

## 4 ΚΤΙΡΙΟ ΑΒΕΡΩΦ ΕΘΝΙΚΟΥ ΜΕΤΣΟΒΙΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ – ΑΙΘΟΥΣΑ ΤΕΛΕΤΩΝ

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενό την αίθουσα τελετών "Λύσανδρος Κανταντζόγλου" της Σχολής Αρχιτεκτόνων, στο κτίριου Αβέρωφ του Ε. Μ. Πολυτεχνείου. Λόγω της ιστορικότητας του κτιρίου αυτού κρίναμε ότι πρέπει να αναπτυχθεί ένα κεφάλαιο που να αναφέρεται στο κεντρικό κτίριο του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου επί της οδού Πατησίων.

### 4.1 Κτίριο Αβέρωφ – Ιστορικά στοιχεία



Εξωτερική άποψη του κεντρικού κτιρίου από την οδό Στουρνάρη

**Εικόνα 4.1**

Το κτίριο Αβέρωφ, όπως σήμερα ονομάζεται το κεντρικό, διώροφο κτίριο του συγκροτήματος του Πολυτεχνείου στην οδό Πατησίων, μαζί με τα δύο μονώροφα κτίρια που το πλαισιώνουν συμμετρικά (Πρυτανείας και Σχολής Καλών Τεχνών),

αποτελούν το σημαντικότερο έργο του αρχιτέκτονα Λύσανδρου Καυταντζόγλου (1811-1885). Την πρώτη σκέψη δημιουργίας του Πολυτεχνείου είχε ο ευεργέτης Ν. Στουρνάρης (1852), που χρηματοδότησε το έργο. Το αρχικό σχέδιο εκπονήθηκε το 1859, το 1861 συμπληρώθηκε η μελέτη και ο θεμέλιος λίθος τέθηκε το 1862. Στη συνέχεια έγιναν ριζικές περικοπές του προγράμματος που οδήγησαν σε αναθεωρήσεις των αρχικών σχεδίων (1868), ενώ ως το τέλος της κατασκευής πολλά στοιχεία της μελέτης θα παραλείπονταν για λόγους οικονομίας. Η ονομασία του κτηρίου οφείλεται στον εθνικό ευεργέτη Γεώργιο Αβέρωφ (1818 – 1899) ο οποίος συνέδραμε οικονομικά το ελληνικό κράτος προκειμένου να ολοκληρωθεί το έργο (1878). Τα έργα συμπλήρωσης του συγκροτήματος του Πολυτεχνείου επεκτάθηκαν ως τις αρχές του 20ου αιώνα, με συμπλήρωση της διακόσμησης και των εξωτερικών διαμορφώσεων (1903-16) [9].

Η τελική λύση του Καυταντζόγλου για το συγκρότημα του Πολυτεχνείου περιελάμβανε ένα κεντρικό κτίριο και δύο πτέρυγες σχήματος T προς την πλευρά της οδού Πατησίων στη διασταύρωσή της με τις οδούς Τοσίτσα και Στουρνάρη, ενώ προβλέπονταν άλλα δύο κτίρια προς την οδό Μπουμπουλίνας, τα οποία δεν υλοποιήθηκαν.

Η κάτοψη του κεντρικού κτιρίου οργανώνεται συμμετρικά γύρω από τετράγωνο αίθριο. Έχει ύψος δύο ορόφων και το ισόγειο λειτουργεί αισθητικά ως βάθρο. Δύο μνημειακές κλίμακες οδηγούν στο ιωνικού ρυθμού, τετρακίονιο πρόπυλο του ορόφου. Το πρόπυλο αυτό είναι αντίγραφο της βορεινής αίθουσας του Ερεχθείου και επαναλαμβάνεται στην, παράλληλη προς την πρόσοψη, εσωτερική πλευρά του αιθρίου που αντιστοιχεί στην αίθουσα τελετών.



Εξωτερική άποψη της αίθουσας τελετών από το αίθριο

Εικόνα 4.2



Η στοά του αιθρίου στο ισόγειο έχει κίνους δωρικού ρυθμού. Το πίσω μέρος του κτιρίου έχει ημικυλινδρική απόληξη, η οποία αντιστοιχεί στην αίθουσα τελετών. Οι μπροστινές πτέρυγες είναι μονώροφες με ανοικτές στοές δωρικού ρυθμού, που έχουν σκουρόχρωμο ερυθρωπό φόντο και πρόπυλα.

Η μνημειακή σύνθεση χαρακτηρίζεται από την αξονική, συμμετρική και ιεραρχημένη διάταξη των όγκων – χαμηλοί μονώροφοι όγκοι σε πρώτο επίπεδο και ψηλός διώροφος κεντρικός σε δεύτερο επίπεδο. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της γνώρισμα είναι η ποικιλία που προκύπτει από τις εναλλαγές ημιυπαίθριων, μεταβατικών και κλειστών χώρων.

Η υποδοχή του συγκροτήματος του Πολυτεχνείου την εποχή που χτιζόταν ήταν μικτή. Από μια πλευρά ασκήθηκε έντονη κριτική για την "πολυτέλεια" ενός τόσο ασυνήθιστου σε μέγεθος δημόσιου έργου, ενώ από την άλλη εκτιμήθηκε ο ιδιαίτερος χαρακτήρας του, που το έκανε να ξεχωρίζει αισθητά ανάμεσα στα σύγχρονά του μνημεία της Αθήνας. Η διχοστασία αυτή αναβίωσε προπολεμικά, όταν στην δεκαετία του '30 δημοσιεύτηκαν άρθρα υπέρ και κατά της καλλιτεχνικής αξίας του συγκροτήματος. Η απόρριψή του περιστράφηκε γύρω από τον δυσανάλογα ψηλό όγκο του κεντρικού κτιρίου, τη μίξη αναγεννησιακών στοιχείων και την ακατάλληλη χρήση των ρυθμών της αρχαιότητας. Η υποστήριξή του βασίστηκε στη δυναμική σύνθεση των όγκων και στους συνδυασμούς της διακοσμητικής του τέχνης. Ήταν πάντως φανερό ότι με τόσες αλλαγές και ανατροπές που μεσολάβησαν, δύσκολα μπορούσε κανείς να εκτιμήσει την αξία του έργου. Μεταπολεμικά διατηρήθηκαν οι ανάλογες επιφυλάξεις ενώ το συγκρότημα κηρύχτηκε διατηρητέο μνημείο. Πέρα όμως από την οποιαδήποτε αισθητική του αξιολόγηση, το Πολυτεχνείο της οδού Πατησίων απέκτησε συμβολική αξία όταν το 1973 αποτέλεσε την πρώτη εστία σπουδαστικής εξέγερσης στην Αθήνα ενάντια στην δικτατορία, επισπεύδοντας έτσι το τέλος της.

Το κεντρικό κτίριο Αβέρωφ, στην αρχική περίοδο της ιστορίας του, στέγασε διάφορες εκθέσεις, από τα αρχαιολογικά ευρήματα των ανασκαφών του Σλήμαν ως τα μνημεία του Αγώνα του 1821, μέρος του μετατράπηκε σε νοσοκομείο και τέλος στέγασε την Εθνική Πινακοθήκη, καθώς έλειπαν ακόμα ή δεν επαρκούσαν τα αντίστοιχα κτίρια στην Αθήνα. Αλλά και μεταγενέστερα, δεν έπαψε να δέχεται τροποποιήσεις και προσαρμογές σε νέες ανάγκες, όπως ήταν η δημιουργία αμφιθεάτρων στο ισόγειο, η διαμόρφωση οροφής στην αίθουσα τελετών και πιο πρόσφατα, η προσθήκη ημιορόφων σε διάφορους χώρους.

Τα πρόσφατα έργα συντήρησης και αποκατάστασης του κτιρίου, που πραγματοποιήθηκαν από το 2003 μέχρι το 2010, είχαν στόχο τη μερική επαναφορά του στην αρχική του κατάσταση, αναιρώντας διάφορες ενδιάμεσες αλλοιώσεις. Για το έργο της αποκατάστασης το κτίριο Αβέρωφ απέσπασε το μεγάλο βραβείο της **Europa Nostra για το 2012** ως εξαιρετο παράδειγμα σωστής επέμβασης σε ένα κτίριο που αποτελεί μία από τις σημαντικότερες δημιουργίες του Ευρωπαϊκού νεοκλασικισμού. Στο παράρτημα μπορείτε να δείτε περισσότερες φωτογραφίες πριν και μετά την πρόσφατη αποκατάσταση του κτιρίου Αβέρωφ. [22]



Εξώφυλλο περιοδικού με ελληνικά βραβεία της Europa Nostra

**Εικόνα 4.3**

## 4.2 Αίθουσα τελετών «Λύσανδρος Καυταντζόγλου»

Η αίθουσα τελετών της σχολής Αρχιτεκτόνων βρίσκεται στον πρώτο όροφο του κτιρίου Αβέρωφ. Είναι ηλικίας άνω των 100-ετών και ως εκ του νεοκλασικού χαρακτήρα της παρουσιάζει προβλήματα στην ακουστική της, ακόμη και μετά την πρόσφατη ανακαίνιση της. Στα πρόσφατα έργα συντήρησης και αποκατάστασης του κτιρίου, έγινε συντήρηση και αποκατάσταση του ζωγραφικού διάκοσμου και της αίθουσας τελετών. Ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται για διαλέξεις γι' αυτό το λόγο την μελετάμε ως αίθουσα ομιλίας.

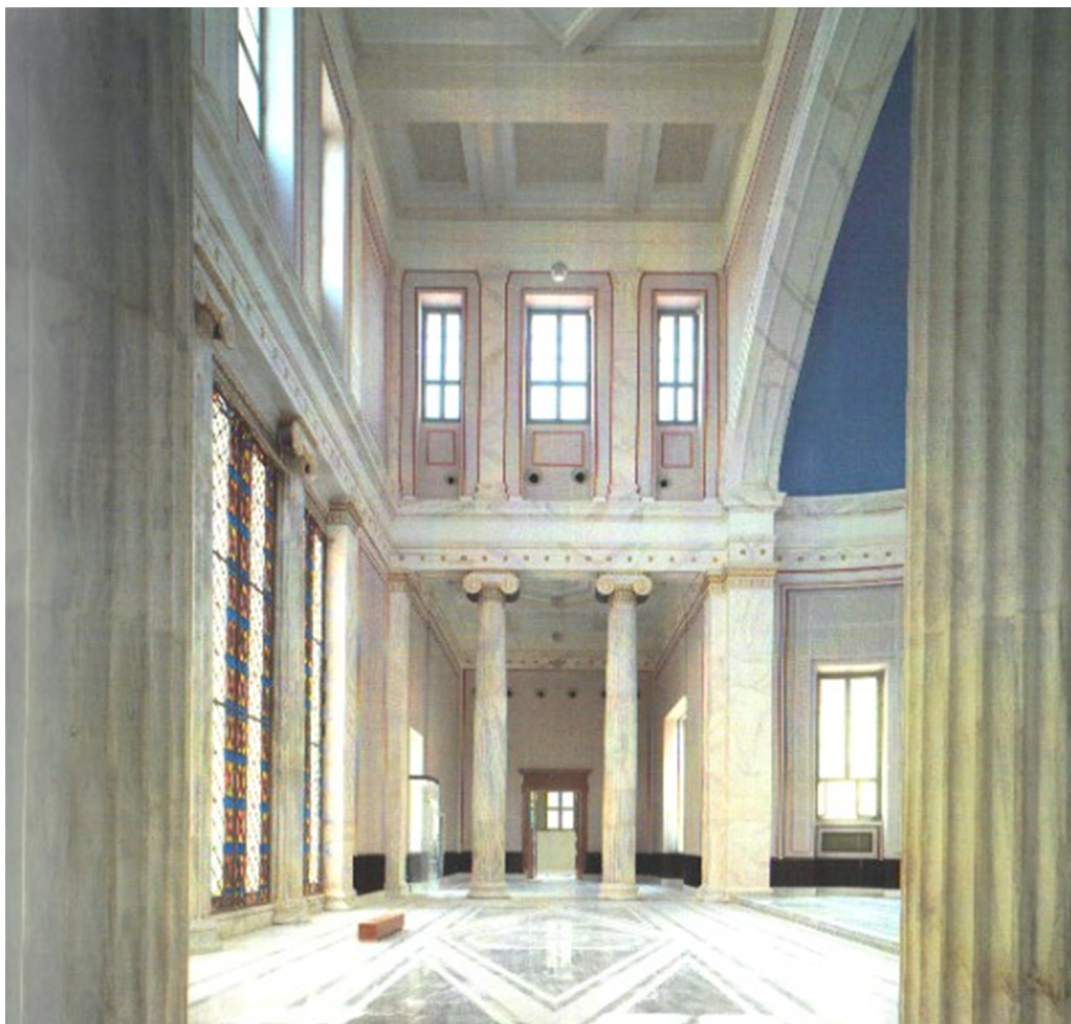


Εξωτερική όψη της αίθουσας τελετών από τον προαύλιο χώρο

**Εικόνα 4.4**

Χαρακτηριστικό της αίθουσας είναι ο μεγάλος θόλος που υπάρχει στο κεντρικό τμήμα της, το οποίο προσφέρει το φαινόμενο του εστιασμού του ήχου στις θέσεις του ακροατηρίου που βρίσκονται εκεί. Την αίθουσα πλαισιώνουν μεγάλα κουφώματα, εκ των οποίων αρκετά είναι καλυμμένα με κουρτίνες. Κατά την πρόσφατη ανακαίνιση της αίθουσας τοποθετήθηκαν ηχοαπορροφητικά υλικά στην οροφή και στους τοίχους του καμπύλου τμήματος.





Εσωτερικό της αίθουσας  
**Εικόνα 4.5**

## 5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΟΙΩΝΙ ΧΩΡΟ

### 5.1 Παρατηρήσεις εργασίας

Στη παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια σύγκρισης, μεταξύ των αποτελεσμάτων που εξάγαμε μετά από φυσικές ακουστικές μετρήσεις και εξαγόμενων αποτελεσμάτων στον οiwνί χώρο μετά από προσομοίωση της αίθουσας στο 'Odeon Room Acoustics Program'. σκοπός ήταν να αντιληφθούμε την ακρίβεια με την οποία είναι δυνατή αυτή η προσομοίωση.

Οι ακουστικές παράμετροι που διερευνήθηκαν είναι χαρακτηριστικές για την ακουστική των χώρων διδασκαλίας και εκφράζουν είτε ισορροπία ηχητικής ενέργειας μεταξύ διαφορετικών χρονικών διαστημάτων (  $EEF_{50}$  ) είτε απόσβεση της ηχητικής ενέργειας σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα ( R.T, EDT ).

Χρειάζεται να σημειωθεί ότι στην προσομοίωση χώρων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή εμφανίζονται μερικές δυσκολίες. Μία δυσκολία είναι η γεωμετρική απεικόνιση των χώρων που περιέχουν καμπύλες και η απόδοση ακριβούς ηχοαπορροφητικότητας των υλικών που υπάρχουν στο χώρο.

## 5.2 Μετρήσεις στον πραγματικό χώρο

Οι φυσικές ακουστικές μετρήσεις έλαβαν μέρος πριν ένα χρόνο στην άδεια αίθουσα τελετών του ΕΜΠ.

Συγκεκριμένα μετρήθηκε ο χρόνος απόσβεσης των πρώτων ανακλάσεων EDT, ο χρόνος απόσβεσης για τα 20 dB πτώσης T20, ο χρόνος αντήχησης RT ή T30 (30 dB πτώσης), Ts, το κλάσμα των πρώτων ανακλάσεων EEF50 ή D50 του ήχου και ο λόγος των πρώτων-προς-τις-καθυστερημένες ανακλάσεις C80.

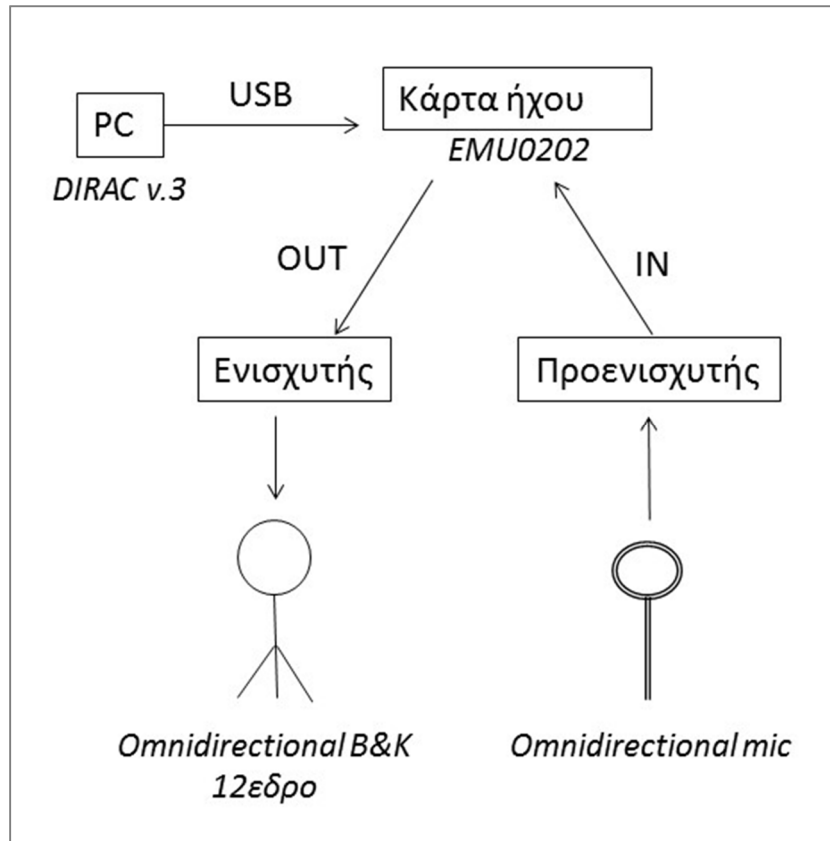
Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις ήταν υψηλής τεχνολογίας της εταιρίας Brüel & Kjær. Χρησιμοποιήθηκε ισότροπη ηχητική πηγή (linear sweep με 6sec) και έγιναν μονοφωνικές εγγραφές απλής κυματομορφής (impulse) με συχνότητα 44,1kHz – 16bit με τη βοήθεια του προγράμματος DIRAC.

Ο τρόπος με τον οποίον έγιναν οι μετρήσεις ήταν ο εξής:

- Στη θέση του ομιλητή που την ορίσαμε πάνω στο βάθρο, τοποθετήθηκε μία ηχητική πηγή
- Σε κάθε θέση που γινόταν η μέτρηση τοποθετήθηκε ένα μικρόφωνο μέτρησης
- Οι δύο εκάστοτε θέσεις συνδέονταν μεταξύ τους μέσω καλωδίων με ένα φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή

Η συνδεσμολογία των οργάνων φαίνεται στο σχεδιάγραμμα.





Σχήμα 5.1

Μία αίθουσα ομιλίας χαρακτηρίζεται από το χρόνο αντήχησης R.T που επικρατεί μέσα σε αυτήν. Υπό την προϋπόθεση ότι έχουμε διάχυτο ηχητικό πεδίο, κάνουμε την παραδοχή ότι η παράμετρος είναι σταθερή μέσα στο χώρο.

Για να προσεγγισθεί καλύτερα η πραγματική τιμή της παραμέτρου, έγιναν μετρήσεις σε παραπάνω από μία θέσεις. Συγκεκριμένα, έγιναν μετρήσεις σε 17 θέσεις της αίθουσας λαμβάνοντας υπ' όψιν όλες τις χαρακτηριστικές θέσεις του ακροατηρίου. Αυτό κυρίως έγινε διότι στις χαμηλές συχνότητες, λόγω ύπαρξης των στάσιμων κυμάτων, υπάρχει αυξημένη διακύμανση τιμών. Σε κάθε μια από τις επιλεγμένες θέσεις έγιναν τρεις διαφορετικές καταγραφές με σκοπό να εξασφαλισθεί ότι οι στιγμιαίες δυσμενείς καταστάσεις κατά τη διάρκεια των μετρήσεων δε θα επηρέαζαν τις τελικές τιμές.

Σε αντίθεση με την παράμετρο R.T, ο χρόνος απόσβεσης των πρώτων ανακλάσεων EDT, το κλάσμα των πρώτων ανακλάσεων EEF50 και ο λόγος των πρώτων-προς-τις-καθυστερημένες ανακλάσεις C80 δίνουν διαφορετικές τιμές για κάθε θέση μέτρησης. Έτσι, με τις 17 θέσεις που έγιναν οι μετρήσεις επιτεύχθηκε μία αντιπροσωπευτική εικόνα της ακουστικής κατάστασης της αίθουσας.

## **5.3 Μετρήσεις στον οiwνί χώρο με τη βοήθεια του προγράμματος ODEON**

### **5.3.1 Λογισμικό ODEON**

Το λογισμικό Odeon δημιουργήθηκε από το Πανεπιστήμιο της Δανίας και βασίζεται στη χρήση υπολογιστή για να προσομοιώνει ακουστικά μία αίθουσα τόσο όσο αφορά τη γεωμετρία, αλλά και τις ιδιότητες των επιφανειών της και να προσδιορίζει τις ακουστικές παραμέτρους της. Το Odeon διαθέτει αλγόριθμους πρόβλεψης για υπολογισμό των ακουστικών παραμέτρων των αιθουσών σε γρήγορο χρονικό διάστημα και θεωρείται ιδανικό για πρόβλεψη των ακουστικών παραμέτρων αιθουσών συναυλιών, αιθουσών όπερας, αμφιθεάτρων, υπόγειους χώρους σιδηροδρομικών σταθμών, αιθουσών αναμονής αεροδρομίων και βιομηχανικών χώρων.

Το πρώτο λογισμικό Odeon που δημιουργήθηκε το 1991 είχε σκοπό την πρόβλεψη ηχητικών παραμέτρων αμφιθεάτρων. Μετέπειτα, το Odeon αναπτύχθηκε και βελτιώθηκε με αποτέλεσμα σήμερα να διατίθεται σε τρεις εκδόσεις: για βιομηχανικές εφαρμογές, εφαρμογές σε αμφιθέατρα και συνδυασμό των δύο εκδόσεων. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 10.1 (Combined Version).

Το λογισμικό προσομοιώνει την ακουστική του εσωτερικού κτιρίων χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό εικόνας και τεχνικών ακτίνων – ανίχνευσης. Η ακουστική προβλέπεται από τη γεωμετρία του δωματίου και τις επιφανειακές ιδιότητές του. Η ηχοληψία ενσωματώνεται εύκολα σε αυτά τα μοντέλα.

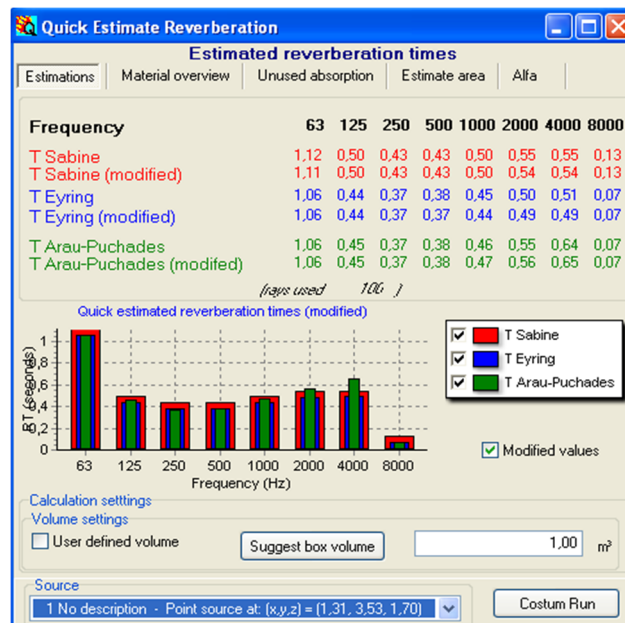
Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αριθμητικά και με γραφήματα. Ο ρόλος του είναι να συμβάλλει στην πρόβλεψη και τη βελτιστοποίηση της ακουστικής του χώρου για το σεδιασμό ή την ανακαίνισή του, στην πρόβλεψη και τη μείωση της έκθεσης στο θόρυβο, την προσομοίωση του ακουστικού περιβάλλοντος και την έρευνα ακουστικής αιθουσών για μουσική και εκπαίδευση.

Χαρακτηριστικό του αποτελεί η πλήρης συλλογή στοιχείων υλικού και αντιχητικών ηχογραφήσεων περιλαμβανομένων Reflectograms, 3D διαδρομές ανάκλασης, 3D χάρτες, γραφικές παραστάσεις και διάφορα για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων.

### **5.3.2 Επιλογές τρόπου υπολογισμού**

Το Odeon διαθέτει μια πολλές εφαρμογές που μπορούν να αποδώσουν ακουστικές πληροφορίες για έναν χώρο οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω.

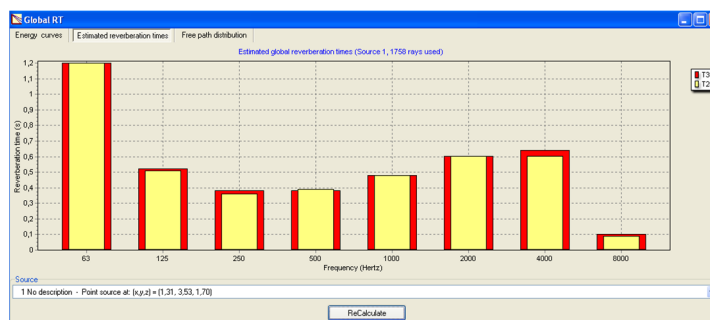
- Μέθοδος **Quick Estimate**: Μπορούμε να έχουμε μία γρήγορη εκτίμηση του χρόνου αντήχησης υποθέτοντας διάχυτο πεδίο.



Απεικόνιση μεθόδου Quick Estimate

Εικόνα 5.2

- Μέθοδος **Global Estimate**: Μπορούμε να έχουμε μία εκτίμηση του χρόνου αντήχησης ενός χώρου λαμβάνοντας υπόψη το σχήμα, τα υλικά και τη θέση της πηγής μέσα σε αυτόν.

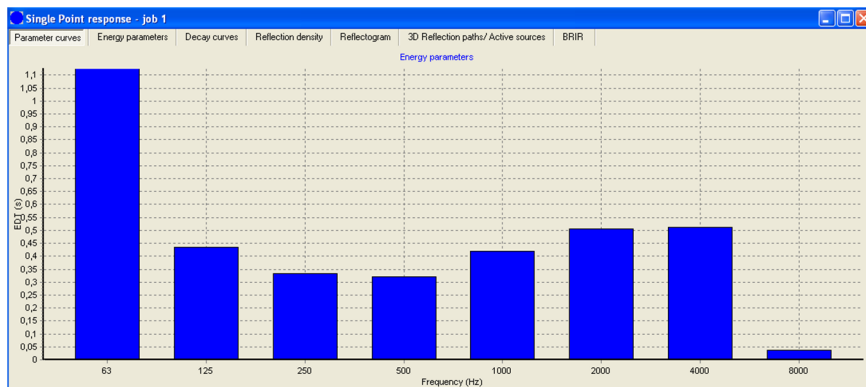


Απεικόνιση μεθόδου Global Estimate

Εικόνα 5.3

- Μέθοδος **Single Point Response**: Μπορούμε να παράγουμε αναλυτικά αποτελέσματα για έναν δέκτη.

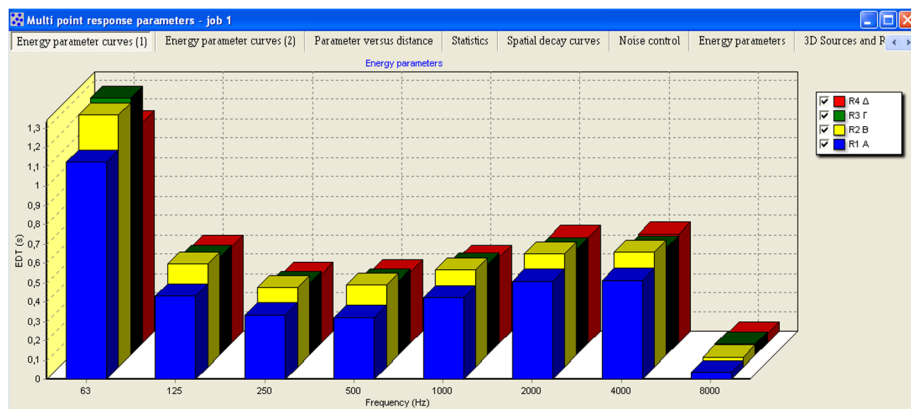




Απεικόνιση μεθόδου Single Point Response

Εικόνα 5.4

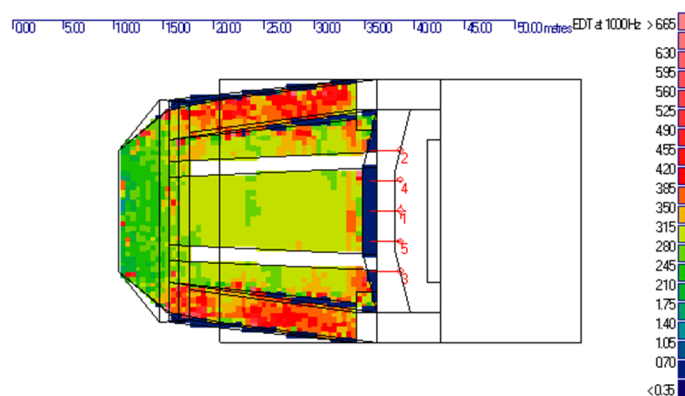
- Μέθοδος **Multi-point Response**: Μπορούμε να εξάγουμε μετρήσεις ακουστικών παραμέτρων για έναν αριθμό από δηλωμένους δέκτες.



Απεικόνιση μεθόδου Multi-point Response

Εικόνα 5.5

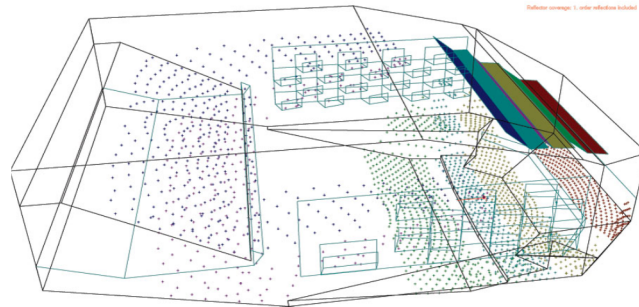
- Μέθοδος **Grid Response**: Μπορούμε να έχουμε έναν χάρτη ακουστικών παραμέτρων στον χώρο καθώς και στατιστικά στοιχεία για το επίπεδο ακρόασης.



Απεικόνιση μεθόδου Grid Response

Εικόνα 5.6

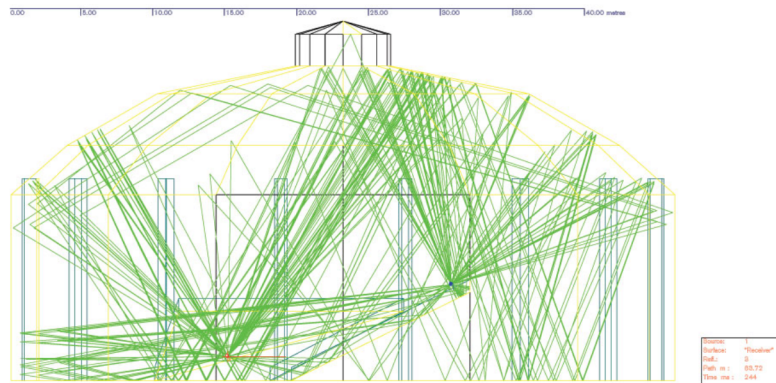
- Μέθοδος **Reflector Coverage**: Μπορεί να παρουσιάσει μία τρισδιάστατη απεικόνιση των πρώτων ανακλάσεων για δηλωμένα επίπεδα.



Απεικόνιση μεθόδου Reflector Coverage

**Εικόνα 5.7**

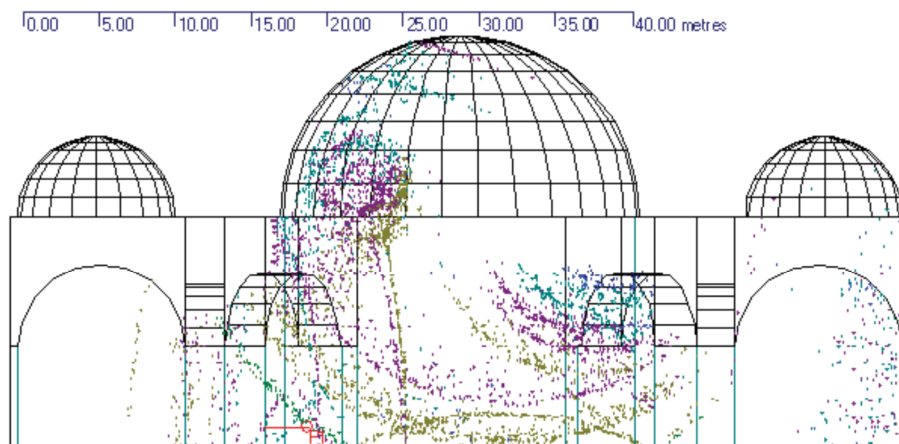
- Μέθοδος **Ray Tracing**: Μπορεί να μας δώσει μια ιχνογράφηση των ηχητικών ακτίνων που εκπέμπονται από μια πηγή.



Απεικόνιση μεθόδου Ray Tracing

**Εικόνα 5.8**

- Μέθοδος **3D Billiard**: Μπορεί να μας δώσει μια διαδραστική απεικόνιση των μετωπικών κυμάτων.



Απεικόνιση μεθόδου 3D Billiard

**Εικόνα 5.9**

Μετά από μελέτη των δυνατών μεθόδων που είχαμε να επιλέξουμε, καταλήξαμε ότι αυτή που μπορεί να προσομοιώσει καλύτερα τη διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά τη διάρκεια των φυσικών μετρήσεων είναι η μέθοδος **Multi-point Response**, αφού μέσω αυτής μπορούμε να εξάγουμε τις ακουστικές παραμέτρους για παραπάνω από μία θέσεις μέσα στον οiwνί χώρο.

### 5.3.3 Γεωμετρική απεικόνιση των χώρων στο Odeon

Αρχικά έπρεπε να πραγματοποιηθεί η γεωμετρική απεικόνιση της αίθουσας στο Odeon. Το πρόγραμμα διαθέτει ένα δικό του εργαλείο μοντελοποίησης το Extrusion Modeler.

Ο συγκεκριμένος μοντελοποιητής, αν και όχι πολύ σύγχρονος και εύχρηστος, παρέχει όλες εκείνες τις δυνατότητες και επιλογές που χρειάζεται ένας μηχανικός για αποτυπώσει σωστά και με πιστότητα χώρους όπως αίθουσες και αμφιθέατρα διδασκαλίας. Ένα ακόμα εργαλείο που διαθέτει το πρόγραμμα Odeon είναι το Odeon Editor που ουσιαστικά χρησιμοποιεί μία γλώσσα προγραμματισμού που λειτουργεί με εντολές και συντεταγμένες οι οποίες μεταφράζονται από το Odeon σε επίπεδα και σημεία. Με το συγκεκριμένο εργαλείο δηλαδή μπορεί να γραφτεί ένας κώδικας, τον οποίο το Odeon μπορεί να τον μεταφράσει σε επίπεδα που συνθέτουν έναν χώρο.

Για τη τρισδιάστατη απεικόνιση της αίθουσας συμβουλευθήκαμε τα CAD σχέδια που είχαν συνταχθεί για την μελέτη συνδυάζοντάς τα με οπτική μελέτη του χώρου από εμάς τους ίδιους. Με τη χρήση του Odeon Editor, δόθηκαν οι συντεταγμένες όλων των σημείων του χώρου που χρειαζόνταν ώστε να προσομοιωθεί η υπάρχουσα γεωμετρία και να σχηματιστούν όλες οι επιφάνειες δηλαδή τα δάπεδα, οι τοίχοι, τα κουφώματα, οι πόρτες και οι οροφές που υπάρχουν στο χώρο.

### 5.3.4 Σύνθεση του εσωτερικού χώρου

Πέρα από τη σωστή γεωμετρική απεικόνιση του χώρου, μεγάλη σημασία έχει και η όσο το δυνατόν πιο πιστή αναπαράσταση των υλικών που υπάρχουν μέσα σε κάθε χώρο.

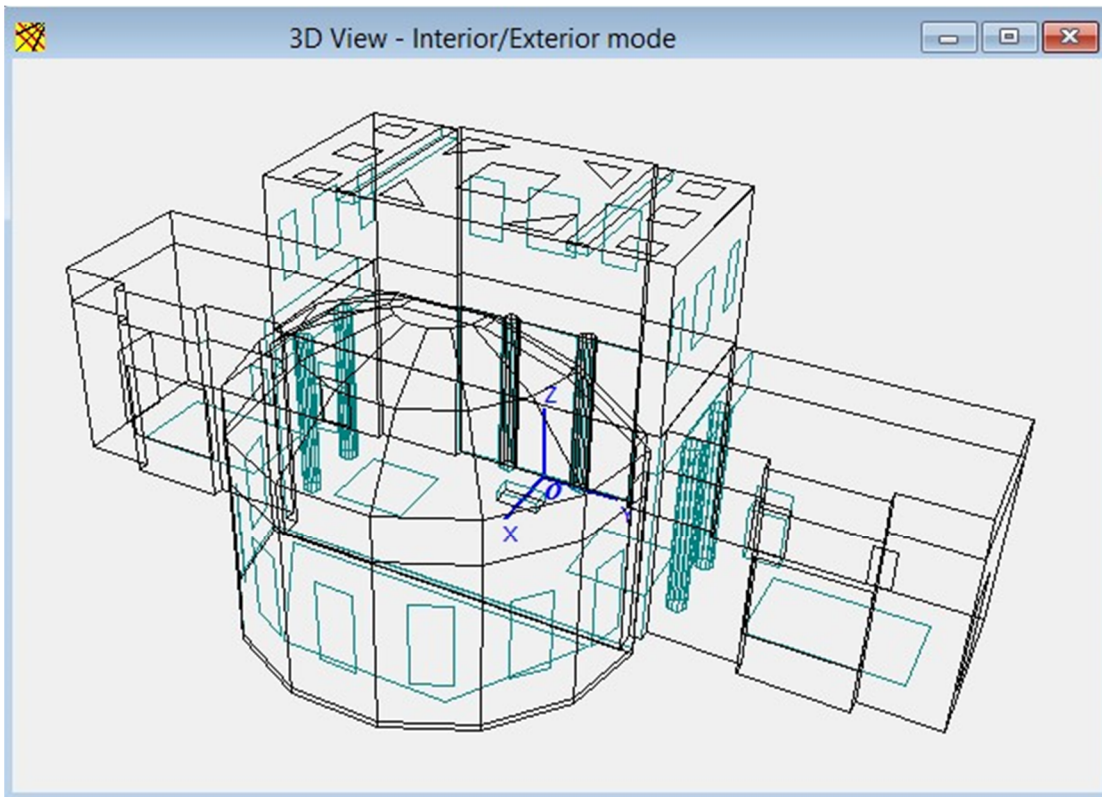
Το Odeon διαθέτει μια βάση δεδομένων με υλικά του εμπορίου και με τις αντίστοιχες ηχοαπορροφητικές τους ιδιότητες. Πέρα από την ήδη υπάρχουσα βάση δεδομένων υλικών που είναι διαθέσιμη, δίνεται η δυνατότητα σε έναν χρήστη του προγράμματος να μπορέσει να εισάγει στη βάση δεδομένων και υλικά που δεν υπάρχουν σε αυτήν και των οποίων οι ηχοαπορροφητικές ιδιότητες είναι γνωστές είτε από τους κατασκευαστές τους είτε από τη βιβλιογραφία.

Μετά από έρευνα που κάναμε, με επί τόπου μελέτη των υλικών στην αίθουσα, προχωρήσαμε στην αντιστοίχιση των απλών επιπέδων, που είχαμε δημιουργήσει κατά την γεωμετρική απεικόνιση, σε επίπεδα με συγκεκριμένες ηχοαπορροφητικές ιδιότητες. Στη προσπάθεια αυτή ανατρέξαμε και στην ευρεία βιβλιογραφία που υπάρχει πάνω στην ηχοαπορρόφηση υλικών [25].

Το 'Odeon' [11] διαθέτει μία βάση δεδομένων στις συχνότητες 63, 125, 250, 500,

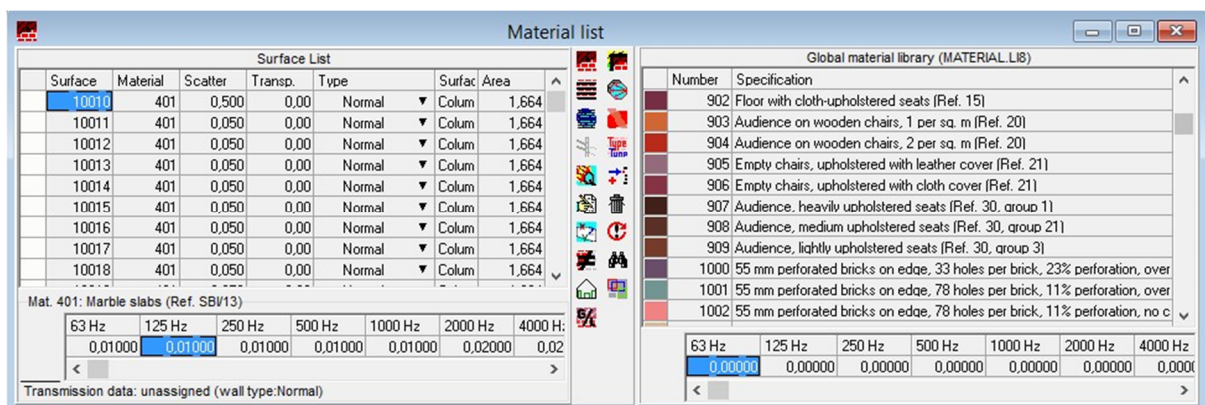


1000, 2000, 4000 και 8000Hz. Για ορισμένες επιφάνειες χρειάστηκε να καταχωρήσουμε οι ίδιοι κάποια νέα υλικά ώστε να αποδοθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η σύνθεση του χώρου. Το γεωμετρικό αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 5.10.



Τρισδιάστατη απεικόνιση της γεωμετρίας της αίθουσας

Εικόνα 5.10



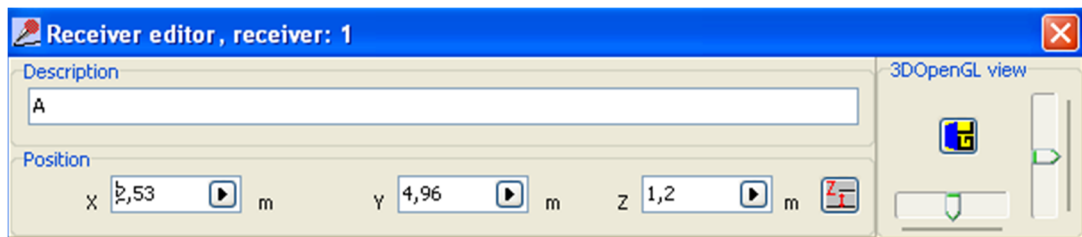
Βάση δεδομένων με υλικά εμπορίου

Εικόνα 5.11

### 5.3.5 Προσομοίωση της διαδικασίας των φυσικών μετρήσεων

Σε αυτή τη φάση της προσπάθειάς μας να παράγουμε μετρήσεις στον οωνί χώρο, έπρεπε να τοποθετήσουμε στο πρόγραμμα τους δέκτες (sound receivers), που προσομοιώνουν τις θέσεις που είχαν γίνει οι πραγματικές μετρήσεις μέσα στην αίθουσα, και την ηχητική πηγή (sound source) που προσομοιώνει την ηχητική πηγή που χρησιμοποιήθηκε.

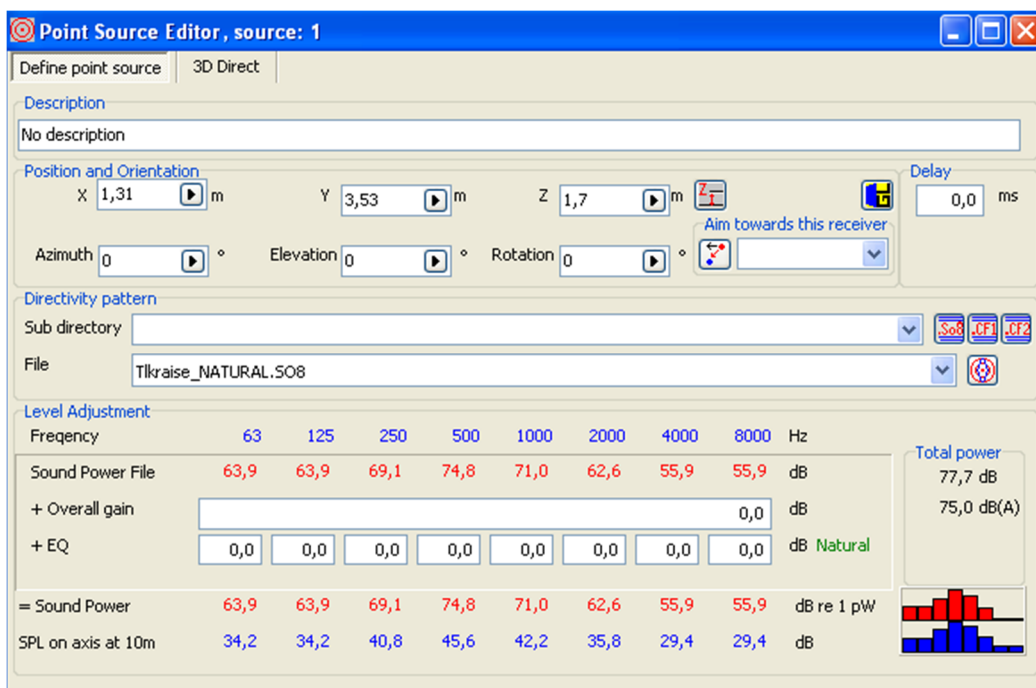
Όσον αφορά τους δέκτες το μόνο που έπρεπε ήταν να δώσουμε με τη μορφή συντεταγμένων τη θέση τους στο χώρο. Το Odeon δεν απαιτεί τίποτα περισσότερο όσον αφορά τους δέκτες.



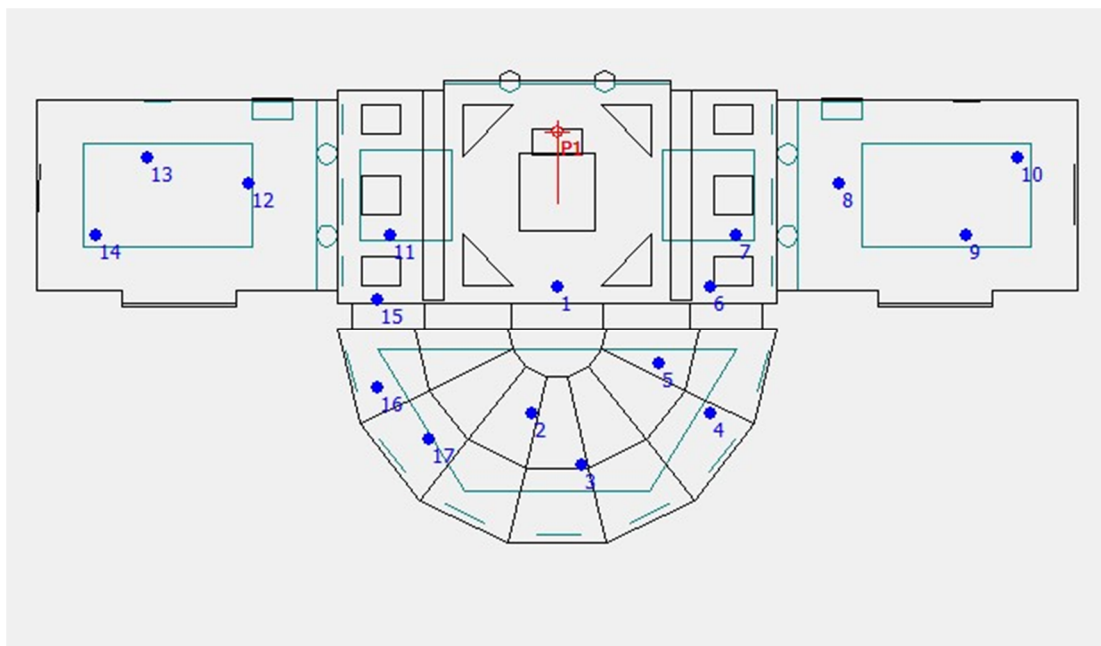
Απεικόνιση διαδικασίας τοποθέτησης ενός δέκτη

**Εικόνα 5.12**

Ομοίως, για να τοποθετήσουμε σωστά στο χώρο την ηχητική πηγή έπρεπε να δώσουμε τις κατάλληλες συντεταγμένες σε σχέση με το που είχε τοποθετηθεί η ηχητική πηγή στις φυσικές μετρήσεις. Με αυτόν τον τρόπο, ορίστηκε η θέση ενός ομιλητή και ως ακροατές οι 17 θέσεις όμοιες με αυτές που έγιναν οι φυσικές μετρήσεις.



Απεικόνιση διαδικασίας τοποθέτησης μίας πηγής (sound source) - **Εικόνα 5.13**



Απεικόνιση του ομιλητή και των 17 θέσεων μέτρησης

**Εικόνα 5.14**

### 5.3.6 Ρύθμιση παραμέτρων του προγράμματος

Τελευταίο στάδιο πριν την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, ήταν να ρυθμίσουμε τις παραμέτρους με τις οποίες θα έκανε τους υπολογισμούς του το πρόγραμμα.

Όσον αφορά το είδος της πηγής, το Odeon έχει στη βάση δεδομένων μια μεγάλη ποικιλία από πηγές, που κάθε μία μπορεί να επιλέξει ανάλογα με την κατευθυντικότητα που επιθυμεί κάποιος να έχει ο ήχος που θα παραχθεί. Στη εργασία αυτή επιλέξαμε για τις μετρήσεις μας την πηγή Omni.SO8 που προσομοιώνει καλύτερα την ισότροπη ηχητική πηγή με την οποία έγιναν οι φυσικές μετρήσεις.

Στη συνέχεια προχωρήσαμε στη ρύθμιση παραμέτρων που έχουν ως σκοπό την καλύτερη προσέγγιση των ακουστικών παραμέτρων ενός χώρου. Μέσα από τη βιβλιογραφία, το εγχειρίδιο του προγράμματος και τις αυτόματα προτεινόμενες από το πρόγραμμα τιμές των παραμέτρων επιλέξαμε τις εξής ρυθμίσεις:

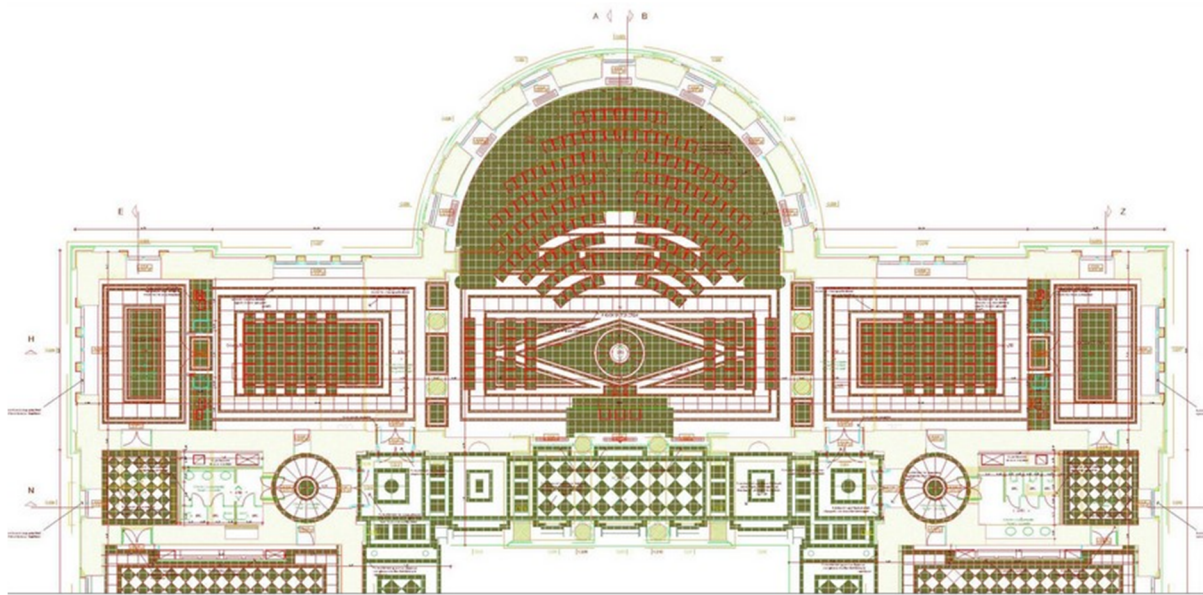
1. Number of rays=5161
2. Maximum reflection order=2000
3. Impulse response length=10000ms
4. Impulse response resolution=10ms
5. Transition order=2
6. Number of early scatter rays=1000
7. Late reflection density=1000000ms

Οι τελικές ρυθμίσεις είχαν σχέση με τις κλιματικές συνθήκες του χώρου. Επιλέχθηκαν, ως θερμοκρασία του οiwνί χώρου οι 25°C και ως υγρασία ένα ποσοστό της τάξης του 50% για κάθε χώρο.

## 6 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

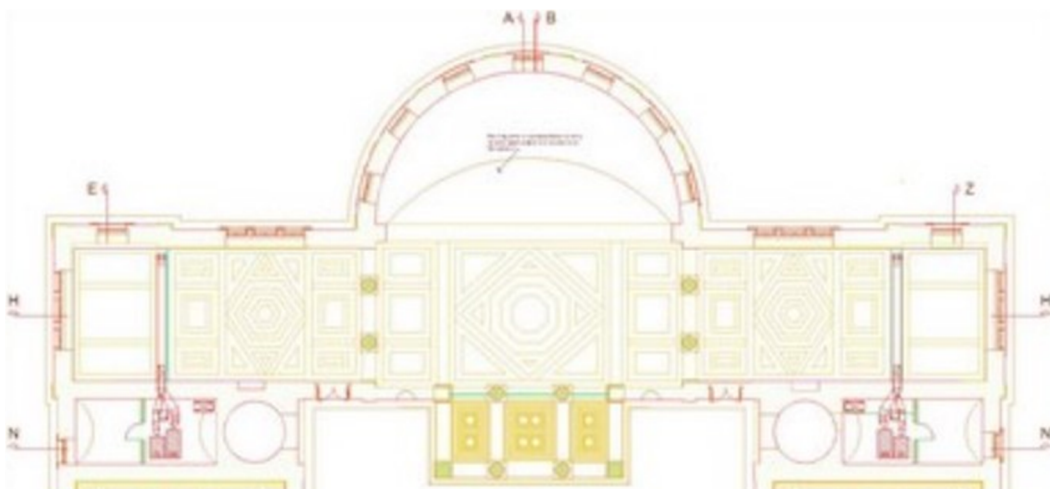
### 6.1 Σχέδια και Φωτογραφίες

Για την καλύτερη κατανόηση του χώρου, παραθέτουμε την κάτοψη, την αποτύπωση της οροφής όπως και κάποιες χαρακτηριστικές φωτογραφίες της αίθουσας τελετών «Λύσανδρος Κανταντζόγλου».



Κάτοψη αίθουσας και μέρος του ορόφου

**Εικόνα 6.1**



Άποψη οροφής της αίθουσας

**Εικόνα 6.2**



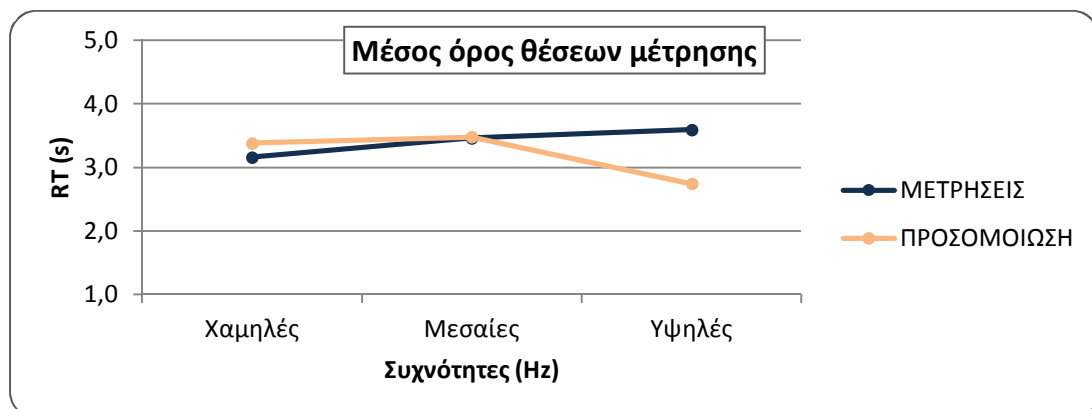


Προτάσεις φοιτητών για αποκατάσταση της ακουστικής  
**Εικόνα 6.3**

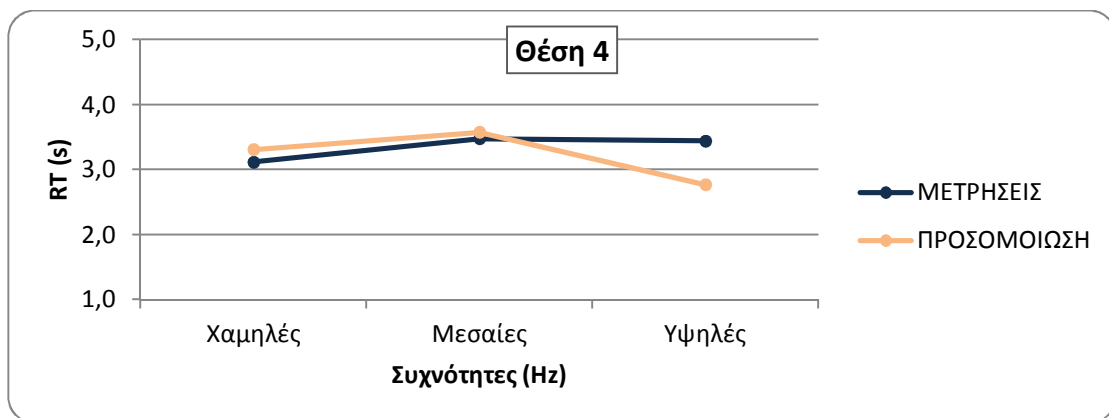
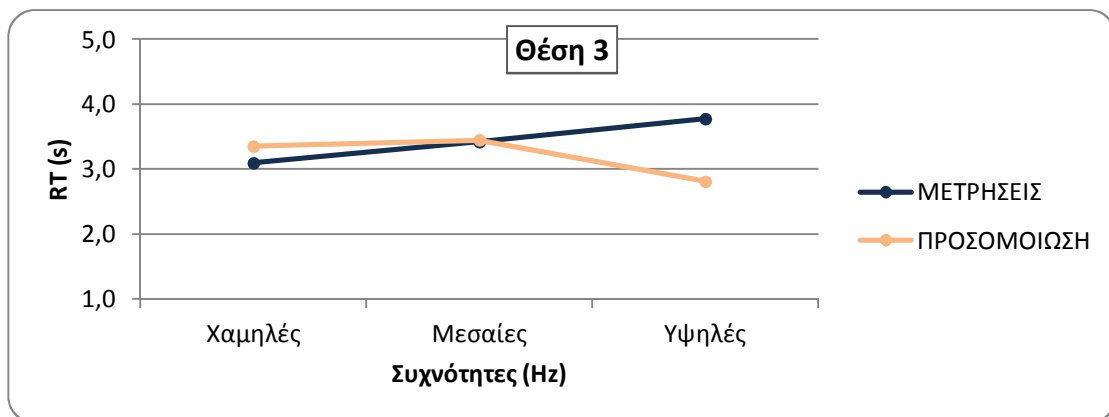
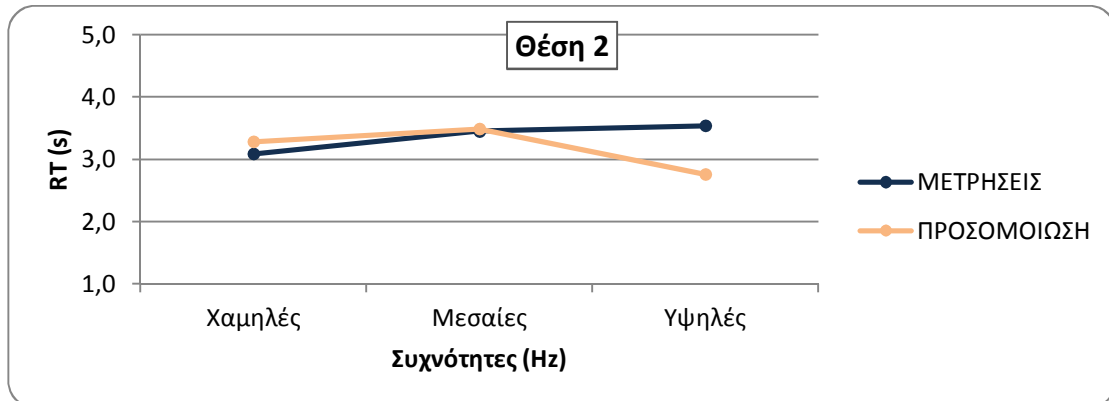
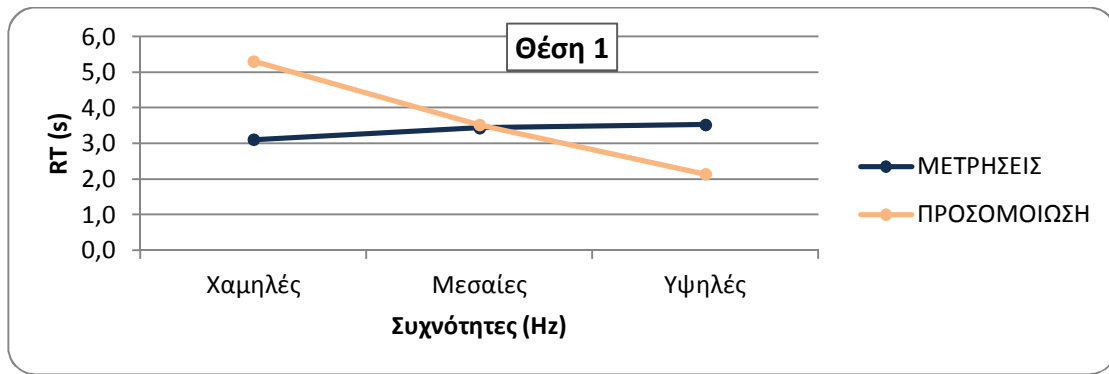
## 6.2 Αποτελέσματα μετρήσεων

### 6.2.1 Διαγράμματα χρόνου αντήχησης

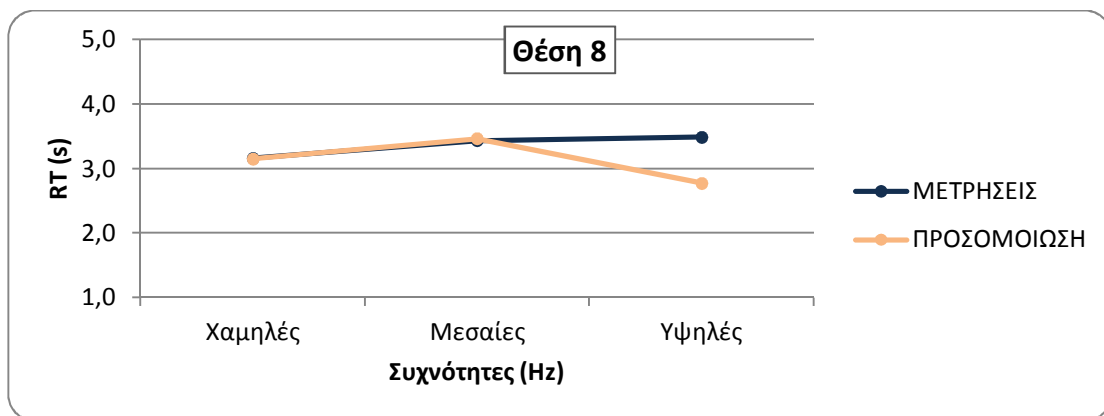
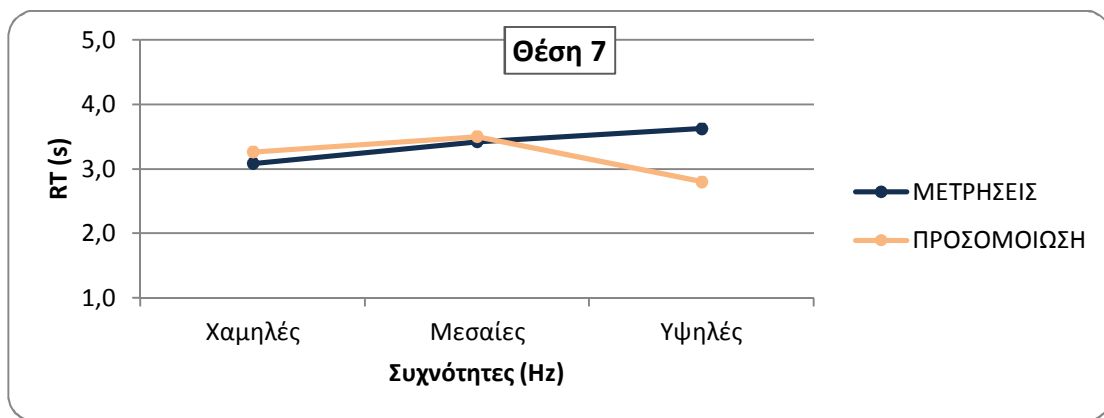
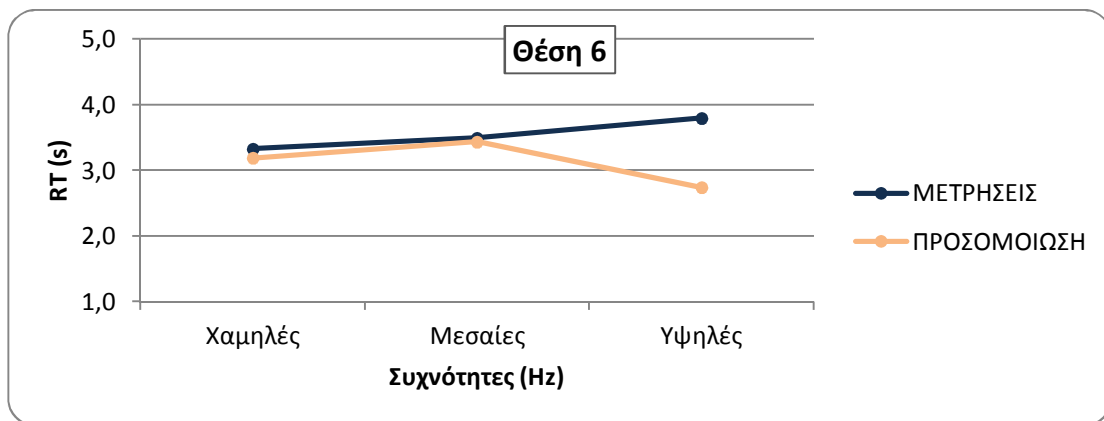
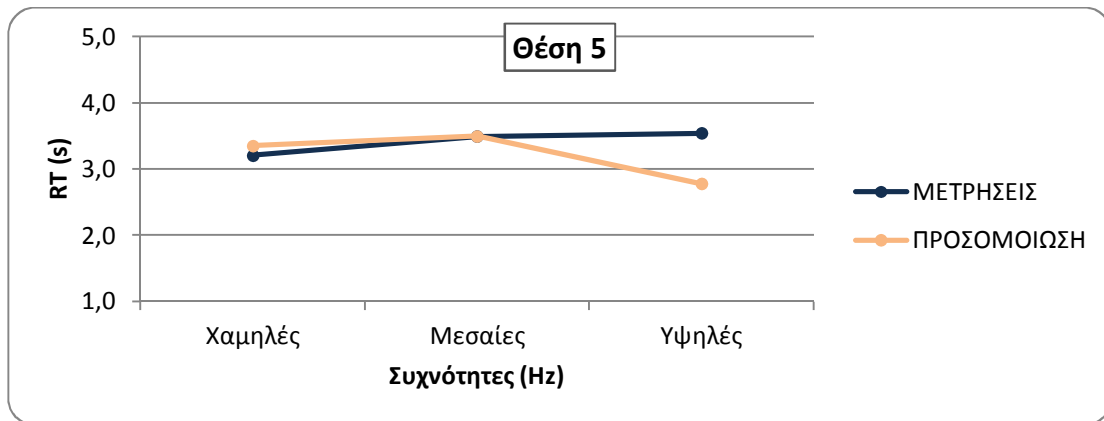
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του χρόνου αντήχησης, τόσο στον πραγματικό όσο και στο οωνί χώρο, και συγκεκριμένα το διάγραμμα του μέσου όρου των θέσεων μέτρησης για κάθε συχνότητα καθώς και κάθε θέσης ξεχωριστά.



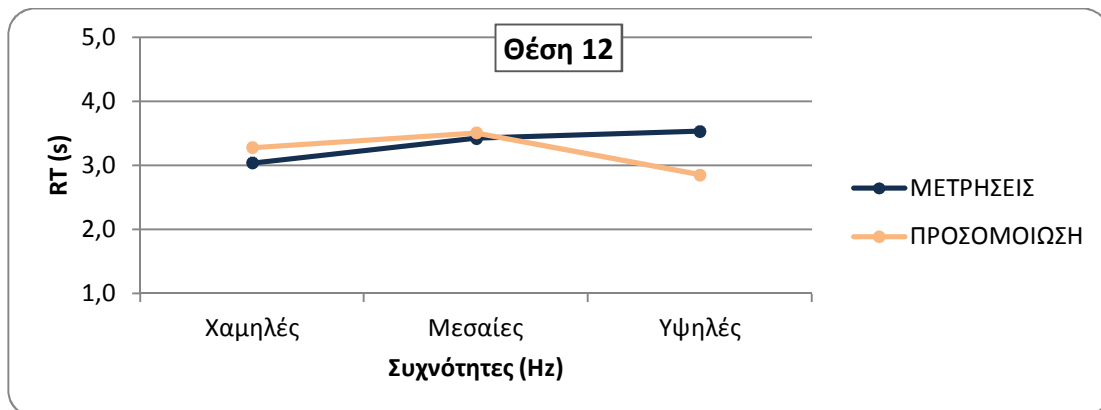
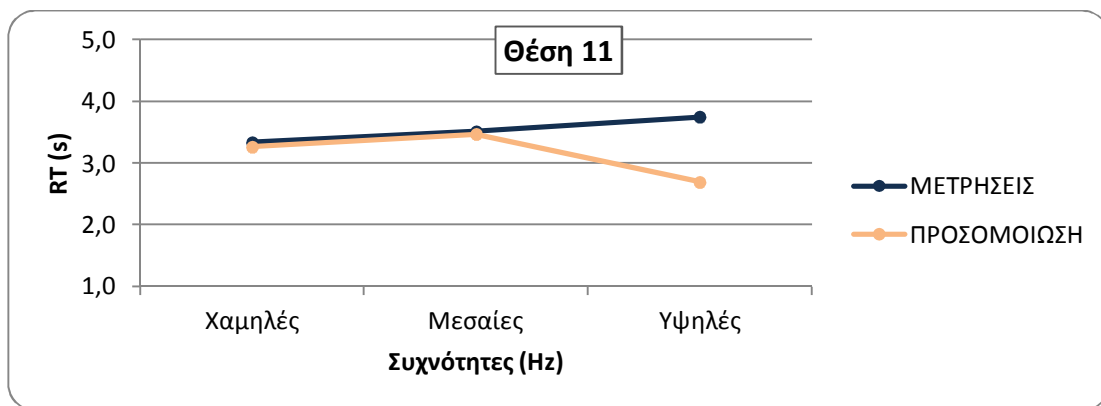
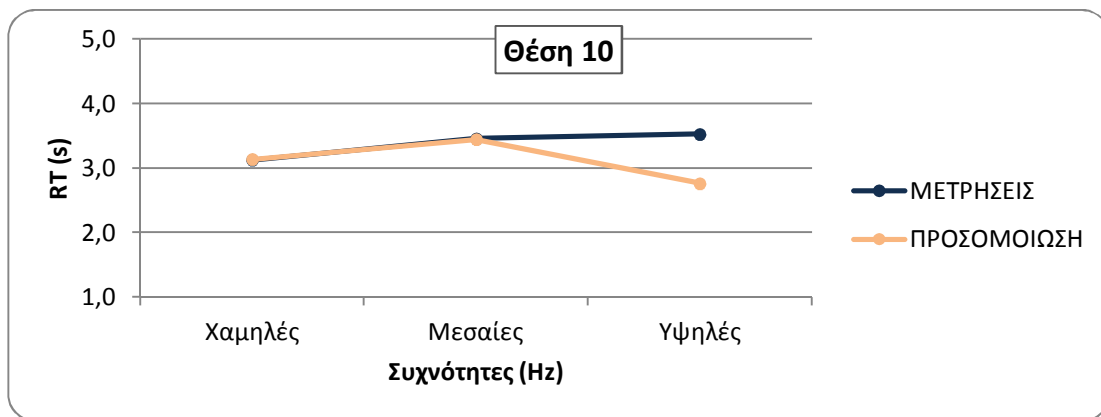
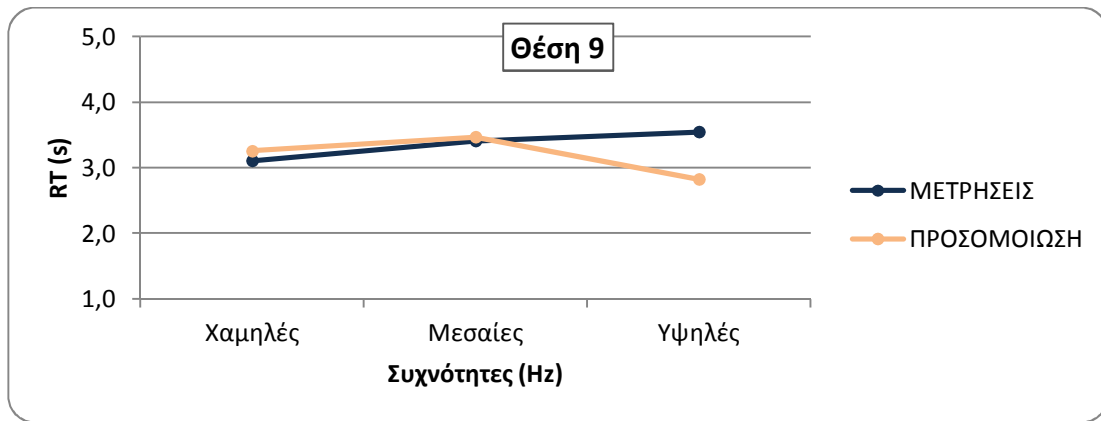
Διάγραμμα χρόνου αντήχησης - **Σχήμα 6.4**



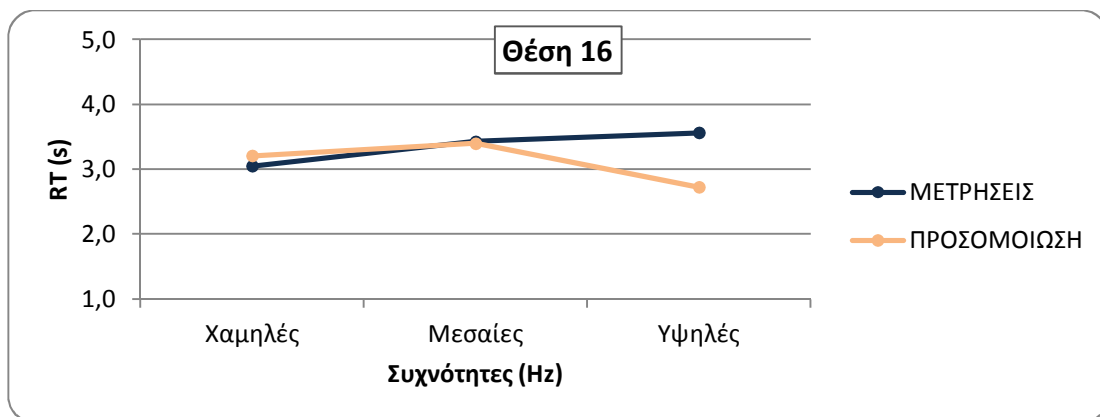
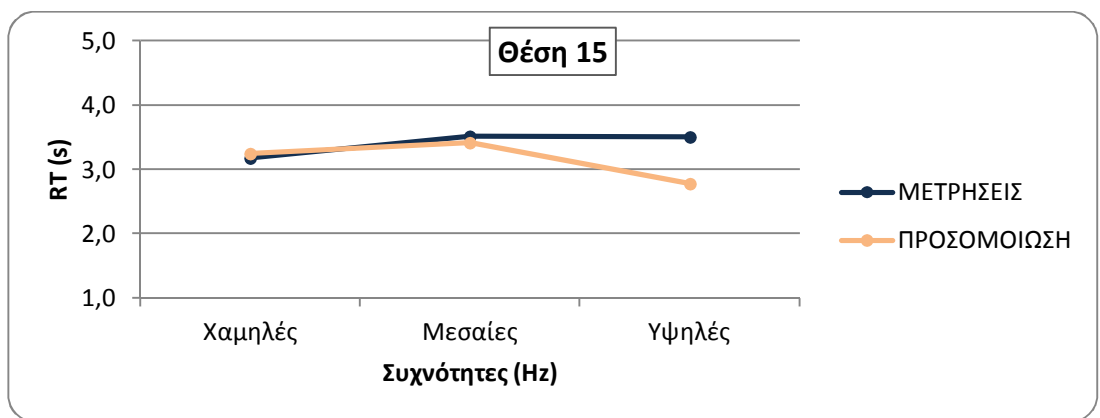
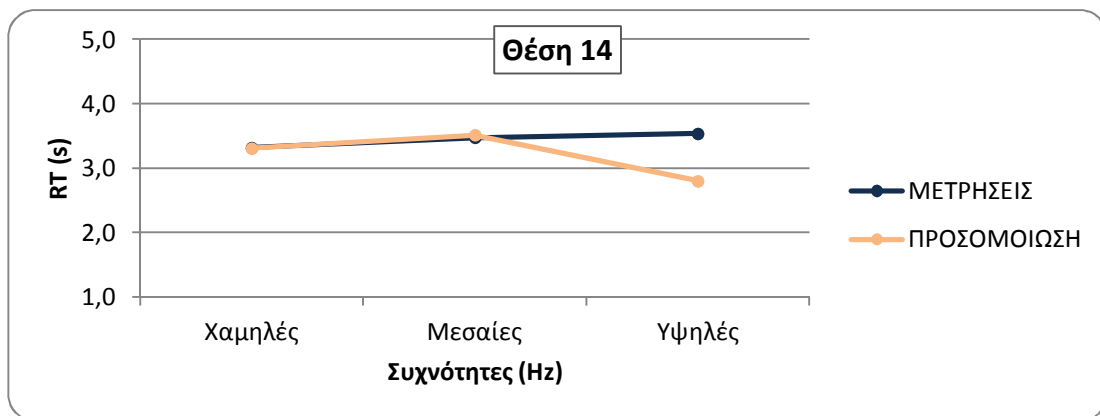
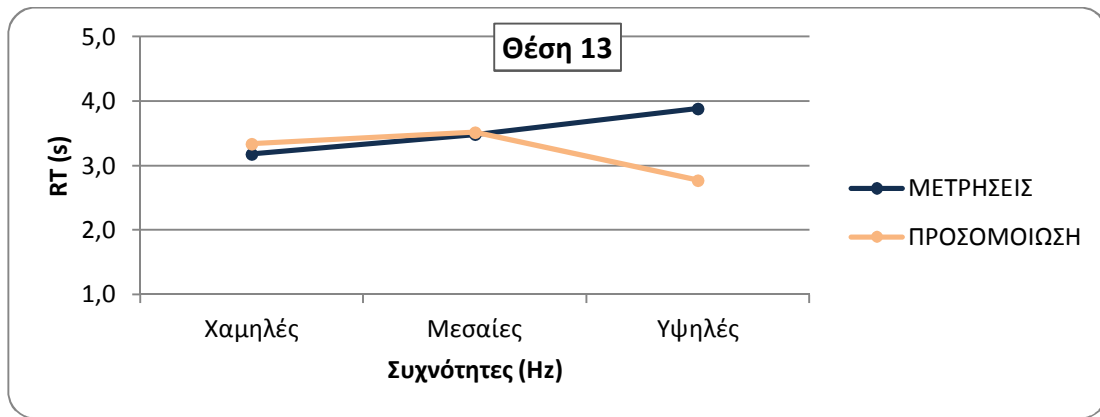
Διαγράμματα χρόνου αντίληψης, ανά θέση μέτρησης - Σχήμα 6.5



Διαγράμματα χρόνου αντίληψης ανά θέση μέτρησης – Σχήμα 6.6

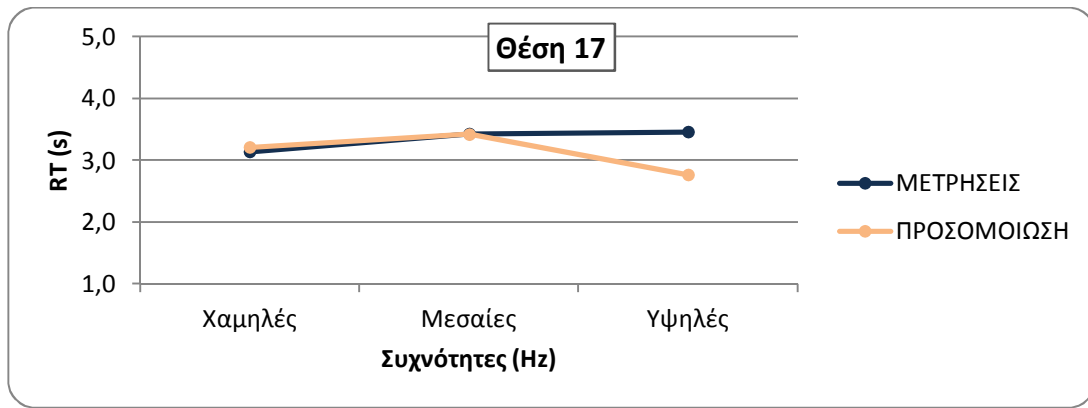


Διαγράμματα χρόνου αντίληψης ανά θέση μέτρησης – Σχήμα 6.7



Διαγράμματα χρόνου αντίληψης ανά θέση μέτρησης – Σχήμα 6.8

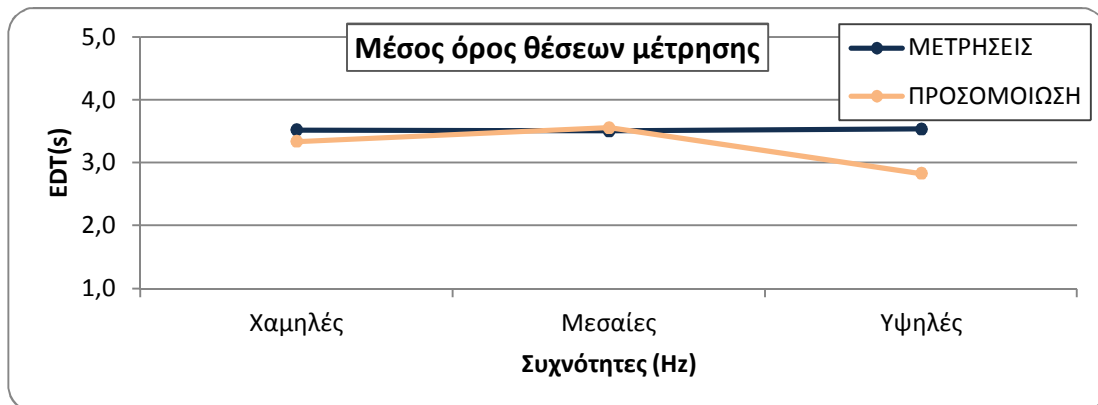




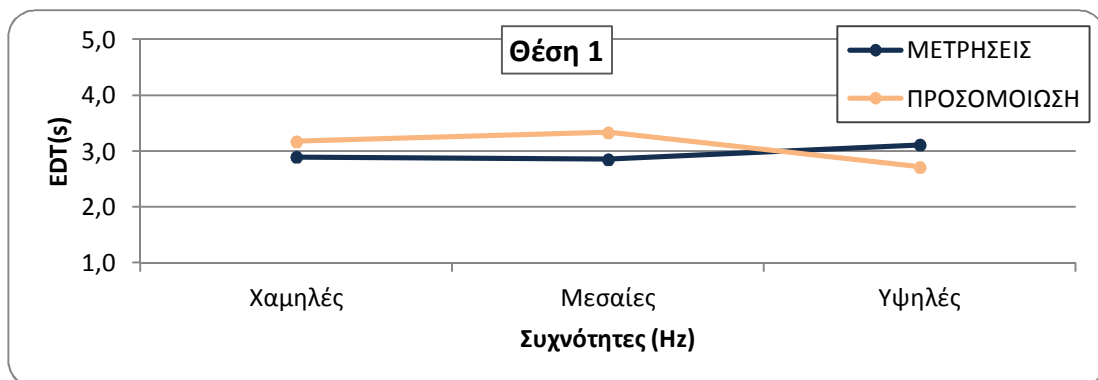
Διάγραμμα χρόνου αντίληψης ανά θέση μέτρησης – Σχήμα 6.9

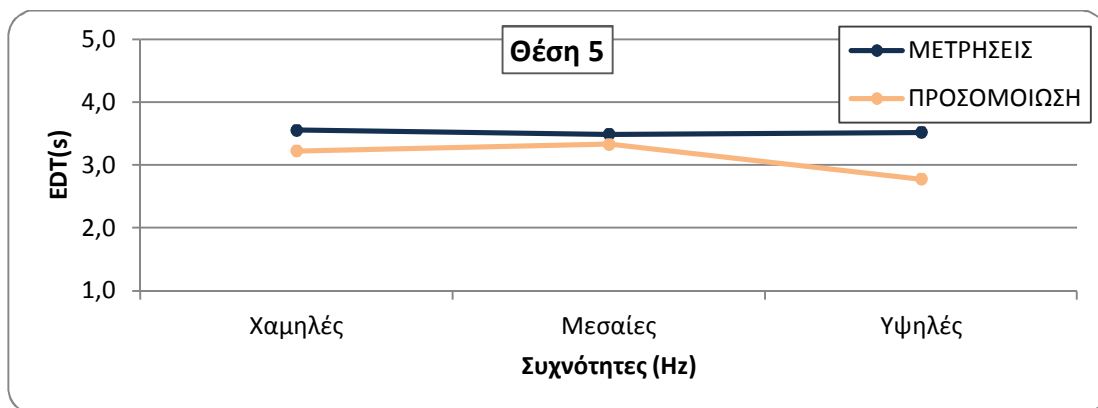
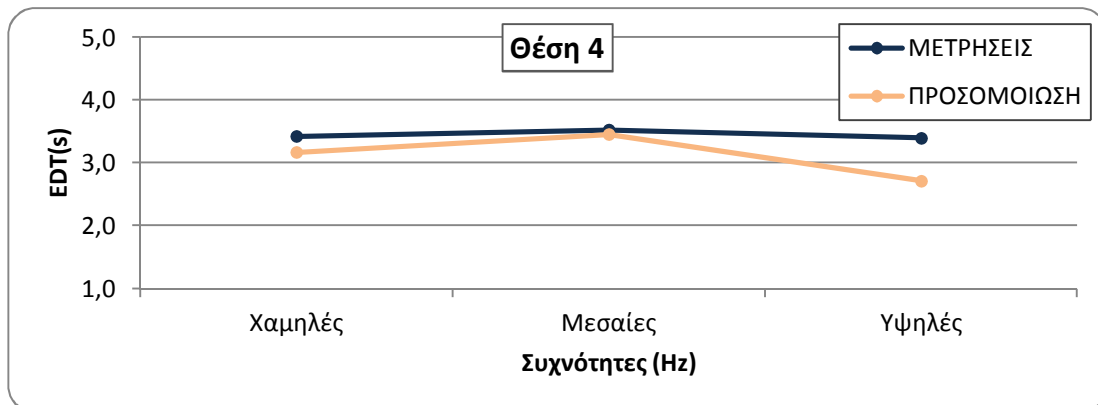
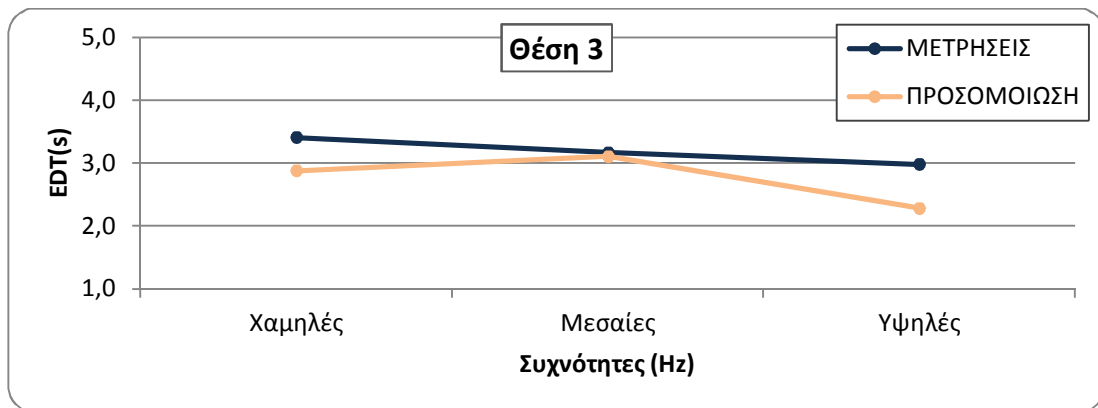
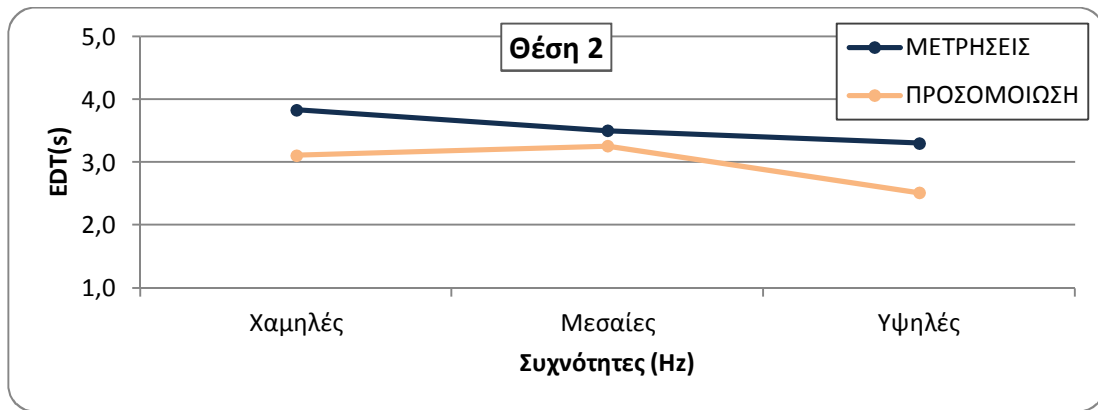
### 6.2.2 Διαγράμματα EDT

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του χρόνου EDT, τόσο στον πραγματικό όσο και στο οωνί χώρο, και συγκεκριμένα το διάγραμμα του μέσου όρου των θέσεων μέτρησης για κάθε συχνότητα καθώς και κάθε θέσης ξεχωριστά.

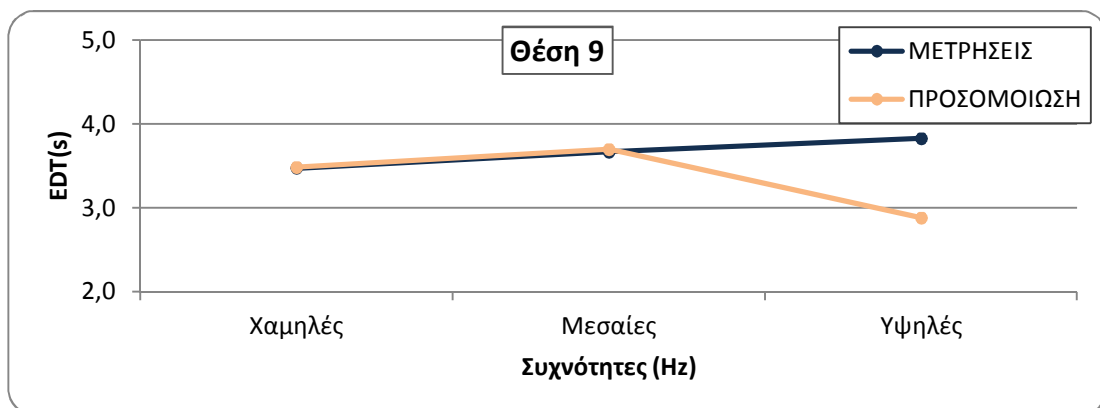
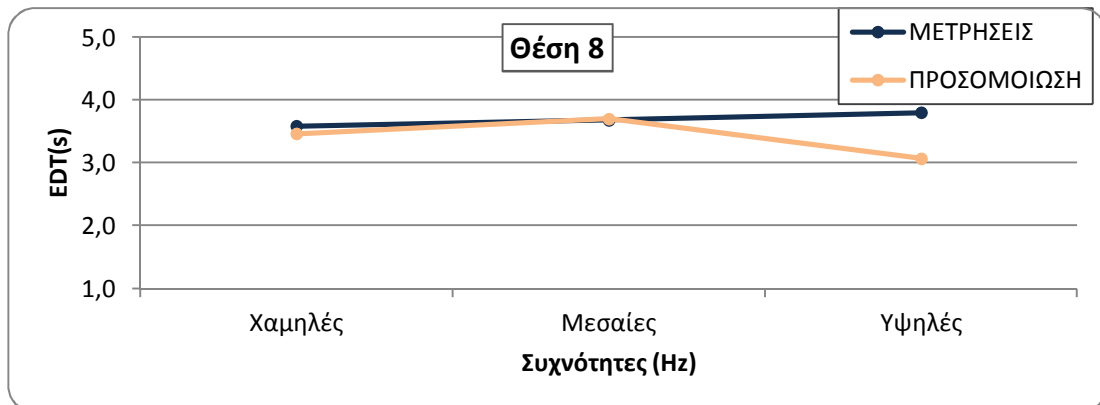
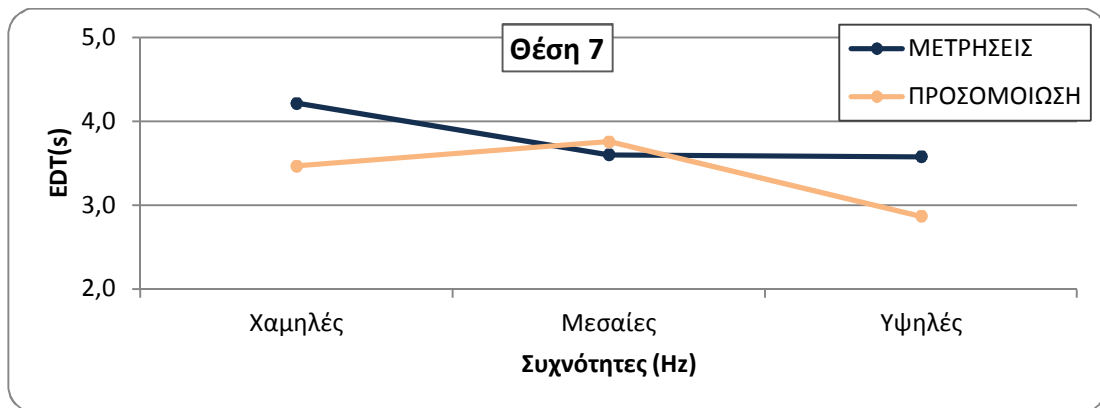
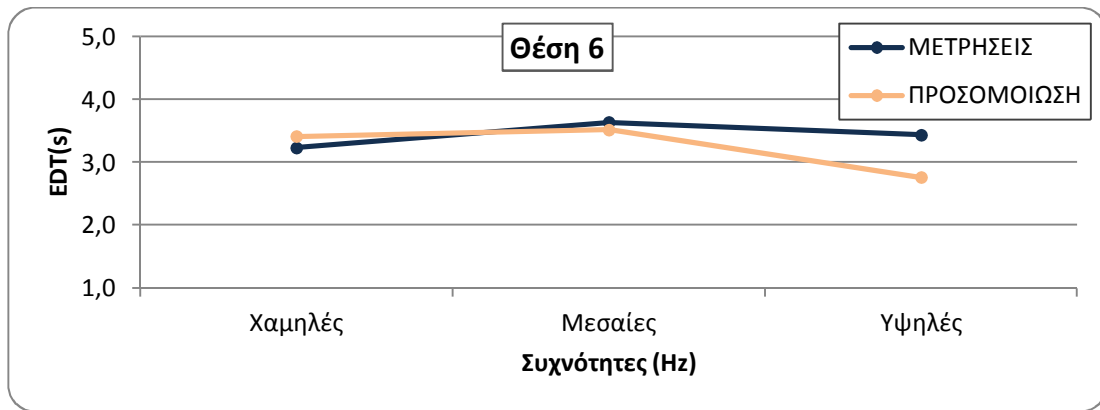


Διάγραμμα χρόνου απόσβεσης πρώτων ανακλάσεων (EDT) - Σχήμα 6.10

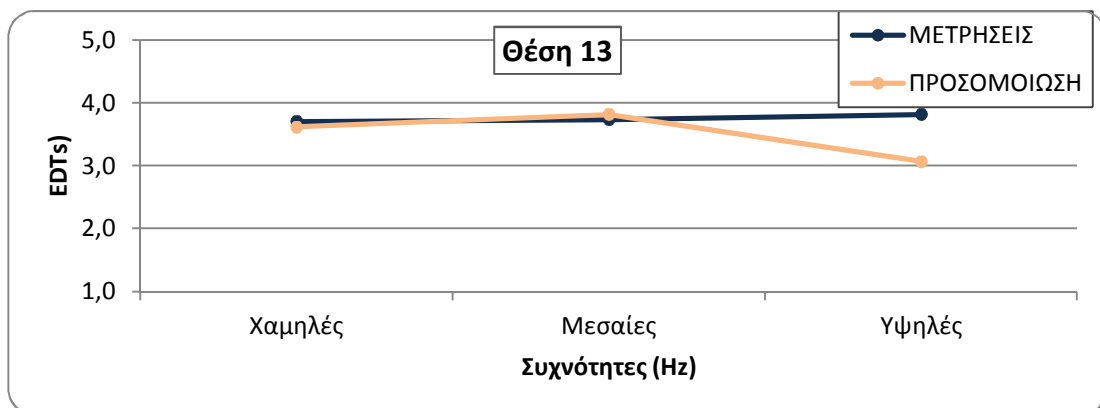
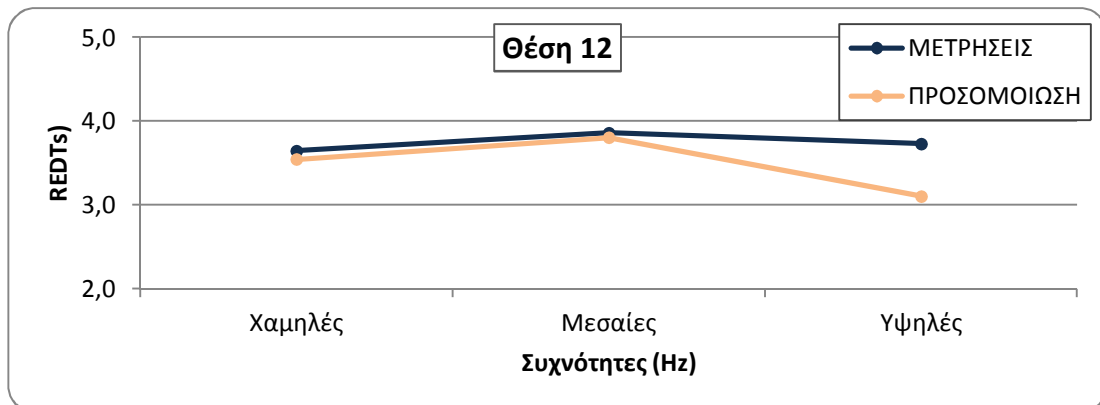
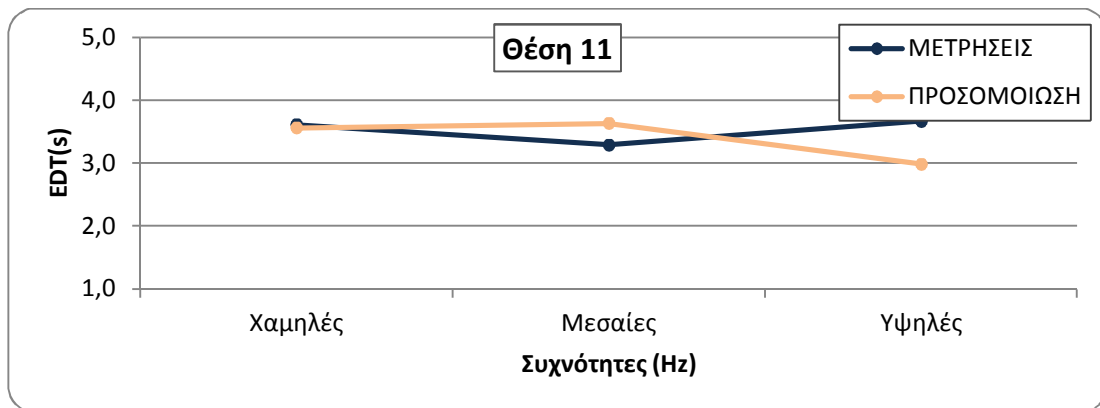
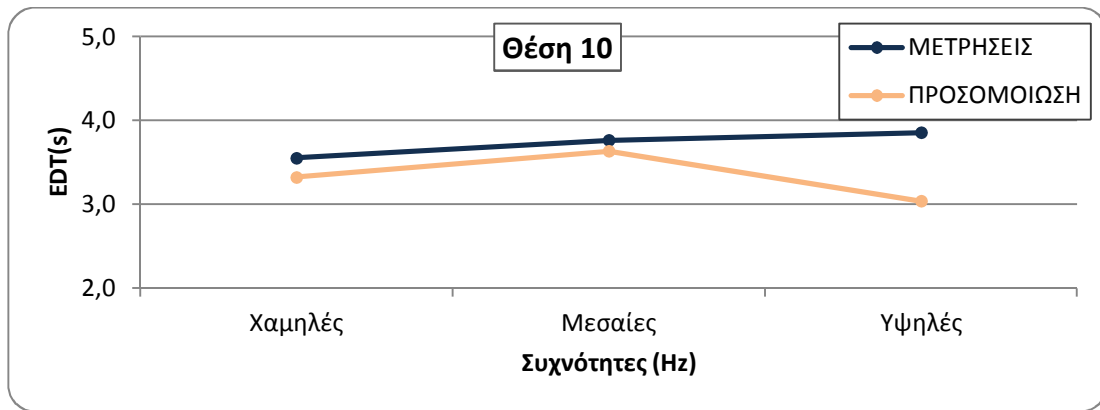




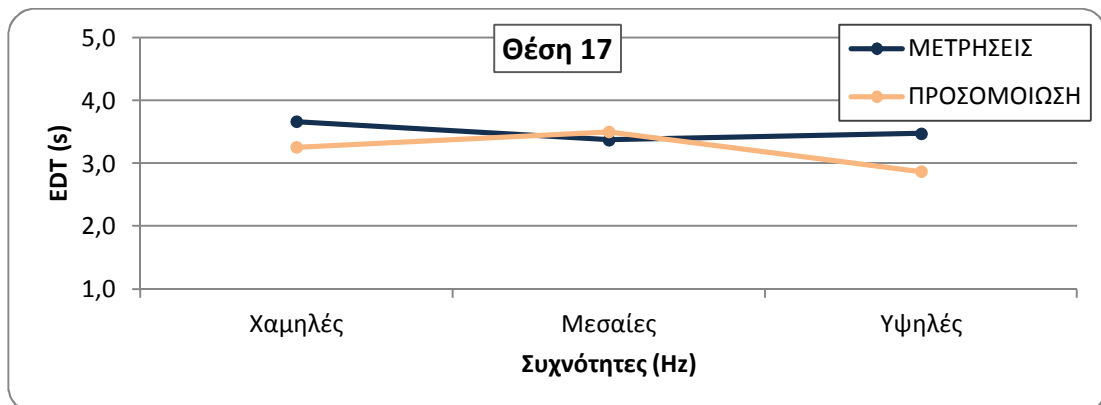
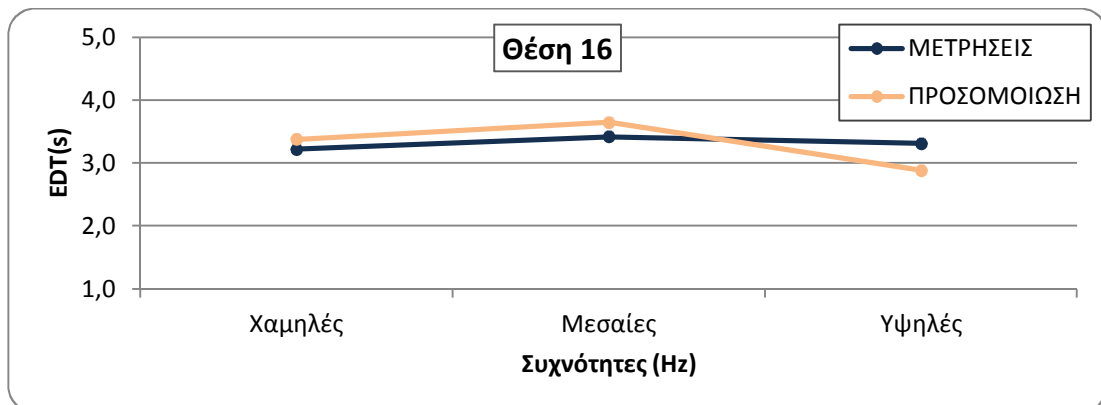
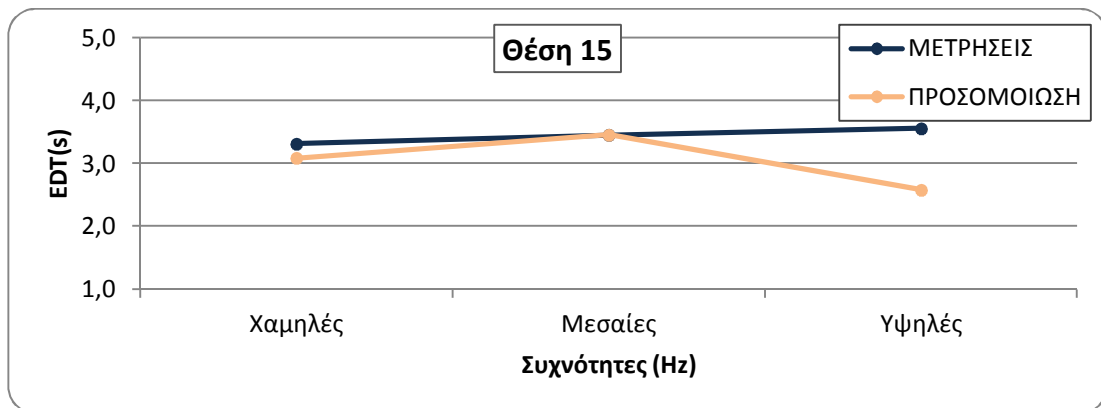
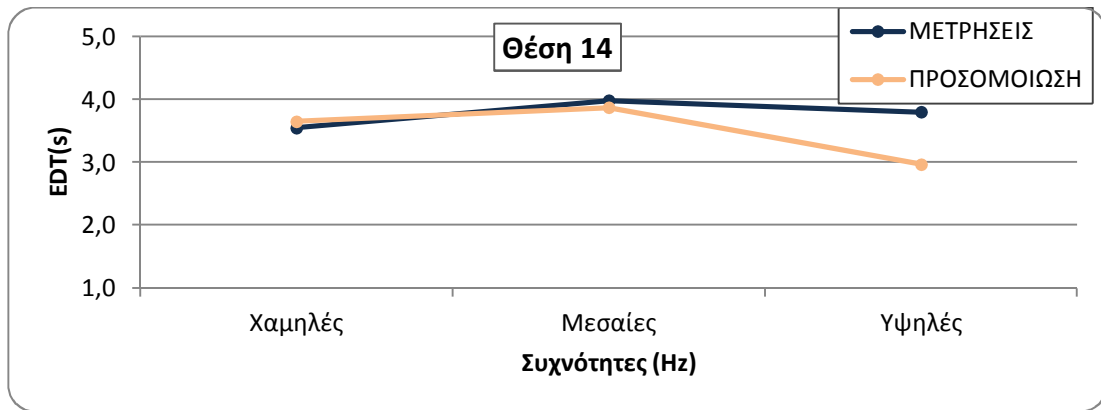
Διαγράμματα χρόνου απόσβεσης πρώτων ανακλάσεων (EDT), ανά θέση μέτρησης - Σχήμα 6.11



Διαγράμματα χρόνου απόσβεσης πρώτων ανακλάσεων (EDT), ανά θέση μέτρησης - Σχήμα 6.12



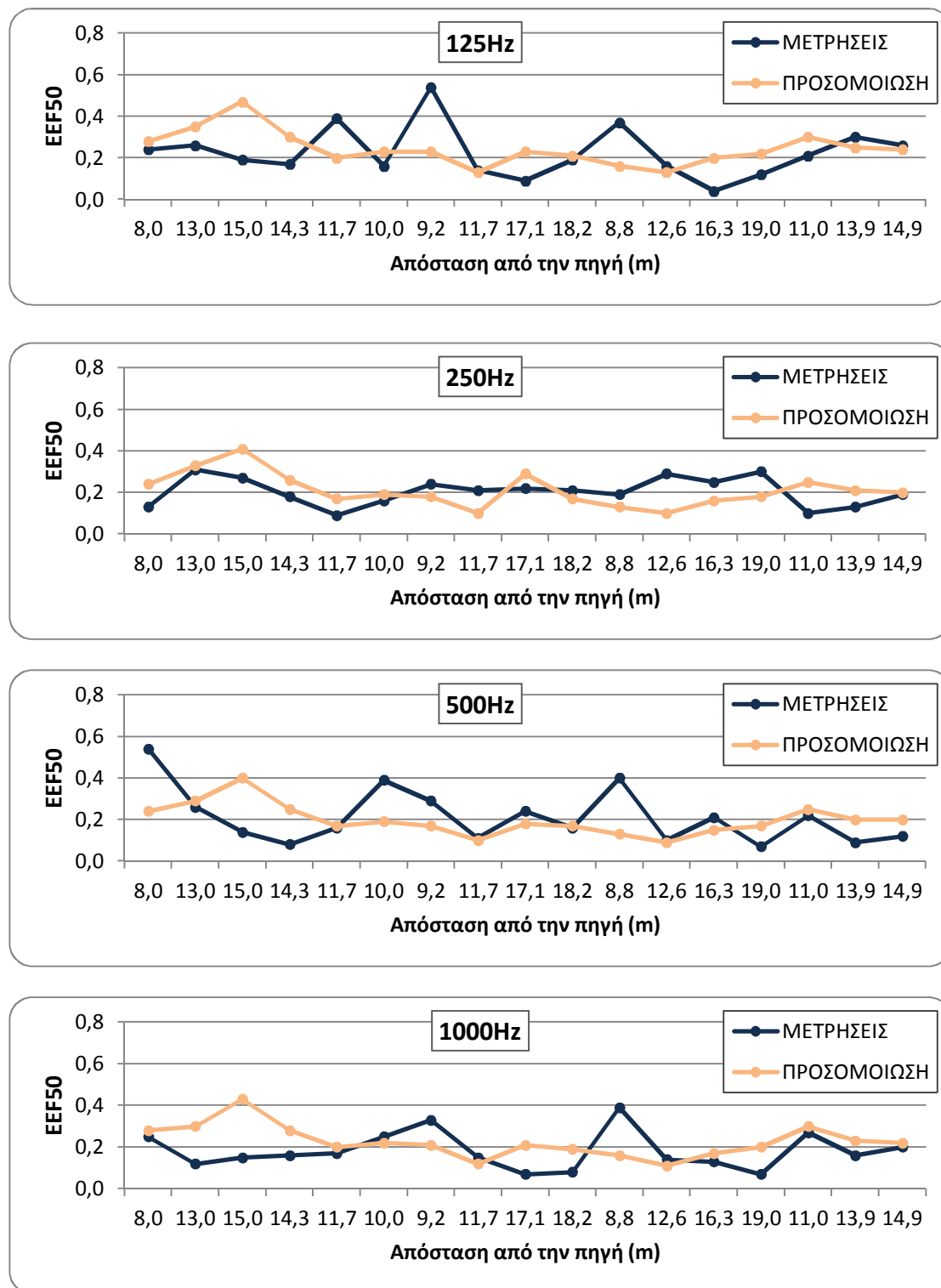
Διαγράμματα χρόνου απόσβεσης πρώτων ανακλάσεων (EDT), ανά θέση μέτρησης - Σχήμα 6.13



Διαγράμματα χρόνου απόσβεσης πρώτων ανακλάσεων (EDT), ανά θέση μέτρησης - Σχήμα 6.14

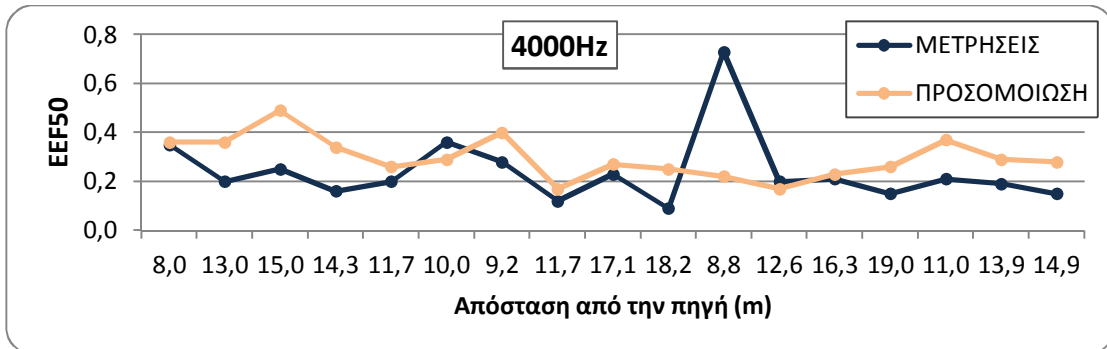
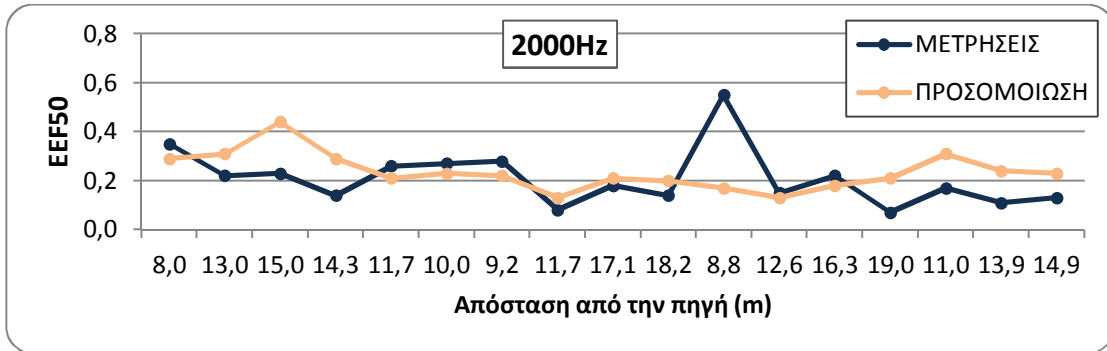
### 6.2.3 Διαγράμματα ΕΕF50

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του κλάσματος των πρώτων ανακλάσεων ΕΕF50, τόσο στον πραγματικό όσο και στο οϊωνί χώρο, και συγκεκριμένα οι ανά συχνότητα τιμές των θέσεων μέτρησης.



Διάγραμμα κλάσματος πρώτων ανακλάσεων, με βάση τη θέση μέτρησης – Σχήμα 6.15

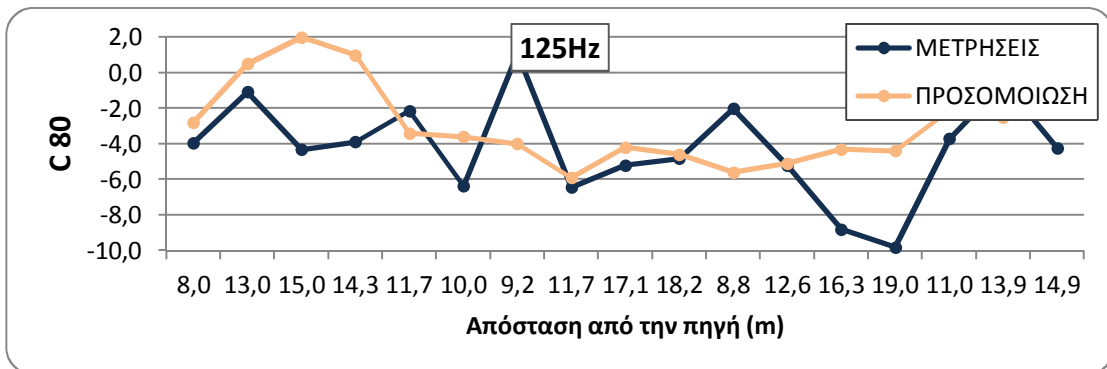




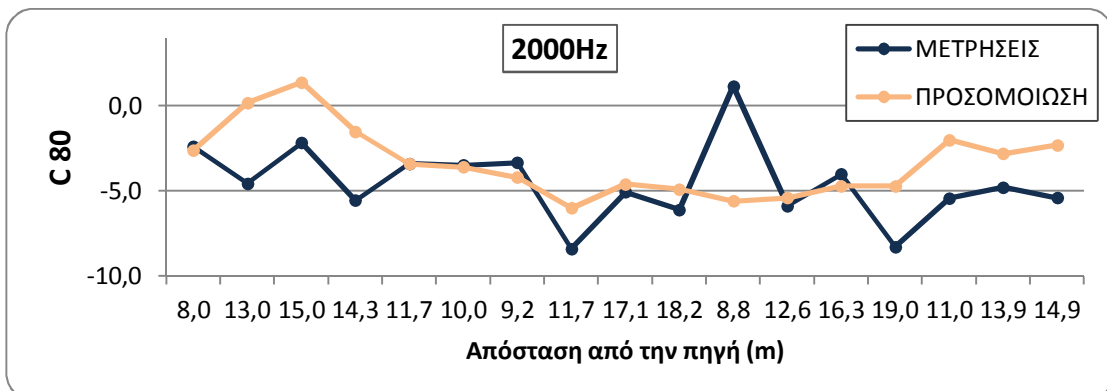
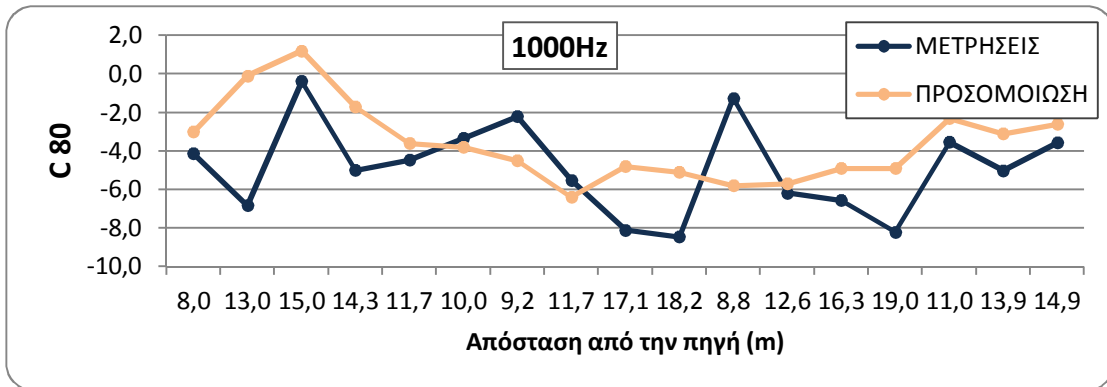
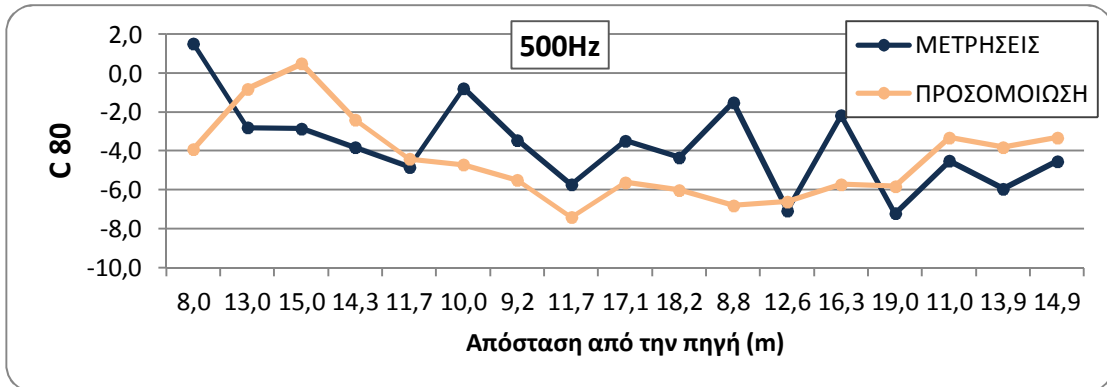
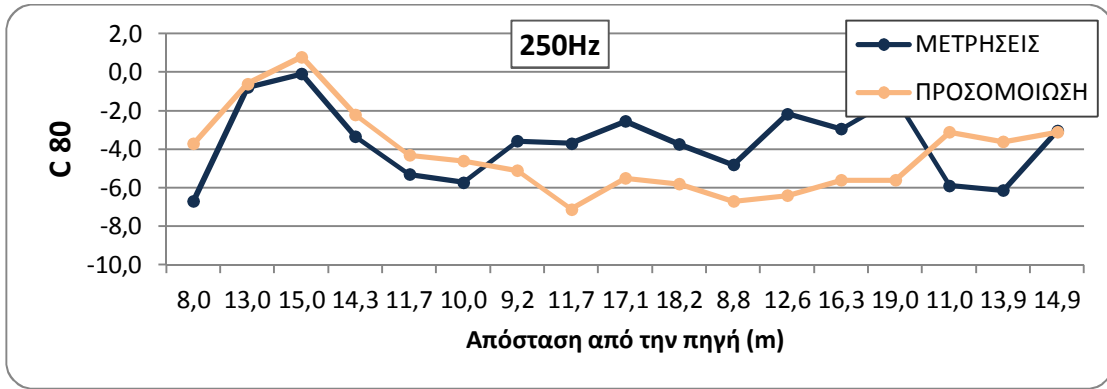
Διαγράμματα κλάσματος πρώτων ανακλάσεων με βάση τις θέσεις μέτρησης, ανά συχνότητα  
**Σχήμα 6.16**

### 6.2.4 Διαγράμματα C 80

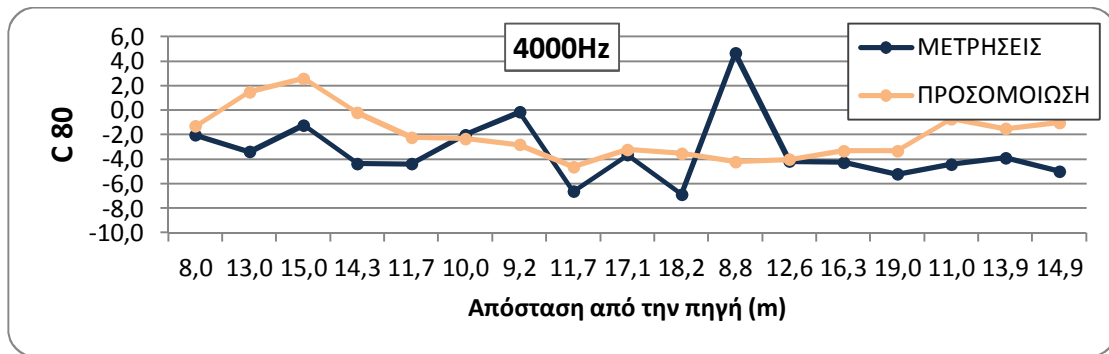
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του λόγου των πρώτων-προς-τις-καθυστερημένες ανακλάσεις C80, τόσο στον πραγματικό όσο και στο οiwνί χώρο, και συγκεκριμένα οι ανά συχνότητα τιμές των θέσεων μέτρησης. Να επισημανθεί ότι παράμετρος που δίνει τον λόγο των πρώτων ανακλάσεων προς τις καθυστερημένες ανακλάσεις δεν χρησιμοποιείται για αίθουσες ακρόασης ομιλίας, απλά την εμφανίζουμε για την πληρότητα των αποτελεσμάτων.



Διάγραμμα του λόγου των πρώτων-προς-τις-καθυστερημένες ανακλάσεις, με βάση τη θέση μέτρησης – **Σχήμα 6.17**



Διαγράμματα του λόγου των πρώτων-προς-τις-καθυστερημένες ανακλάσεις, με βάση τη θέση μέτρησης – Σχήμα 6.18



Διάγραμμα του λόγου των πρώτων-προς-τις-καθυστερημένες ανακλάσεις, με βάση τη θέση μέτρησης – Σχήμα 6.19