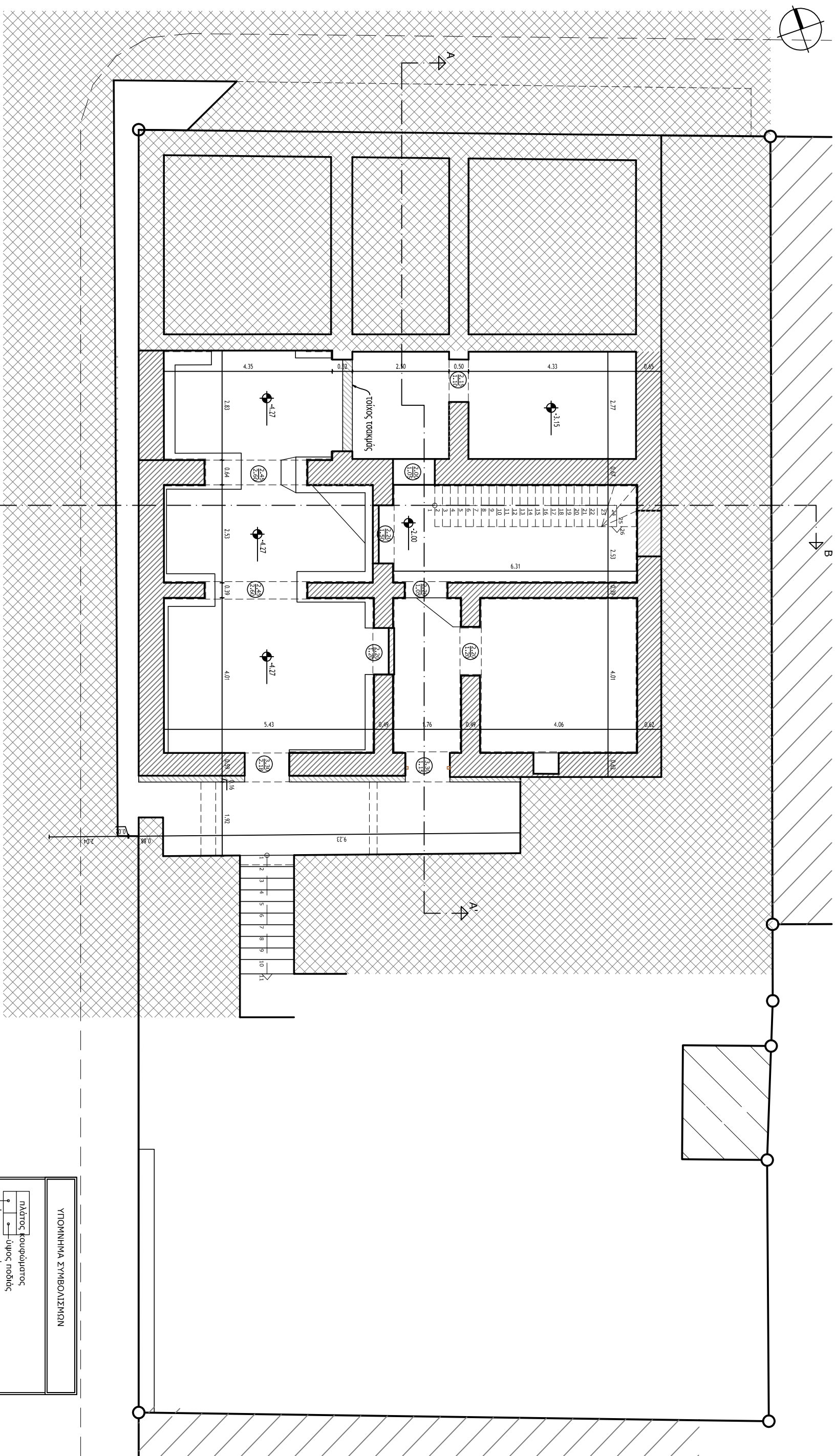
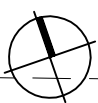
- 51.Εγχειρίδιο λειτουργίας NCC light vibration Network Controller της εταιρείας Syscom Instruments.
- 52.Εγχειρήδιο χρήσης του λογισμικού διαχείρισης View2002 της εταιρείας Syscom Instruments
- 53.Micromed S.p.a, εγχειρήδιο χρήσης "Tromino Engy" , 2008, Italy
- 54.http://en.wikipedia.org/wiki/Piezoelectric_accelerometer, 08-12-2012
55. http://www.stanford.edu/class/me220/data/lectures/lect10/lect_6.html, 08-12-2012
- 56.B. Λεκίδης, Χ. Καρακώστας, Π. Πανέτσος, Ι. Διαμαντουλάκη, «Ενόργανη παρακολούθησης δομικής κατάστασης σημαντικών έργων με σκοπό την πληρέστερη συντήρησή τους» Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Ιούνιος (2009).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ



ΚΑΤΩΨΗ Α' ΥΠΟΓΕΙΟΥ
ΚΑΙΜΑΚΑ 1:100



B'

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ

πάτος κουφώματος

ύψος παθίδας

ύψος ηρεμιού

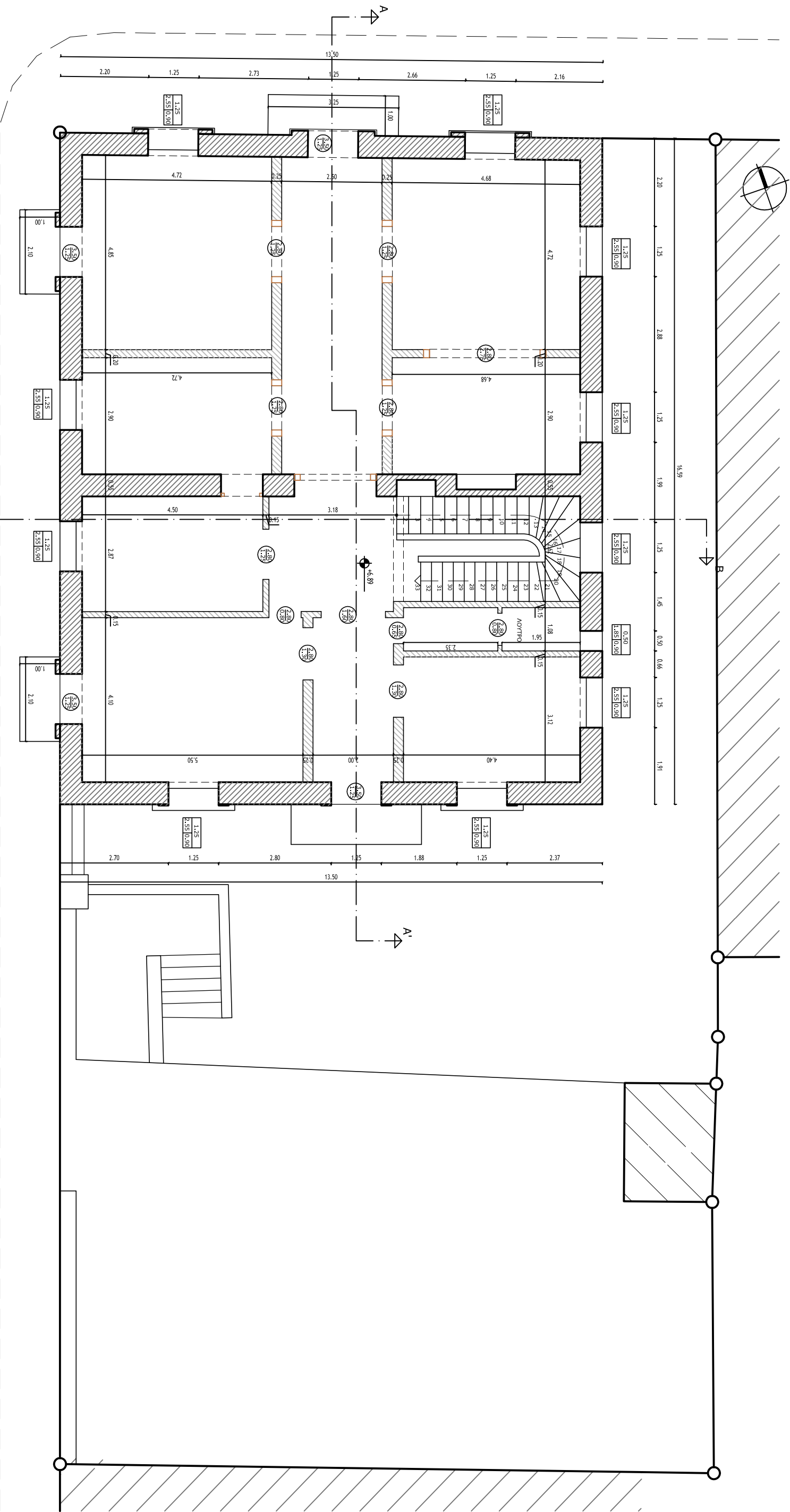
ύψος ηρεμιού

πάτος ανοίγματος

Στάθμη δαπέδου

Υπομνημα τοιχίς

ΚΑΤΩΦΗ Β' ΥΠΟΓΕΙΟΥ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100



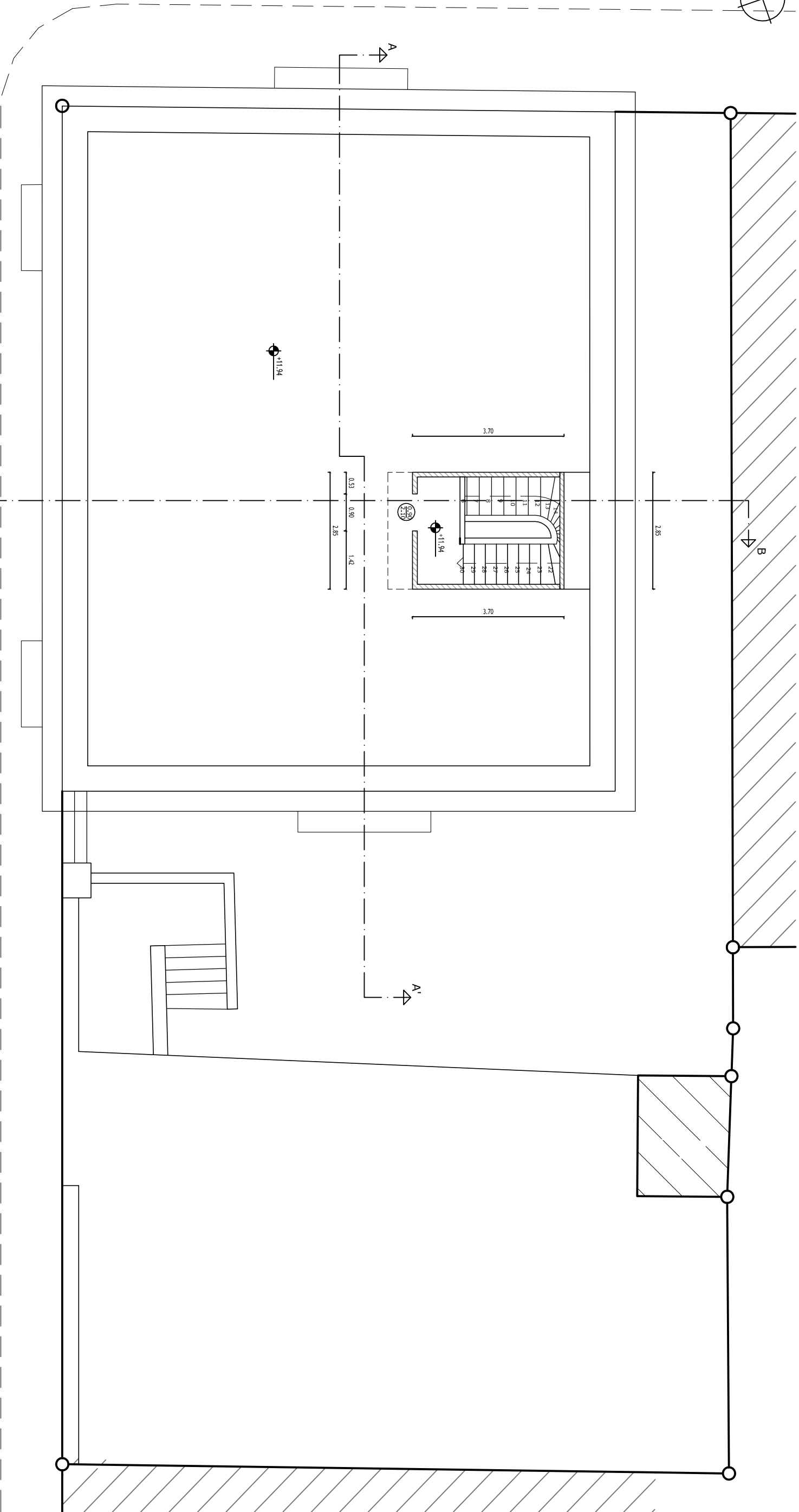
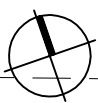
ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ

πλάτος κουφώματος
ύψος ποδιάς
ύψος ηρεκτού

κύριος ποταμός
παράρτηρος αναχώματος
Στάθμη δαπέδου

Υπομνημα τοιχής

ΚΑΤΟΥΗ ΟΡΟΦΟΥ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100



B'

B

A'

A

+11.94

3.70

3.70

2.85

0.53

0.90

2.85

1.42

0.53

0.90

0.53

0.90

0.53

0.90

0.53

0.90

0.53

0.90

0.53

0.90

0.53

0.90

0.53

0.90

0.53

0.90

0.53

0.90

0.53

0.90

0.53

0.90

0.53

0.90

0.53

0.90

0.53

0.90

0.53

0.90

0.53

0.90

0.53

0.90

0.53

0.90

0.53

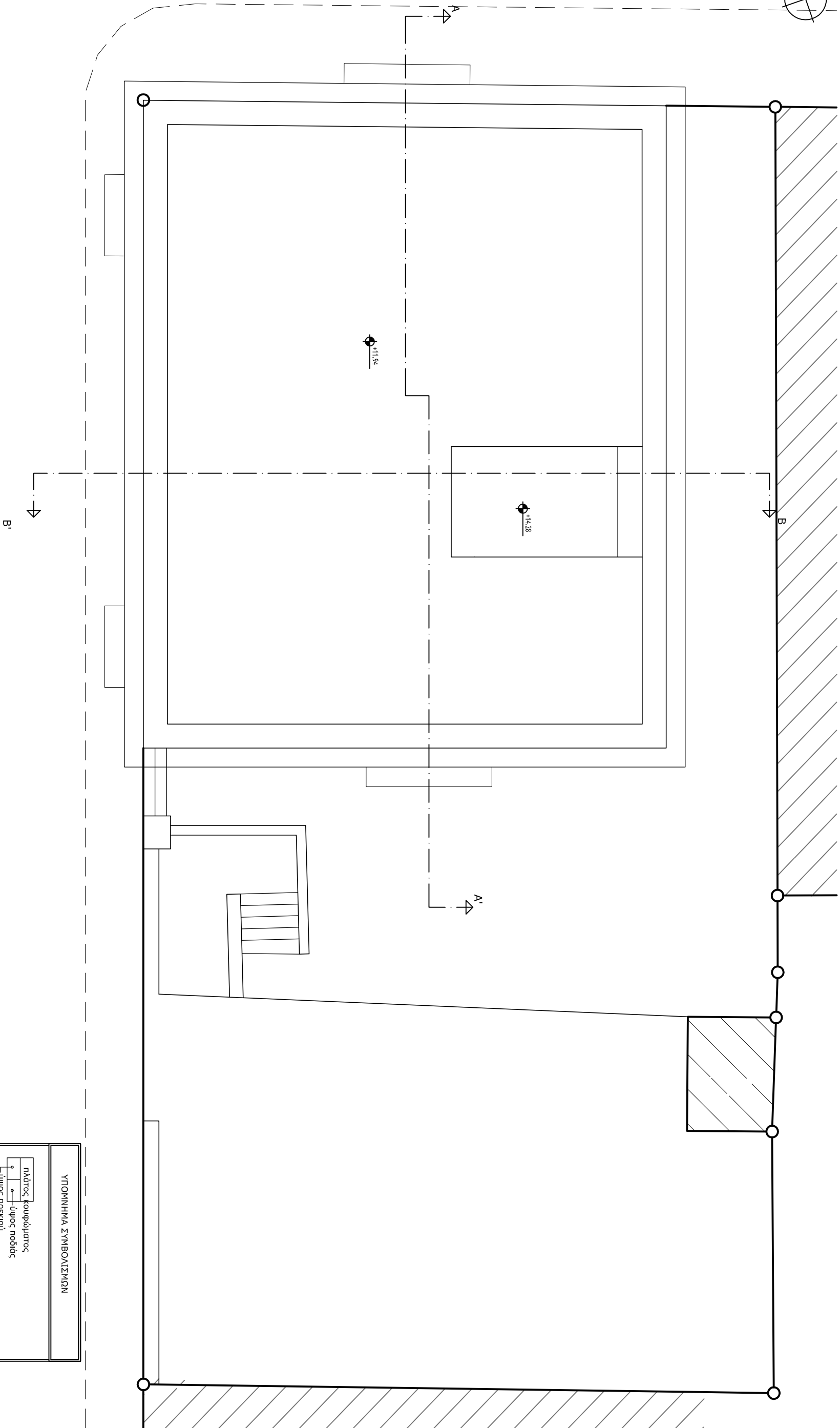
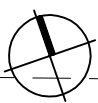
0.90

0.53

0.90

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ	
	πλάτος κουφώματος
	ύψος πλάτους
	ύψος ηρεμίου
	ύψος ηρεμίου
	πλάτος οριζώντιου
	Στάθμη δαπέδου
	Υπομνημα τοιχίς

ΚΑΤΩΦΗ ΑΠΟΛΗΨΗΣ ΚΛΙΜΑΚΟΣΤΑΣΙΟΥ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100



ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ

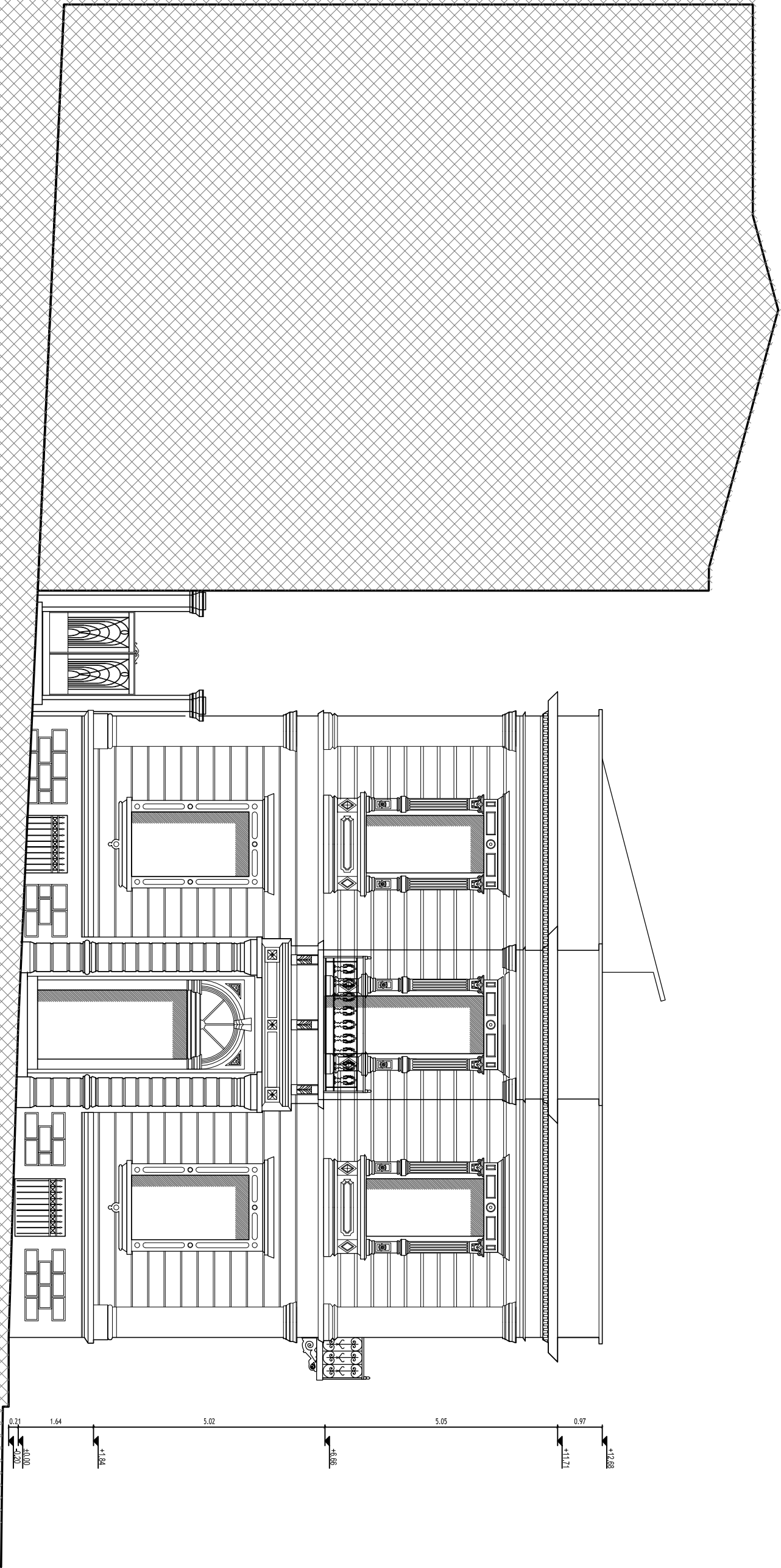
Πλάτος κουφώματος
Ύψος πλοῖδας
Ύψος ημεκίου

Λύμα ημεκίου
Πλάτος ανοίγματος

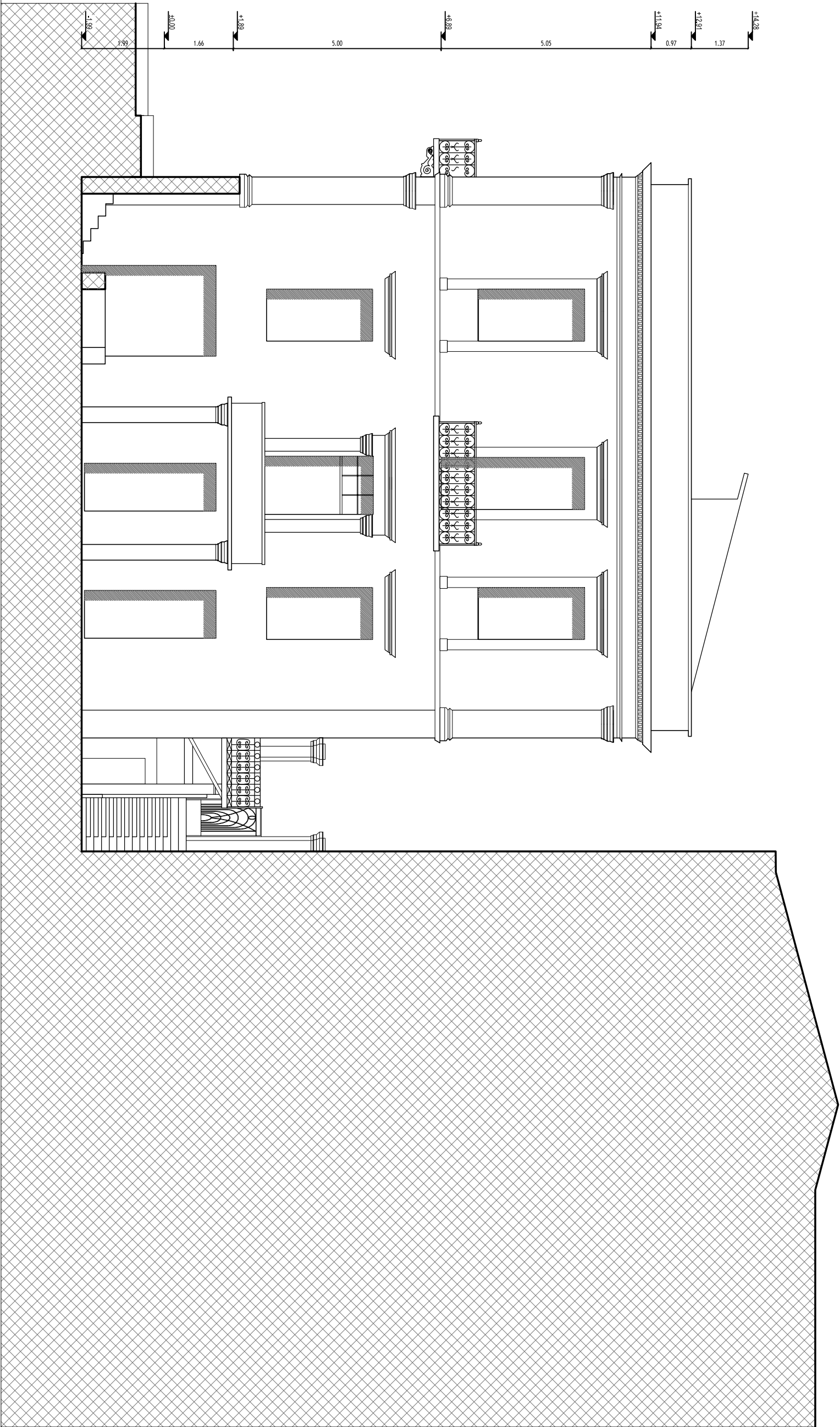
Στάθμη δαπέδου

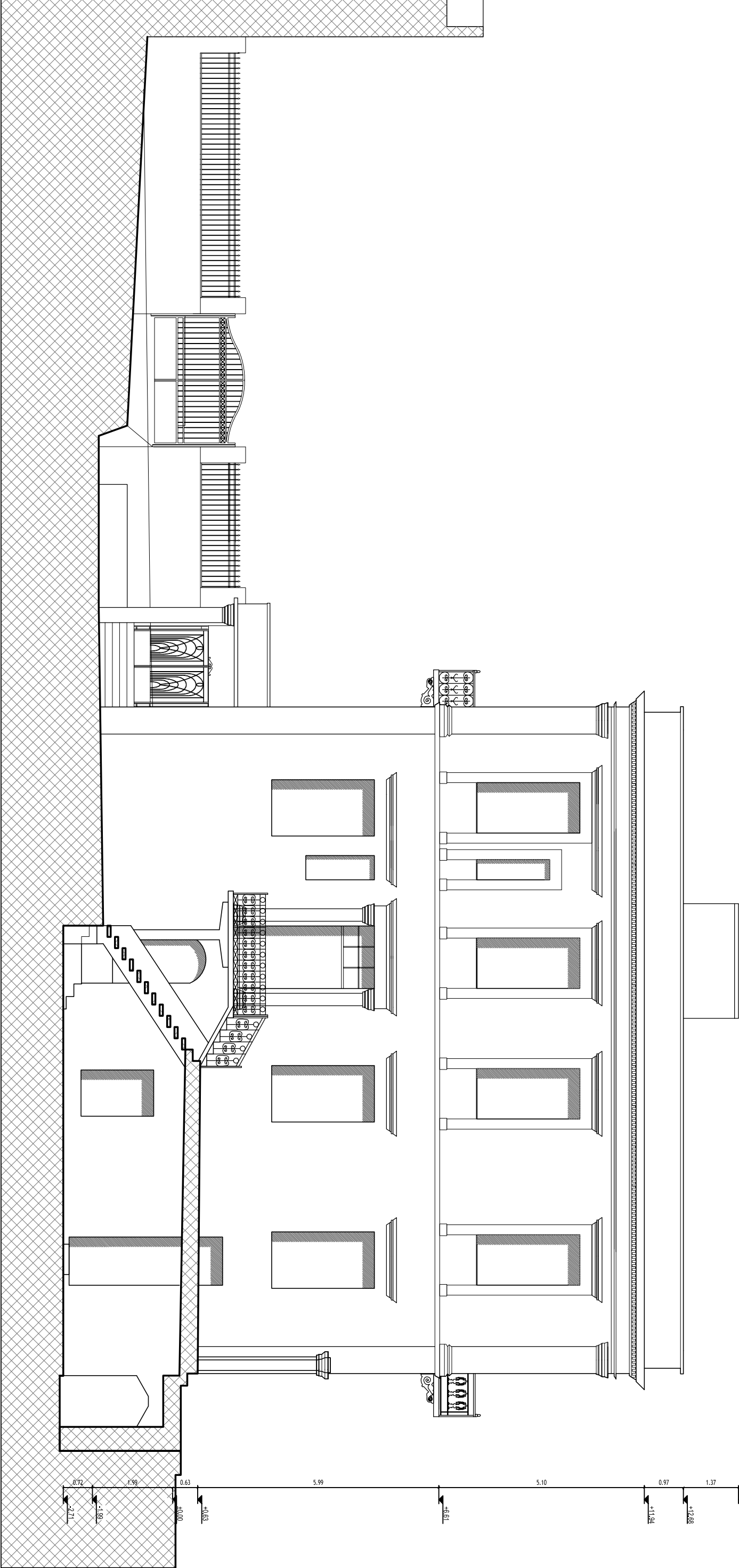
Υπομνητή τοιχίς

ΚΑΤΟΥΗ ΔΩΜΑΤΟΣ
ΚΑΙΜΑΚΑ 1:100

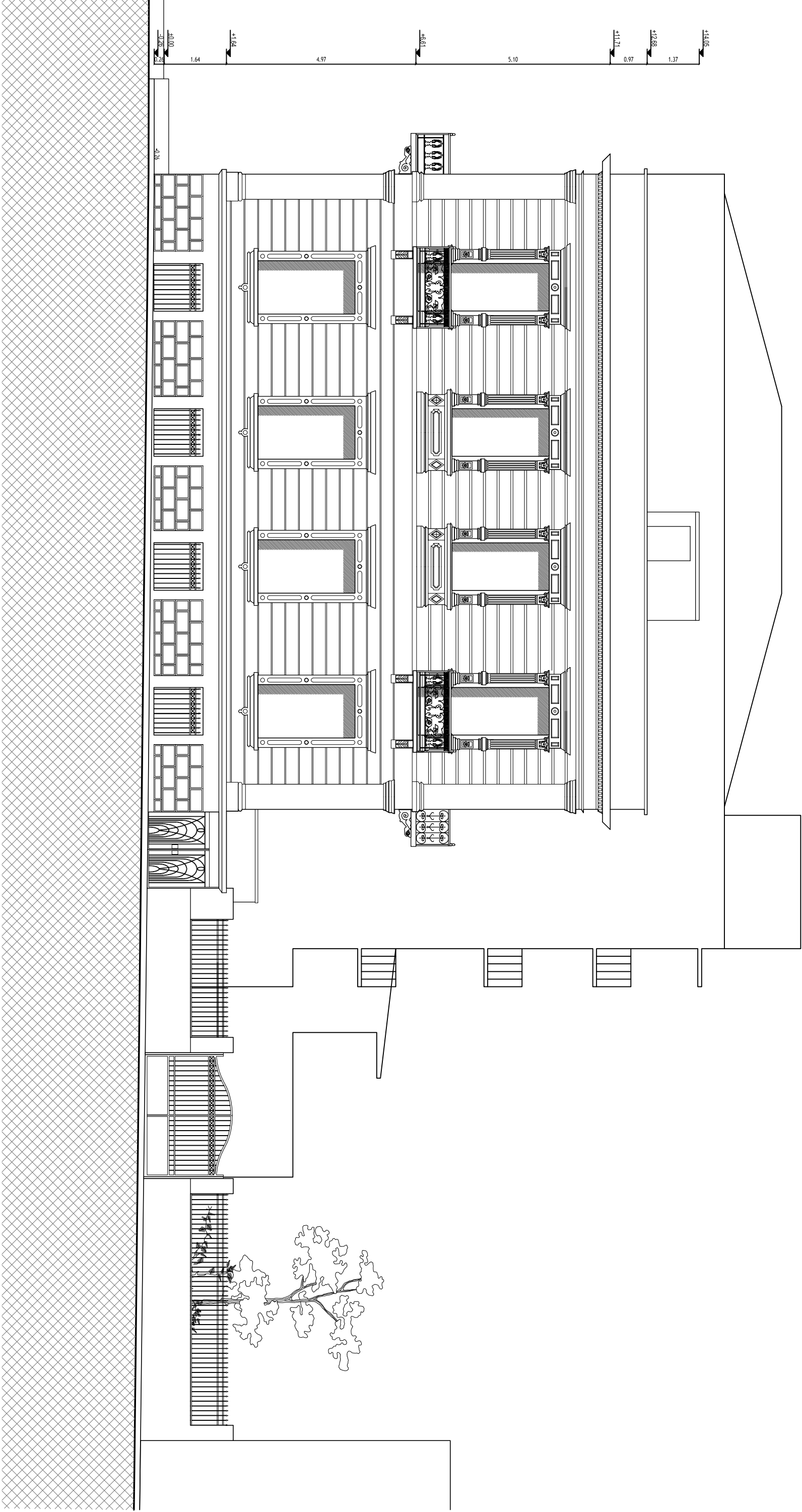


ΒΟΡΕΙΑ ΟΥΨΗ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100





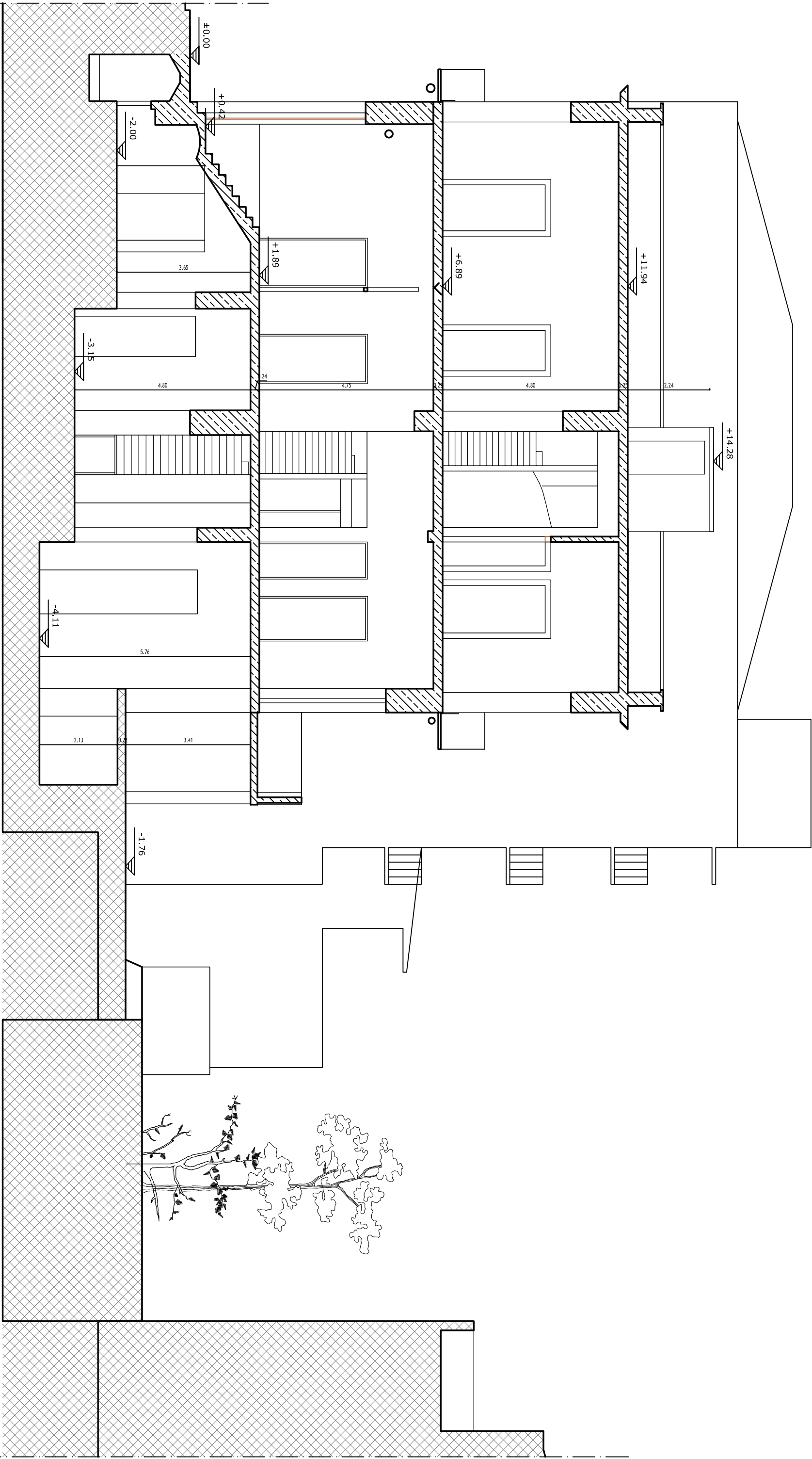
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΥΡΗ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100



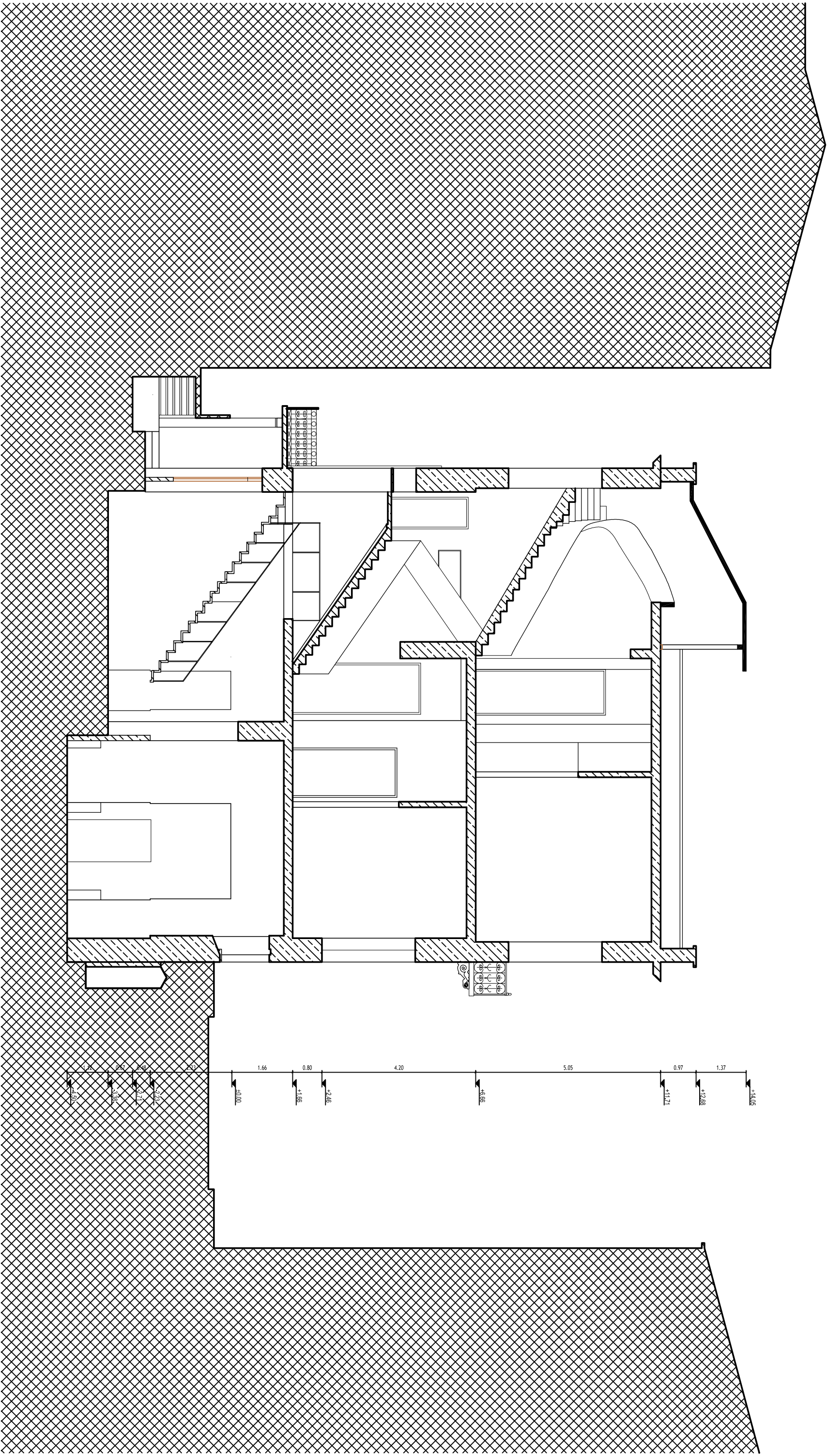
+14.06
+12.88
+11.71
+6.61
+1.64
-0.00
-0.26
-0.76

1.37
0.97
5.10
4.97
1.64
0.76

ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ
ΚΑΙΜΑΚΑ 1:100



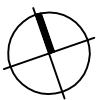
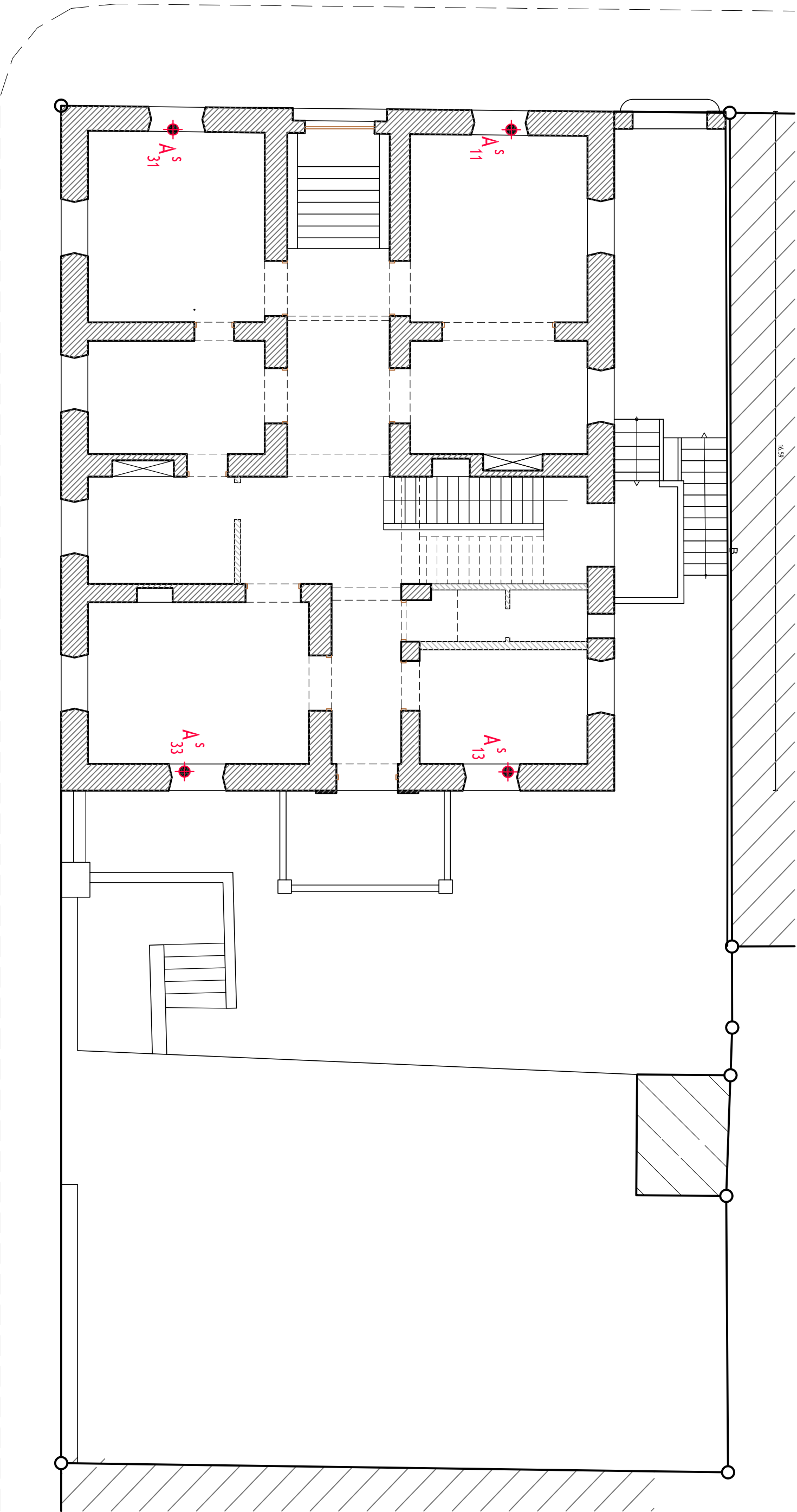
TOMH A-A'
KIMAKA 1:100



TOMH B-B'
KAIMAKA 1:100

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΘΕΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩΝ



ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ

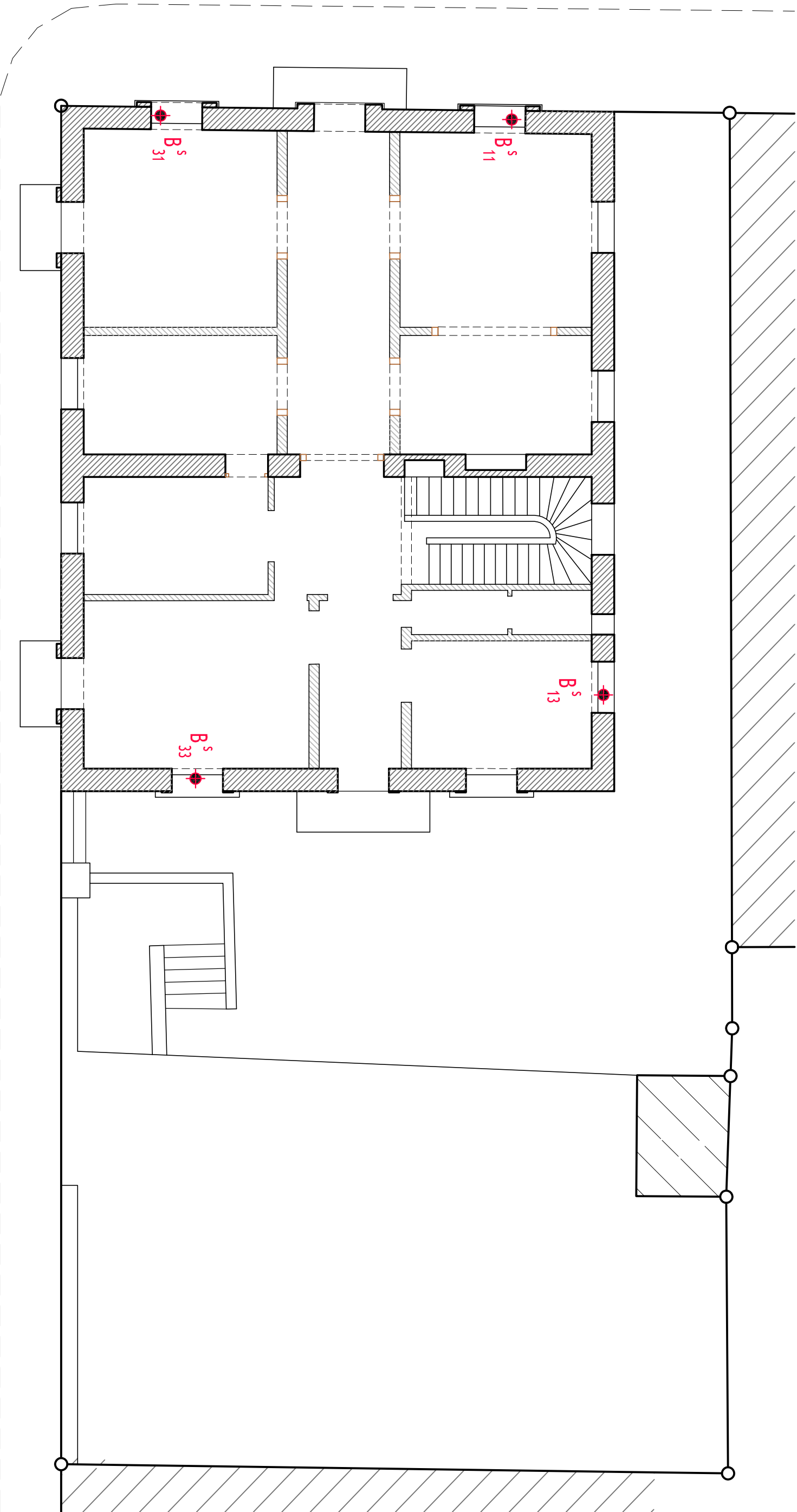
⊕ θέση οργάνου

επιτεδο στρέψη
X= Α: ισόγειο
B: όροφος
Γ: δώμα
Π: περιβάλλον χώρος
Rf=θέση αναφοράς

είδος οργάνου
Z= tr (transmission)
s (system)

θέση οργάνου ανα στρέψη
ij=1,2,3

ΘΕΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΟΥ ΣΤΟ ΙΣΟΓΕΙΟ **SYSCOM**
ΚΑΙΜΑΚΑ 1:100



ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ

⊕

θέση οργάνου

επιτεδο στάθμης

X= Α: ισογείο

B: όροφος

F: δώμα

Π: περιβάλλον χώρος

Rf=θέση αναφοράς

είδος οργάνου

Z= tr (tramino)

s (syscom)

θέση οργάνου ανα στάθμη

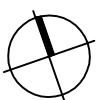
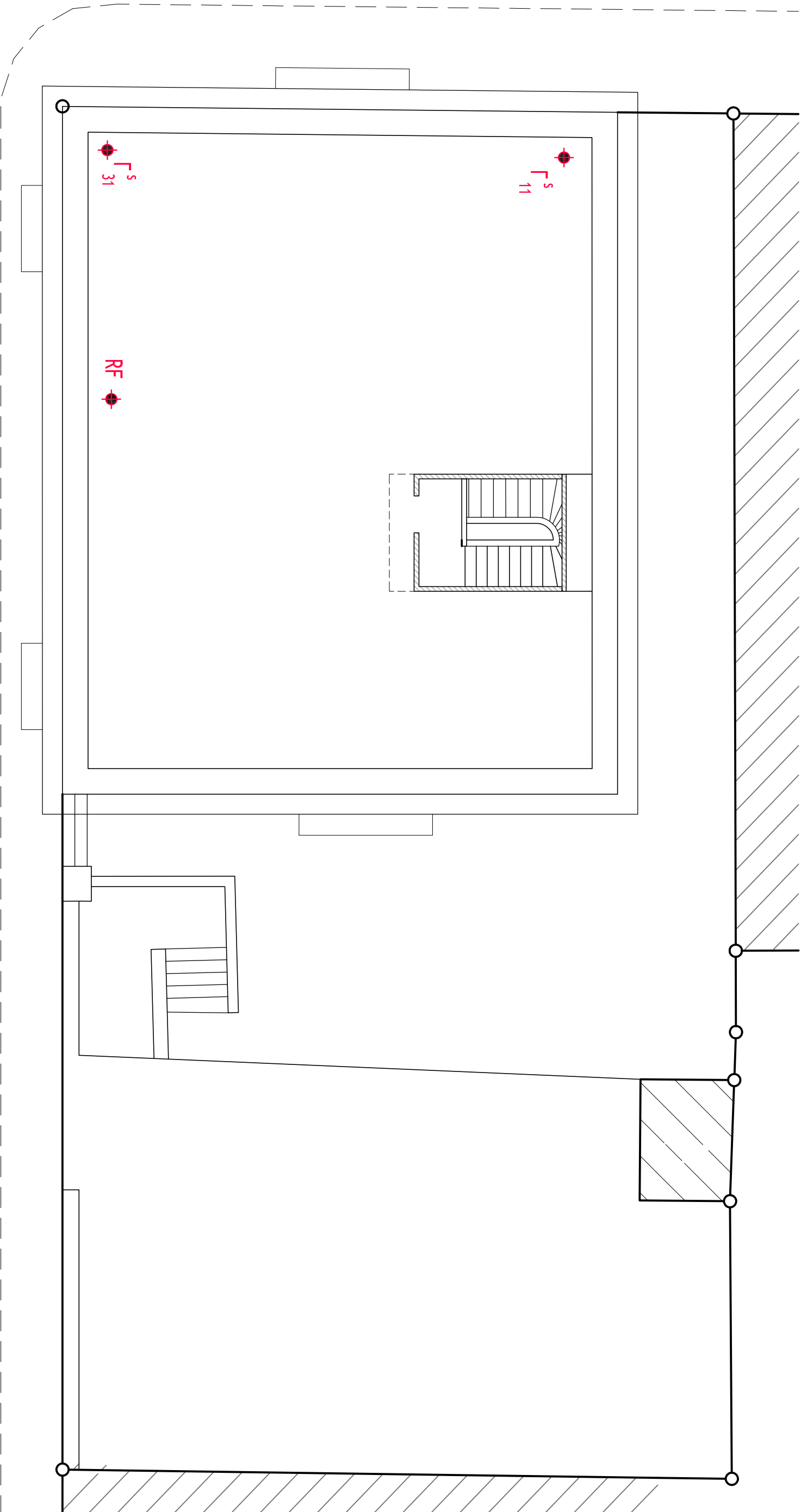
ij=1,2,3

X Z

ij

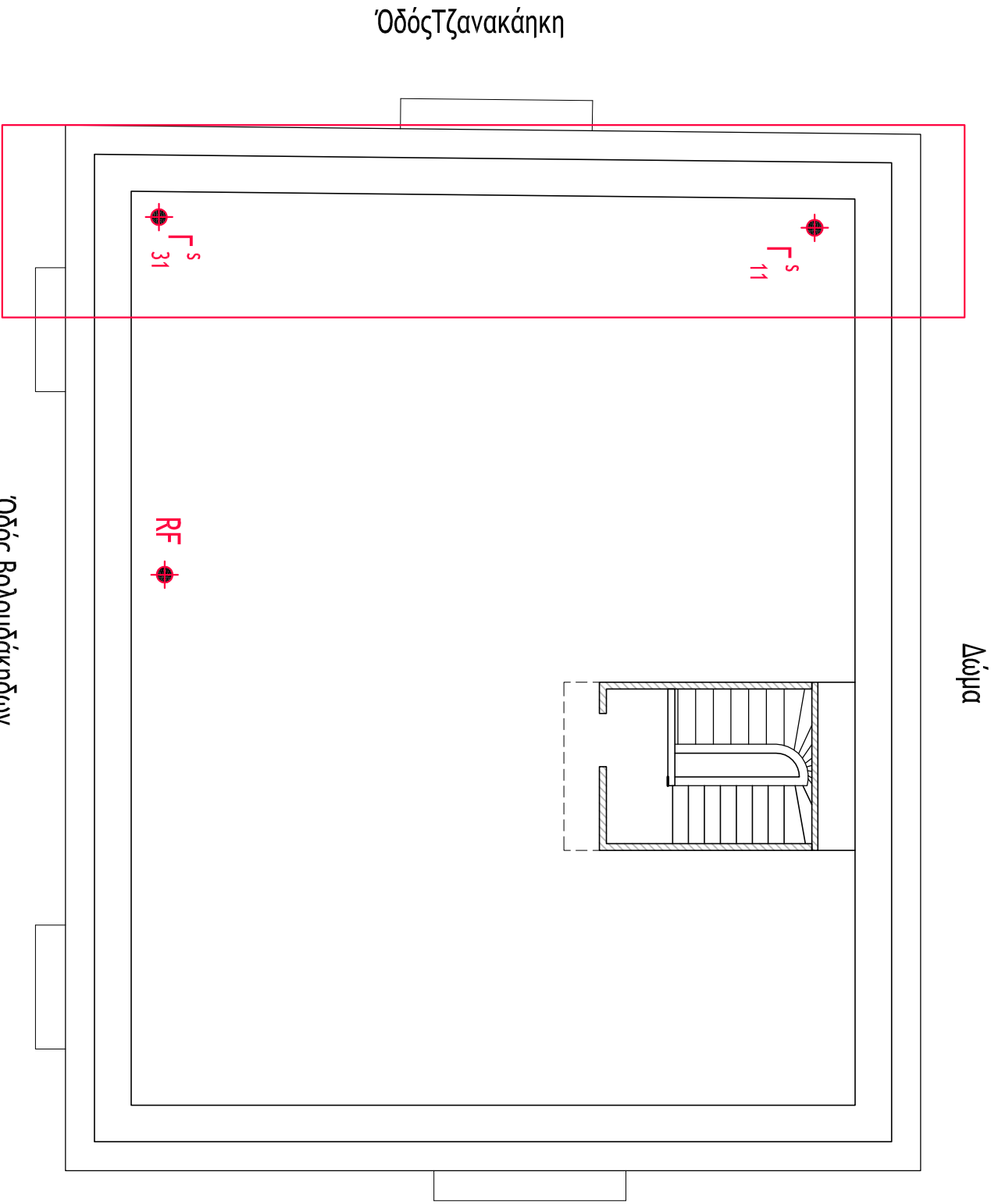
ΘΕΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩΝ ΣΤΟΝ ΟΡΟΦΟ **SYSKOM**

ΚΑΙΜΑΚΑ 1:100

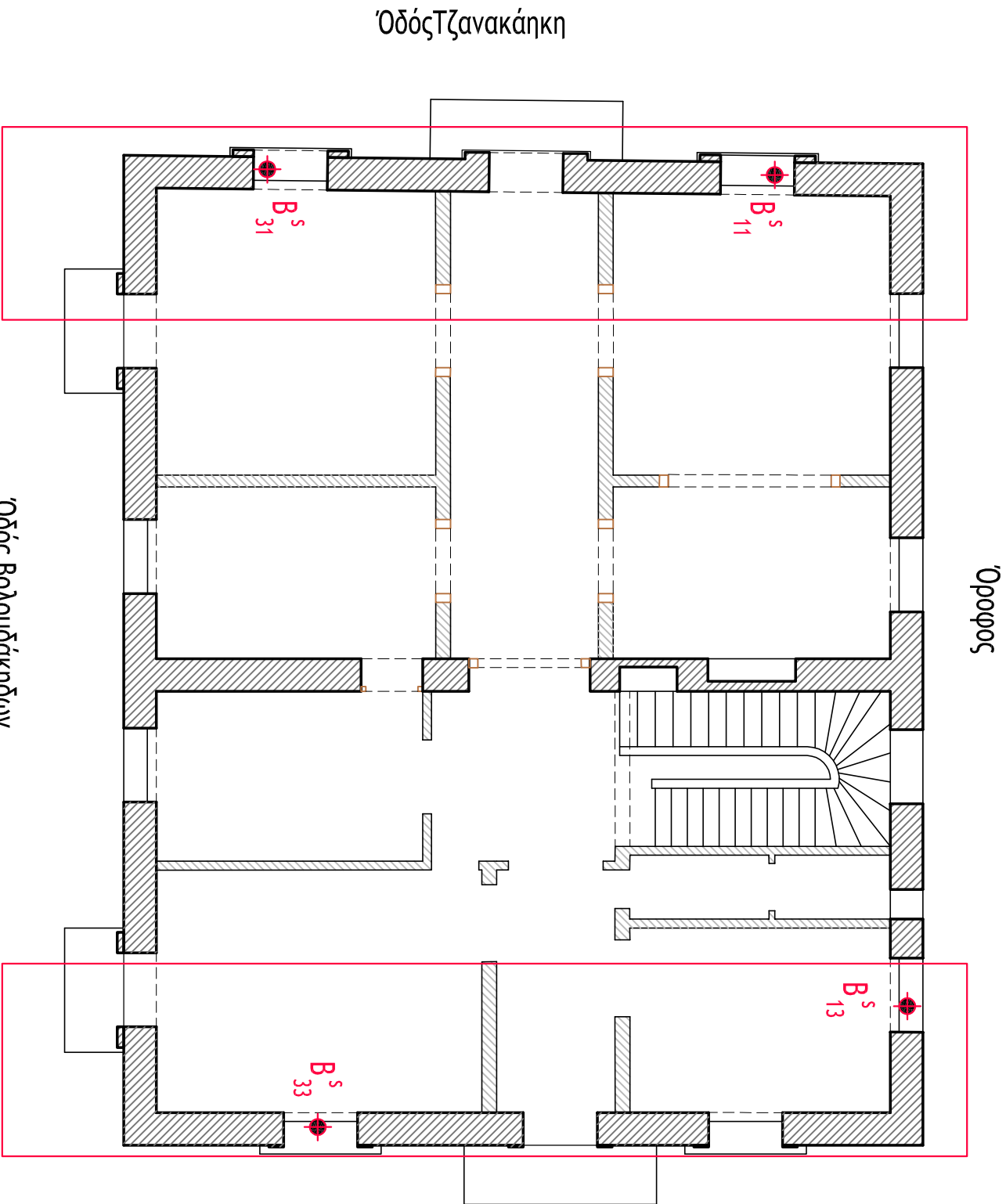


ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ	
επιτελεστέα στάθμη	είδος οργάνου
X= Α: ισόγειο	Z= τρ (τρονίνο)
B: όροφος	s (syscom)
F: δώμα	
Π: παραβόλον χώρος	βέαν οργάνου ανα στάθμη
Rf=όσον αναφορές	ij=1,2,3.

ΘΕΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩ ΣΤΟ ΔΩΜΑ **SYSCOM**
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100



ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ	
$\oplus$ θέση οργάνου	
επίπεδο στέθης	
X= Α: ισόγειο	είδος οργάνου
B: όροφος	Z= tr (tramino)
T: δώμα	s (syscom)
Π: περιβάλλον χώρος	
RF=θέση αναφοράς	
	θέση οργάνου ανα στέγη
	ij=1,2,3



ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ

⊕

θέση οργάνου

επίπεδο στέθης

X= A: ισόγειο

B: όροφος

Γ: δώμα

Π: περιβάλλον χώρος

Rf=θέση αναφοράς

είδος οργάνου

Z= tr (tramino)

s (syscom)

X^Z

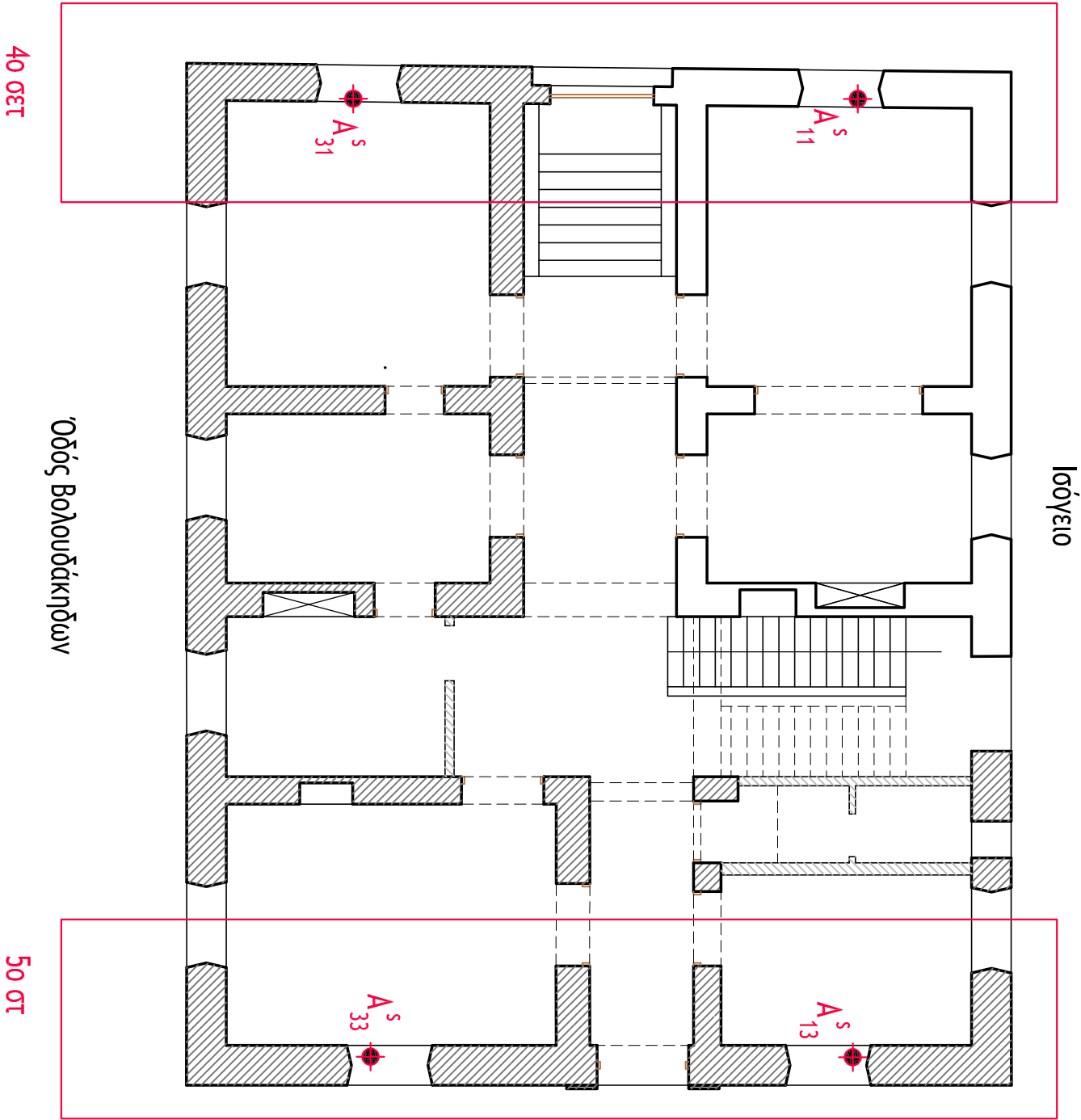
ij

θέση οργάνου ανα στέγη

ij=1,2,3

ΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΟΡΟΦΟ **SYSCOM**
ΚΑΙΜΑΚΑ 1:100

Οδός Τζανακάκη



Οδός Βολιουδάκηδων

50 στ

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ

⊕

θέση οργάνου

επίπεδο στέθους

X= A: ισόγειο

B: όροφος

Γ: δώμα

Π: περιβάλλον χώρος

Rf=θέση αναφοράς

X

Z

ij

είδος οργάνου

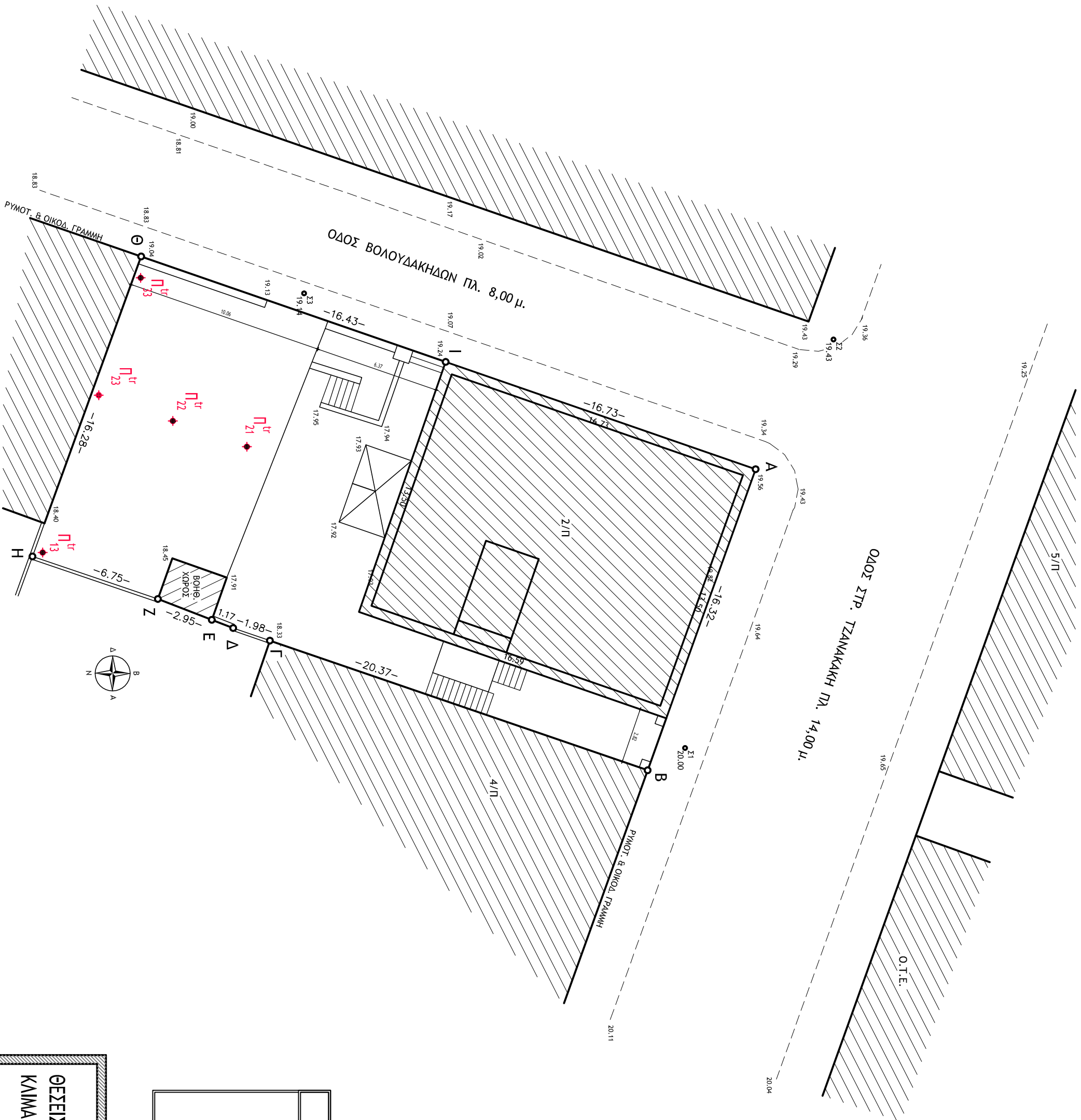
Z= tr (transmission)

s (system)

θέση οργάνου ανα στέθην

ij=1,2,3

ΟΜΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΓΕΙΟ **SYSCOM**
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100



ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ

⊕

θεση οργάνου

επιτεβό στέβηλις

X= A: ιούγλειο

B: όροφος

Γ: δώμα

Π: Περιβάλλον χώρος

Rf=θέση αναφοράς

είδος οργάνου

Z= tr (trombo)

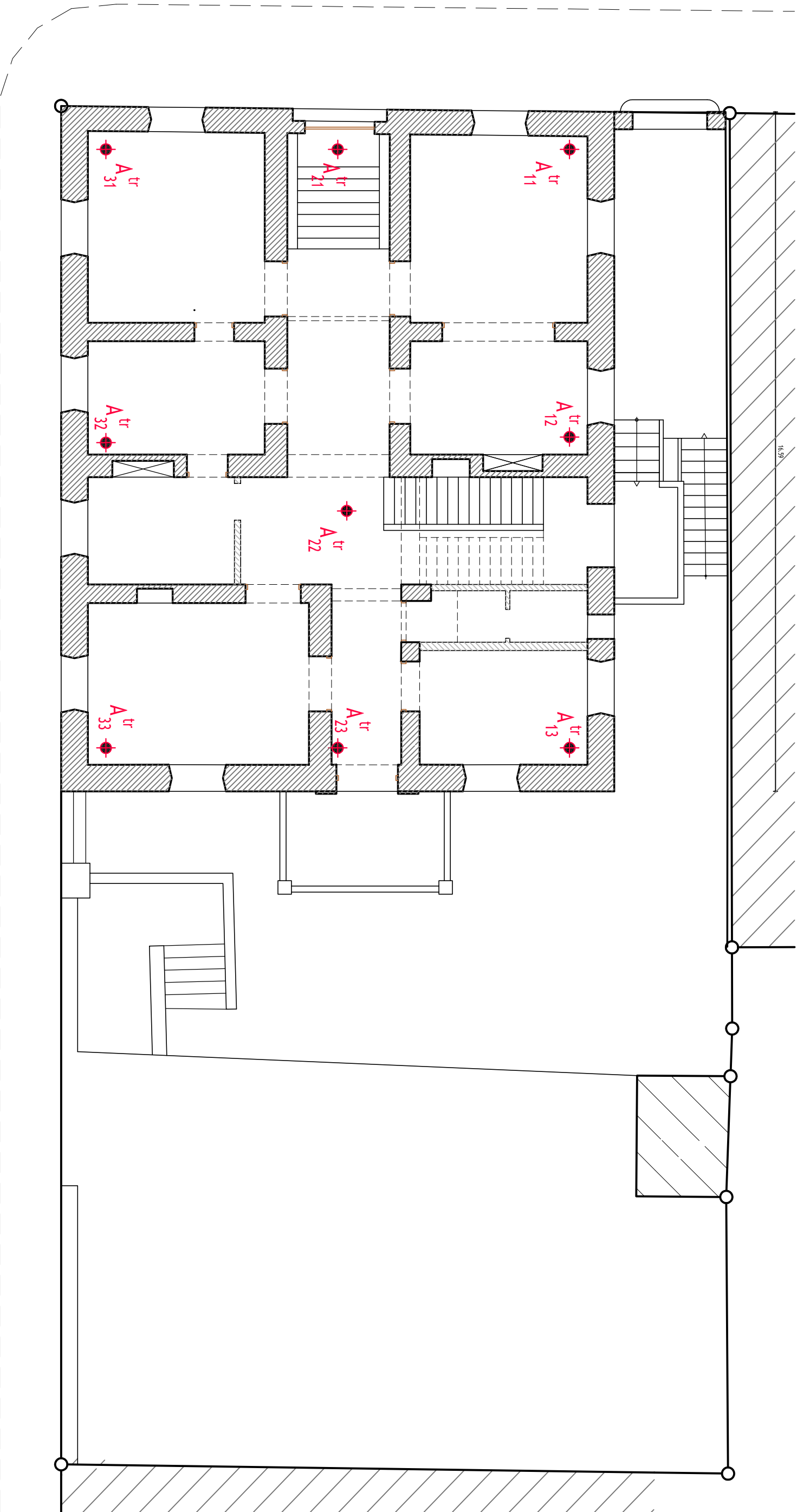
S (sycam)

θέση οργάνου ανα στέβηλι

ij=1,2,3

ΘΕΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΟΥ ΣΤΟ ΔΩΜΑ ΤΡΟΜΙΝΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:200



ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ

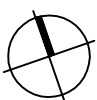
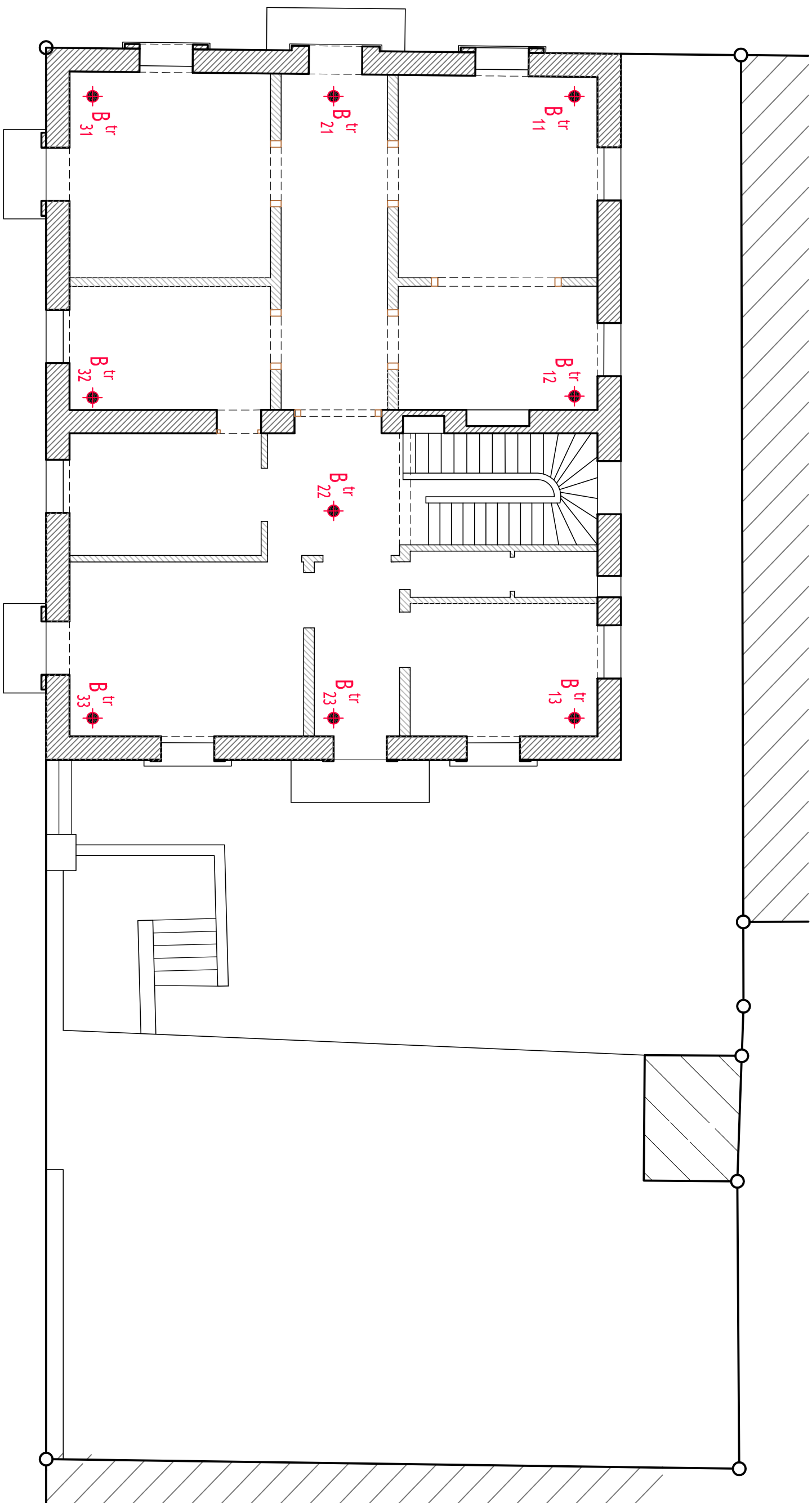
⊕ θερμ. οργάνου

επιτεβό στρέβλινς
X= A: ισογείο
B: όροφος
Γ: δώμα
Π: περιβάλλον χώρος
Rf=όσον αναφοράς

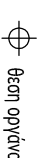
είδος οργάνου
z= tr (tromino)
sys (syscom)
θερμ. οργάνου ανα στρέβλιν
ij=1,2,3

X^z_{ij}

ΘΕΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩΝ ΣΤΟ ΙΣΟΓΕΙΟ ΤΡΟΜΙΝΟ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100



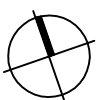
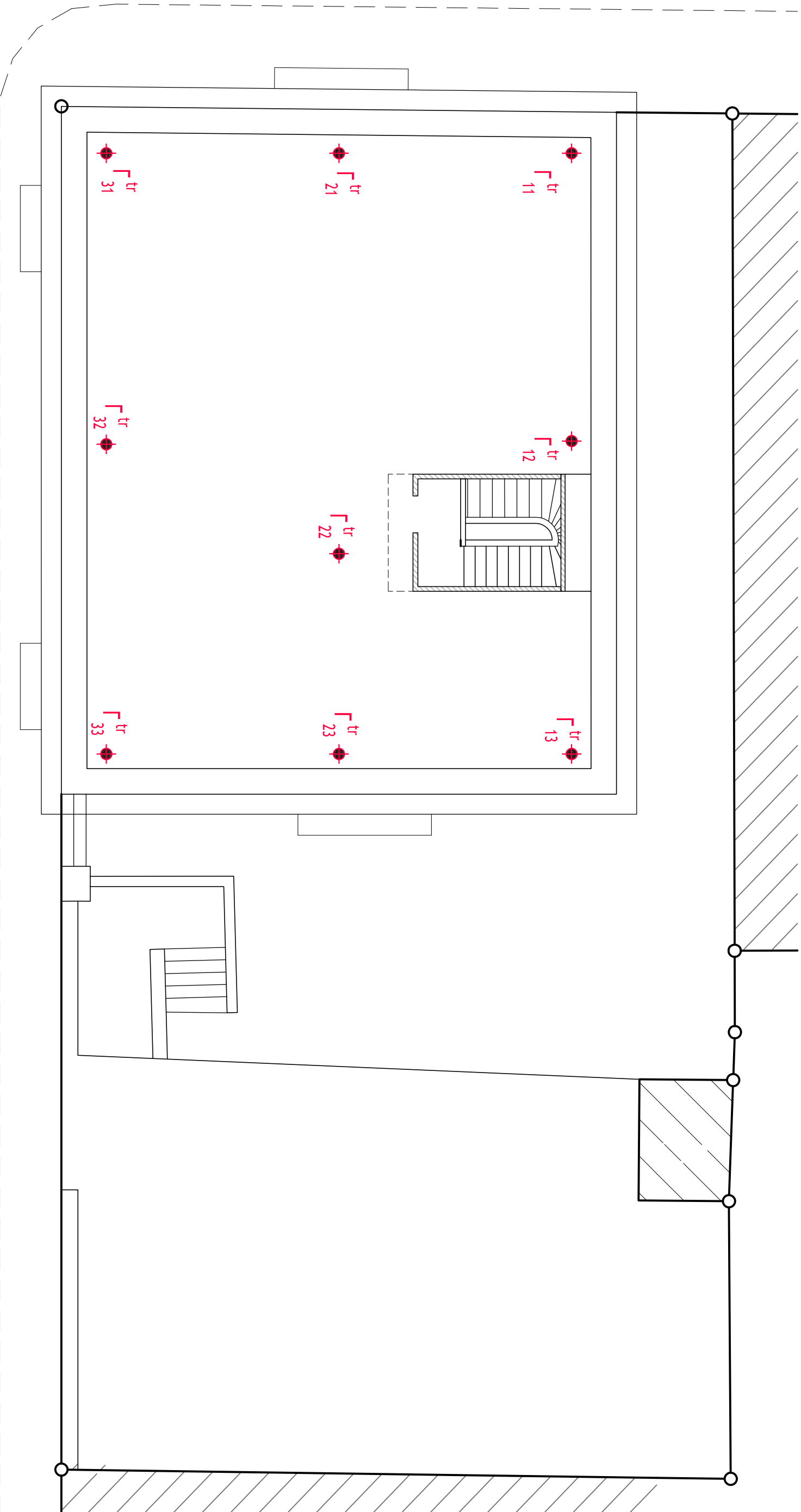
ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ



θεάν οργάνου

επιμέλεια σχέδης
X= A. ιωάννης
B: όροφος
F: δώμα
Π: Περιβάλλον χώρος
RF=θέση αναγραφής
Z= tr (tramino)
sys (syscom)
θεάν οργάνου ανα σχέδης
ij=1,2,3

ΘΕΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΟΥ ΣΤΟΝ ΟΡΟΦΟ ΤΡΟΜΙΝΟ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100

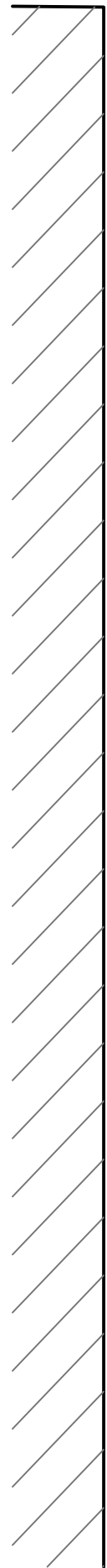


ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ	
επιτεδίο στρώθης	
X= Α. ισογείο	είδος οργάνου
B: όροφος	Z= tr (tromino)
F: δώμα	sys (system)
Π: περιβάλλον χώρος	Βέαν οργάνου ανα στρώθιν
Rf=όσον αναφορικός	ij=1,2,3.

ΘΕΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΟΥ ΣΤΟ ΔΩΜΑ ΤΡΟΜΙΝΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΑΠΕΔΩΝ



ΘΕΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩΝ **SYSCOM**
& ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΛΙΚΩΝ ΔΑΠΕΔΟΥ ΙΣΟΓΕΙΟΥ
ΚΑΙΜΑΚΑ 1:100

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ

ΘΕΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩΝ

⊕

θέση οργάνου

⊕

είδος οργάνου

X

Z

z= tr (trombo), s (syscom)

i

j

θέση οργάνου ανά στάθμη
i=1,2,3

επιμέθο στάθμης

X= A: ισόγειο

B: όροφος

I: δώμα

Π: περιβάλλον κάσος

Rf=θέση αναφοράς

ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΑΠΕΔΩΝ

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

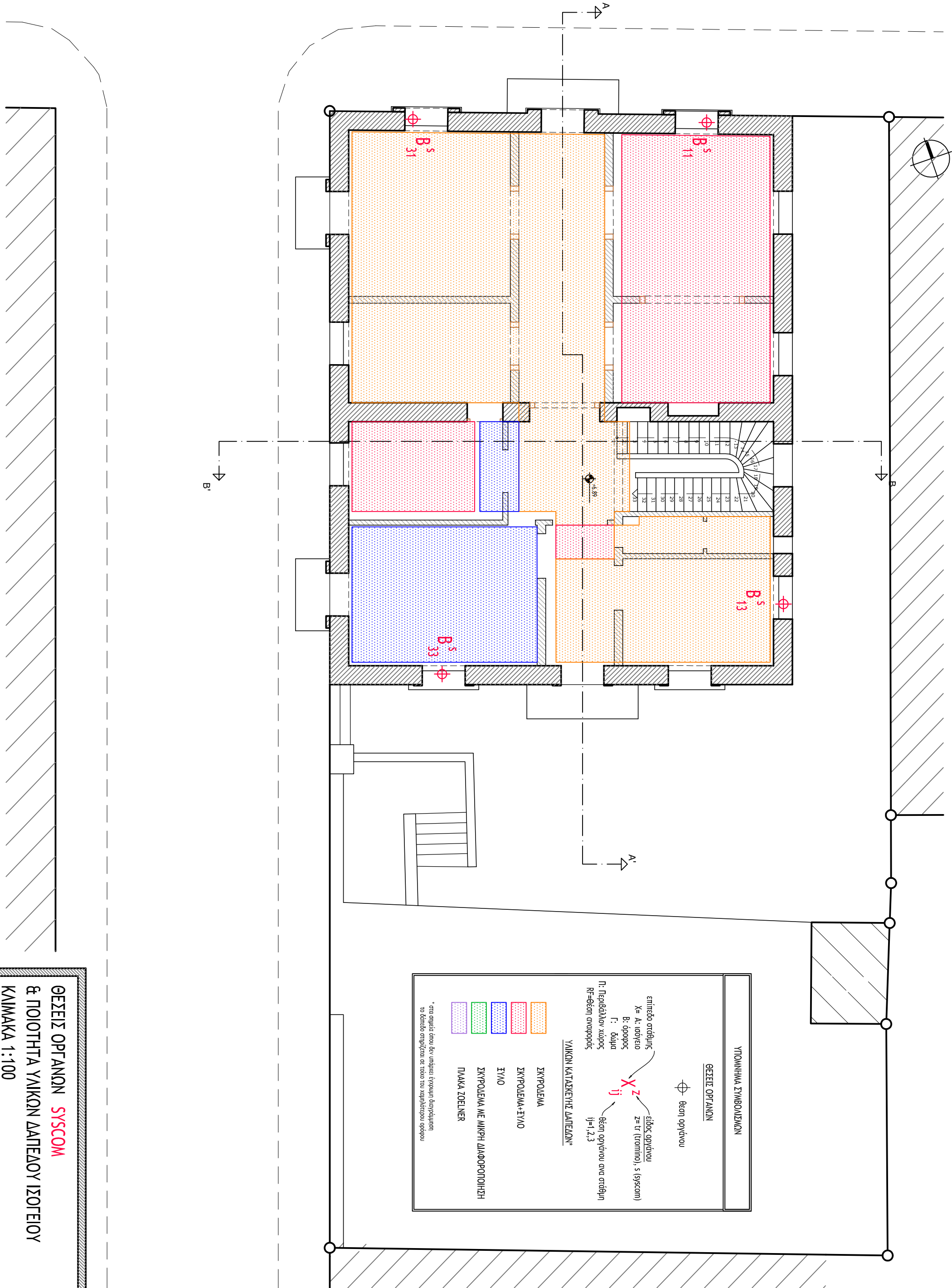
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ+ΕΥΛΟ

ΕΥΛΟ

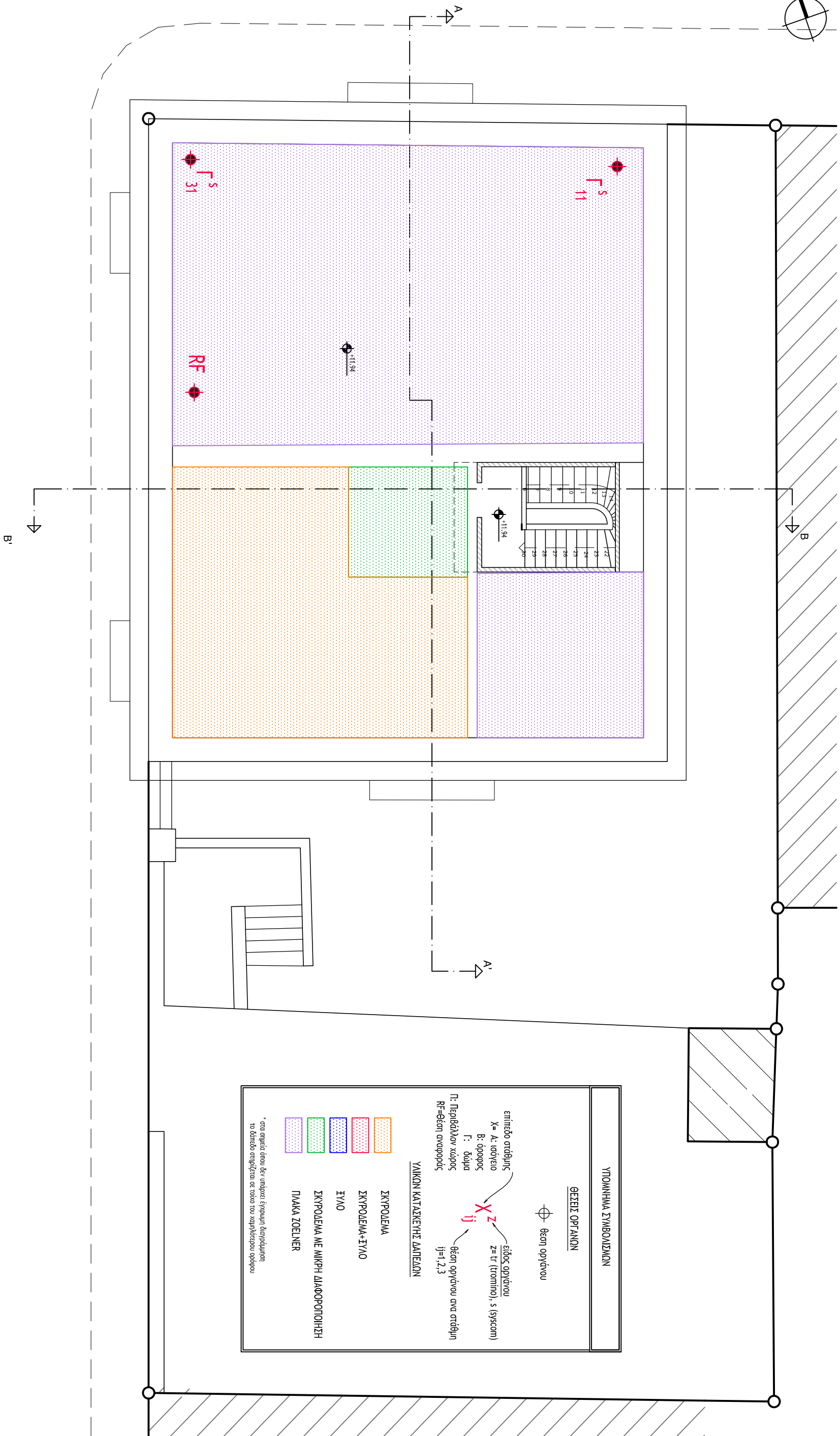
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕ ΜΙΚΡΗ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ

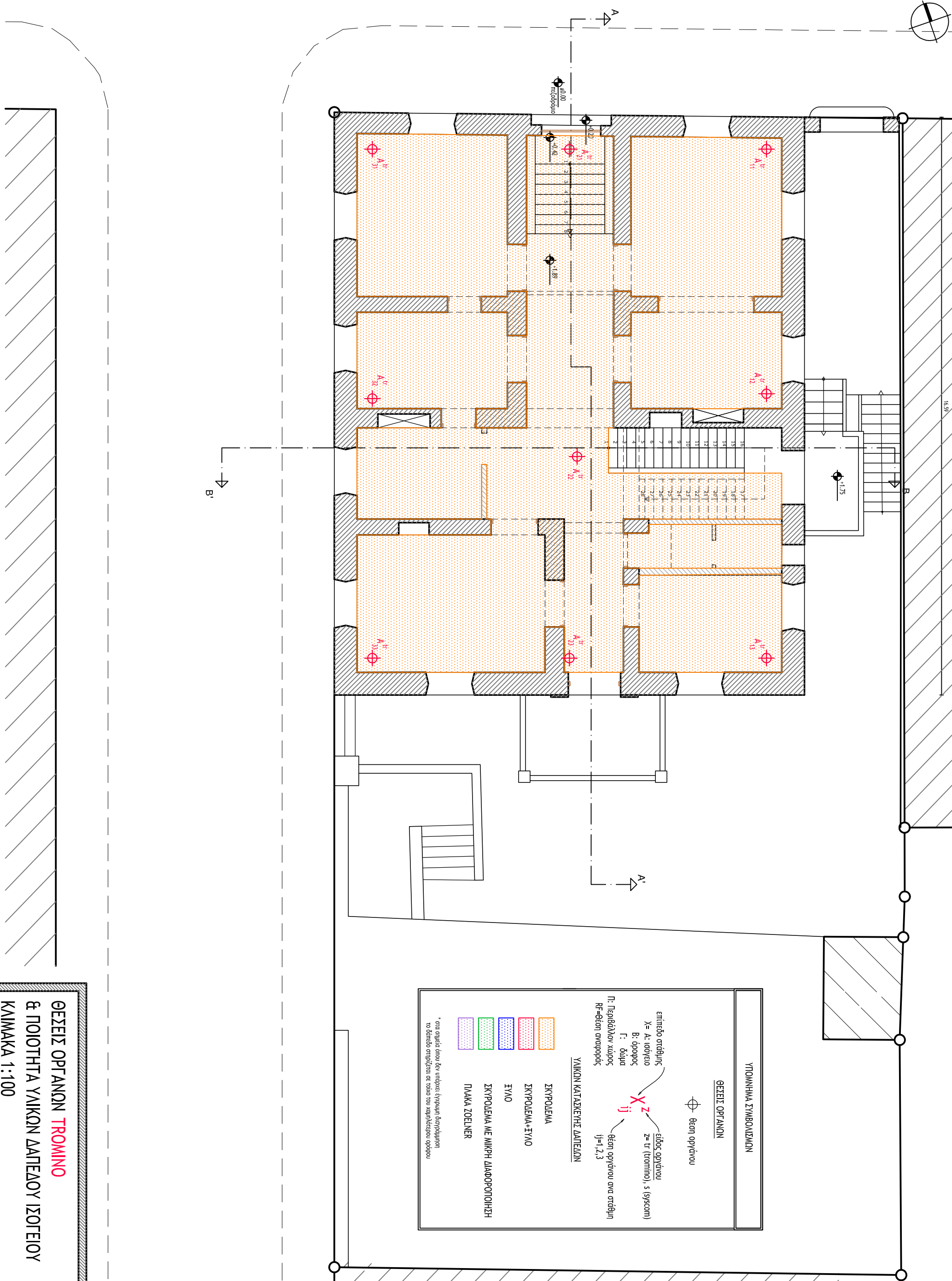
ΠΛΑΚΑ ZOELNER

* στα σχέδια όπου δεν υπάρχει έγκριση διαρρύθμισης
το δάπεδο αποτελείται σε τούλο του χαμηλότερου ορόφου



ΘΕΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩΝ **SYSCOM**
& ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΛΙΚΩΝ ΔΑΠΕΔΟΥ ΙΣΟΓΕΙΟΥ
ΚΑΙΜΑΚΑ 1:100





ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ

ΘΕΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩΝ

⊕

θέση οργάνου

ενήμερο στάθμη

X = A: ισόγειο
B: όροφος
Γ: δώμα
Π: περιβάλλον χώρος
RF=θέση αναρράχας

X Z

είδος οργάνου
Z= tr (tromino), s (sycam)

ij

θέση οργάνου στα στάθμη
ij=1,2,3

ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΑΠΕΔΩΝ

ΣΚΥΡΟΛΕΜΑ

ΣΚΥΡΟΛΕΜΑ+ΕΓΧΩ

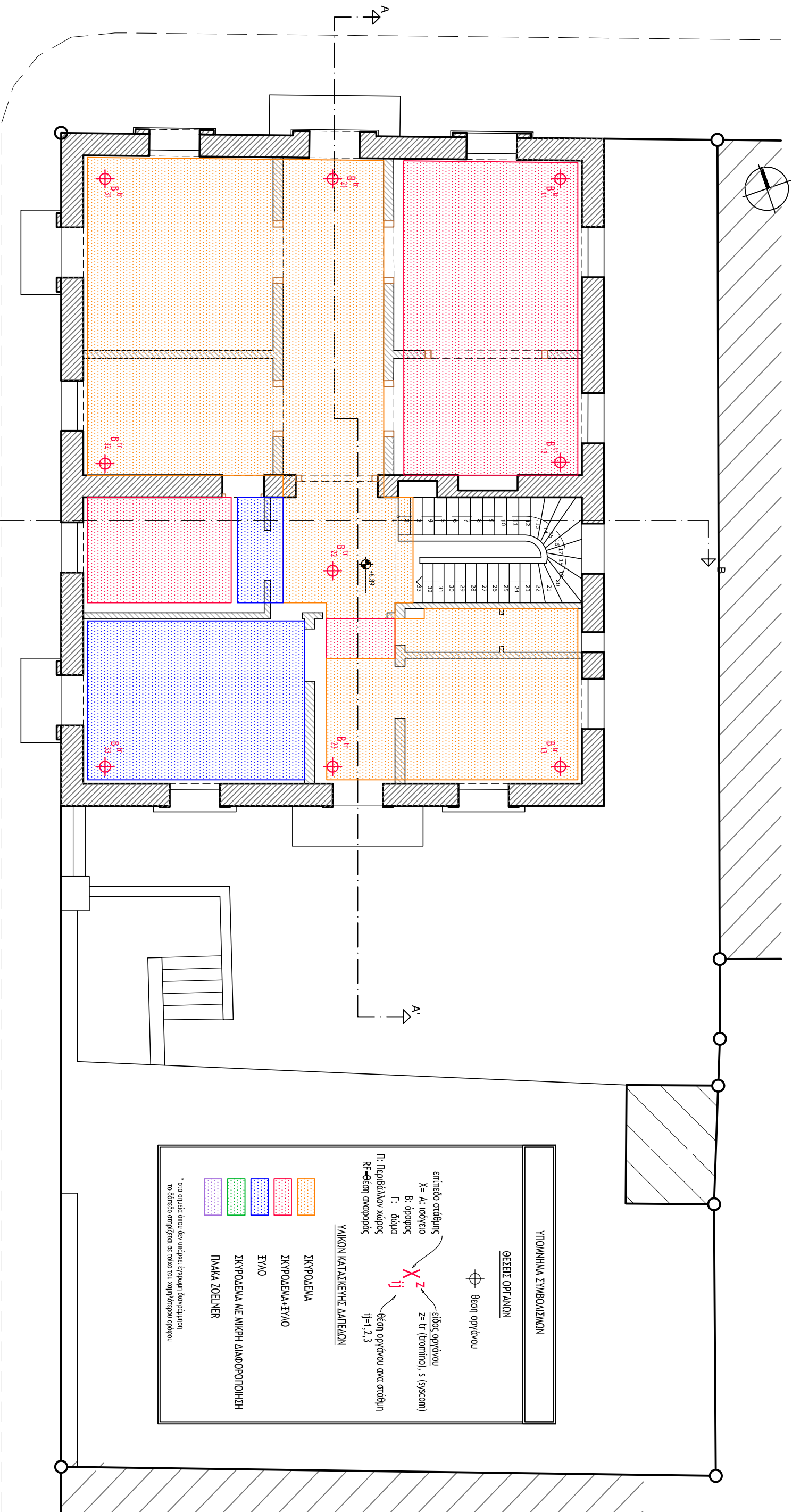
ΕΓΧΩ

ΣΚΥΡΟΛΕΜΑ ΜΕ ΜΙΚΡΗ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ

ΠΛΑΚΑ ZOELENER

* στα σχέδια όπου δεν υπάρχει έγκριση κατασκευής
το έδαφος αποτελείται από το υλικό του χώρου όπου

ΘΕΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩΝ **TROMINO**
& ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΛΙΚΩΝ ΔΑΠΕΔΟΥ ΙΣΟΓΕΙΟΥ
ΚΑΙΜΑΚΑ 1:100



ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ

ΘΕΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩΝ

ΘΕΣΗ ΟΡΥΓΑΝΟΥ

ΕΙΔΟΣ ΟΡΥΓΑΝΟΥ
 $X = A$: ισόγειο
 B : όροφος
 I : δώμα
 Π : περιβάλλον χώρος
 RF =θέση αναφοράς

$\oplus$ είδος οργάνου
 $Z = tr$ (trombo), s (sycam)
 ij : θέση οργάνου στα στέγη
 $ij=1,2,3$

ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΑΠΕΔΩΝ

ΣΚΥΡΩΜΕΝΑ

ΣΚΥΡΩΜΕΝΑ+ΕΓΧΩ

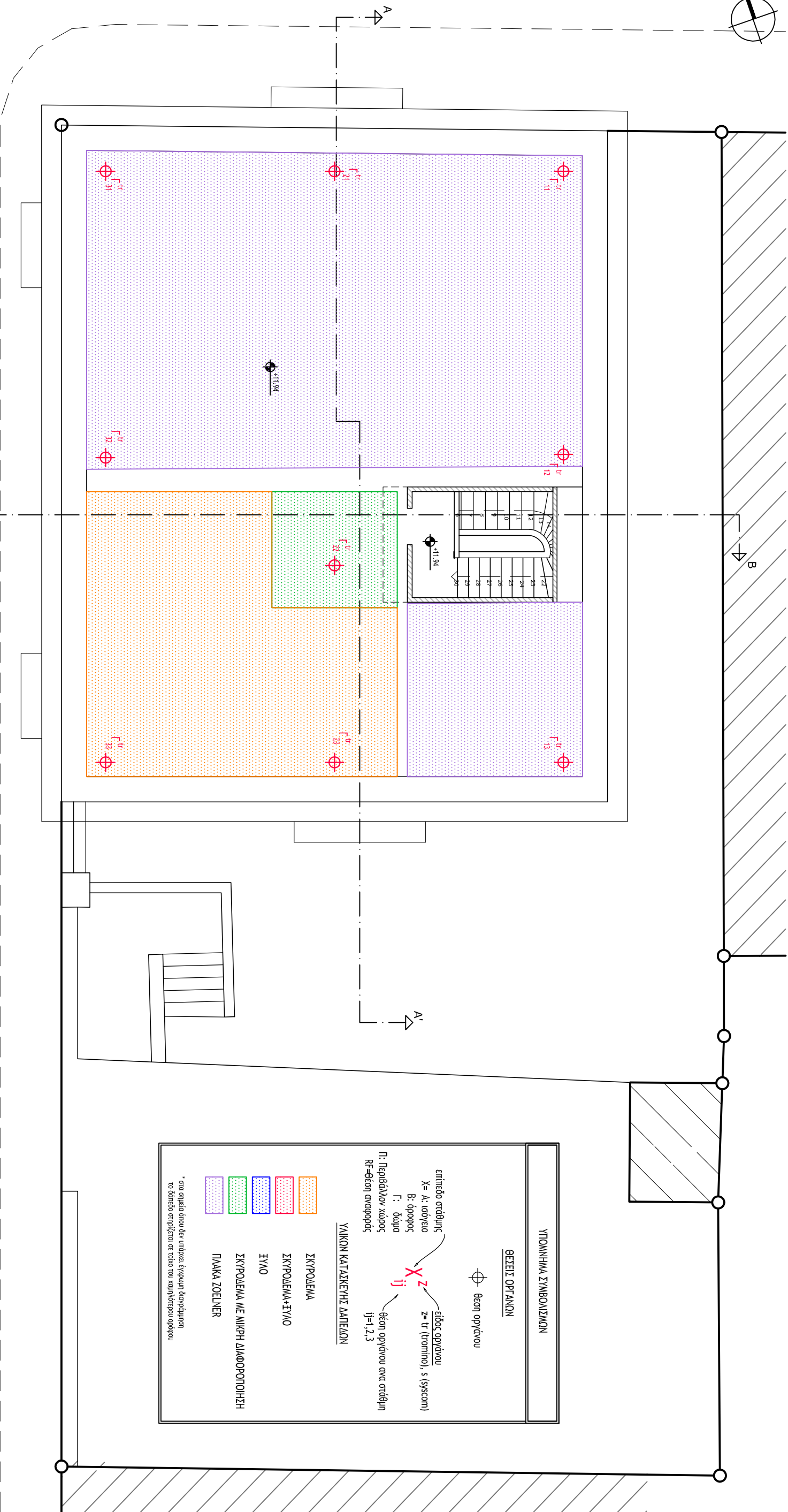
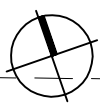
ΕΓΧΩ

ΣΚΥΡΩΜΕΝΑ ΜΕ ΜΙΚΡΗ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ

ΠΛΑΚΑ ZOEINER

* στα σχέδια όπου δεν υπάρχει έγκριση κατασκευής
το έδαφος αποτελείται σε τόξο του χαμηλότερου ορόφου

ΘΕΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩΝ **TROMINO**
& ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΛΙΚΩΝ ΔΑΠΕΔΟΥ ΟΡΟΦΟΥ
ΚΑΙΜΑΚΑ 1:100



ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ

ΘΕΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩΝ

⊕ θέση οργάνου

επιτεδo στρώσης
X= A: ισόγειο
B: όροφος
I: δώμα
Π: περιβάλλον χώρος
RF=θέση αναρροφός

είδος οργάνου
Z= tr (trombo), s (sycsm)
I: δώμα
Π: περιβάλλον χώρος
RF=θέση αναρροφός
ij=1,2,3

ΘΕΣΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΥΗΣ ΔΑΠΕΔΩΝ

ΣΚΥΡΩΜΕΝΑ

ΣΚΥΡΩΜΕΝΑ+ΕΥΛΟ

ΕΥΛΟ

ΣΚΥΡΩΜΕΝΑ ΜΕ ΜΙΚΡΗ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ

ΠΛΑΚΑ ZOEINER

* στα σχέδια όπου δεν υπάρχει έγκριση κατασκευής
το έργο αποτελείται σε τόπο του κτιρίου όπου

ΘΕΣΕΙΣ ΟΡΓΑΝΩΝ **TROMINO**
& ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΛΙΚΩΝ ΔΑΠΕΔΟΥ ΔΩΜΑΤΟΣ
ΚΑΙΜΑΚΑ 1:100