

## ι. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο Ελληνορθόδοξος Ναός είναι συνυφασμένος με την κουλτούρα μας, τον πολιτισμό μας και τη ιστορία μας. Ελάχιστες μελέτες στην διεθνή βιβλιογραφία έχουν διερευνήσει το θέμα της ακουστικής σ' αυτά τα είδη ναών, παρότι το σύγχρονο εκκλησίασμα συχνά παραπονιέται για την ελλειμματική ακουστική στους ναούς. Η παρούσα εργασία είναι πειραματική και συνίσταται σε σειρά φυσικών ακουστικών μετρήσεων σε εκκλησίες αυτού του είδους, ρυθμού σταυροειδούς εγγεγραμμένου με τρούλο, κατασκευασμένες τον 20ό αιώνα. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την ελλειμματική ακουστική αυτού του είδους των εκκλησιών, δηλαδή υπέρμετροι όγκοι ναών και έλλειψη επιφανειών για την παροχή χρήσιμων πρώτων ανακλάσεων. Επίσης ο χώρος του γυναικωνίτη διαπιστώνεται ότι από άποψη ακουστικής διαφοροποιείται εντελώς από τον κυρίως ναό, είναι δηλαδή σαν να βρίσκεται εκτός αυτού. Προτάσεις για τη βελτίωση του σχεδιασμού των ναών διατυπώνονται.

## ii. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η διεξαγωγή και η ολοκλήρωση της εργασίας δε θα ήταν δυνατή χωρίς τις πολύτιμες υποδείξεις και την καθοδήγηση της επιβλέπουσας Επίκουρης Καθηγήτριας Ε.Μ.Π., κυρίας Σωτηροπούλου Αλεξάνδρας, στην οποία εκφράζονται ειλικρινείς ευχαριστίες για την άψογη συνεργασία μας και την υπομονή της.

Θερμές ευχαριστίες στον Καθηγητή Ε.Μ.Π. κύριο Γεώργιο Πουλάκο και στον Επίκουρο Καθηγητή Ε.Μ.Π. κύριο Γεώργιο Καμπουράκη για τη στήριξή τους στη συλλογή του βιβλιογραφικού υλικού και στον διδάκτορα Ε.Μ.Π. Γιάννη Καραγιάννη για την πολύτιμη συνεργασία του στη διεξαγωγή των μετρήσεων.

Οι παρούσες ακουστικές μετρήσεις έγιναν με εξοπλισμό του εργαστηρίου Ηχοτεχνίας του Ε.Μ.Π..

Τέλος δε θα μπορούσα να παραβλέψω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υποστήριξή της.

### iii. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 Εισαγωγή .....	5
2 Βασική θεωρία του ήχου .....	6
2.1 Περιγραφή του φυσικού φαινομένου του ήχου .....	6
2.1.1 Γένεση του ήχου και ηχητικές παράμετροι .....	6
2.1.2 Ηχητικά κύματα .....	7
2.1.3 Θεμελιώδεις παραδοχές .....	8
2.1.4 Στάθμη του ήχου .....	9
2.1.5 Οκτάβα, τριτοοκτάβα .....	12
2.2 Η αντίληψη του ήχου .....	14
2.2.1 Ακουστότητα .....	14
2.2.2 Κατευθυντικότητα της ανθρώπινης φωνής .....	15
2.3 Ακουστική κλειστού χώρου .....	17
2.3.1 Ανάκλαση .....	17
2.3.2 Περίθλαση .....	19
2.3.3 Διάχυση .....	20
2.3.4 Ηχοαπορρόφηση και αντήχηση .....	20
2.4 Ηχητικά προβλήματα σε κλειστούς χώρους .....	24
2.4.1 Συντονισμός .....	24
2.4.2 Ηχώ (Echo) .....	25
2.4.3 Πλαταγιασμός (Flutter Echo) .....	27
2.4.4 Εστιασμός του ήχου .....	28
2.4.5 Στοιχεία θορύβου – Είδη θορύβου .....	28
2.4.6 Κριτήριο επιλογής θορύβου .....	29
2.4.7 Απόκριση του αυτιού .....	31
2.5 Ιστορική αναδρομή .....	34
3 Βιβλιογραφική αναδρομή .....	36

4 Σχεδιασμός πειραμάτων .....	59
4.1 Γενικά .....	59
4.2 Πειραματική διαδικασία .....	59
4.3 Χρήσιμοι ορισμοί .....	63
4.4 Ναοί που επιλέχθηκαν .....	65
4.5 Κατόψεις και σημεία μετρήσεων .....	69
4.5.1 Αγία Ειρήνη Γαλασίου .....	69
4.5.2 Αγία Τριάδα Χολαργού .....	71
4.6 Φωτογραφικό υλικό .....	73
4.6.1 Αγία Ειρήνη Γαλασίου .....	73
4.6.2 Αγία Σοφία Νέου Ψυχικού .....	76
4.6.3 Αγία Τριάδα Χολαργού .....	78
4.6.4 Αγία Τριάδα Αμπελοκήπων .....	81
5 Αποτελέσματα πειράματος .....	83
5.1 Χρόνος αντήχησης (RT-για όλους τους ναούς).....	83
5.2 Χρόνος απόσβεσης πρώτων ανακλάσεων (EDT-για όλους τους ναούς)	86
5.3 Κλάσμα πρώτων ανακλάσεων (EEF <sub>50</sub> ).....	87
5.4 Λόγος πρώτων-προς-καθυστερημένες ανακλάσεις (80ms E-To-L) .....	93
5.5 Χρόνος απόσβεσης πρώτων ανακλάσεων (EDT).....	99
5.6 Θόρυβος βάθους .....	105
6 Συζήτηση των αποτελεσμάτων .....	106
7 Συμπεράσματα .....	118
8 Βιβλιογραφία .....	119
Παράρτημα .....	121

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μιλώντας για τη σύγχρονη εκκλησιαστική αρχιτεκτονική στην Ελλάδα, η πρώτη, άμεση διαπίστωση είναι πώς ουσιαστικά μιλάμε για ένα σχήμα οξύμωρο γιατί, ενώ κτίζονται ναοί πολλοί, υπάρχουν δηλαδή «σύγχρονες εκκλησίες» και μάλιστα κτίζονται με υλικά σύγχρονα, η αρχιτεκτονική τους έκφραση έχει τις ρίζες της σ' εποχές παρωχημένες και κάθε άλλο παρά δικαιολογεί τη χρησιμοποίηση του όρου «σύγχρονη αρχιτεκτονική». Γιατί όπως είναι γνωστό, δεν αρκεί να κτίζεις με σύγχρονα μέσα. Πρέπει και η καλλιτεχνική έκφραση του αρχιτεκτονικού έργου να ανταποκρίνεται τόσο στην τεχνική της κατασκευής όσο και στις καλλιτεχνικές αντιλήψεις της εποχής.

Βέβαια, η εκκλησία αποτελεί κατ' ανάγκην και κατ' εξοχήν ένα έργο δεμένο με την παράδοση αλλά δεν παύει μ' αυτό να ανήκει και στην εποχή μας, να φιλοξενεί σύγχρονους ανθρώπους και να δέχεται τις επιδράσεις της εποχής.

Έτσι λοιπόν μια σωστότερη προσέγγιση για τα κριτήρια του πώς θα μπορούσαμε να σχεδιάσουμε σήμερα μια σύγχρονη εκκλησία, γίνεται δίνοντας νέες προϋποθέσεις, όπως:

α) Η εξυπηρέτηση του λειτουργικού τυπικού του ορθόδοξου ναού, έτσι όπως έχει σήμερα αποκρυσταλλωθεί και εφαρμόζεται από την εκκλησία.

β) Η χρησιμοποίηση των νέων υλικών κατά τρόπο συνεπή προς την υφή, τη σύσταση και τις δυνατότητές τους.

γ) Η αναζήτηση νέων μορφών, που να προκύπτουν από την ικανοποίηση της λειτουργίας και της κατασκευής και συγχρόνως να δημιουργούν ένα νέο αρχιτεκτονικό ρυθμό, ένα νέο καλλιτεχνικό ιδεώδες.

Η παρούσα έρευνα η οποία στηρίζεται στις νέες προϋποθέσεις μελετά την ακουστική των εκκλησιών. Σημαντικό ρόλο στην περίοδο του 20<sup>ου</sup> αιώνα είχε η αύξηση του όγκου των εκκλησιών για να μπορούν να εξυπηρετήσουν μεγαλύτερο αριθμό πιστών καθώς και τα νέα υλικά τα οποία με την σειρά τους ήρθαν να βελτιώσουν τους ναούς σε πολλούς τομείς.

Επίσης ο ρυθμός των εξελίξεων της επιστήμης της Αρχιτεκτονικής Ακουστικής ιδιαίτερα στα τελευταία χρόνια είναι ραγδαίος, έφερε δε πρόσφατα στο προσκήνιο μια νέα γοητευτική διάσταση της γνώσης του ήχου, που αφορά στην κατανόηση της ηχητικής ποιότητας στο χώρο. Η διάσταση αυτή άνοιξε νέους ορίζοντες στη συμβίωση της φυσικής επιστήμης του ήχου και της Αρχιτεκτονικής.

Έχοντας στο μυαλό τα ανωτέρω, στόχος μας είναι να μελετηθεί η Ακουστική των Ελληνορθόδοξων ναών του 20<sup>ου</sup> αιώνα και συγκεκριμένου ρυθμού, σταυροειδούς εγγεγραμμένου με τρούλο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΑΣΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

### 2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

#### 2.1.1 Γένεση του ήχου και ηχητικές παράμετροι

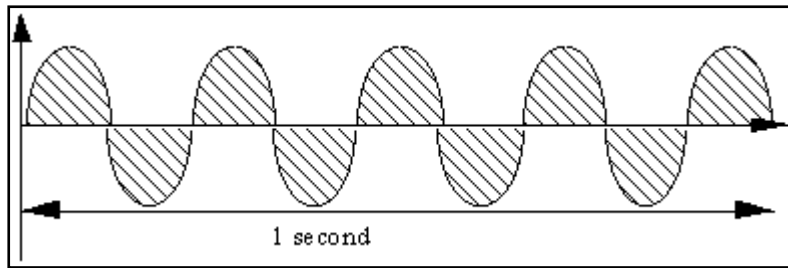
Με τον όρο **ήχος** καλείται η μορφή ενέργειας που διαδίδεται σε ένα ελαστικό μέσο (αέρα, νερό, στερεό) με συγκεκριμένη ταχύτητα και διεγείρει το ακουστικό νεύρο προκαλώντας το αίσθημα της ακοής. Ο ήχος δεν είναι τίποτα άλλο, παρά το αποτέλεσμα της γρήγορης δόνησης ενός σωματιδίου, η οποία προκαλεί ένα ακουστικό κύμα στο ελαστικό μέσο στο οποίο πραγματοποιείται αυτή η δόνηση.

Το φάσμα συχνοτήτων στο οποίο μπορεί να κυμαίνεται ένας ήχος είναι πολύ μεγάλο. Για παράδειγμα η συχνότητα μιας ανθρώπινης φωνής ποικίλει μεταξύ 70 Hz και 2.000 Hz, ο ήχος ενός πιάνου μεταξύ 30 Hz και 3.500 Hz ενώ ο ήχος μιας νυχτερίδας κυμαίνεται σε επίπεδα άνω των 20.000 Hz. Ένας άνθρωπος χωρίς πρόβλημα ακοής ανταποκρίνεται σε ήχους μεταξύ 20 Hz και 20.000 Hz. Συχνότητες πάνω από 10.000 Hz θεωρούνται αμελητέας σημασίας.

Η **ταχύτητα ήχου (c)** είναι η ηχητική παράμετρος που μας δείχνει την ταχύτητα με την οποία διαδίδονται τα ηχητικά κύματα μέσα σε ένα ελαστικό μέσο. Μονάδα μέτρησης της παραμέτρου είναι το μέτρο ανά δευτερόλεπτο (m/s). Η ταχύτητα του ήχου διαφέρει από στερεό σε στερεό και από υγρό σε υγρό σε σχέση με τον αέρα. Έτσι στο θαλασσινό νερό η ταχύτητα του ήχου φτάνει τα 1.500 m/s ενώ στο νερό των ποταμών τα 1.440 m/s και στο ξύλο τα 4.000 m/s σε αντίθεση με το σίδηρο που φτάνει τα 5.100 m/s. Ένας επιπλέον παράγοντας που επηρεάζει την ταχύτητα του ήχου είναι και η θερμοκρασία που επικρατεί στο εκάστοτε ελαστικό μέσο. Όσον αφορά στην ακουστική χώρων, που είναι το αντικείμενό μας, λαμβάνουμε ως ταχύτητα ήχου ίση με 340 m/s που αντιστοιχεί στην ταχύτητα ήχου στον αέρα δωματίου σε 20°C και είναι ίδια σε όλες τις συχνότητες.

Ως **περίοδος ήχου (T)** ορίζεται ο χρόνος που χρειάζεται το ηχητικό κύμα για να πραγματοποιήσει έναν πλήρη κύκλο. Μονάδα μέτρησης της περιόδου του ήχου είναι το δευτερόλεπτο (s).

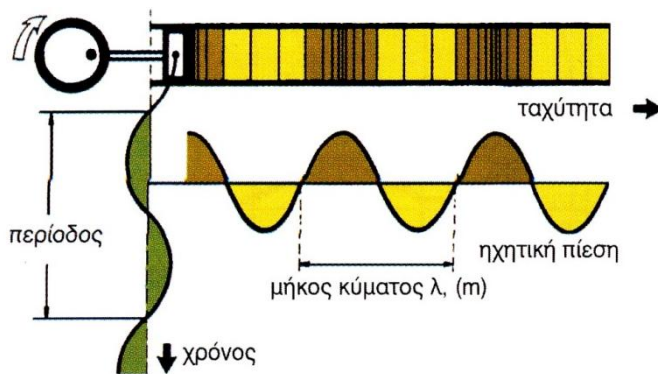
Η **συχνότητα του ήχου (f)** ορίζει τον αριθμό των ταλαντώσεων που παράγονται στη διάρκεια ενός δευτερολέπτου. Μονάδα μέτρησης της συχνότητας του ήχου είναι το Hertz (Hz). Η συχνότητα και η περίοδος του ήχου είναι μεγέθη αντίστροφα, έτσι ισχύει  $f = \frac{1}{T}$ .



Σχήμα 2.1 Σχηματική παράσταση της συχνότητας του ήχου

Ως **μήκος κύματος του ήχου ( $\lambda$ )** ορίζεται η απόσταση που χρειάζεται να διανύσει ένα ηχητικό κύμα ώστε να συμπληρώσει έναν πλήρη κύκλο. Μονάδα μέτρησης του μήκους κύματος του ήχου είναι το μέτρο (m).

Οι παράμετροι του ήχου (ταχύτητα, περίοδος, συχνότητα και μήκος κύματος) συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση  $c = \lambda * f$  ή διαφορετικά  $c = \frac{\lambda}{T}$



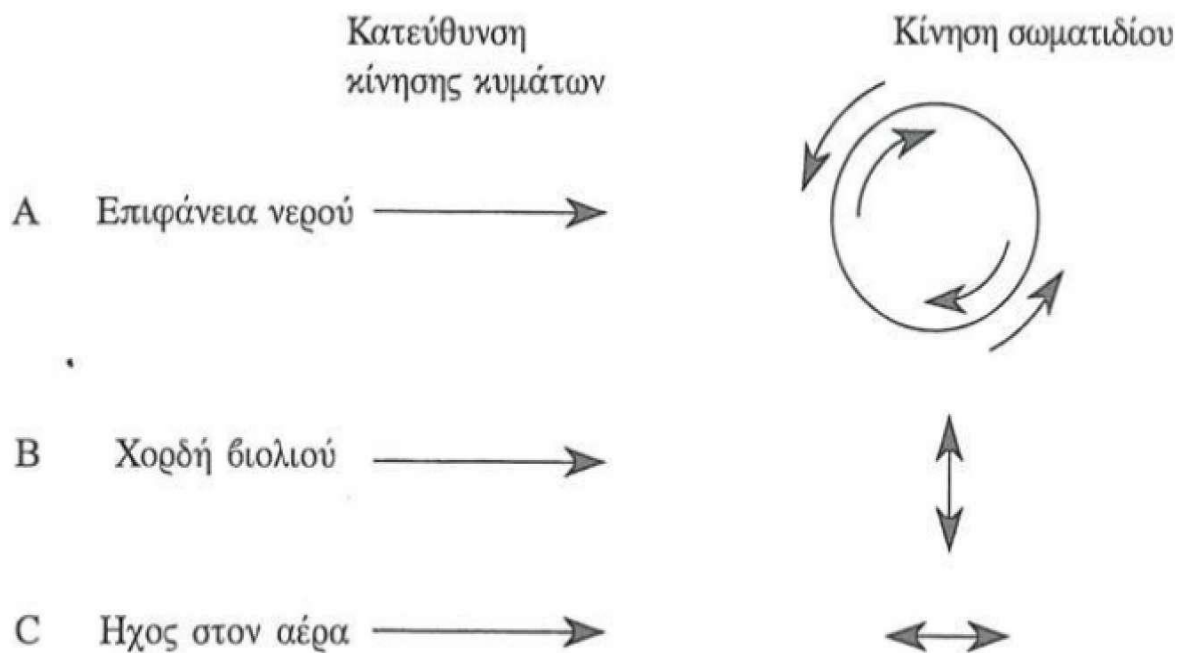
Σχήμα 2.2 Σχηματική παράσταση των φυσικών ιδιοτήτων του ήχου

## 2.1.2 Ηχητικά κύματα

Αν ένα σωματίδιο αέρα απομακρυνθεί από την αρχική του θέση, οι ελαστικές δυνάμεις του αέρα τείνουν να το αποκαταστήσουν στην αρχική του θέση. Εξαιτίας της αδράνειάς του, το σωματίδιο προσπερνά τη θέση ηρεμίας, ενεργοποιώντας ελαστικές δυνάμεις προς την αντίθετη κατεύθυνση, και ούτω καθεξής. Ο ήχος διαδίδεται εύκολα σε αέρια, υγρά και στερεά όπως ο αέρας, το νερό, το ασφάλι, το μπετόν και λοιπά, που όλα τους είναι ελαστικά μέσα.

Χωρίς μέσο διάδοσης, ο ήχος δεν μπορεί να διαδοθεί. Η διάδοση του ήχου στα αέρια γίνεται μόνο με διαμήκη κύματα, ενώ στα υγρά με διαμήκη και επιφανειακά. Στα στερεά η διάδοση του ήχου γίνεται με όλους τους τύπους των κυμά-

των. Το ημιτονοειδές κύμα, με το οποίο διαδίδεται ο ήχος, είναι μια βασική κυματομορφή που έχει στενή σχέση με την απλή αρμονική κίνηση.



Σχήμα 2.3 Τα σωματίδια που έχουν σχέση με τη διάδοση των ηχητικών κυμάτων μπορούν να χορεύουν με κυκλικές, εγκάρσιες, ή διαμήκεις κινήσεις [3].

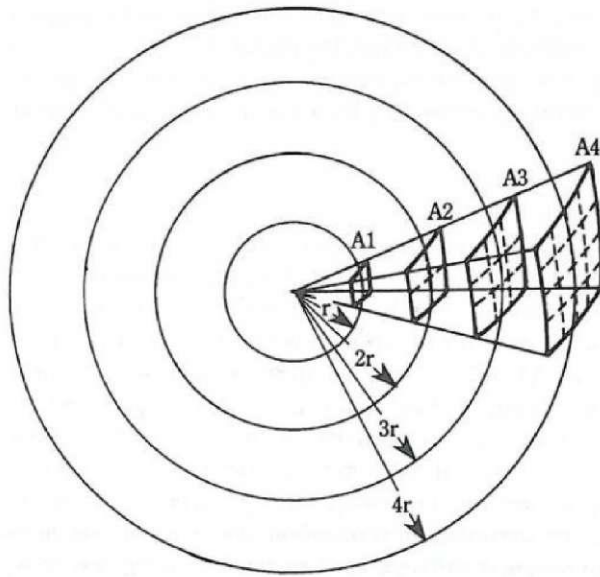
### 2.1.3 Θεμελιώδεις παραδοχές

α) Η πηγή είναι το μέσο παραγωγής των ηχητικών κυμάτων. Τα φυσικά φαινόμενα που συνδέονται με την παραγωγή του ήχου είναι:

- Δυνάμεις ή ροπές δυνάμεων μεταβαλλόμενες σε αντικείμενα (π.χ. θόρυβος κατά την κρούση σωμάτων).
- Δυνάμεις ή ροπές δυνάμεων μεταβαλλόμενες σε ρευστά (π.χ. ο θόρυβος της έλικας των αεροπλάνων).
- Διακύμανση ροής μιας μάζας σε ένα ελαστικό μέσο (π.χ. ο θόρυβος των jet).

Η ένταση του ήχου ελαττώνεται καθώς αυξάνει η απόσταση από την πηγή. Ο νόμος του αντιστρόφου τετραγώνου ορίζει ότι η ένταση του ήχου σε ελεύθερο πεδίο είναι αντίστροφα ανάλογη προς το τετράγωνο της απόστασης από την πηγή.





Σχ. 1-8 Στην στερεά γωνία του σχήματος, η ίδια ηχητική ενέργεια κατανέμεται σε σφαιρικές επιφάνειες αυξανόμενου εμβαδού καθώς αυξάνει το  $r$ . Η ένταση του ήχου είναι αντίστροφα ανάλογη προς το τετράγωνο της απόστασης από την σημειακή πηγή.

Από άποψη παραγωγής ο ήχος διακρίνεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Κτυπογενής: είναι ο ήχος που προέρχεται από ταλαντευόμενες επιφάνειες
- Αεροδυναμικός: είναι ο ήχος που παράγεται από τις διακυμάνσεις της πίεσης σε μη στρωτή ροή ρευστών (π.χ. θόρυβος ακροφυσίων).

β) Το μέσο διάδοσης είναι ένα ελαστικό μέσο που μπορεί να είναι στερεό, υγρό ή αέριο. Η κυματική φύση του ήχου - ο ήχος μεταδίδεται με μηχανικά κύματα - κάνει απαραίτητη την ύπαρξη του μέσου διάδοσης.

γ) Ο δέκτης είναι το αισθητήριο (ανθρώπινο αυτί, μικρόφωνο) που διεγείρεται από τις μεταβολές της πίεσης που δημιουργεί ο ήχος στο μέσο διάδοσης.

#### 2.1.4 Στάθμη του ήχου

Ως **ηχητικό πεδίο** ορίζεται ο χώρος που υφίσταται ηχητικά κύματα, καθώς και η ηχητική κατάσταση που προκύπτει από τα εν λόγω κύματα.

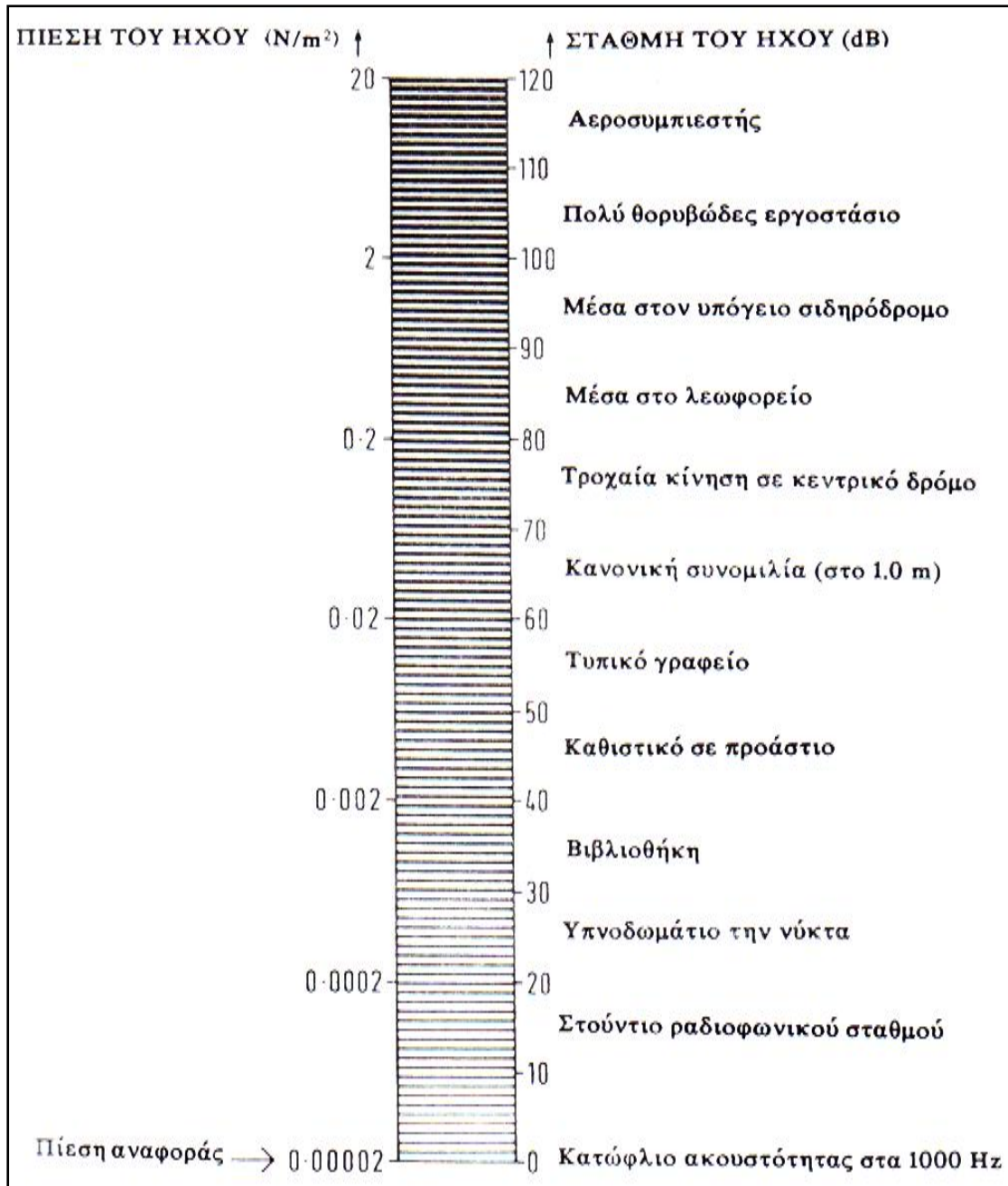
Ως **ηχητική ενέργεια (W)** ορίζεται η ενέργεια που περιέχει ένα ελαστικό μέσο, λόγω της παρουσίας ηχητικού πεδίου. Μονάδα μέτρησης της ηχητικής ενέργειας είναι το Joule (J).

Ως **ηχητική πίεση (p)** σε συγκεκριμένο σημείο του ηχητικού πεδίου ορίζεται η διαφορά της στατικής πίεσης του μέσου από την ολική πίεση που υπάρχει σε αυτό το σημείο. Μονάδα μέτρησης της ηχητικής πίεσης είναι το Pascal (Pa).

Ως **ηχητική στάθμη** ορίζεται το μέγεθος  $10 \log \frac{p^2}{p_0^2}$ , όπου  $p$  η ενεργός τιμή της ηχητικής πίεσης και  $p_0$  η ηχητική πίεση αναφοράς για την οποία στον αέρα ισχύει  $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$  ή  $0,00002 \text{N/m}^2$ .

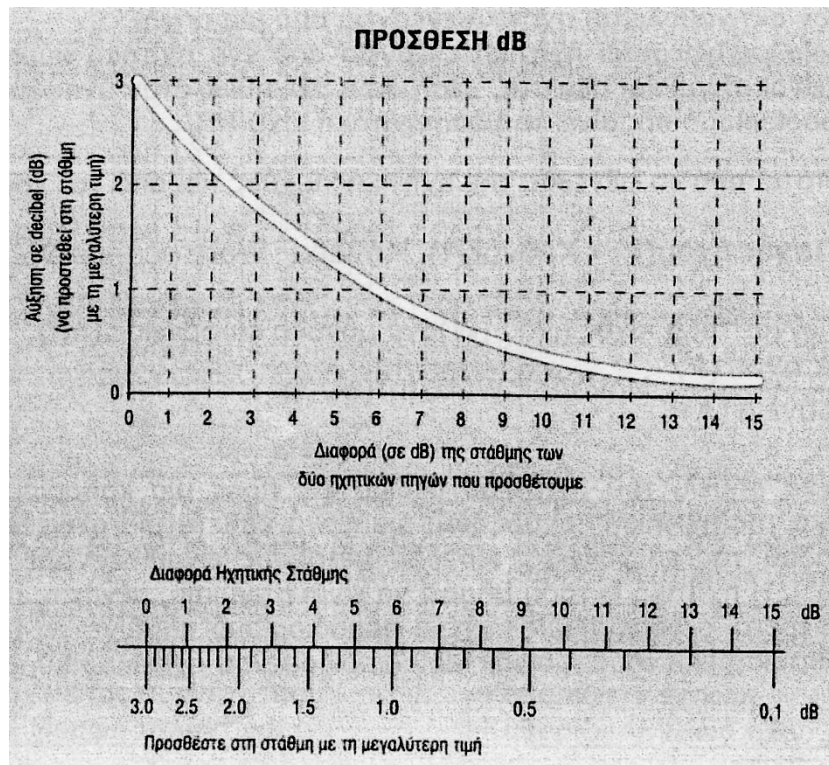
$$\text{ΣΤΑΘΜΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ} = 10 \log \left( \frac{\text{ΗΧΗΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ}}{\text{ΗΧΗΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}} \right)^2, (\text{dB})$$

Ως μονάδα μέτρησης της στάθμης ήχου χρησιμοποιείται το decibel (dB). Ο λογάριθμος χρησιμοποιείται διότι συμβαδίζει απόλυτα με τον λογαριθμικό τρόπο λειτουργίας του οργάνου της ακοής, του αυτιού. Δηλαδή ίσες μεταβολές στην αντίληψη ενός φυσικού ακουστικού μεγέθους αντιστοιχούν σε ίσες μεταβολές του λόγου του φυσικού μεγέθους. Όσον αφορά τους συνεχείς ήχους τα 3 dB είναι η μικρότερη αλλαγή της στάθμης της ηχητικής πίεσης η οποία μπορεί να γίνει αντιληπτή. Παρακάτω φαίνεται η στάθμη του ήχου σε σχέση με την πίεση του ήχου σε κάποιες χαρακτηριστικές στάθμες.



Σχήμα 2.4 Σχηματική απεικόνιση της πίεσης του ήχου με τη στάθμη του ήχου

Όσον αφορά τα dB πρέπει να αναφέρουμε ότι δεν προστίθενται αλγεβρικά. Αντίθετα χρησιμοποιούνται λογαριθμικές σχέσεις ή για μεγαλύτερη ταχύτητα χρησιμοποιούνται ειδικά γραφήματα, όπως τα παρακάτω, στα οποία για κάθε διαφορά στάθμης δύο ηχητικών πηγών που επιθυμούμε να προσθέσουμε, αντιστοιχεί ένας συγκεκριμένος αριθμός τον οποίο προσθέτουμε στη στάθμη με τη μεγαλύτερη τιμή.



Σχήμα 2.5 Γράφημα πρόσθεσης dB

Από το γράφημα παρατηρούμε ότι όταν μεταξύ δύο πηγών η διαφορά στάθμης είναι μεγαλύτερη των 15 dB, ο πιο σιγανός από αυτούς δε συνεισφέρει στην συνολική ένταση, είναι δηλαδή σαν να μην υπάρχει.

### 2.1.5 Οκτάβα, τριτοοκτάβα

Οι περισσότεροι ήχοι αποτελούνται από διάφορες συχνότητες (χαμηλές, μεσαίες, υψηλές). Έτσι λοιπόν, τα ακουστικά προβλήματα αντιμετωπίζονται σε συνάρτηση με τη συχνότητα των ήχων.

Ως **οκτάβα** ορίζεται κάθε ζώνη συχνοτήτων, που ο λόγος της αρχικής συχνότητας  $f_1$  προς την τελική  $f_2$  ισούται με 2,  $\frac{f_2}{f_1} = 2$ . Η οκτάβα είναι μονάδα μέ-

τρησης διαστήματος συχνοτήτων και λαμβάνει την ονομασία της από την κεντρική συχνότητα του κάθε διαστήματος,  $f_o = \sqrt{f_1 * f_2}$ . Ο λόγος των κεντρικών συχνοτήτων σε δύο διαδοχικές οκτάβες ισούται με δύο. Οι κεντρικές συχνότητες του ακουστικού ηχητικού φάσματος είναι οι 20 , 40 , 80 , 160 , 315 , 630, 1.250 , 2.500 , 5.000 , 10.000 , 20.000 Hz και οι κεντρικές συχνότητες από τις οκτάβες που χρησιμοποιούνται για την ακουστική χώρου είναι οι 125, 250, 500, 1.000, 2.000 και 4.000 Hz.

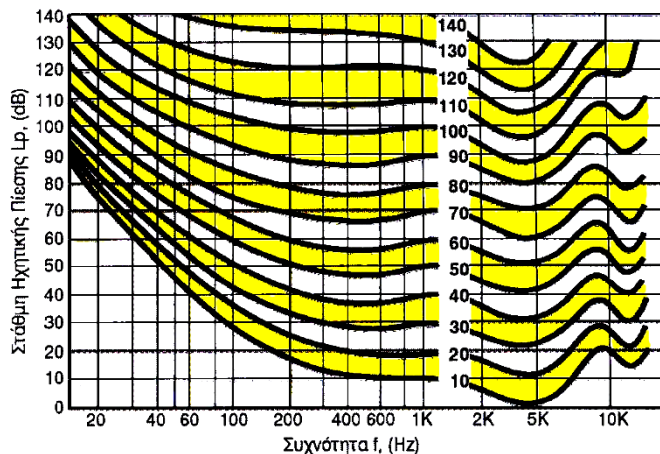
Ορισμένες φορές, για μεγαλύτερη ανάλυση, χρησιμοποιούμε την **τριτοοκτάβα**, ζώνη συχνοτήτων στην οποία ισχύει  $\frac{f_1}{f_2} = \sqrt[3]{2}$ .

## 2.2 Η ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

### 2.2.1 Ακουστότητα

Με τον όρο **ακουστότητα**, θεωρείται η υποκειμενική αντίληψη της στάθμης ενός ήχου και μετράται σε phons. Δύο ήχοι της αυτής στάθμης είναι πιθανόν να μην έχουν την ίδια ακουστότητα, αν ανήκουν σε διαφορετικές συχνότητες.

Οι **ισοφωνικές καμπύλες καθαρών τόνων** αποτελούν το γεωμετρικό τόπο των ήχων, οι οποίοι αντιστοιχούν σε μια συγκεκριμένη τιμή ακουστότητας. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα για ένα ηχητικό κύμα συχνότητας 1000 Hz η στάθμη της έντασης του dB ισούται με τα phons της ηχηρότητας του αισθήματος που προκαλεί. Επίσης οι απεικονιζόμενες καμπύλες είναι καμπύλες ισοακουστότητας καθαρών τόνων, δηλαδή ο γεωμετρικός τόπος των ήχων της ίδιας ακουστότητας κατά Fletcher και Munson, 1993.



Σχήμα 2.6 Καμπύλες ισοακουστότητας.

Σύμφωνα με το διάγραμμα των καμπύλων ισοακουστότητας μπορούμε να εξάγουμε τα εξής συμπεράσματα:

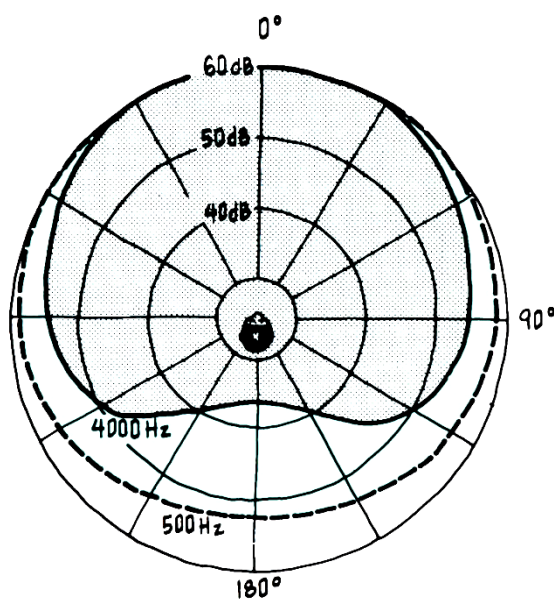
- Όσο προχωράμε σε χαμηλές συχνότητες, τόσο μειώνεται σταδιακά η ευαισθησία του οργάνου της ακοής.
- Μεταξύ των 3.000 Hz και των 4.000 Hz παρατηρείται η μέγιστη ευαισθησία του οργάνου της ακοής, ενώ πάνω από 5000 Hz η ευαισθησία μειώνεται σημαντικά. Γι' αυτό και όλες οι ακουστικές μελέτες διενεργούνται μέχρι την συχνότητα των 4.000 Hz.
- Ήχοι με την ίδια στάθμη δεν είναι απαραίτητο να ανήκουν στην ίδια καμπύλη ισοακουστότητας, αν αντιστοιχούν σε διαφορετικές συχνότητες

Ως **ηχοστάθμη** καλείται εκείνο το φυσικό μέγεθος που μετρά τη στάθμη του ήχου σε dB ενώ παράλληλα λαμβάνει υπόψη την ποικιλία ευαισθησίας του αυτιού σε διάφορες συχνότητες. Μονάδα μέτρησης της ηχοστάθμης είναι το dBA.

Η στάθμη ενός ήχου σε dBA είναι δυνατόν να μετρηθεί με τη χρήση ενός ηχομέτρου.

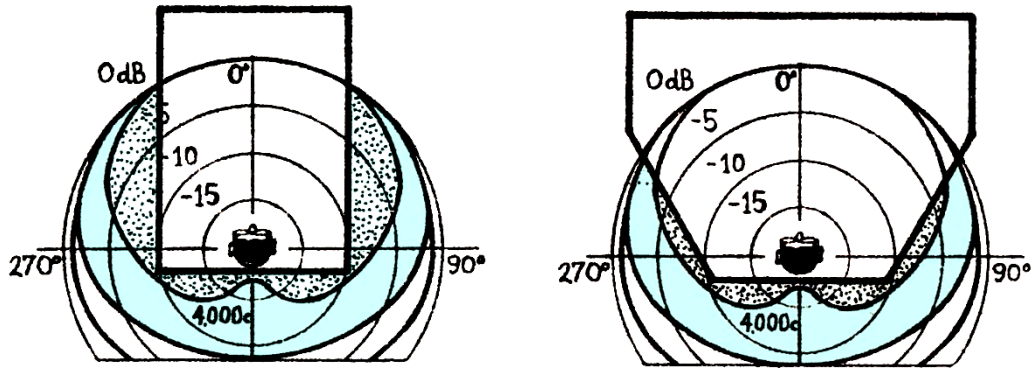
### 2.2.2 Κατευθυντικότητα της ανθρώπινης φωνής

Σε ένα ελεύθερο ηχητικό πεδίο, τα ηχητικά κύματα της ανθρώπινης φωνής μεταδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις. Είναι λογικό όμως η ηχητική ένταση να οδηγείται σε μεγαλύτερο βαθμό προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Χρησιμοποιώντας τα πολικά έχουμε ως σκοπό να απεικονίσουμε την κατευθυντικότητα της ανθρώπινης φωνής.



Σχήμα 2.7 Πολικό διάγραμμα κατευθυντικότητας της ανθρώπινης φωνής σε οριζόντιο επίπεδο.

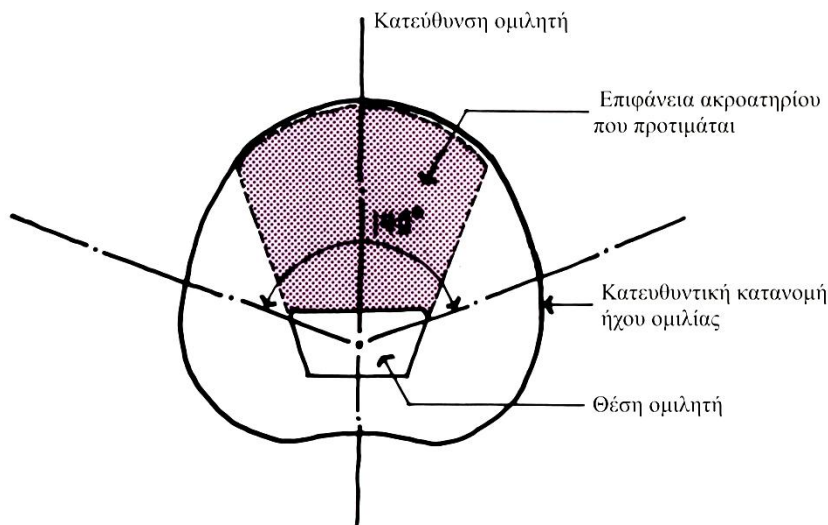
Στο συγκεκριμένο πολικό διάγραμμα η γωνία  $0^\circ$  είναι η κατεύθυνση προς την οποία κοιτάζει ο ομιλητής κατά τη διάρκεια της ομιλίας του, ενώ εκείνη των  $180^\circ$  η κατεύθυνση πίσω ακριβώς από τον ομιλητή. Πράγματι παρατηρούμε ότι τα ηχητικά κύματα μεταδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις, όπως επίσης και ότι στις χαμηλές συχνότητες παρατηρούνται μεγάλες γωνίες εκπομπής και αντίστροφα. Επίσης σύμφωνα με το πολικό διάγραμμα στις χαμηλές συχνότητες η μείωση της ηχητικής έντασης δεξιά και αριστερά του ομιλητή είναι ελάχιστη σε αντίθεση με τις υψηλές συχνότητες όπου εκεί η μείωση είναι μεγαλύτερη.



Σχήμα 2.8 Διαφοροποίηση της κατευθυντικότητας της ανθρώπινης φωνής μεταξύ ενός ορθογώνιου και ενός τραπεζοειδούς χώρου.

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα ένας χώρος με τραπεζοειδή μορφή προσαρμόζεται καλύτερα σε αντίθεση με ένα χώρο ορθογωνικής μορφής.

Μετά από μελέτες φάνηκε ότι είναι καλύτερο για την ακουστικότητα η κατασκευή του χώρου να είναι τέτοια ώστε η όλη επιφάνεια των ακροατών να εμπεριέχεται σε γωνία μικρότερη ή ίση με  $140^\circ$ .



Σχήμα 2.9 Βέλτιστη τοποθέτηση της επιφάνειας των ακροατών σε χώρο ακρόασης ομιλίας με βάση την κατευθυντικότητα της ανθρώπινης φωνής.

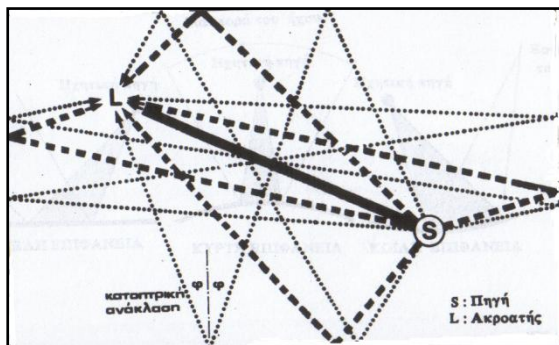


## 2.3 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΧΩΡΟΥ

Η διάδοση του ήχου σε κλειστούς χώρους δημιουργεί ακουστικά φαινόμενα, όπως η ανάκλαση του ήχου, η διάχυση, η περίθλαση και η ηχοαπορρόφηση. Τις ιδιότητες αυτών των ακουστικών φαινομένων προσπαθούμε να τις εκμεταλλευτούμε και να τις αξιοποιήσουμε κατά τον ακουστικό σχεδιασμό.

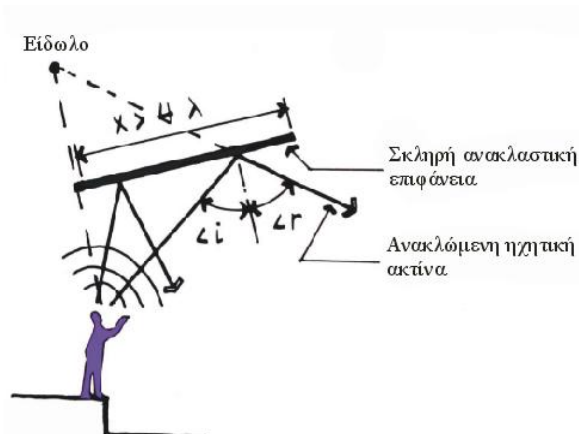
### 2.3.1 Ανάκλαση

Ως **ανάκλαση** ορίζεται η αλλαγή στην πορεία του ήχου κατά την πρόσπτωση του στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων. Το αποτέλεσμα του φαινομένου της ανάκλασης εκφράζεται με την ηχώ και με την αντήχηση.



Σχήμα 2.10 Παράσταση ανακλάσεων [6].

Εάν η διάσταση  $x$  της ανακλαστικής επιφάνειας είναι μεγαλύτερη από το διπλάσιο ή το τετραπλάσιο του μήκους κύματος  $\lambda$  του προσπίπτοντος ηχητικού κύματος, τότε η γωνία πρόσπτωσης  $i$  ισούται με τη γωνία ανάκλασης  $r$ . Στο σχήμα που ακολουθεί, η πηγή και το είδωλο απέχουν ίση απόσταση από την ανακλαστική επιφάνεια, ενώ το είδωλο βρίσκεται στην προέκταση της ανακλώμενης ηχητικής ακτίνας.



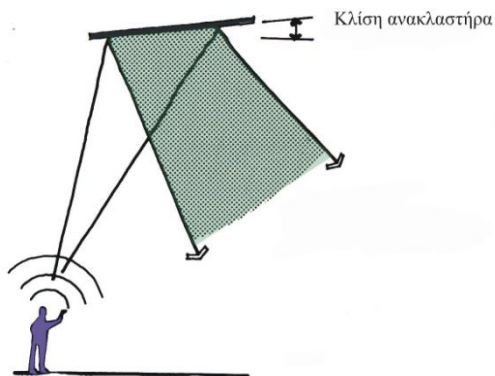
Σχήμα 2.11 Ανάκλαση [5].

Οι **ανακλαστήρες** είναι επιφάνειες με την ιδιότητα να ανακλούν τον ήχο που προσπίπτει πάνω τους. Η χρήση των ανακλαστήρων κατά το σχεδιασμό χώρων ακρόασης ομιλίας έχει σαν αποτέλεσμα την αξιοποίηση του φαινομένου της ανάκλασης.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ανακλαστήρων μερικοί από τους οποίους έχουν ευεργετικά αποτελέσματα ανάλογα με τη μορφή τους:

### 1. Επίπεδοι

Είναι κυρίως επίπεδες σκληρές επιφάνειες οι οποίες αν είναι αρκετά μεγάλες και έχουν τοποθετηθεί με κλίση, μπορούν να διανείμουν αποτελεσματικά τον ανακλώμενο ήχο.



Σχήμα 2.12 Επίπεδος ανακλαστήρας με κλίση για την προώθηση της ηχητικής ενέργειας προς το πίσω μέρος του ακροατηρίου [5].

### 2. Κοίλοι

Οι κοίλοι ανακλαστήρες προκαλούν εστίαση του ήχου σε ορισμένα μόνο σημεία μέσα σε μια αίθουσα ακρόασης, κάτι που είναι όμως ανεπιθύμητο και καλό είναι να αποφεύγονται.



Σχήμα 2.13 Κοίλος ανακλαστήρας [5].

### 3. Κυρτοί

Ο κυρτός ανακλαστήρας, αν έχει μεγάλο μέγεθος, είναι το πιο αποτελεσματικό είδος ανακλαστήρα, αφού διαχέει τον ανακλώμενο ήχο σε μεγάλο εύρος.

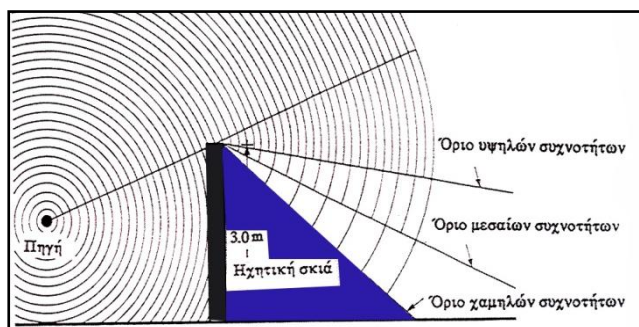


Σχήμα 2.14 Κυρτός ανακλαστήρας [5].

Πέρα από τη μορφή του κάθε ανακλαστήρα, μεγάλη σημασία έχει και το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένος (ξύλο, ειδικά μεταλλικά φύλλα, διαφανή υλικά).

### 2.3.2 Περίθλαση

Ως **περίθλαση** ορίζεται η ανακοπή της διάδοσης του ηχητικού κύματος στο χώρο λόγω κάποιου εμποδίου με αποτέλεσμα την δημιουργία ασαφούς ηχητικής σκιάς, δηλαδή μείωσης της στάθμης του ήχου.

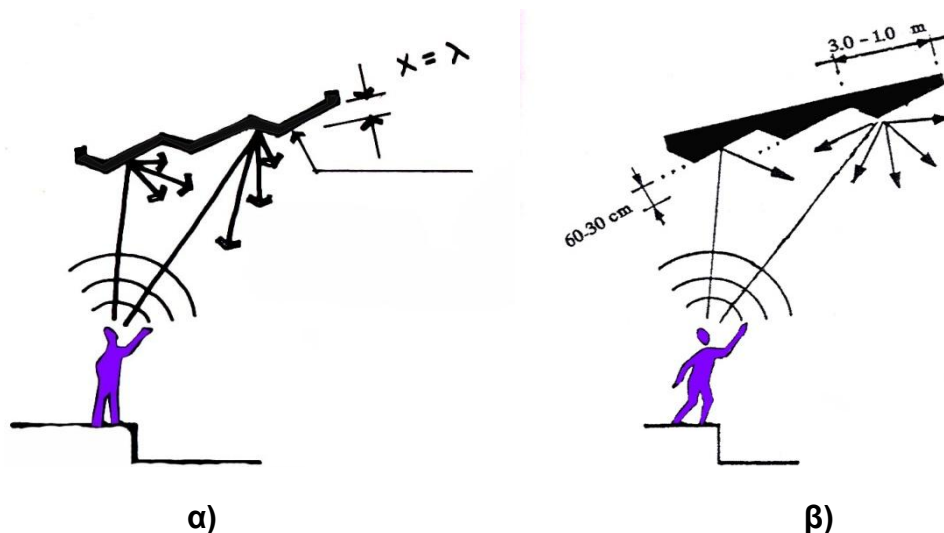


Σχήμα 2.15 Περίθλαση (Webb 1978).

Το φαινόμενο της περίθλασης εξαρτάται από το μήκος κύματος του ήχου σε σχέση με το μέγεθος του εμποδίου. Αν το μήκος κύματος του ήχου είναι μικρό σε σχέση με το μέγεθος του εμποδίου, τότε ο ήχος δε θα λυγίσει. Για συχνότητες από 125 Hz και πάνω η περίθλαση είναι σημαντική.

### 2.3.3 Διάχυση

Με τον όρο **διάχυση** καλείται ο σκεδασμός μιας ανακλώμενης ηχητικής ακτίνας σε ασθενέστερες ακτίνες τυχαίας κατανομής και υφίσταται όταν το μήκος κύματος  $\lambda$  του ήχου ισούται με το μέγεθος  $\chi$  της ανακλαστικής επιφάνειας.

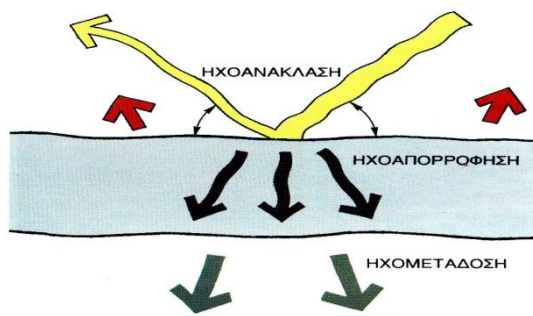


Σχήμα 2.16 Διάχυση, α) [5], β) [1].

Σε αίθουσες ακρόασης ομιλίας, ένα μικρό ποσοστό διάχυσης επαρκεί και μπορεί να επιτευχθεί ακόμα και με την εναλλάξ χρήση ανακλαστικού και απορροφητικού υλικού. Αντίθετα σε μια αίθουσα συναυλιών, όπου ο ακροατής πρέπει να έχει την αίσθηση ότι ο ήχος έρχεται από παντού, επιβάλλεται να έχει πολύ υψηλό ποσοστό.

### 2.3.4 Ηχοαπορρόφηση και αντήχηση

Κατά τη πρόσπτωση του ήχου σε κάποιο πέτασμα ενός χώρου, ένα ποσό του ανακλάται και ένα άλλο απορροφάται. Με τον όρο **ηχοαπορρόφηση** καλείται η ιδιότητα των υλικών να απορροφούν την ηχητική ενέργεια. Ένα μέρος από την απορροφούμενη ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα εντός του υλικού και το υπόλοιπο μεταδίδεται ως ηχητική ενέργεια στο μέσο, που υπάρχει πίσω από το πέτασμα (ηχομετάδοση).

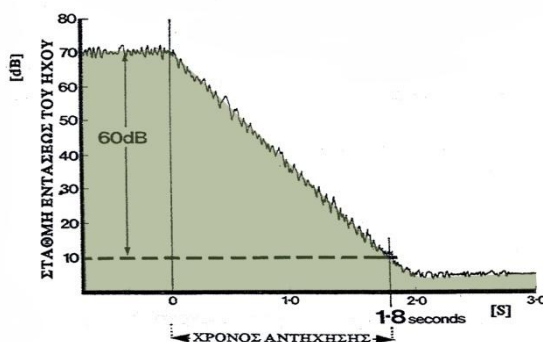


Σχήμα 2.17 Σχήμα με ηχοανάκλαση, ηχοαπορρόφηση και ηχομετάδοση (N. Τσινίκας 2005).

Η ηχοαπορρόφηση ενός υλικού δεν είναι ίδια για κάθε συχνότητα. Η ολική ηχοαπορρόφηση ενός χώρου εξαρτάται από τη θέση και την ποσότητα των ηχοαπορροφητικών υλικών.

Ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης ενός υλικού σε συγκεκριμένη συχνότητα και συγκεκριμένες συνθήκες είναι το ποσοστό εκ του προσπίπτοντος επί του υλικού ήχου, που δεν ανακλάται και συνδέεται άμεσα με τη γωνία πρόσπτωσης. Η τιμή του συντελεστή ηχοαπορρόφησης κυμαίνεται από το 0 έως το 1, με την τιμή 0 να την έχουν οι πλήρως ανακλαστικές επιφάνειες και τη τιμή 1 οι πλήρως ηχοαπορροφητικές επιφάνειες.

Κατά τον υπολογισμό της ηχοαπορρόφησης, ο χρόνος αντήχησης αποτελεί σημαντικό παράγοντα. Με τον όρο **αντήχηση** καλείται το σύνολο των ανακλάσεων των επιφανειών ενός χώρου, που φτάνουν στο δέκτη με καθυστέρηση μικρότερη από 1/25 sec, με τη προϋπόθεση αυτές οι ανακλάσεις να μην προκαλούν ηχώ. Ως **χρόνος αντήχησης (RT)** καλείται ο χρόνος που χρειάζεται ο ήχος για να χάσει 60 dB από την αρχική του ένταση, από τη στιγμή της διακοπής παραγωγής του μέσα σε ένα χώρο. Εξαρτάται από τον όγκο του χώρου και την ηχοαπορρόφηση.



Σχήμα 2.18 Διάγραμμα εντάσεως του ήχου [1].

Γνωρίζοντας το βέλτιστο χρόνο αντήχησης του χώρου που σχεδιάζουμε, μπορούμε με τη χρήση του τύπου του Sabine, να προσδιορίσουμε με μια πρώτη προσέγγιση, το εμβαδόν των ηχοαπορροφητικών επιφανειών που απαιτού-

νται. Απαραίτητη προϋπόθεση για να ισχύει ο τύπος του χρόνου αντήχησης κατά τον Sabine, είναι η επάρκεια ηχοδιάχυσης στο χώρο.

$$\text{τύπος του Sabine: } R.T. = \frac{0.16V}{\sum_i F_i a_i + Vx}$$

R.T. [s] είναι ο χρόνος αντήχησης

V [m<sup>3</sup>] είναι ο όγκος του χώρου

F<sub>i</sub> [m<sup>2</sup>] είναι η επιφάνεια του νιοστού υλικού του χώρου

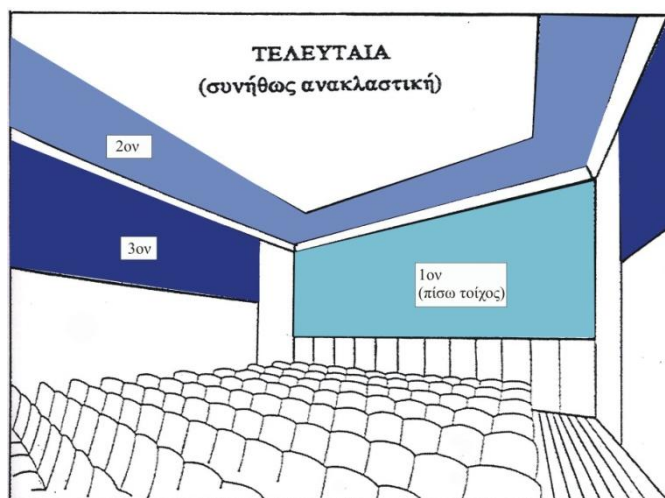
a<sub>i</sub> [Sab] είναι ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης του νιοστού υλικού του χώρου

x [m<sup>2</sup>Sab/m<sup>3</sup>] είναι η ηχοαπορρόφηση του αέρα ανά μονάδα όγκου

v είναι το πλήθος των ηχοαπορροφητικών υλικών του χώρου

Μία ακόμη παράμετρος, που παίζει ρόλο για τον υπολογισμό της ηχοαπορρόφησης, είναι ο **χρόνος απόσβεσης των πρώτων ανακλάσεων (EDT)** που εκφράζει το χρόνο που χρειάζεται ο ήχος για να χάσει 10 dB από την αρχική του ένταση.

Πολύ σημαντικό ρόλο παίζει η θέση, στην οποία τοποθετούνται τα ηχοαπορροφητικά υλικά. Σκοπός μας είναι αυτά τα υλικά να συμβάλουν στην καλύτερη ακουστική του χώρου και όχι να μας δημιουργούν πρόβλημα. Συνήθως, προτιμάμε να τα τοποθετούμε στα τμήματα του χώρου με σειρά προτεραιότητας όπως αυτή που απεικονίζεται στο σχήμα 2.19.



Σχήμα 2.19 Τοποθέτηση ηχοαπορροφητικών υλικών στο χώρο [1].

**Ηχοαπορροφητικά υλικά** ονομάζονται τα υλικά με σχετικά μεγάλη ικανότητα ηχοαπορρόφησης και ορισμένα από αυτά είναι ο αέρας, που υπάρχει σε κάθε χώρο, οι επενδύσεις των επιφανειών του, τα άτομα, τα καθίσματα, οι κουρτίνες, τα χαλιά και οι οπές εξαερισμού που περιλαμβάνει.

Πιο σύγχρονα υλικά είναι λόγω χάρη οι ηχοαπορροφητικές ταπετσαρίες ή τα ηχοαπορροφητικά επιχρίσματα και βαφές. Μια ηχοαπορροφητική ταπετσαρία μειώνει την αντήχηση του ήχου, βελτιώνοντας αισθητά την δυνατότητα επικοινωνίας σε αίθουσες συναντήσεων, συνεδρίων κλπ. Τα ακουστικά επιχρίσματα είναι χρήσιμα σε περιπτώσεις που κατασκευές ξηράς δόμησης δεν είναι δυνατόν να εφαρμοσθούν για τεχνικούς λόγους σχετικούς με την δομή του κτιρίου. Τα αισθητικά τελειώματα τους ποικίλουν από λεπτόκκοκα έως αδρά, ανάλογα με τις απαιτήσεις του χώρου.

Υπάρχουν επίσης τρισδιάστατα ηχοαπορροφητικά υλικά όπως σφαίρα, διπλός κώνος ή κύβος, γνωστά με το όνομα «λειτουργικά ηχοαπορροφητικά» (functional absorber). Αυτά τα ηχοαπορροφητικά κρέμονται ελεύθερα μέσα στο χώρο, σε κάποια απόσταση από τα όριά του και καθώς τα ηχητικά κύματα περιθλώνται γύρω τους επιτυγχάνουν μια πολύ καλή απορρόφηση. Η εφαρμογή των στερεών ηχοαπορροφητικών χώρου εξασφαλίζει μία πρωτότυπη και σίγουρη λύση μείωσης της στάθμης θορύβου και των αντηχήσεων ενός δωματίου βελτιώνοντας την ακουστική του χώρου. Τα συστήματα αυτά (όχι μόνο αναρτημένα στην οροφή, αλλά και εφαρμοσμένα στον τοίχο ή τοποθετημένα στο δάπεδο) παρέχουν ακουστικές λύσεις υψηλής αισθητικής για κάθε τύπο εσωτερικού χώρου. Τα πανέλα, οι κύβοι και οι κώνοι αποτελούνται από μεταλλικό σκελετό και αφρώδες υλικό επενδεδυμένο με ύφασμα. Είναι ελαφριά και βιδώνονται σε οποιαδήποτε επιφάνεια. Διατίθεται σε πολλούς χρωματισμούς.

Τα ηχοαπορροφητικά υλικά κατατάσσονται σε κατηγορίες, ανάλογα με τις περιοχές συχνοτήτων που αποδίδουν πιο πολύ. Έτσι λοιπόν έχουμε τις εξής κατηγορίες:

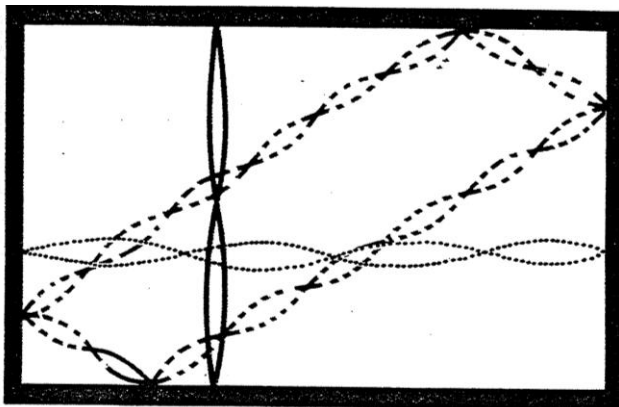
- πορώδη ηχοαπορροφητικά υλικά υψηλών έως μεσαίων συχνοτήτων
- συνηχητές μεμβράνης χαμηλών συχνοτήτων
- συνηχητές κοιλότητας μεσαίων συχνοτήτων.

## 2.4 ΗΧΗΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

Η διάδοση του ήχου σε κλειστό χώρο μπορεί να παρουσιάσει αρκετά προβλήματα όπως είναι ο συντονισμός, η ηχώ, ο πλαταγιασμός και ο εστιασμός του ήχου. Κατά τον ακουστικό σχεδιασμό λαμβάνουμε μέτρα αντιμετώπισής τους ή ακόμα καλύτερα, αποφυγής τους, διότι σε κάθε άλλη περίπτωση θα έχουμε τη δημιουργία ενός ακατάλληλου ακουστικού περιβάλλοντος.

### 2.4.1 Συντονισμός

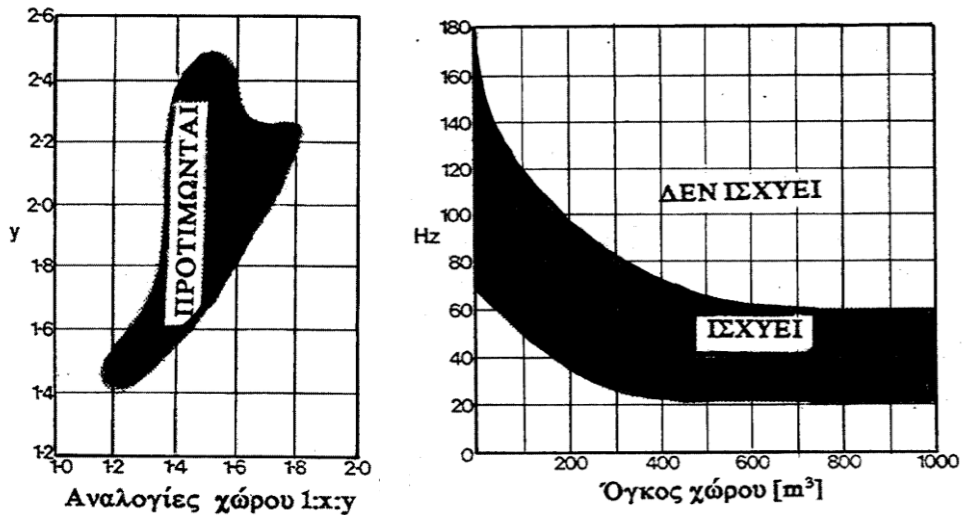
Κάθε χώρος που περικλείεται από τοιχώματα τα οποία ανακλούν τα ηχητικά κύματα έχει μια ιδιοσυχνότητα. Αν αυτός ο χώρος διεγερθεί από ένα ηχητικό κύμα του οποίου η ιδιοσυχνότητα είναι ίση με την ιδιοσυχνότητα του χώρου τότε παρουσιάζεται το φαινόμενο του **συντονισμού**, δηλαδή ένα στάσιμο κύμα με σημεία μέγιστου και ελάχιστου πλάτους. Ο συντονισμός δημιουργείται σε ορθογώνιους χώρους, που αποτελούνται από ανακλαστικές επιφάνειες και οι εμπλεκόμενες αποστάσεις είναι ακέραια πολλαπλάσια του μισού του μήκους κύματος του ήχου. Η παρουσία συχνοτήτων συντονισμού στο χώρο, οδηγεί στη μείωση της ακουστικής ποιότητας.



Σχήμα 2.20 Συντονισμός [1].

Αν ο χώρος που σχεδιάζουμε έχει διαστάσεις μεγαλύτερες από 8,5 m, ο συντονισμός δε δημιουργεί προβλήματα, καθώς η χαμηλότερη συχνότητα συντονισμού βρίσκεται κάτω από το όριο ακουστών συχνοτήτων. Όταν όμως οι διαστάσεις του χώρου είναι μικρότερες κρίνεται απαραίτητη η λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση του φαινομένου. Ένα από τα μέτρα είναι η χρήση απορροφητικών υλικών.

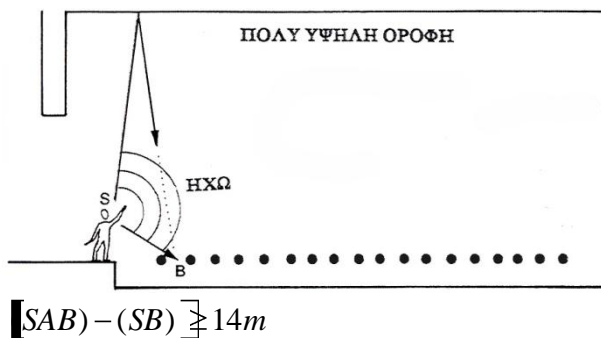




Σχήμα 2.21 Διαγράμματα που αφορούν τις διαστάσεις του χώρου για την αποφυγή του συντονισμού [1].

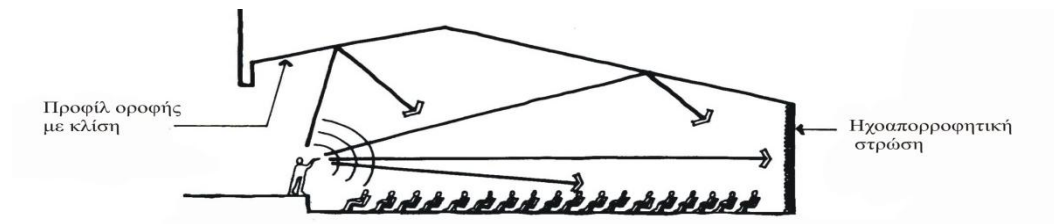
### 2.4.2 Ηχώ (Echo)

Ως **ηχώ** ορίζεται η καθυστερημένη και σχετικά έντονη ανάκλαση η οποία είναι διακριτή σε σχέση με τον απευθείας ήχο. Η ηχώ δεν αλλοιώνει τον τόνο του ήχου, απλά τον αναμεταδίδει. Το φαινόμενο αυτό δύναται να προκληθεί από την οροφή του χώρου, από τον πίσω τοίχο ή από συνδυασμό και των δύο. Πιο συγκεκριμένα, η ηχώ δημιουργείται όταν η διαφορά της διαδρομής του ήχου που ανακλάται από την διαδρομή του απευθείας ήχου είναι μεγαλύτερη από 14 m.



Σχήμα 2.22 Δημιουργία ηχούς [1].

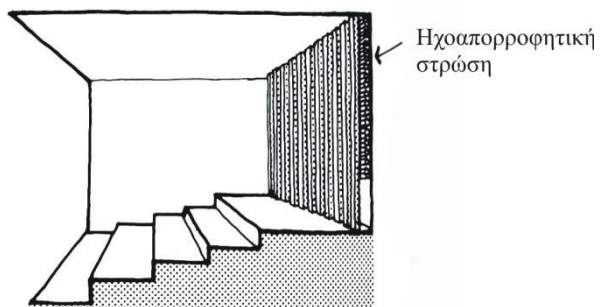
Ένας τρόπος σχεδιασμού του χώρου, για την αποφυγή της ηχούς, είναι η κατασκευή της οροφής με τέτοια κλίση ώστε να ισχύει η σχέση  $[(SAB) - (SB)] \leq 14m$  και η τοποθέτηση ηχοαπορροφητικής στρώσης στον πίσω τοίχο.



Σχήμα 2.23 Σχεδιασμός χώρου με σκοπό την αποφυγή της ηχούς [5].

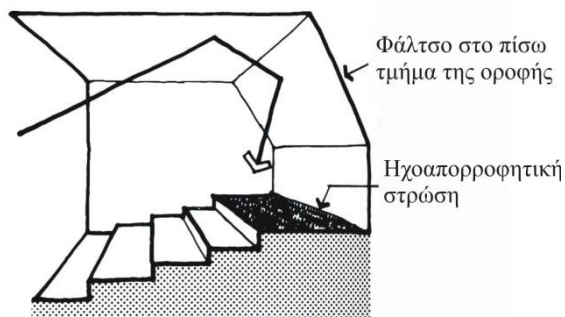
Για να αποφύγουμε τη δημιουργία ηχούς από τον πίσω τοίχο, προβαίνουμε στις εξής ενέργειες:

- Τοποθέτηση ηχοαπορροφητικής στρώσης στον πίσω τοίχο



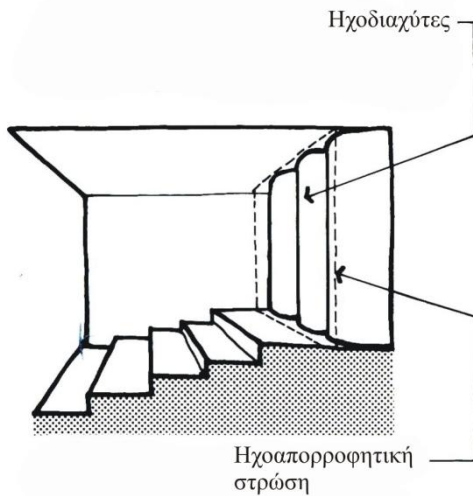
Σχήμα 2.24 Σχεδιασμός πίσω τοίχου με σκοπό την αποφυγή της ηχούς [5].

- Κατασκευή φάλτσου στο πίσω τμήμα της οροφής και τοποθέτηση ηχοαπορροφητικού υλικού στο τμήμα που φαίνεται στο σχήμα:



Σχήμα 2.25 Σχεδιασμός πίσω τοίχου με σκοπό την αποφυγή της ηχούς [5].

- Τοποθέτηση στοιχείων διάχυσης του ήχου στον πίσω τοίχο



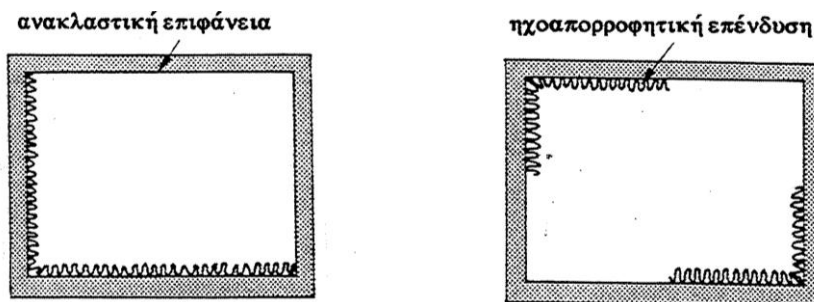
Σχήμα 2.26 Σχεδιασμός πίσω τοίχου με σκοπό την αποφυγή της ηχούς [5].

### 2.4.3 Πλαταγιασμός (Flutter Echo)

Το φαινόμενο της επαναλαμβανόμενης ανάκλασης με σχετικά υψηλή ένταση ορίζεται ως **πλαταγιασμός**. Επαναλαμβανόμενη ανάκλαση μπορεί να δημιουργηθεί μεταξύ παράλληλων ανακλαστικών επιφανειών με την προϋπόθεση ότι οι άλλες επιφάνειες του χώρου είναι ηχοαπορροφητικές. Ο πλαταγιασμός συνήθως συνοδεύεται από κάποια αλλοίωση του ήχου, καθώς ορισμένες συχνότητές του αντιστοιχούν σε συχνότητες συντονισμού του χώρου.

Υπάρχουν τρόποι με τους οποίους μπορούμε να αποφύγουμε την εμφάνιση του φαινομένου του πλαταγιασμού:

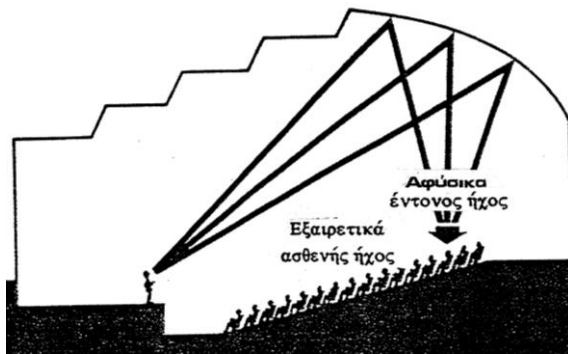
1. Οι αντικριστές παρειές του χώρου να μη σχεδιάζονται παράλληλες.
2. Να τοποθετούνται ηχοαπορροφητικές επενδύσεις σε μια από τις δύο παράλληλες παρειές.
3. Να τοποθετούνται διαχύτες σε μια από τις παράλληλες παρειές.



Σχήμα 2.27 Σχεδιασμός με σκοπό την αποφυγή του πλαταγιασμού [1].

#### 2.4.4 Εστιασμός του ήχου

Ο **εστιασμός** του ήχου προκαλείται όταν υπάρχουν στο χώρο κοίλες ανακλαστικές επιφάνειες τοποθετημένες στην οροφή ή στον πίσω τοίχο, με αποτέλεσμα οι ανακλάσεις να συγκεντρώνονται σε ένα σημείο. Η ένταση σε αυτό το εστιακό σημείο πολλαπλασιάζεται με αποτέλεσμα να παρατηρείται ανομοιομορφία στην κατανομή και να μην ισχύει η σταδιακή μείωση με την απόσταση.



Σχήμα 2.28 Εστιασμός ήχου λόγω του κοίλου τμήματος της οροφής [1].

Ένας τρόπος αντιμετώπισης του φαινομένου του εστιασμού του ήχου είναι η αποφυγή χρήσης κοίλων επιφανειών στους χώρους. Σε περίπτωση όμως ύπαρξής τους, τοποθετούμε σε αυτές διαχύτες ή ηχοαπορροφητικές επενδύσεις. Τέλος, μπορούμε να σχεδιάσουμε το χώρο έτσι ώστε τα εστιακά σημεία της κοίλης επιφάνειας να βρίσκονται πάνω από το επίπεδο ακρόασης, κάτι που επιτυγχάνεται με τον σχεδιασμό υψηλής οροφής.

#### 2.4.5 Στοιχεία θορύβου – Είδη θορύβου

**Θόρυβος** είναι κάθε ανεπιθύμητος ήχος. Ο θόρυβος γενικά επιδρά δυσμενώς στον άνθρωπο. Οι επιδράσεις του θορύβου συνοψίζονται στα εξής κυρίως φαινόμενα:

- Ενόχληση
- Επικάλυψη θορύβου
- Απώλεια ακοής
- Παθολογικές βλάβες, κόπωση
- Μείωση στην απόδοση κατά την εργασία

Ο θόρυβος οφείλεται στις ηχητικές συνθήκες του χώρου και προκαλείται από την συμβολή πολλών ηχογόνων παραγόντων (άνεμος, αστική κίνηση, βιομηχανία, ανθρώπινες δραστηριότητες).

**Λευκός θόρυβος** είναι ο θόρυβος που έχει συνεχές ηχητικό φάσμα σε μία ευρεία περιοχή συχνοτήτων που ενδιαφέρει και σταθερή φασματική πυκνότητα.

Η στάθμη ζώνης για το λευκό θόρυβο εκτός από τη φασματική στάθμη (που για το λευκό θόρυβο είναι σταθερή ανεξάρτητα από τη συχνότητα του ήχου), περιλαμβάνει και την ποσότητα  $10 \log \Delta f$ , όπου  $\Delta f$  το εύρος ζώνης. Το εύρος αυτό για τις διαδοχικές οκτάβες διπλασιάζεται σύμφωνα με τον ορισμό, συνεπώς η στάθμη ζώνης του λευκού θορύβου θα παρουσιάζει μία αύξηση  $+3\text{dB}/\text{οκτάβα}$ .

**Ροζ θόρυβος** είναι ο θόρυβος που έχει συνεχές ηχητικό φάσμα με σταθερή ηχητική ισχύ σε κάθε φασματική ζώνη σταθερού σχετικού ζωνικού εύρους. Το φάσμα του ροζ θορύβου, όταν αυτό ληφθεί με φίλτρα σταθερού εύρους ή ψηφιακά μέσω FFT λόγω της παραπάνω ιδιότητας θα αποτελείται από μία ευθεία γραμμή με κλίση  $-3\text{dB}/\text{οκτάβα}$ . Όταν το φάσμα ληφθεί μέσω φίλτρων μεταβλητού εύρους λόγω του ότι το εύρος των φίλτρων αυξάνει με τη συχνότητα με ρυθμό αντίστροφο από ότι ελαττώνεται το τετράγωνο της rms πίεσης τότε οι τιμές του φάσματος που αντιστοιχούν στις κεντρικές συχνότητες των διαφόρων ζωνών θα βρίσκονται σε ευθεία γραμμή παράλληλη με τον άξονα των συχνοτήτων.

**Θόρυβος περιβάλλοντος** είναι ο θόρυβος που εκπέμπεται από συγκεκριμένες πηγές που δε μας ενδιαφέρουν κατά τη στιγμή της μέτρησης. Παράδειγμα τέτοιου θορύβου είναι ο θόρυβος ενός κλιματιστικού μηχανήματος σε αίθουσα διδασκαλίας.

**Θόρυβος βάθους** ονομάζεται ο θόρυβος που εκπέμπεται από όλες τις πηγές που βρίσκονται στο περιβάλλον και δε μας ενδιαφέρουν. Ο θόρυβος περιβάλλοντος είναι μέρος του θορύβου βάθους.

#### 2.4.6 Κριτήριο επιλογής θορύβου

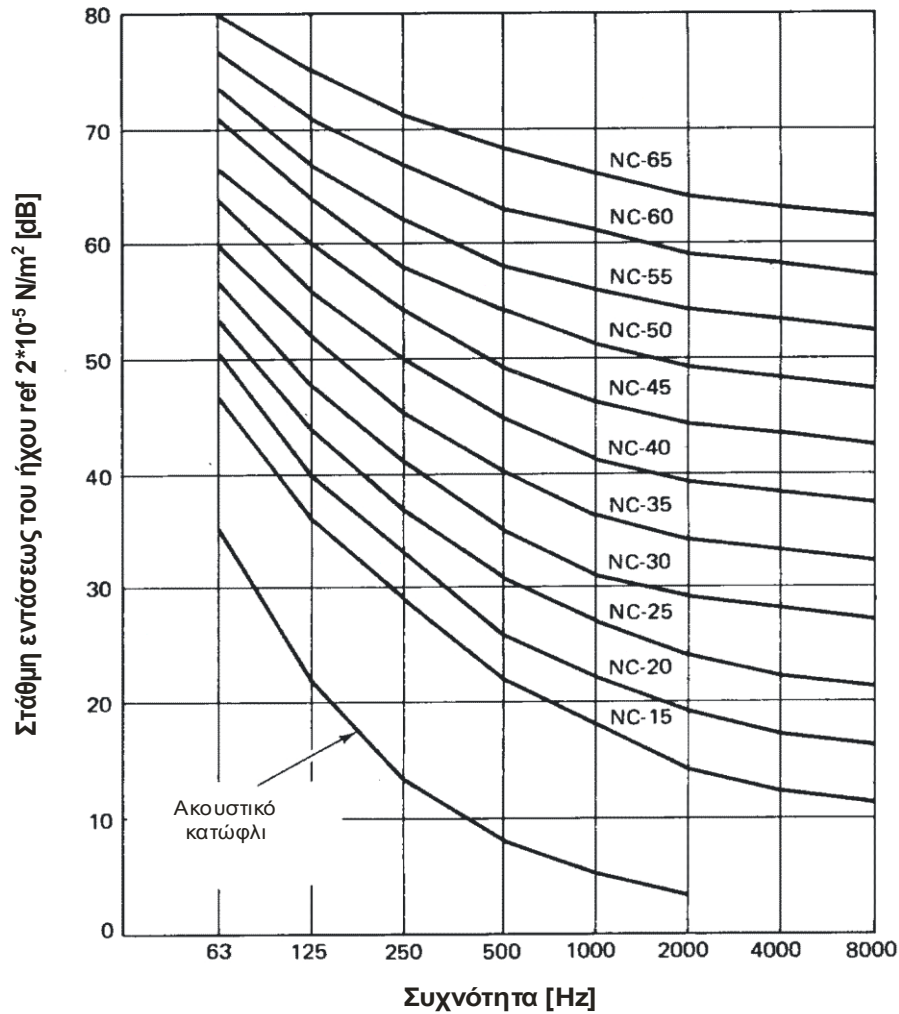
Ο θόρυβος βάθους προέρχεται είτε από εξωτερικούς παράγοντες, όπως τα μεταφορικά μέσα, ο άνεμος, η βροχή, το χαλάζι, το τρίξιμο των τζαμιών, η συγκέντρωση ανθρώπων είτε από εσωτερικούς, όπως το σύστημα κλιματισμού, τα φώτα, το ακροατήριο του χώρου.

Η εκτίμηση της ανεκτής στάθμης θορύβου δεν είναι ιδιαίτερα εύκολη, διότι σημαντικό ρόλο στο θέμα αυτό παίζει ο υποκειμενικός παράγοντας. Βέβαια, έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία τιμές ανεκτής στάθμης θορύβου σε συνάρτηση με τη χρήση του χώρου και ονομάζονται κριτήρια θορύβου (Noise Criteria - NC).

Δραστηριότητα	NC
Αποδεκτές συνθήκες εργασίας με την ελάχιστη λεκτική παρέμβαση. (Βιομηχανικές περιοχές, εμπορικές περιοχές, όπως γκαράζ, κλειστά πάρκινγκ αυτοκινήτων, πλυντήρια, κ.τ.λ.)	45 - 55
Αποδεκτές οι μέτριες συνθήκες ακουστικής. (Χώροι με μηχανήματα γραφείου, καφετέριες, χώροι εργασιαίων, διάδρομοι, μπάνια, κ.τ.λ.)	40 - 45
Απαιτούμενες οι σχετικά καλές συνθήκες ακουστικής. (Μεγάλα γραφεία, εστιατόρια, κ.τ.λ.)	35 - 40
Απαιτούμενες οι καλές συνθήκες ακουστικής. (Ιδιωτικά γραφεία, τάξεις, βιβλιοθήκες, κ.τ.λ.)	30 - 35
Ύπνος, ξεκούραση. (Σπίτια, διαμερίσματα, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, κ.τ.λ.)	20 - 30
Απαιτούμενες οι πολύ καλές συνθήκες ακουστικής. (Αμφιθέατρα, θέατρα, εκκλησίες, κ.τ.λ.)	25
Απαιτούμενες οι άριστες συνθήκες ακουστικής. (Αίθουσες συναυλιών, τηλεοπτικά στούντιο.)	20
Απαιτούμενες οι εξειδικευμένες συνθήκες ακουστικής. (Πειραματικά ακουστικά εργαστήρια, κ.τ.λ.)	15

Σχήμα 2.29 Κριτήρια θορύβου (αποδεκτές τιμές θορύβου) ανάλογα με τη λειτουργία του χώρου [6].

Έχει καθιερωθεί το διάγραμμα καμπύλων κριτηρίων θορύβου (σχήμα 2.30), στο οποίο τοποθετούμε τις μετρήσεις του θορύβου βάθους συναρτήσει της συχνότητας, έτσι ώστε να βρούμε την καμπύλη που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο χώρο και είναι αυτή με τη χαμηλότερη τιμή, την οποία δεν ξεπερνά το φάσμα θορύβου βάθους. Έπειτα, συγκρίνουμε την τιμή NC στο χώρο με την αποδεκτή τιμή θορύβου (σχήμα 2.29), για να διαπιστώσουμε αν την υπερβαίνει ή όχι.



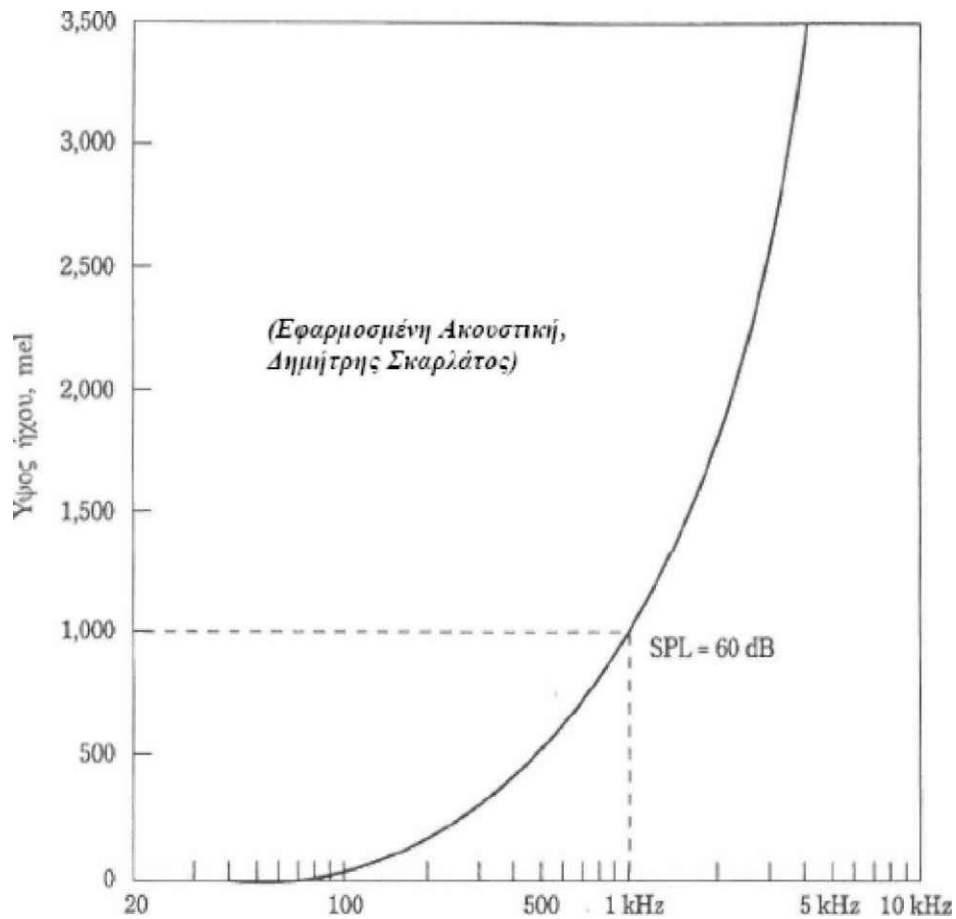
Σχήμα 2.30 Καμπύλες κριτηρίων θορύβου [6].

### 2.4.7 Απόκριση του αυτιού

Η απόκριση του ανθρώπινου οργάνου στα χαρακτηριστικά του ήχου στάθμη και συχνότητα δεν είναι γραμμική. Μετρήσεις που έγιναν έδειξαν ότι το αυτί μπορεί να διακρίνει 280 διαφορετικές στάθμες και 1.400 διαφορετικές συχνότητες. Τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου που σχετίζονται με την απόκριση του ανθρώπου σ' αυτόν είναι τρία: το ύψος, η ακουστότητα και η χροιά.

- Ύψος

Ύψος είναι η υποκειμενική απόκριση του αυτιού στη συχνότητα.



Σχήμα 2.31 Το ύψος ήχου (σε mel, που είναι υποκειμενική μονάδα) [2].

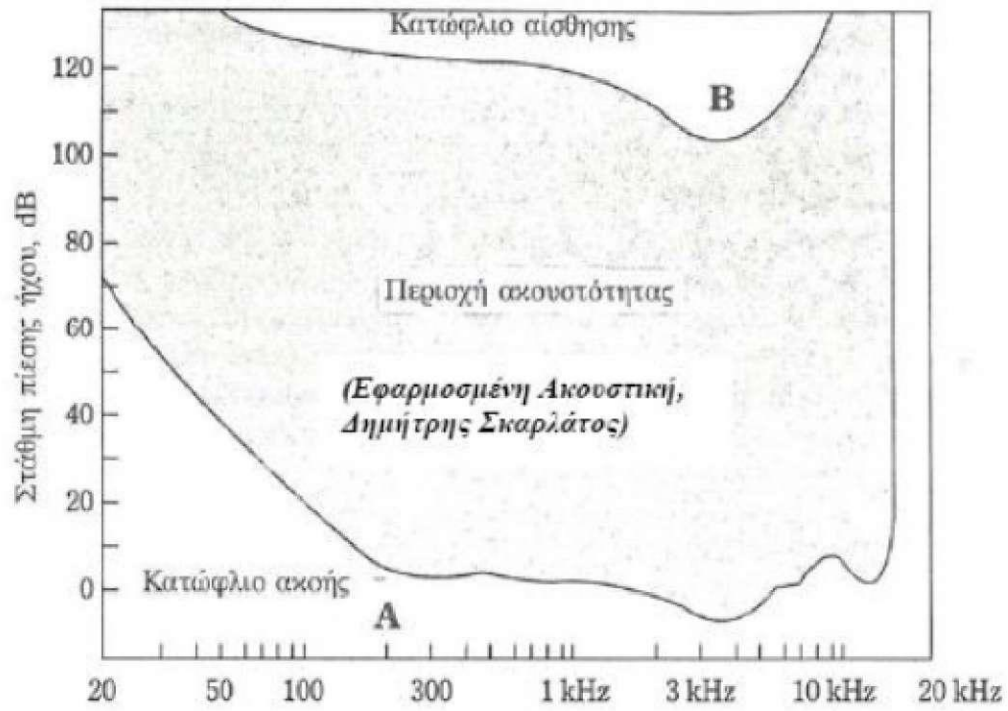
- Χροιά (Timbre)

Χροιά ονομάζουμε τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου τα οποία κάνουν δυνατό το διαχωρισμό δύο τόνων της ίδιας έντασης και θεμελιώδους συχνότητας αλλά διαφορετικών κυματομορφών.

- Ακουστότητα (Loudness)

Σαν ακουστότητα ορίζουμε την υποκειμενική απόκριση του αυτιού στην στάθμη του ήχου.





Σχήμα 2.32 Η περιοχή ακουστότητας του ανθρώπινου αυτιού περιορίζεται από δύο καμπύλες κατωφλιού, (A) το κατώφλιο ακοής και (B) το κατώφλιο αίσθησης [2].

## 2.5 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η Εκκλησία από τις πρώτες ημέρες της ίδρυσής Της αντιμετώπισε την ανάγκη εξευρέσεως καταλλήλου χώρου για τις συνάξεις των πιστών για την κοινή προσευχή και ιδιαίτερα για την τέλεση της Θείας Ευχαριστίας, σύμφωνα με τη ρητή εντολή του Κυρίου.

Οι χριστιανοί της Ιερουσαλήμ, στην αρχή, μετέβαιναν «ομοθυμαδόν εν τω ιερώ», δηλαδή στο ναό του Σολομώντος, σε τακτές ώρες για να προσευχηθούν. Οι ευρύχωρες στοές του ναού εξυπηρετούσαν την ανάγκη της ομαδικής προσευχής τους, όμως δεν προσφέρονταν για την τέλεση της Θείας Ευχαριστίας.

Μετά το διωγμό της πρώτης εκκλησίας από τους Ιουδαίους και την εκδίωξή τους από το ναό του Σολομώντος, αναζητήθηκαν άλλες πιο ευρύχωρες οικίες για τις λατρευτικές συνάξεις της κοινότητας της Ιερουσαλήμ.

Από το τέλος του 2<sup>ου</sup> αιώνα άρχισαν σε ορισμένα μέρη να ανεγείρονται ιδιόκτητοι χριστιανικοί ναοί. Στο γεγονός αυτό συνέτεινε κυρίως η ένταξη των χριστιανικών κοινοτήτων στις λεγόμενες Ταφικές Εταιρείες, οι οποίες είχαν το δικαίωμα, σύμφωνα με τη ρωμαϊκή νομοθεσία, να έχουν ιδιόκτητο χώρο συνάθροισης των μελών τους και κοιμητήριο. Βρέθηκε δηλαδή μια ευκαιρία για νόμιμη συγκέντρωση των χριστιανών. Σύμφωνα με αυτές τις πληροφορίες, το σχήμα τους ήταν απλό και έμοιαζε με τις κατοπινές χριστιανικές βασιλικές, ή ήταν κυκλικά περικέντρα και οκταγωνικά κτίρια.

Μετά το τέλος των διωγμών, η Εκκλησία, ελεύθερη πια και ισχυρή, επιτελούσε την υψηλή αποστολή Της. Οι παλαιοί και μικροί ναοί δεν εξυπηρετούσαν πλέον τις λατρευτικές ανάγκες του μεγάλου πλήθους των πιστών. Γι' αυτό άρχισαν να κτίζονται μεγάλοι ναοί σε ολόκληρη την αυτοκρατορία. Πρόκειται για τις περίφημες παλαιοχριστιανικές βασιλικές, οι οποίες ήταν τεράστια επιμήκη οικοδομήματα, διαιρούμενα εσωτερικά, δια κιονοστοιχιών σε κλίτη, καταλήγοντας στην ανατολική μικρή πλευρά σε αψίδα (κόγχη) και τα οποία κυριάρχησαν τον 4<sup>ο</sup> και 5<sup>ο</sup> αιώνα.

Ο τύπος και η ονομασία της βασιλικής παραλήφθηκε από τους ειδωλολάτρες ρωμαίους (Basilica), και συγκεκριμένα από τον διαδεδομένο τύπο των μεγάλων δημόσιων πολύστηλων οικοδομημάτων των ρωμαϊκών αγορών (basilicas forences), τα οποία χρησίμευαν για εμπορικές συναλλαγές και δικαστήρια.

Οι χριστιανικές βασιλικές όπως αναφέραμε, ήταν επιμήκη κτίρια που διαιρούσαν εσωτερικά σε κλίτη, ή μοίρες, ή δρόμους (δρομικές βασιλικές).

Ο 6<sup>ος</sup> αιώνας είναι η εποχή της μεγάλης ισχύος του βυζαντινού κράτους και ο θρίαμβος του ορθόδοξου δόγματος. Το γεγονός αυτό είχε αντίκτυπο και στην ανάπτυξη της ναοδομίας. Η παλαιοχριστιανική βασιλική εμπλουτίζεται με νέα αρχιτεκτονικά στοιχεία, ώστε να της δίνει ακόμα μεγαλύτερη αίγλη. Σπουδαιό-

τερη καινοτομία είναι ο περιορισμός του μήκους του κτιρίου και κυρίως η προσθήκη τρούλου στη στέγη του μεγάλου κλίτους. Πρόκειται για μια θαυμαστή αρχιτεκτονική εφεύρεση των μεγάλων Μικρασιατών αρχιτεκτόνων Ανθέμιου από τις Τράλλεις και Ισίδωρου από τη Μίλητο. Αντιπροσωπευτικό δείγμα αυτού του ρυθμού είναι ο περίφημος ναός της Αγίας Σοφίας Κωνσταντινουπόλεως, ο οποίος κτίστηκε από το Ιουστινιανό τα έτη 531-537 [33].

Η επιβλητικότητα αυτού του ρυθμού είναι έκδηλη. Ο τεράστιος όγκος του ναού, το μεγάλο ύψος, ο τεράστιος θόλος, το άπλετο φως των παραθύρων, δίνουν μια ξεχωριστή αίσθηση στον πιστό.

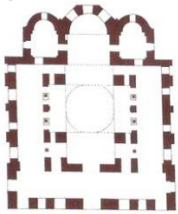

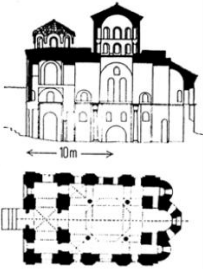

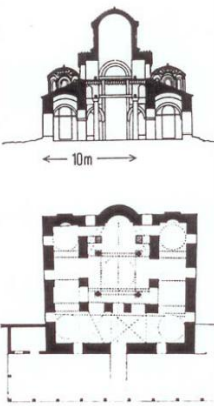

Ύστερα από μια περίοδο τριών περίπου αιώνων μεταβατικής ναοδομίας συνδυασμού θολωτής τρίκλιτης βασιλικής με τη σταυρωτή τρουλαία βασιλική (χαρακτηριστικό παράδειγμα ο ναός της Σκριπούς Βοιωτίας), εμφανίζεται στην Κωνσταντινούπολη και αργότερα σε ολόκληρο τον βυζαντινό κόσμο, ο εγγεγραμμένος σταυροειδής ναός με τρούλο.

Ο περίφημος αυτός τύπος παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 880 μ.Χ. στο περίφημο αυτοκρατορικό κτίσμα της Νέας Εκκλησίας του Παλατιού και εγκαινιάστηκε στα χρόνια του Βασιλείου Α΄ (867-886). Ονομάστηκε Νέα Εκκλησία, διότι παρουσίαζε ένα καινούριο αρχιτεκτονικό τύπο. Από τότε και μέχρι σήμερα παραμένει ο ίδιος. Ο εγγεγραμμένος σταυροειδής με τρούλο είναι ο πιο αντιπροσωπευτικός βυζαντινός ρυθμός. Κύριο χαρακτηριστικό στοιχείο αυτού του ρυθμού είναι ο σχηματισμός σταυρού εσωτερικά και εξωτερικά στο σχεδόν τετράγωνο πια κτίσμα, με τον έναν ή τους πέντε τρούλους. Παραλλαγή αυτού του ρυθμού είναι ο εγγεγραμμένος οκτάγωνος ναός. Στην περίπτωση αυτή έχουμε ένα μεγάλο τρούλο, ο οποίος καλύπτει ολόκληρη σχεδόν τη στέγη και στηρίζεται σε οκτώ κίονες. Κύριο χαρακτηριστικό αυτού του τύπου είναι ο παραμερισμός των τεσσάρων κίωνων από το κέντρο του ναού και η δημιουργία ενιαίου άνετου χώρου στον κυρίως ναό.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Οι μετρήσεις της παρούσας εργασίας θα συγκριθούν στο *Κεφάλαιο 6. Συζήτηση των αποτελεσμάτων* (σελ. 99) με παρόμοια ευρήματα από την εγχώρια και ξένη βιβλιογραφία. Τα ευρήματα αυτά περιλαμβάνονται σε τέσσερα άρθρα από τη διεθνή βιβλιογραφία [12, 15, 26 και 27], σε μια εργασία που παρουσιάστηκε στο 4<sup>ο</sup> συνέδριο ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2008 στην Ξάνθη [13], καθώς και στα αποτελέσματα μιας προγενέστερης διπλωματικής εργασίας με όμοιο αντικείμενο [7].

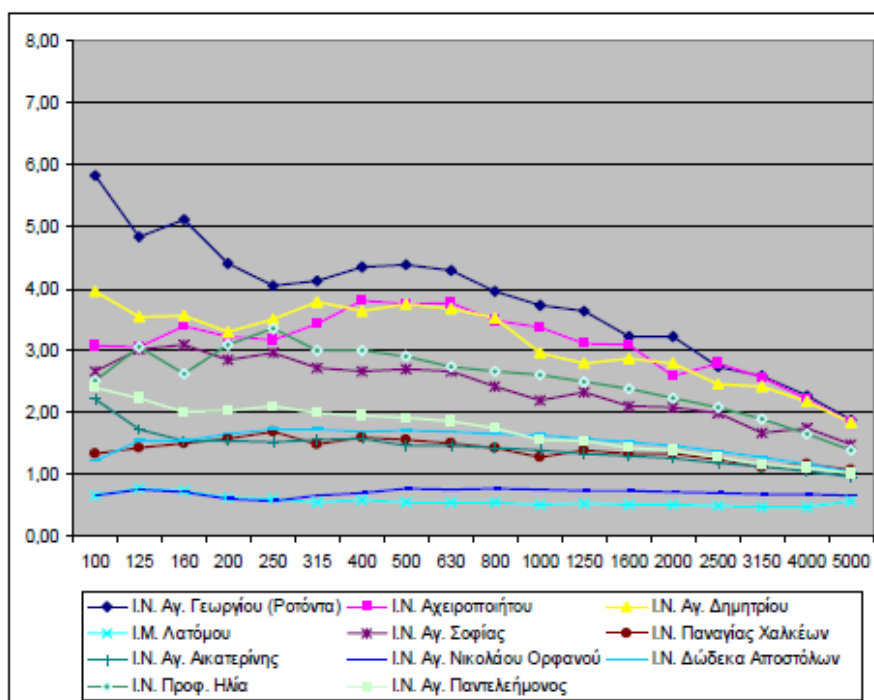
Ο Καραμπατζάκης [13] μέτρησε σε 11 βυζαντινούς ναούς της Θεσσαλονίκης τις παραμέτρους EEF<sub>50</sub> (κλάσμα πρώτων ανακλάσεων), 80ms E-To-L (λόγος πρώτων-προς-καθυστερημένες ανακλάσεις) και RT (χρόνος αντήχησης) χωρίς ακροατήριο. Τρεις από αυτούς τους ναούς είναι ρυθμού σταυροειδούς εγγεγραμμένου με τρούλο και αυτούς χρησιμοποιούμε για σύγκριση με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας. Οι ναοί αυτοί είναι η Αγ. Σοφία, η Παναγία Χαλκίων και η Αγ. Αικατερίνη. Εξ' αυτών η Αγία Σοφία ανήκει στην παλαιοχριστιανική εποχή (7<sup>ος</sup> αιώνας), ενώ οι άλλες δυο εκκλησίες είναι μεταγενέστερες, δηλαδή είναι κατασκευασμένες τους 11<sup>ο</sup> και 13<sup>ο</sup> αιώνα αντίστοιχα. Τα ευρήματα του Καραμπατζάκη φαίνονται στα επόμενα σχήματα.

Ναός	Κάτοψη - φωτογραφία	Χρόνος κατασκευής	Όγκος (κυβικά μέτρα)	
5	<p>I.N. Αγ. Σοφίας</p> 	<p>αποτελεί τυπικό δείγμα μεταβατικού σταυροειδούς με τρούλο και περίστωο, εξέλιξη του νέου αρχιτεκτονικού ρυθμού της τρουαίας βασιλικής</p> 	7 <sup>ος</sup> αιώνας	15250
6	<p>I.N. Παναγίας Χαλκίων</p> 	<p>Τύπος σταυροειδής εγγεγραμμένος με τρούλο .</p> 	1028	1290
7	<p>I.N. Αγ. Αικατερίνης</p> 	<p>Χαρακτηριστικό κτίσμα της "Μακεδονικής Σχολής", καθώς διαμορφώνεται με τέσσερις καμάρες εγγεγραμμένου σε τετράγωνο σταυρό, πάνω στις οποίες στηρίζεται ο κεντρικός τρούλος. Γύρω από το τετράγωνο αυτό της βάσης του τρούλου αναπτύσσεται προς τρεις κατευθύνσεις (νότος, δύση, βορράς) ένα χαμηλωμένο κλίτος που δίνει μεγαλύτερη ευρυχωρία στο ναό και προσθέτει κομψότητα και μορφολογικό ενδιαφέρον, καθώς στις τέσσερις γωνίες του κλίτους ανυψώνονται ισάρημοι τρούλοι, πιο χαμηλοί από τον κεντρικό που κυριαρχεί.</p> 	Τέλος 13 <sup>ου</sup> αιώνα	1230

Μετά τη διεξαγωγή των μετρήσεων και την στατιστική τους επεξεργασία, προέκυψαν οι πίνακες και τα γραφήματα που παρατίθενται στη συνέχεια. Η ονοματολογία των πινάκων και των εικόνων διατηρείται ίδια με το πρωτότυπο, διότι ο συγγραφέας τα επικαλείται κατά το σχολιασμό των αποτελεσμάτων.

	α/α	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Όνομασία χώρου	Ι.Ν. Αγ. Γεωργίου (Ροτόντα)	Ι.Ν. Αχειροποιήτου	Ι.Μ. Λατόμου	Ι.Ν. Αγ. Δημητρίου	Ι.Ν. Αγ. Σοφίας	Ι.Ν. Παναγίας Χαλκίων	Ι.Ν. Αγ. Αικατερίνης	Ι.Ν. Αγ. Νικολάου Ορφανού	Ι.Ν. Δώδεκα Αποστόλων	Ι.Ν. Προφ. Ηλία	Ι.Ν. Αγ. Παντελεήμονος
	# Μετρήσεων	43	53	18	34	58	34	29	46	66	48	16
Συχνότητα (Hz)	100	5,82	3,07	0,66	3,96	2,65	1,33	2,22	0,65	1,22	2,52	2,41
	125	4,83	3,06	0,77	3,54	3,02	1,42	1,73	0,75	1,53	3,05	2,23
	160	5,11	3,39	0,73	3,56	3,09	1,50	1,54	0,71	1,53	2,63	2,01
	200	4,40	3,22	0,62	3,30	2,85	1,58	1,53	0,59	1,65	3,10	2,02
	250	4,05	3,16	0,60	3,51	2,96	1,68	1,51	0,57	1,73	3,36	2,11
	315	4,12	3,42	0,54	3,78	2,71	1,48	1,55	0,66	1,73	3,00	1,98
	400	4,35	3,79	0,58	3,64	2,66	1,60	1,57	0,70	1,69	3,00	1,95
	500	4,38	3,74	0,54	3,75	2,69	1,55	1,47	0,76	1,71	2,91	1,91
	630	4,28	3,77	0,55	3,66	2,66	1,50	1,45	0,76	1,68	2,74	1,85
	800	3,95	3,49	0,55	3,52	2,42	1,42	1,43	0,76	1,65	2,66	1,74
	1000	3,72	3,36	0,51	2,97	2,19	1,27	1,39	0,75	1,62	2,60	1,55
	1250	3,64	3,12	0,52	2,80	2,33	1,39	1,33	0,73	1,58	2,48	1,54
	1600	3,22	3,10	0,51	2,86	2,09	1,33	1,28	0,73	1,52	2,38	1,42
	2000	3,22	2,58	0,50	2,79	2,08	1,32	1,25	0,71	1,46	2,23	1,38
	2500	2,73	2,80	0,50	2,45	1,98	1,23	1,18	0,70	1,37	2,08	1,28
	3150	2,58	2,57	0,47	2,42	1,66	1,11	1,12	0,68	1,28	1,88	1,17
	4000	2,28	2,21	0,46	2,17	1,74	1,16	1,05	0,68	1,17	1,65	1,11
5000	1,88	1,83	0,56	1,84	1,47	1,06	0,96	0,65	1,03	1,39	1,01	

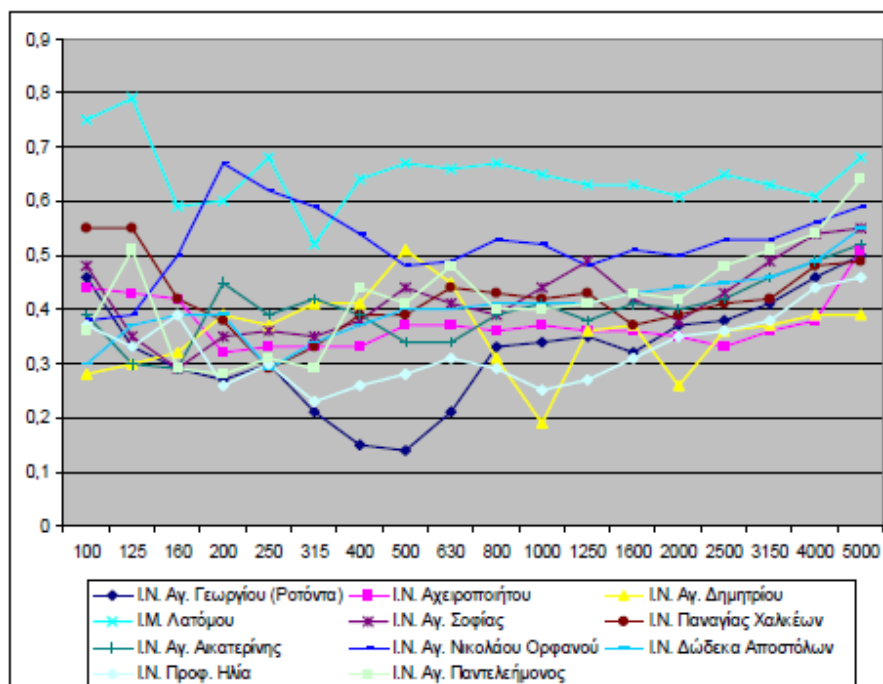
Πίνακας 3. Χρόνος Αντήρησης



Εικ.2. Γράφημα Χρόνων Αντήρησης.

	α/α	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Όνομασία χώρου	Ι.Ν. Αγ. Γεωργίου (Ροτόντα)	Ι.Ν. Αχειροποιήτου	Ι.Μ. Λατόμου	Ι.Ν. Αγ. Δημητρίου	Ι.Ν. Αγ. Σοφίας	Ι.Ν. Παναγίας Χαλκίων	Ι.Ν. Αγ. Αικατερίνης	Ι.Ν. Αγ. Νικολάου Ορφανού	Ι.Ν. Δώδεκα Αποστόλων	Ι.Ν. Προφ. Ηλία	Ι.Ν. Αγ. Παντελεήμονος
	# of Measurements	57	58	18	34	67	34	29	46	47	48	18
Συχνότητα (Hz)	100	0,46	0,44	0,75	0,28	0,48	0,55	0,39	0,38	0,3	0,37	0,36
	125	<b>0,33</b>	<b>0,43</b>	<b>0,79</b>	<b>0,3</b>	<b>0,35</b>	<b>0,55</b>	<b>0,3</b>	<b>0,39</b>	<b>0,37</b>	<b>0,33</b>	<b>0,51</b>
	160	0,29	0,42	0,59	0,32	0,29	0,42	0,29	0,5	0,39	0,39	0,29
	200	0,27	0,32	0,6	0,39	0,35	0,38	0,45	0,67	0,39	0,26	0,28
	250	<b>0,3</b>	<b>0,33</b>	<b>0,68</b>	<b>0,37</b>	<b>0,36</b>	<b>0,29</b>	<b>0,39</b>	<b>0,62</b>	<b>0,29</b>	<b>0,3</b>	<b>0,31</b>
	315	0,21	0,33	0,52	0,41	0,35	0,33	0,42	0,59	0,34	0,23	0,29
	400	0,15	0,33	0,64	0,41	0,38	0,39	0,39	0,54	0,37	0,26	0,44
	500	<b>0,14</b>	<b>0,37</b>	<b>0,67</b>	<b>0,51</b>	<b>0,44</b>	<b>0,39</b>	<b>0,34</b>	<b>0,48</b>	<b>0,4</b>	<b>0,28</b>	<b>0,41</b>
	630	0,21	0,37	0,66	0,45	0,41	0,44	0,34	0,49	0,4	0,31	0,48
	800	0,33	0,36	0,67	0,31	0,39	0,43	0,39	0,53	0,41	0,29	0,4
	1000	<b>0,34</b>	<b>0,37</b>	<b>0,65</b>	<b>0,19</b>	<b>0,44</b>	<b>0,42</b>	<b>0,41</b>	<b>0,52</b>	<b>0,41</b>	<b>0,25</b>	<b>0,4</b>
	1250	0,35	0,36	0,63	0,36	0,49	0,43	0,38	0,48	0,41	0,27	0,41
	1600	0,32	0,36	0,63	0,37	0,42	0,37	0,41	0,51	0,43	0,31	0,43
	2000	<b>0,37</b>	<b>0,35</b>	<b>0,61</b>	<b>0,26</b>	<b>0,38</b>	<b>0,39</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,44</b>	<b>0,35</b>	<b>0,42</b>
	2500	0,38	0,33	0,65	0,36	0,43	0,41	0,42	0,53	0,45	0,36	0,48
	3150	0,41	0,36	0,63	0,37	0,49	0,42	0,46	0,53	0,46	0,38	0,51
	4000	<b>0,46</b>	<b>0,38</b>	<b>0,61</b>	<b>0,39</b>	<b>0,54</b>	<b>0,48</b>	<b>0,49</b>	<b>0,56</b>	<b>0,49</b>	<b>0,44</b>	<b>0,54</b>
5000	0,5	0,51	0,68	0,39	0,55	0,49	0,52	0,59	0,55	0,46	0,64	

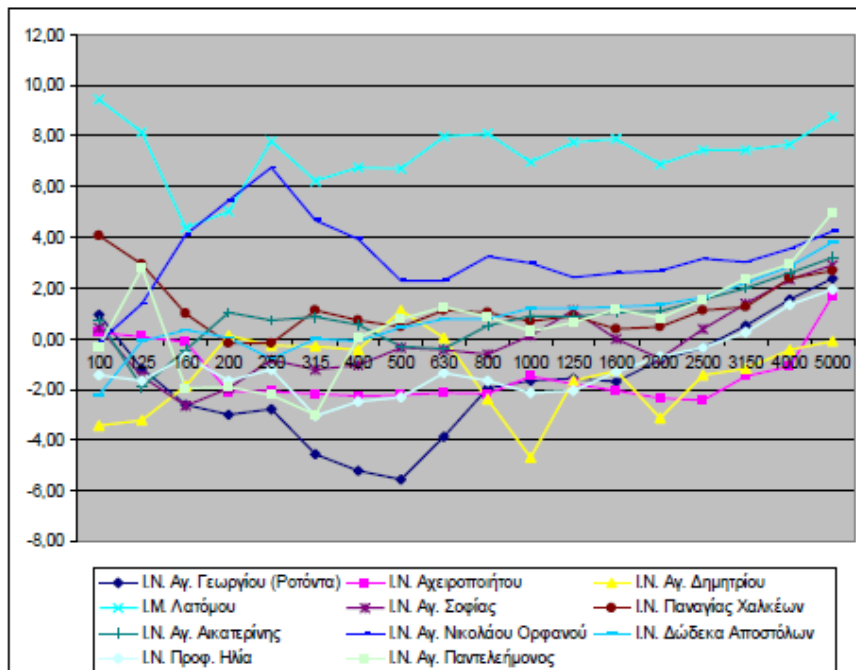
Πίνακας 4. Καταληπτότητα D50



Εικ. 3. Γράφημα τιμών D50

	α/α	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Όνομασία Χώρου	Ι.Ν. Αγ. Γεωργίου (Ροτόντα)	Ι.Ν. Αχειροποιήτου	Ι.Μ. Λατόμου	Ι.Ν. Αγ. Δημητρίου	Ι.Ν. Αγ. Σοφίας	Ι.Ν. Παναγίας Χαλκίων	Ι.Ν. Αγ. Αικατερίνης	Ι.Ν. Αγ. Νικολάου Ορφανού	Ι.Ν. Δώδεκα Αποστόλων	Ι.Ν. Προφ. Ηλία	Ι.Ν. Αγ. Παντελεήμονος
	# of Measurements	57	58	18	34	58	34	33	46	81	48	16
Συχνότητα (Hz)	100	0,92	0,24	9,42	-3,46	0,41	4,04	0,73	-0,15	-2,23	-1,46	-0,33
	125	-1,17	0,05	8,12	-3,24	-1,48	2,92	-1,91	1,38	-0,09	-1,66	2,75
	160	-2,60	-0,16	4,37	-1,90	-2,65	1,00	-0,44	4,10	0,35	-0,69	-1,98
	200	-3,03	-2,12	5,00	0,13	-1,98	-0,21	1,02	5,44	0,02	-1,65	-1,94
	250	-2,81	-2,08	7,80	-0,29	-0,85	-0,19	0,70	6,77	-0,78	-1,23	-2,24
	315	-4,58	-2,17	6,23	-0,31	-1,23	1,13	0,83	4,66	-0,01	-3,06	-3,02
	400	-5,21	-2,27	6,74	-0,46	-1,06	0,74	0,56	3,93	-0,11	-2,48	0,01
	500	-5,58	-2,22	6,70	1,10	-0,38	0,47	-0,30	2,27	0,43	-2,30	0,75
	630	-3,90	-2,14	7,95	0,02	-0,45	1,11	-0,40	2,30	0,75	-1,35	1,25
	800	-1,96	-2,19	8,10	-2,39	-0,64	1,01	0,50	3,25	0,76	-1,68	0,84
	1000	-1,65	-1,50	6,97	-4,69	0,13	0,68	0,88	2,99	1,20	-2,14	0,28
	1250	-1,59	-1,81	7,73	-1,67	1,11	0,89	0,83	2,43	1,19	-2,04	0,65
	1600	-1,71	-2,06	7,87	-1,27	0,00	0,36	1,04	2,60	1,23	-1,32	1,17
	2000	-0,86	-2,38	6,88	-3,13	-0,80	0,44	1,06	2,67	1,34	-0,73	0,82
	2500	-0,37	-2,43	7,44	-1,43	0,37	1,09	1,53	3,13	1,65	-0,36	1,56
	3150	0,52	-1,50	7,44	-1,19	1,38	1,24	1,97	3,04	2,21	0,26	2,36
4000	1,54	-1,12	7,64	-0,46	2,33	2,36	2,60	3,54	2,85	1,32	2,93	
5000	2,39	1,66	8,75	-0,11	2,90	2,68	3,20	4,25	3,79	1,93	4,98	

Πιν 5. Διαύγεια C80



Εικ.4. Γράφημα C80.



Στο σχολιασμό των αποτελεσμάτων ο συγγραφέας αναφέρει: «Παρατηρούμε πως οι καμπύλες του χρόνου αντήχησης παρουσιάζουν μία ομαλή μετάβαση (σχεδόν παράλληλη) ανάλογα με την χρονική περίοδο κατασκευής του χώρου (εξάιρεση αποτελεί ο Ναός του Πρ. Ηλία ο οποίος ενώ είναι κατασκευασμένος στα τέλη του 13<sup>ου</sup> αιώνα ομοιάζει στους χρόνους αντήχησης με την Αγ. Σοφία του 7<sup>ου</sup> αιώνα). Φυσικά σε καμία περίπτωση δεν μπορούμε να ισχυριστούμε πως «βελτιώθηκε» η συμπεριφορά των χώρων ως προς την αντήχηση τους (λόγω των διαφορετικών όγκων των χώρων), αφού αυτή διακριτά μειώθηκε κατά την εξέλιξη, αλλά σε κάθε περίπτωση μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η εξέλιξη της μορφολογίας των εν λόγω χώρων είχε σαν αποτέλεσμα την βελτίωση αυτή.

Συσχετίζοντας το συμπέρασμα αυτό με την ομαδοποίηση των μνημείων που προαναφέρθηκε μπορούμε να παρατηρήσουμε πως οι ναοί της Ομάδας 1 (Αγ. Σοφία) παρουσιάζουν σαφώς μεγαλύτερους χρόνους αντήχησης ο οποίος μειώνεται αισθητά κατά την πάροδο του χρόνου και την εξέλιξη της μορφολογίας των ναών.

Με δεδομένη την παραπάνω παρατήρηση θα αναμέναμε η εξελικτική αυτή τάση να αποτυπώνεται στις τιμές της καταληπτότητας (EEF<sub>50</sub> - κλάσμα πρώτων ανακλάσεων) οι οποίες επηρεαζόμενες από τις πτωτικές τάσεις του χρόνου αντήχησης θα έπρεπε να έχουν ανοδική τάση.

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι φανερό πως δε συμβαίνει κάτι τέτοιο. Στον Πίνακα 4 φαίνεται πως το κυρίαρχο πλήθος των τιμών του D<sub>50</sub> (EEF<sub>50</sub>) συγκεντρώνεται μεταξύ των τιμών 0,25 - 0,45 γεγονός που φανερώνει χαμηλή καταληπτότητα του λόγου (οι περιπτώσεις της μονής Λατόμου και Αγ. Νικολάου αποτελούν εξάιρεση λόγω του σχετικά πολύ μικρού τους όγκου) .

Οι τιμές C<sub>80</sub> (80ms E-To-L - λόγος πρώτων-προς-καθυστερημένες ανακλάσεις) συγκεντρώνονται μεταξύ των -2 dB και +1.5 dB οι οποίες είναι αποδεκτές, πλην όμως χαμηλές. Οι εξαιρέσεις προς τα κάτω (Αγ. Γεώργιος) και οι εξαιρέσεις προς τα πάνω ( Αγ. Νικόλαος και Μονή Λατόμου) ακολουθούν τον κανόνα των όγκων που είναι μεγάλοι στην πρώτη περίπτωση και μικροί στην δεύτερη.

Παρατηρούμε όμως πως οι χώροι της Ομάδας 2 (Παναγία Χαλκέων και Αγ. Αικατερίνη), που κατά πλειοψηφία είναι κατασκευασμένοι μετά τον 12<sup>ο</sup> αιώνα, παρουσιάζουν μεγαλύτερες και κυρίως θετικές τιμές.»

Τέλος, ο συγγραφέας συσχετίζει τα αποτελέσματά του με την εξέλιξη της υμνολογίας. Γράφει λοιπόν τα ακόλουθα:

«Στην Ιστορία της Βυζαντινής υμνολογίας αναφέρονται δυο κύριες Περίοδοι. Η πρώτη καταλαμβάνει την περίοδο από τον 5<sup>ο</sup> αιώνα μέχρι τον 11<sup>ο</sup> (1<sup>η</sup> περίοδος) όπου η βυζαντινή υμνολογία συντάσσεται και δομείται. Την περίοδο αυτή κυριαρχεί η ανάγκη της κοινωνίας του λόγου σε βάρος της μελωδίας. Στην πα-

ραπάνω περίοδο μπορούμε να πούμε πως η βυζαντινή μουσική ήταν απλή, καθαρή και αυστηρή.

Αντίθετα κατά την περίοδο από το 12<sup>ο</sup> αιώνα έως και το 15<sup>ο</sup> η υμνολογία διανθίζεται με περισσότερη εκφραστική ελευθερία και νεωτερισμούς, ενσωματώνοντας μορφές οι οποίες δεν υπηρετούν κάποιο κείμενο αλλά περισσότερο εξυπηρετούν την καλλιτεχνική απόδοση του μουσικού θέματος. Τη συγκεκριμένη περίοδο προστίθενται για τον παραπάνω λόγο λέξεις χωρίς ιδιαίτερο νόημα αλλά με ακουστική συνάφεια μεταξύ των συλλαβών τους (τε-ρι-ρεμ, α-να-νε, τα-τα).

Σπουδαίο ρόλο στην παραπάνω διαμόρφωση της υμνολογίας παίζει το ότι ο ποιητής – συνθέτης του παρελθόντος αντικαθίσταται από τον συνθέτη - εκτελεστή, γεγονός που πολύ πιθανόν να επηρέασε την εκφραστική εκδοχή των μουσικών θεμάτων.

Με τα παραπάνω συμπεράσματα και αφού αυτά συνδυαστούν με τον πίνακα 5 του C80 μπορούμε να ισχυριστούμε, εστιάζοντας στην ομάδα 2, ότι η κατάληξη της μορφολογίας των υπό εξέταση μνημείων κατέληξε σε μια μορφή, κατά πολύ πολυπλοκότερη από την αρχική Βασιλική, η οποία ήταν ικανή να υποστηρίξει ακουστικά την επικρατούσα τάση της υμνολογίας.»

Ο Τζεκάκης έκανε μετρήσεις σε 8 άδειους βυζαντινούς ναούς της Θεσσαλονίκης, κατασκευασμένους μεταξύ των 11<sup>ου</sup> και 14<sup>ου</sup> αιώνα. Από αυτούς επιλέχθηκαν αυτοί με ρυθμό σταυροειδή εγγεγραμμένο με τρούλο και πιο συγκεκριμένα ο ναός της Παναγίας Χαλκίων με όγκο 1290 m<sup>3</sup>, ο ναός του Αγίου Παντελεήμονα με όγκο 2880 m<sup>3</sup>, ο ναός της Αγίας Αικατερίνης με όγκο 1230 m<sup>3</sup>, ο ναός των Αγίων Αποστόλων με όγκο 1575 m<sup>3</sup>, ο Καθολικός του Μοναστηρίου των Βλατάδων με όγκο 835 m<sup>3</sup> και τέλος η εκκλησία του Προφήτη Ηλία με όγκο 2250 m<sup>3</sup>. Τα ευρήματα του Τζεκάκη συνοψίζονται στις ακόλουθες εικόνες.

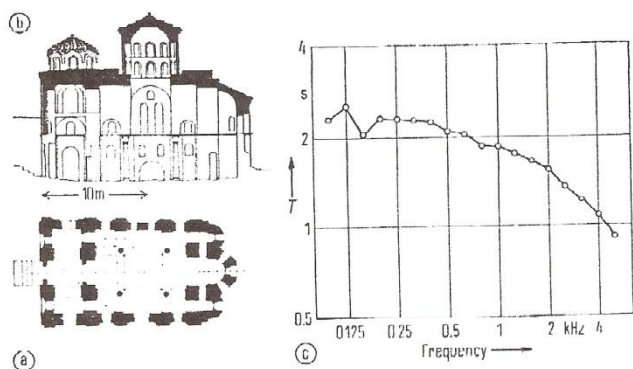


Fig. 2. Church of Panagia Chalkeon. (a) Ground-floor plan, (b) cross-section and (c) reverberation time  $T$ .

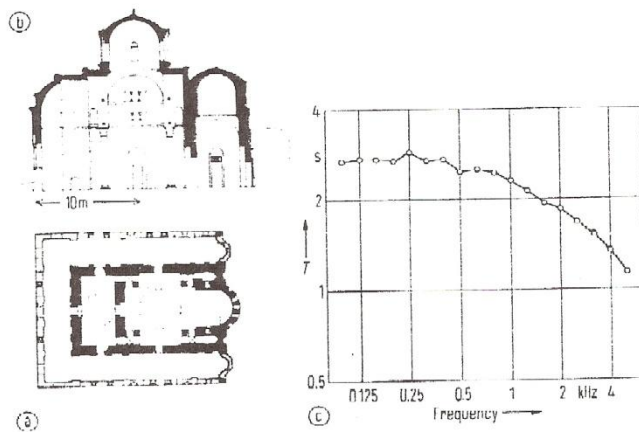


Fig. 3. Church of St. Panteleimon. (a) Ground-floor plan, (b) cross section and (c) reverberation time  $T$ .

Εικόνα 3.1 Παναγία Χαλκίων (Fig.2) και Άγιος Παντελεήμων (Fig.3).

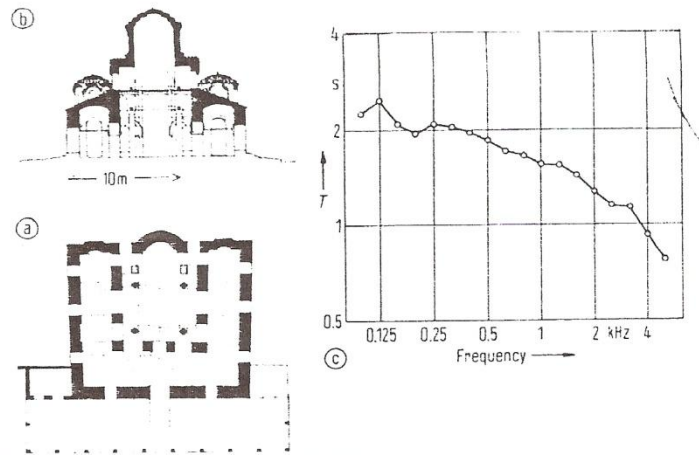


Fig. 4. Church of St. Catherine. (a) Ground-floor plan, (b) cross-section and (c) reverberation time  $T$ .

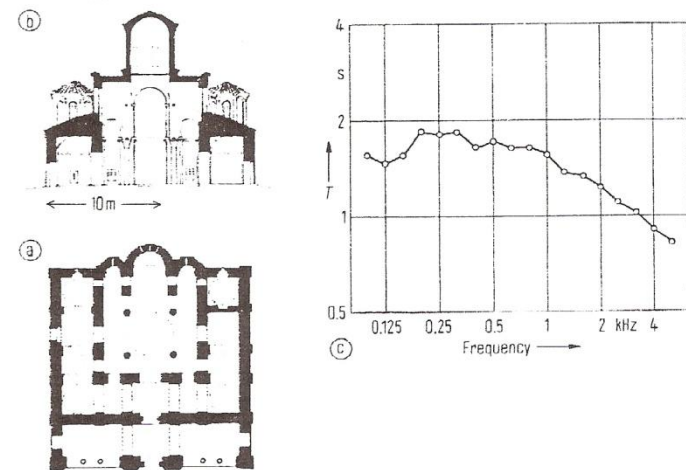


Fig. 6. Church of the Holy Apostles. (a) Ground-floor plan, (b) cross-section and (c) reverberation time  $T$ .

Εικόνα 3.2 Αγία Αικατερίνη (Fig.4) και Άγιοι Απόστολοι (Fig.6).

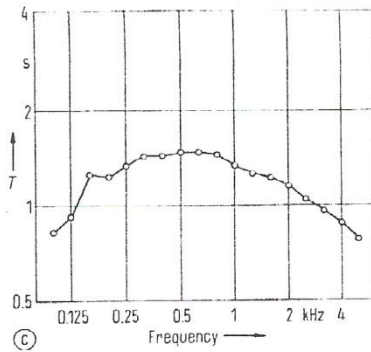
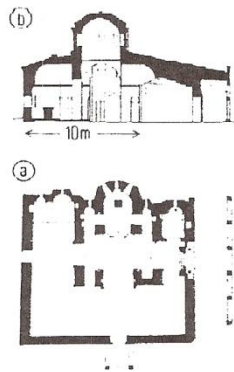


Fig. 7. Katholikon of the Monastery of Vlattades. (a) Ground-floor plan, (b) cross-section and (c) reverberation time  $T$ .

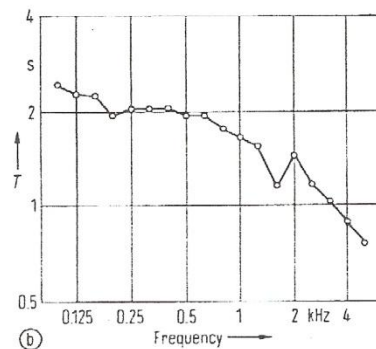
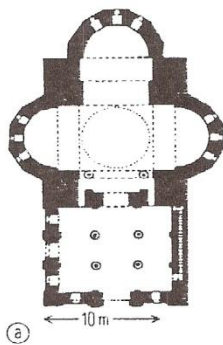


Fig. 8. Church of Prophet Elias. (a) Ground-floor plan and (b) reverberation time  $T$ .

Εικόνα 3.3 Καθολικό Μοναστηρίου Βλατάδων (Fig.7) και Προφήτης Ηλίας (Fig.8).

Μετά από μια σύντομη περιγραφή για κάθε ναό, ο συγγραφέας παρουσιάζει τη συζήτηση των αποτελεσμάτων.

«Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι προφανές με μια εξαίρεση ότι όλα τα άλλα (αποτελέσματα) σχηματίζουν μια ευθεία γραμμή, η οποία φαίνεται στη fig.10. Συγκρίνοντας αυτή την ευθεία με το χαμηλότερο σημείο του ανώτερου ορίου για άδειες εκκλησίες που προτείνεται από τον Cremer, μια μεγάλη διαφορά στην κλίση είναι εμφανής, αλλά κατά τ' άλλα οι τιμές είναι αρκετά αποδεκτές.

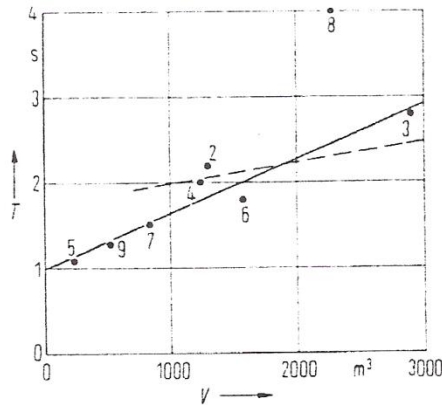


Fig. 10. Reverberation time  $T$  as a function of volume  $V$ . The solid line was calculated from the seven values, without number 8. The broken line is Cremer's upper limit for empty churches.

- 2: Panagia Chalkeon,
- 3: St. Panteleimon,
- 4: St. Catherine,
- 5: Transfiguration of Saviour,
- 6: Holy Apostles,
- 7: Katholikon of Vlattades,
- 8: Prophet Elias,
- 9: St. Nicolaos Orphanos.

Επεκτείνοντας αυτή την ευθεία προς μεγαλύτερους όγκους, θα δημιουργούσε μεγάλες διαφορές από τις αποδεκτές προδιαγραφές. Ωστόσο αυτό δεν είναι σημαντικό επειδή δεν υπάρχουν μεταγενέστερες βυζαντινές εκκλησίες με μεγαλύτερους όγκους.

... Είναι ωστόσο προφανές από όλα τα προαναφερθέντα παραδείγματα ότι η υποδιαίρεση του όγκου σε μια σειρά μικρότερων, συνδυασμένων όγκων, καταλήγει σε εξαιρετικά χαμηλούς χρόνους αντήχησης, χωρίς τη βοήθεια απορροφητικών υλικών.

### Συμπεράσματα

Οι εκκλησίες μικρού όγκου της ύστερης βυζαντινής εποχής, χάρη στα κοινά σχεδιαστικά τους χαρακτηριστικά έχουν χαμηλές τιμές του χρόνου αντήχησης που αυξάνουν γραμμικά με τον όγκο. Παρόλο που έχουν σκληρές εσωτερικές επιφάνειες, οι τιμές του χρόνου αντήχησης, χάρη στους εσωτερικούς διαχωρισμούς τους, συγκρίνονται αποδεκτά, ακόμα και με τις σύγχρονες προδιαγραφές.»

Οι Cremer Lothar και Muller Helmut [15] πρότειναν το 1982 τα προαναφερθέντα ανώτερα και κατώτερα όρια των χρόνων αντήχησης για εκκλησίες.

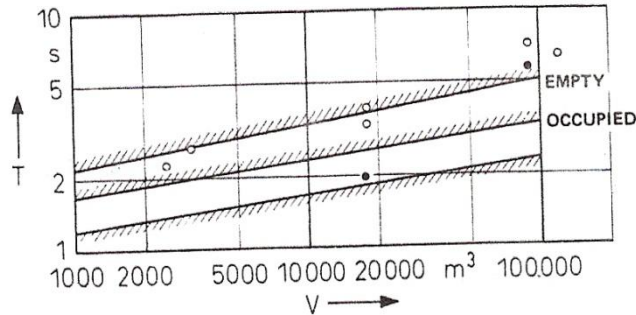


Fig. 3.10. Range of recommended reverberation times for churches. Two upper limits are given: one for the fully occupied church, the other for the nearly empty church. Measurements in empty (○) and occupied (●) churches.

Πριν την παράθεση του ως άνω σχήματος, στο άρθρο που δημοσίευσαν αναφέρουν τα ακόλουθα:

«Σαν τελευταία ομάδα χώρων παραστάσεων, οφείλουμε να αναφέρουμε τις εκκλησίες: καταλαμβάνουν τους μακρύτερους χρόνους αντήχησης. Αλλά αυτή η κατάσταση προκύπτει μόνο από την ιστορική ανάπτυξη μιας παράδοσης την οποία σεβόμαστε. Από αμιγώς ακουστική άποψη, οι πολύ μακρείς χρόνοι αντήχησης είναι κατάλληλοι μόνο για το Γρηγοριανό Άσμα. Είναι υπερβολικά μακρείς για την πολυφωνική μουσική της χορωδίας και του (εκκλησιαστικού) οργάνου η οποία συντέθηκε την ίδια εποχή.

... Αντίθετα, προϋποθέσεις οι οποίες βρέθηκαν να είναι οι καλύτερες σε αμιγώς καλλιτεχνικές μουσικές συνθήκες πρέπει να υιοθετηθούν για την εκκλησιαστική Λειτουργία. Δε θα πρέπει να παραβλεφθεί ότι στις Ρωμαιοκαθολικές εκκλησίες, από τους Μεσαιωνικούς χρόνους μέχρι τα χρόνια της Αναγέννησης και του Μπαρόκ, μόνο οι κληρικοί συγκεντρώνονταν στη Χορωδία της εκκλησίας για να αποδώσουν τα Λατινικά κείμενά τους, πιθανώς αποκομμένοι από το εκκλησιαστικό στον κυρίως ναό με ένα παραβάν με τη μορφή του σταυρού. Το κήρυγμα ήταν ήσσονος σημασίας.

Μετά τη Μεταρρύθμιση, ωστόσο, το κήρυγμα που εκφωνούνταν στην καθομιλουμένη θεωρούνταν πρωταρχικής σημασίας στη λειτουργία. Αλλά το κήρυγμα θα ήταν ακατανόητο αν δεν είχαν εισαχθεί την ίδια εποχή τα στασίδια και τα μπαλκόνια, τα οποία μείωσαν τους χρόνους αντήχησης σε τιμές καταλληλότερες για την ομιλία. Τα ίδια ισχύουν και σήμερα για τις περισσότερες Ρωμαιοκαθολικές Λειτουργίες.

Είναι σαφές, συνεπώς, ότι οι προτιμήσεις που εκφράζονταν για την εκκλησιαστική μουσική από το διευθυντή της χορωδίας, τον οργανοπαίχτη και (κυρίως) από τον κατασκευαστή του εκκλησιαστικού οργάνου αντιπροσωπεύουν μόνο μια άποψη για την επιλογή του κατάλληλου χρόνου αντήχησης για τις εκκλησίες, και αυτή αντιτίθεται γενικά στην απαίτηση για σαφή ευκρίνεια του κηρύγματος και των προσευχών.

Υποστηρίζεται συχνά σήμερα ότι η τελευταία απαίτηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση ηλεκτροακουστικών συστημάτων ενίσχυσης της ομιλίας. Σε εκκλησίες με μεγάλους χρόνους αντήχησης αυτό είναι πιθανό μόνο με κατανεμημένο σύστημα ηχείων, σύμφωνα με το νόμο του πρώτου μετώπου κύματος, αλλά ένα τέτοιο σύστημα καταστρέφει τον εντοπισμό του ήχου στη θέση του ομιλητή εφόσον ο ήχος από το κοντινότερο ηχείο καθορίζει τον εντοπισμό. Έτσι το εκκλησίασμα που συγκεντρώθηκε σε μια μεγάλη εκκλησία διαχωρίζεται ακουστικά από τον ιεροκήρυκα αλλά και από τους ανθρώπους που το αποτελούν, αφού με κλειστά μάτια μπορεί ακόμα και να έχουν την εντύπωση ότι ακούν μια ραδιοφωνική μετάδοση. Παρότι είναι πιθανό να αποφευχθεί αυτό με τη χρήση συστημάτων καθυστέρησης, και πρόσφατα τέτοια συστήματα κοστίζουν φθηνότερα, ωστόσο τέτοια συστήματα απαιτούν προσεκτική εγκατάσταση και ρύθμιση. Συνεπώς, τουλάχιστον στην Ευρώπη σήμερα, χρησιμοποιούνται πολύ σπάνια στις εκκλησίες. Η ασυμφωνία μεταξύ των οπτικών και των ακουστικών εντυπώσεων θεωρείται επί το πλείστον αναπόφευκτη.

Και πάλι, όπως και με τις αίθουσες συναυλιών, οι συνθήκες για την τοποθέτηση ηχείων σε εκκλησίες είναι καλύτερες, όσο πιο πολύ ο χρόνος αντήχησης είναι προσαρμοσμένος στο φυσικό λόγο. Επιπλέον, τα ηχεία μπορεί να τοποθετηθούν ψηλά πάνω από τον άμβωνα ή ψηλά στον κυρίως ναό, έτσι ώστε η φυσιολογική καθυστέρηση του χρόνου να εγγυηθεί την ενότητα μεταξύ οπτικού και ακουστικού προσανατολισμού. Αλλά με μειωμένους χρόνους αντήχησης, τα φυσιολογικά μέσα ενίσχυσης του λόγου συνήθως αρκούν.


Παρά την ανησυχία για την ευκρίνεια του κηρύγματος και των προσευχών, οι χρόνοι αντήχησης σε (γεμάτες) εκκλησίες πρέπει να είναι υψηλότεροι από αυτούς για χώρους μόνο για ακρόαση ομιλίας ώστε να αποδώσουν τη μουσική που γράφτηκε για να δοξάζεται ο Θεός. Εδώ βρισκόμαστε αντιμέτωποι με το γεγονός ότι ο αριθμός των ατόμων στο εκκλησίασμα ποικίλει σημαντικά από λειτουργία σε λειτουργία. Κάποιες φορές η παρακολούθηση είναι πολύ φτωχή. Έτσι είναι πολύ επιθυμητό τα στασίδια και οι πάγκοι όπου γονατίζουν να είναι ντυμένα με στόφα (ώστε να προσομοιάζουν την απορρόφηση του ακροατηρίου).


Με σκοπό να λάβουμε υπόψη την περίπτωση χαμηλής παρακολούθησης, το Fig. 3.10 (σχήμα προηγούμενης σελίδας) δείχνει τα δυο ανώτερα όρια των χρόνων αντήχησης στις εκκλησίες, ένα για την κατάσταση γεμάτου χώρου και το άλλο για σχεδόν άδειες εκκλησίες.»




Αξίζει να σημειωθεί ότι η παραπάνω μελέτη αφορά σε ρωμαιοκαθολικές και όχι βυζαντινές εκκλησίες και το είδος της μουσικής που ψάλλεται (πολυφωνική) διαφέρει από το βυζαντινό άσμα. Ελλείπει προτύπων για βυζαντινές εκκλησίες, θα χρησιμοποιηθούν αυτά τα όρια στο *Κεφάλαιο 6. Συζήτηση των αποτελεσμάτων* για να συγκριθούν με τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Αμφότερες οι εργασίες του Καραμπατζάκη και του Τζεκάκη [13 και 12 αντίστοιχα] αφορούν σε αυθεντικά βυζαντινά μνημεία. Μελέτες που αφορούν στη ακουστική ελληνορθόδοξων ναών από το 19<sup>ο</sup> αιώνα και εντεύθεν, δηλαδή που αφορούν σε αντίγραφα των αυθεντικών βυζαντινών ναών είναι ελάχιστες. Μία από αυτές είναι η προσπάθεια των Δασκαλόπουλου και Κυριακόπουλου [7]. Η εργασία αυτή περιγράφει φυσικές ακουστικές μετρήσεις σε αντίγραφα ελληνορθόδοξων ναών ρυθμού τρουλαίας βασιλικής στη νεοελληνική Αθήνα. Οι ναοί που χρησιμοποιήθηκαν και οι μετρήσεις του RT (χρόνου αντήχησης) φαίνονται στις εικόνες που ακολουθούν.

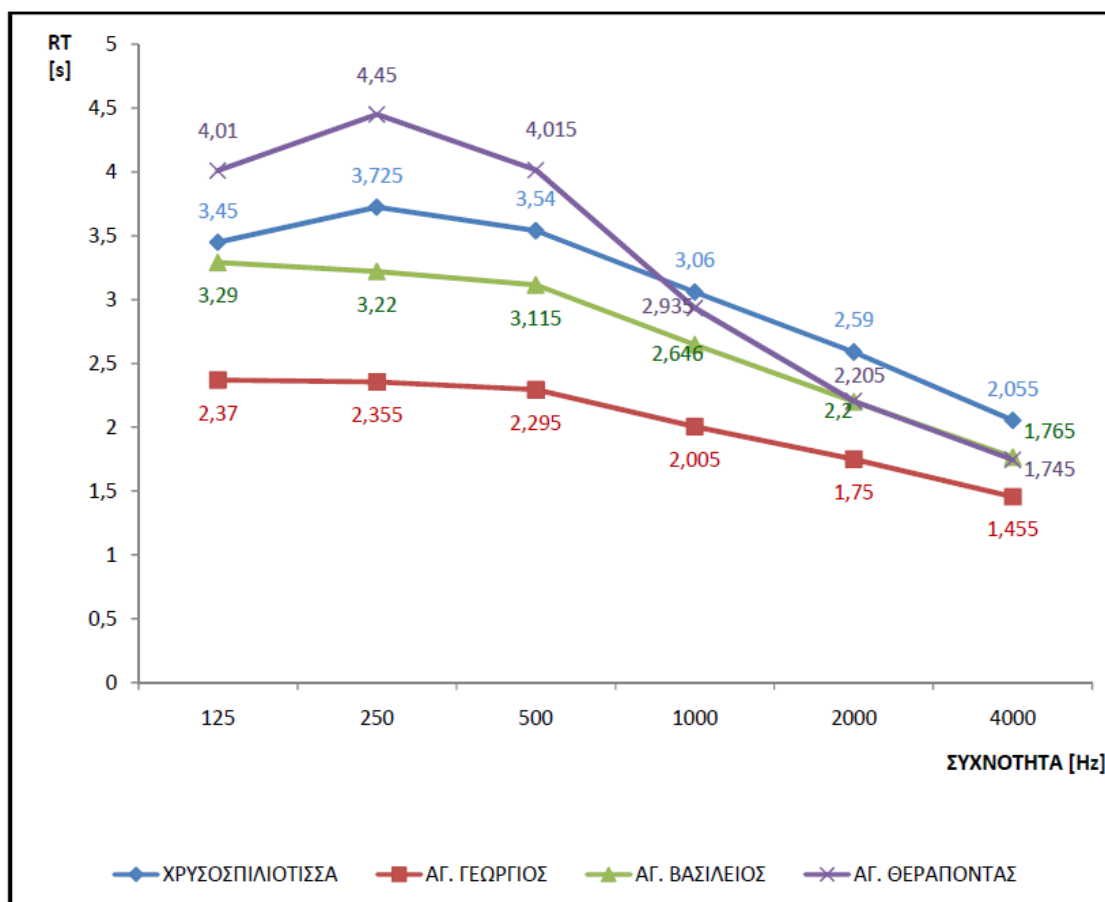
ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΧΩΡΟΥ	ΟΜΑΔΑ Α - 19 <sup>ος</sup> Αιώνας	ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	V(m <sup>3</sup> )
ΧΡΥΣΟΣΠΙΛΙΟΤΙΣΣΑ	<p>Ο ναός αυτός βρίσκεται μεταξύ των οδών Αιόλου και Χρυσοσπιλιότισσης. Η περίτεχνη εκκλησία αποτελεί δείγμα της εκλεκτικής σχολής (συνδυασμός στοιχείων διαφορετικών περιόδων και τύπων εκκλησιαστικής αρχιτεκτονικής), που κυριάρχησε στην Ελλάδα τον 19ο αιώνα. Είναι ένα εντυπωσιακό διώροφο κτήριο με δύο κωδωνοστάσια σε κάθε πλευρά του νάρθηκα</p> 	1846-1863	5930

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΧΩΡΟΥ	ΟΜΑΔΑ Α - 19 <sup>ος</sup> Αιώνας	ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	V(m <sup>3</sup> )
ΑΓ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΚΑΡΥΤΣΗ	<p>Θα συναντήσετε τον ναό του Αγίου Γεωργίου Καρύτση στη συμβολή των οδών Παρνασσού και Χρήστου Λαδά, πολύ κοντά στο Μουσείο του Δήμου Αθηναίων. Ο Ναός όπως τον παρατηρούμε σήμερα, είναι μία βασιλική με τρούλλο και τρεις διαδρόμους και είναι χτισμένος στην τοποθεσία όπου βρισκόταν προγενέστερος Βυζαντινός ναός που ανήκε στην οικογένεια Καρύτση, εξ'ού και το όνομα Καρύτσης.</p> 	1845-1849	2500

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΧΩΡΟΥ	ΟΜΑΔΑ Β - 20 <sup>ος</sup> Αιώνας	ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	V(m <sup>3</sup> )
<p data-bbox="300 745 475 808">ΑΓΙΟΥ ΘΕΡΑΠΟΝΤΑ</p>	<p data-bbox="528 409 1038 824">Το 1922 γίνεται η θεμελίωση του αρχικού μικρού ναού και το 1924, η συνοικία του Ζωγράφου έχει τον ναό του Αγίου Θεράποντα. Σιγά-σιγά όμως η συνοικία μεγαλώνει και οι ανάγκες για μεγαλύτερο ναό γίνονται επιτακτικές. Γι' αυτό από το 1950 ξεκινάει η προσπάθεια για ανέγερση καινούριου μεγαλύτερου ναού στον ίδιο χώρο που ήταν ο παλαιότερος ναός. Το 1952 θεμελιώνεται ο καινούριος ναός, την ίδια χρονιά γίνεται και η πρώτη θεία Λειτουργία, εγκαίρως όμως έγιναν πολύ αργότερα, συγκεκριμένα το 1964.</p> 	<p data-bbox="1098 763 1222 790">1922-1964</p>	<p data-bbox="1289 763 1353 790">6150</p>

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΧΩΡΟΥ	ΟΜΑΔΑ Β - 20 <sup>ος</sup> Αιώνας	ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	V(m <sup>3</sup> )
ΑΓΙΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ	<p>Ο ιερός Ναός θεμελιώθηκε την 10η Ιανουαρίου 1932 και περατώθηκε τον Απρίλιο του 1933. Στις προσπάθειες για την ανέγερση και αποπεράτωση του ναού, κυρίως κατά τα πρώτα χρόνια, συντέλεσε ο ιερέας Ιωάννης Γιανναύλης, που υπηρέτησε σε αυτόν κατά τα έτη 1933-1935. Ο Ναός παραδίδεται στην ενορία από τον Μακαριότατο Αρχιεπίσκοπο Αθηνών Χρυσόστομο ο οποίος τον Ιούλιο του 1935 τελεί τα εγκαίνια του νεοσυσταθέντος Ναού</p> 	1932-1935	4800

## [RT]



Εικόνα 3.4 Γράφημα χρόνου αντήχησης – συχνότητας.

Οι μελετητές έκαναν τις μετρήσεις σε άδειους ναούς. Συμπεραίνουν πως υπάρχει διαφοροποίηση του χρόνου αντήχησης λόγω της μεταβολής του όγκου καθώς και ότι οι χρόνοι αντήχησης είναι πολύ χαμηλοί.

Η προσέγγιση του προβλήματος που παρουσιάζει η ακουστική στην ορθόδοξη ναοδομία της νεότερης Ελλάδας απαιτεί διεύρυνση του δείγματος ναών αυτής της περιόδου. Η παρούσα εργασία αναλύει την ακουστική ορθόδοξων ναών ρυθμού σταυροειδούς εγγεγραμμένου με τρούλο.

Πέρα από τις μελέτες για ορθόδοξους ναούς, η διεθνής βιβλιογραφία παρέχει αρκετές έρευνες για τζαμιά. Δυο από αυτές βρέθηκε να σχετίζονται με τα ευρήματα της παρούσας εργασίας.

Οι Fausti, Pompoli και Prodi [27] πραγματοποίησαν ακουστικές μετρήσεις σε τζαμιά και ιστορικές βυζαντινές εκκλησίες. Οι εκκλησίες που επέλεξαν είναι η Αγία Ειρήνη (ή Ναός της Αγίας του Θεού Ειρήνης, ρυθμού τρουλαίας βασιλικής, τρίκλιτη) και η Αγία Σοφία (τρουλαία βασιλική, [33]) στην Κωνσταντινούπολη και η βασιλική του Αγίου Βιταλίου στη Ραβέννα [32]. Στην εισαγωγή του άρθρου οι συγγραφείς αναφέρουν:

«... Όσον αφορά τις βυζαντινές εκκλησίες, έχουν οκταγωνική κάτοψη (ή ελληνική σταυροειδή κάτοψη στην περίπτωση της Αγίας Ειρήνης) και παρουσιάζουν μια ευρεία στοά πάνω στην οποία υπέρκειται ένα ψηλό μπαλκόνι (γυναικωνίτης). Όλες τους καλύπτονται από τρούλους με ποικίλα ύψη. Τα υλικά τελειωμάτων του εσωτερικού διαφέρουν από αυτά των τζαμιών και επίσης από τη μια εκκλησία στην άλλη. Στην πραγματικότητα, ενώ στη Αγία Σοφία πολλές επιφάνειες ήταν καλυμμένες από μωσαϊκό ή μάρμαρο, στην Αγία Ειρήνη οι τοίχοι και η οροφή είναι φτιαγμένα από πέτρα και τούβλα. ... Οι όγκοι των χώρων που επιλέχθηκαν κυμαίνονται μεταξύ 5700 κυβικά μέτρα του τζαμιού Sokullu και του εκπληκτικού ψηφίου των 180000 κυβικών της Αγίας Σοφίας.

Στην αρχική ομάδα των χώρων που μετρήθηκαν, ο βυζαντινός ναός του Αγίου Βιταλίου προστέθηκε αργότερα αν και δεν είχε ρητά προγραμματισθεί στην εργασία. ... ο Άγιος Βιτάλιος, ο οποίος έχει όγκο σχεδόν 25800 κυβικά μέτρα, διαθέτει ακόμα και σήμερα αντανάκλαστικό πάτωμα όπως είχε και την εποχή που κτίσθηκε. ...»

Οι μετρήσεις αυτές έγιναν και πάλι σε άδειους χώρους και μία από τις παραμέτρους που μέτρησαν είναι ο χρόνος αντήχησης. Στα αποτελέσματα του άρθρου παρατίθενται τα ακόλουθα:

«Όπως αναμενόταν, οι χρόνοι αντήχησης σε τζαμιά και εκκλησίες παρουσιάζουν μια σημαντική συσχέτιση με την αύξηση του όγκου του χώρου. Παρόλα αυτά τα τζαμιά και οι βυζαντινές εκκλησίες συμπεριφέρονται διαφορετικά (όσον αφορά την ακουστική) ειδικά όταν ο όγκος είναι μεγαλύτερος. ... Είναι ενδιαφέρον να δούμε ότι ο χρόνος αντήχησης στις μεσαίες συχνότητες (εδώ μεσαίες συχνότητες θεωρούνται τα 500, 1000 και 2000 Hz) είναι σύμφωνος με αυτόν των άδειων αιθουσών συναυλιών με συγκρίσιμο όγκο, ενώ οι βυζαντινές εκκλησίες έχουν εν γένει μεγαλύτερη αντήχηση.»

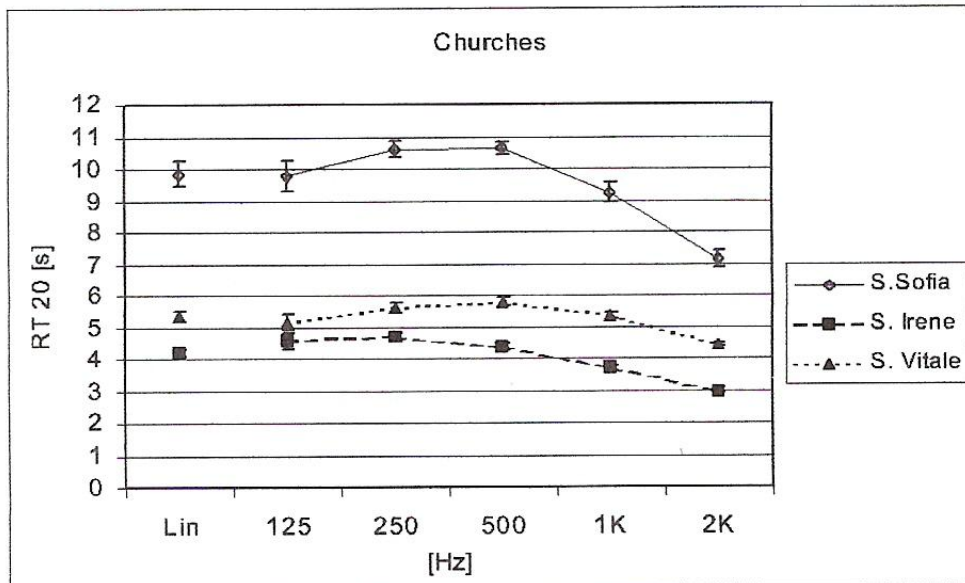


Figure 4. The dependence of reverberation time with frequency for the byzantine churches.

Εικόνα 3.5 Εξάρτηση των μετρηθέντων χρόνων αντήχησης με τη συχνότητα για τις βυζαντινές εκκλησίες.

«Στην πραγματικότητα, ενώ τα τζαμιά παρουσιάζουν μέγιστη αντήχηση στη χαμηλότερη συχνότητα (125 Hz), οι βυζαντινές εκκλησίες παρουσιάζουν μέγιστο στις μεσαίες συχνότητες. Το εύρημα αυτό έχει άμεση σχέση με την αντίληψη ενός ακροατή. Το ηχητικό πεδίο σε βυζαντινές εκκλησίες έχει εξαιρετικά μεγάλη αντήχηση και οι ήχοι επικαλύπτονται με το χρόνο με μικρή πιθανότητα να διαχωριστούν. Αυτό ισχύει επίσης για τις φράσεις που είτε απαγγέλλονται είτε ψάλλονται, των οποίων η καταληπτότητα επηρεάζεται σημαντικά από την αφθονία της αντήχησης. Τέτοιες συνθήκες αντήχησης βρίσκονται επίσης στο όριο να γίνουν αποδεκτές για εκκλησιαστική μουσική που παίζεται με (εκκλησιαστικό) όργανο. ...»



Ο Hammad [26] μέτρησε μεταξύ άλλων παραμέτρων και το χρόνο αντήχησης σε 30 τζαμιά στο Αμμάν της Ιορδανίας. Για να συγκρίνει τα αποτελέσματά του με τα επιθυμητά για εκκλησίες και αίθουσες ομιλίας παρέθεσε το επόμενο διάγραμμα, μολονότι δεν αναφέρει την προέλευσή του.

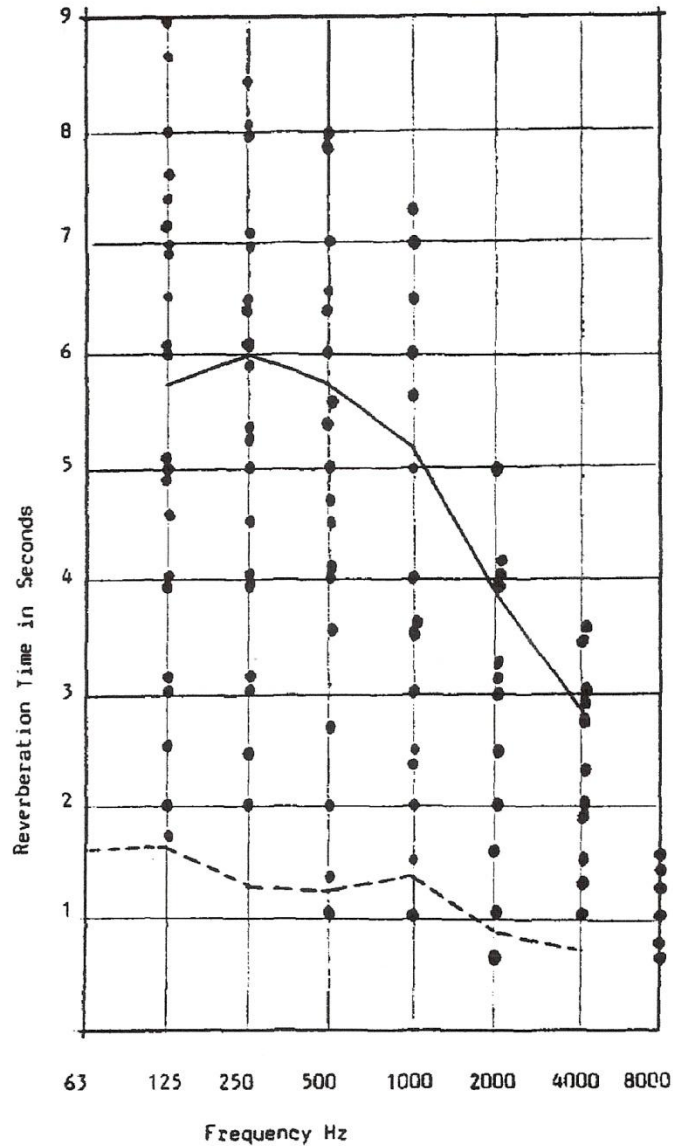


Fig. 4. The reverberation times recommended for churches (—), and lecture rooms (---), and the measured reverberation time in mosques (●).

Εικόνα 3.6 Συνιστώμενοι χρόνοι αντήχησης για εκκλησίες (συνεχής γραμμή) και αίθουσες ομιλίας (διακεκομμένη γραμμή) και μετρηθέντες χρόνοι αντήχησης σε τζαμιά (μαύρες βούλες).

Η καμπύλη που απεικονίζει τους συνιστώμενους χρόνους αντήχησης συναρτήσει της συχνότητας για εκκλησίες θα χρησιμοποιηθεί στο κεφάλαιο 6 για σύγκριση με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

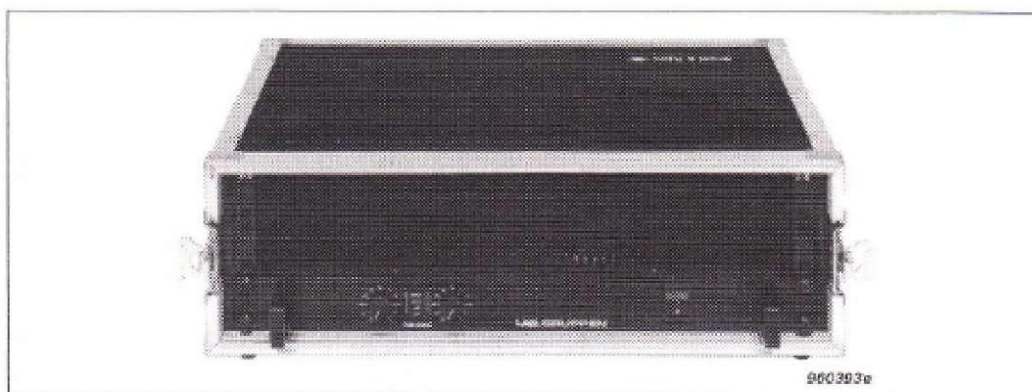
Στην παρούσα μελέτη παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από μετρήσεις χρονικών (RT, EDT) και ενεργειακών (D50, C80) ακουστικών παραμέτρων σε τέσσερις βυζαντινούς ναούς της Αθήνας. Τα αναλυτικά αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται σε πίνακες στο Παράρτημα στις σελίδες 121-137.

### 4.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Το πείραμα περιελάμβανε την διέγερση του χώρου με τα κατάλληλα μέσα, την καταγραφή και την επεξεργασία των μετρήσεων. Κατά την επεξεργασία απορρίφθηκαν μετρήσεις που παρουσίαζαν σημαντικές διαφοροποιήσεις από το μέσο όρο των μετρήσεων καθώς επίσης και οι μετρήσεις που παρουσίαζαν χαμηλό IRNR (Impulse Response to Noise Ratio). Χρησιμοποιήθηκε 1 μέθοδος διέγερσης, με σήμα Sweep (συνημίτονοειδές γραμμικό ή εκθετικό). Οι διέγερση έγινε με την χρήση τελικού ενισχυτή monoblock και δωδεκάεδρου ηχείου.

- Ενισχυτής

Είναι τύπου 2716, έχει δύο κανάλια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανεξάρτητα ή από κοινού και η συνολική ισχύς εξόδου είναι της τάξης των 300 W.



**Ενισχυτής 2716 (Bruel & Kjaer: Power Amplifier Type 2716)**



- Πηγή ήχου

Είναι τύπου 4296, χρησιμοποιεί ένα σύμπλεγμα από 12 ηχεία σε ένα δωδεκάεδρο που ακτινοβολεί ομοιόμορφα με ένα σφαιρικό διανομής. Τα δώδεκα ηχεία συνδέονται σε μια σειρά (παράλληλο δίκτυο).



Σχήμα 4.1 Πηγή ήχου (OmniPower Sound Source Type 4296)

- Ηχώμετρο

Το όργανο αυτό χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση του θορύβου βάθους και είχε τη μορφή του σχήματος 4.2.



Σχήμα 4.2 Ηχώμετρο με ψηφιακή ένδειξη.

### 4.3 ΧΡΗΣΙΜΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

Οι παράμετροι που μετρήθηκαν είναι:

- **EEF<sub>50</sub>** (κλάσμα πρώτων ανακλάσεων)  
Κλάσμα πρώτων ανακλάσεων ή καταληπτότητα είναι ο λόγος της ενέργειας που φτάνει σε ένα σημείο του χώρου κατά τα πρώτα 50 msec της παλμικής απόκρισης του χώρου μετά τον άμεσο ήχο, προς την συνολική ενέργεια. Βέλτιστη τιμή του EEF<sub>50</sub> είναι το 0.50.

$$(EEF_{50}) = \frac{\text{ΗΧΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΦΘΑΝΕΙ ΣΤΟΝ ΑΚΡΟΑΤΗ ΕΝΤΟΣ 50 ms}^*}{\text{ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΗΧΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΦΘΑΝΕΙ ΣΤΟΝ ΑΚΡΟΑΤΗ}^*}$$

\* Έναρξη χρόνου είναι η στιγμή άφιξης στον ακροατή του απ' ευθείας ήχου

- **80ms E-To-L** (λόγος πρώτων-προς-καθυστερημένες ανακλάσεις)  
Λόγος πρώτων-προς-καθυστερημένες ανακλάσεις ή δείκτης διαύγειας είναι ο λογάριθμος του λόγου της ενέργειας που φτάνει σε ένα σημείο του χώρου κατά τα πρώτα 80 msec της παλμικής απόκρισης του χώρου μετά τον άμεσο ήχο, προς τη λοιπή ηχητική ενέργεια. Βέλτιστη τιμή του 80ms E-To-L είναι το 0 και για 80ms E-To-L<0 έχουμε υποκειμενική α-ντήρηση, ενώ για 80ms E-To-L>0 έχουμε υποκειμενική ευκρίνεια.

$$E\text{-to-L} = 10 \log \frac{(\text{Ηχητική ενέργεια που φθάνει στον ακροατή πριν τα 80 ms}^9)}{(\text{Ηχητική ενέργεια που φθάνει στον ακροατή μετά τα 80 ms}^9)} \text{ [dB]}$$

<sup>9</sup> Έναρξη χρόνου είναι η στιγμή άφιξης στον ακροατή του απ' ευθείας ήχου.

- **RT** (χρόνος αντήρησης)  
Ως χρόνος αντήρησης (RT) καλείται ο χρόνος που χρειάζεται ο ήχος για να χάσει 60 dB από την αρχική του ένταση, από τη στιγμή της διακοπής παραγωγής του μέσα σε ένα χώρο. Εξαρτάται από τον όγκο του χώρου και την ηχοαπορρόφηση.
- **EDT** (χρόνος απόσβεσης πρώτων ανακλάσεων)  
Ο χρόνος απόσβεσης των πρώτων ανακλάσεων (EDT) εκφράζει το χρόνο που χρειάζεται ο ήχος για να χάσει 10 dB από την αρχική του ένταση.

$$EDT = 10 \log \frac{(\text{ΗΧΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΦΘΑΝΕΙ ΣΤΟΝ ΑΚΡΟΑΤΗ ΠΡΙΝ ΤΑ 10 ms}^9)}{(\text{ΗΧΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΦΘΑΝΕΙ ΣΤΟΝ ΑΚΡΟΑΤΗ ΜΕΤΑ ΤΑ 10 ms}^9)}$$

- **Θόρυβος βάθους**  
Είναι ο θόρυβος που εκπέμπεται από όλες τις πηγές που βρίσκονται στο περιβάλλον και δε μας ενδιαφέρουν. Προέρχεται είτε από εξωτερι-

κούς παράγοντες, όπως τα μεταφορικά μέσα, ο άνεμος, η βροχή, το χαλάζι, το τρίξιμο των τζαμιών, η συγκέντρωση ανθρώπων είτε από εσωτερικούς, όπως το σύστημα κλιματισμού, τα φώτα, το ακροατήριο του χώρου.



## 4.4 ΝΑΟΙ ΠΟΥ ΕΠΙΛΕΧΘΗΚΑΝ

Επιλέχθηκαν τέσσερις σύγχρονοι ναοί της Αττικής, μεγάλου σχετικά όγκου, κατασκευασμένοι τον 20ό αιώνα, ρυθμού σταυροειδούς εγγεγραμμένου με τρούλο. Τα γενικά χαρακτηριστικά αυτών αναφέρονται στη συνέχεια.

### 1) Αγία Ειρήνη Γαλασίου

Βρίσκεται επί των οδών Πανουργία και Αλκυόνης στο Γαλάτσι Αττικής. Ο κυρίως ναός κατασκευάστηκε το 1982 παρότι η θεμελίωσή του έγινε νωρίτερα. Στον ισόγειο χώρο της εκκλησίας υπάρχει ο αρχικός ναός, επιφάνειας 800 τετραγωνικών μέτρων, αλλά τα μυστήρια τελούνται πλέον στον ναό του επάνω ορόφου. Σε αυτόν έγιναν και οι μετρήσεις ακουστικής, η επιφάνειά του είναι 700 περίπου τετραγωνικά μέτρα και εσωτερικά αποτελείται από τρία κλίτη. Ο όγκος του ναού υπολογίστηκε σε 7445 κυβικά μέτρα.



## 2) Αγία Σοφία Νέου Ψυχικού

Ο πρώτος ναός της Αγίας Σοφίας κτίσθηκε μεταξύ των ετών 1934-1937. Ο ναός τέθηκε σε λειτουργία για πρώτη φορά το 1937 και τα εγκαίνιά του έλαβαν χώρα στις 2-6-1940. Με την αύξηση των κατοίκων του Νέου Ψυχικού αποφασίστηκε το κτίσιμο καινούριου μεγάλου ναού, του οποίου η θεμελίωση έγινε στις 22-10-1961, ολοκληρώθηκε το 1968 και τα εγκαίνιά του έγιναν στις 19-10-1975. Βρίσκεται στην πλατεία Αγίας Σοφίας και ο όγκος του υπολογίστηκε σε 5345 κυβικά μέτρα.



### 3) Αγία Τριάδα Χολαργού

Ο ναός αυτός βρίσκεται επί της οδού Αθανασίου Διάκου, κοντά στο άλσος Χολαργού. Ο υπόγειος χώρος κατασκευάστηκε το 1971 και δέκα χρόνια αργότερα ολοκληρώθηκε η κατασκευή του κυρίως ναού. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτής της εκκλησίας είναι πως δεν υπάρχει καμιά κολώνα στο εσωτερικό της και έτσι μένει ελεύθερο οπτικό πεδίο στον πιστό διαστάσεων 23,5\*22,5 τετραγωνικών μέτρων. Ο όγκος του ναού υπολογίστηκε σε 4645 κυβικά μέτρα.



#### 4) Αγία Τριάδα Αμπελοκήπων

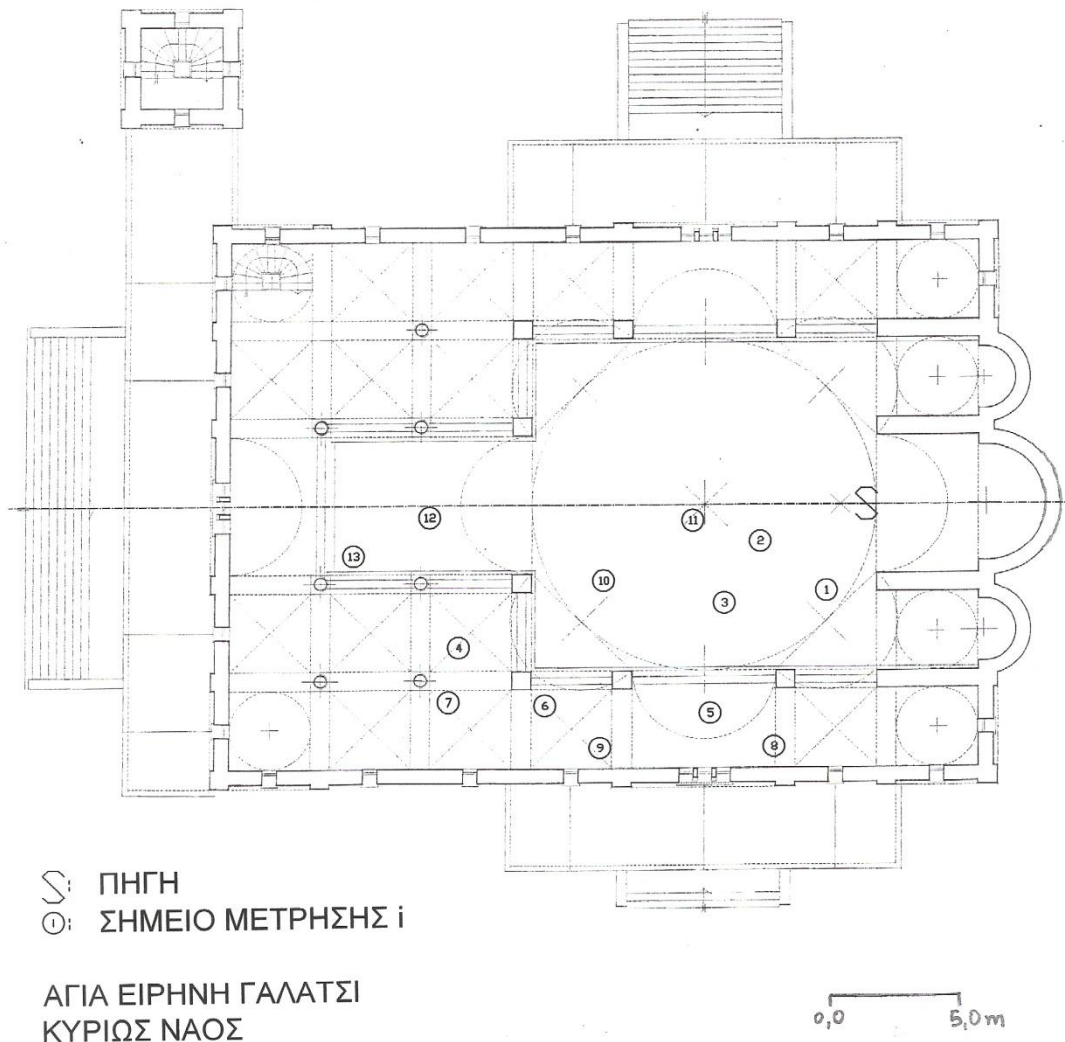
Ο παλαιότερος και μικρότερος σε όγκο ναός που επιλέχθηκε για το πείραμα είναι η Αγία Τριάδα, που βρίσκεται επί της λεωφόρου Κηφισίας στο ύψος των Αμπελοκήπων. Εκεί τελούνται Ιερά Μυστήρια από το 1930 και ο όγκος του ναού δεν ξεπερνά τα 3965 κυβικά μέτρα.

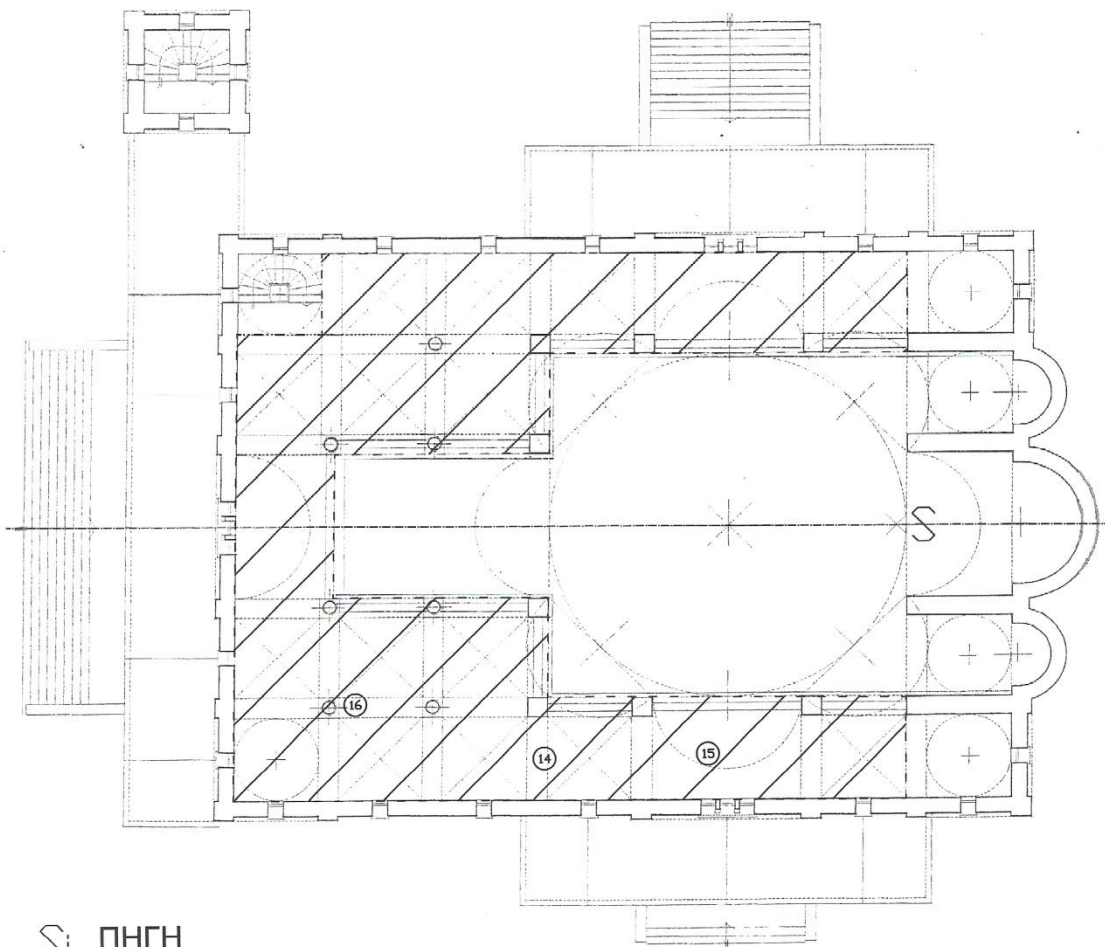


## 4.5 ΚΑΤΟΨΕΙΣ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Παρακάτω παρατίθενται οι κατόψεις δυο εκ των τεσσάρων ναών που μελετήθηκαν, ώστε ο αναγνώστης να έχει μια ικανοποιητική αντίληψη για τους χώρους όπου διεξήχθησαν οι μετρήσεις. Στις κατόψεις αυτές σημειώνονται και οι θέσεις που τοποθετήθηκαν τα όργανα για τις μετρήσεις. Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για κάθε μια θέση παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα στις σελίδες 121-137.

### 4.5.1 Αγία Ειρήνη Γαλασίου

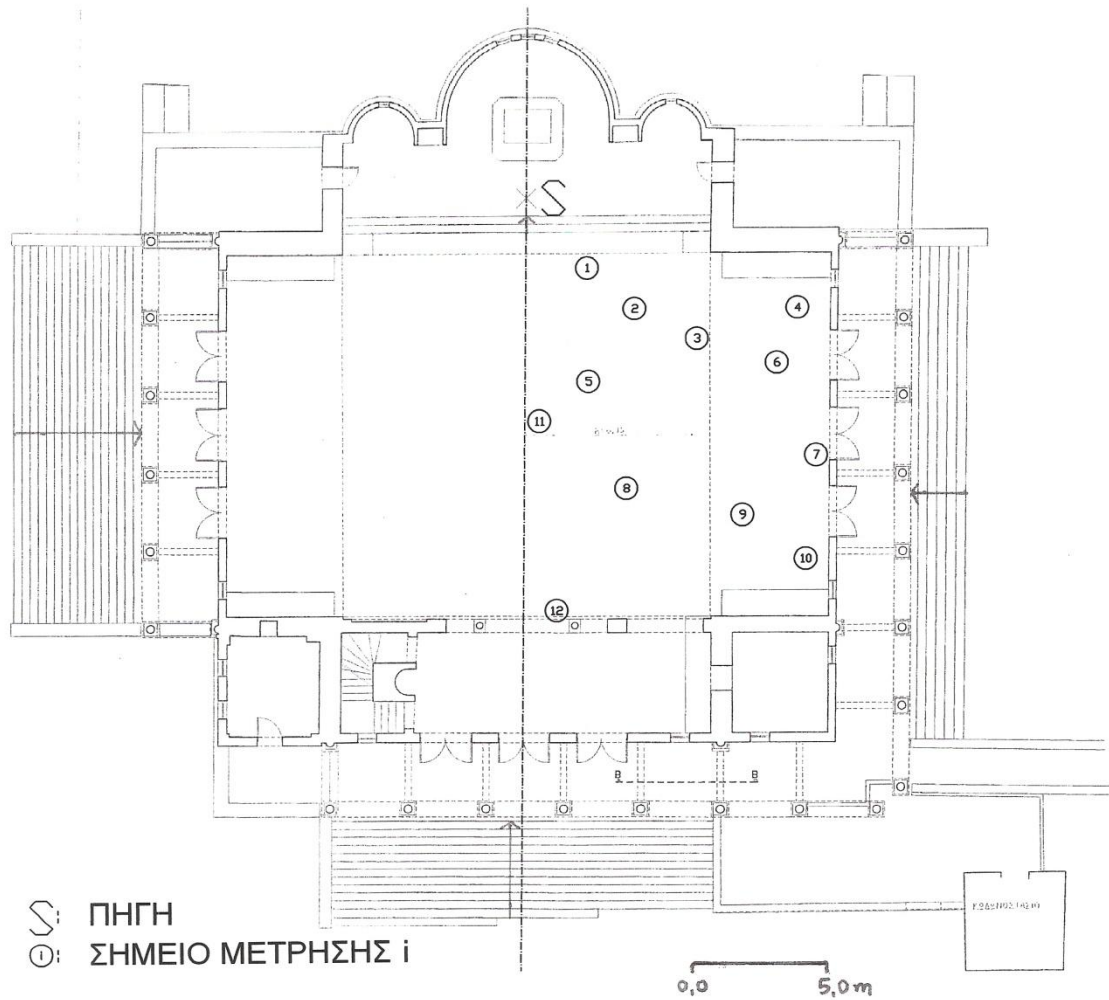




S: ΠΗΓΗ  
 ①: ΣΗΜΕΙΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ i  
 ΑΓΙΑ ΕΙΡΗΝΗ ΓΑΛΑΤΣΙ  
 ▨ ΓΥΝΑΙΚΩΝΙΤΗΣ

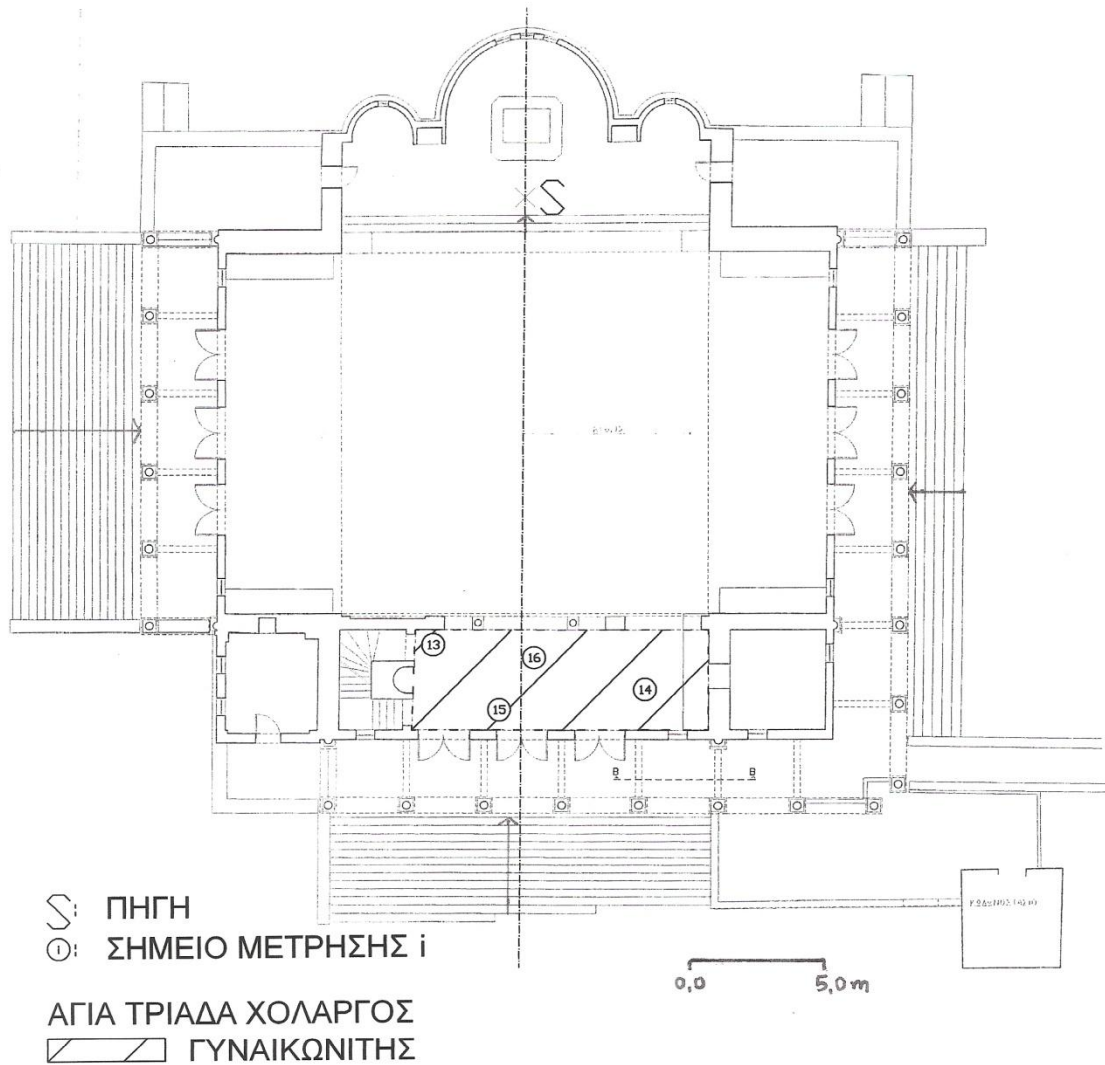
0,0 5,0 m

### 4.5.2 Αγία Τριάδα Χολαργού



S: ΠΗΓΗ  
①: ΣΗΜΕΙΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ i

ΑΓΙΑ ΤΡΙΑΔΑ ΧΟΛΑΡΓΟΣ  
ΚΥΡΙΩΣ ΝΑΟΣ





## 4.6 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

Στόχος των φωτογραφιών, σε συνδυασμό με τα παραπάνω σχέδια είναι να έχει ο αναγνώστης της παρούσας εργασίας μια άποψη για τα συγκεκριμένα μνημεία όσον αφορά τον όγκο και την αρχιτεκτονική τους.

### 4.6.1 Αγία Ειρήνη Γαλασίου



Φωτογραφία 1. Εσωτερική άποψη του ναού.



Φωτογραφίες 2 και 3. Άποψη του γυναικωνίτη από το ιερό.

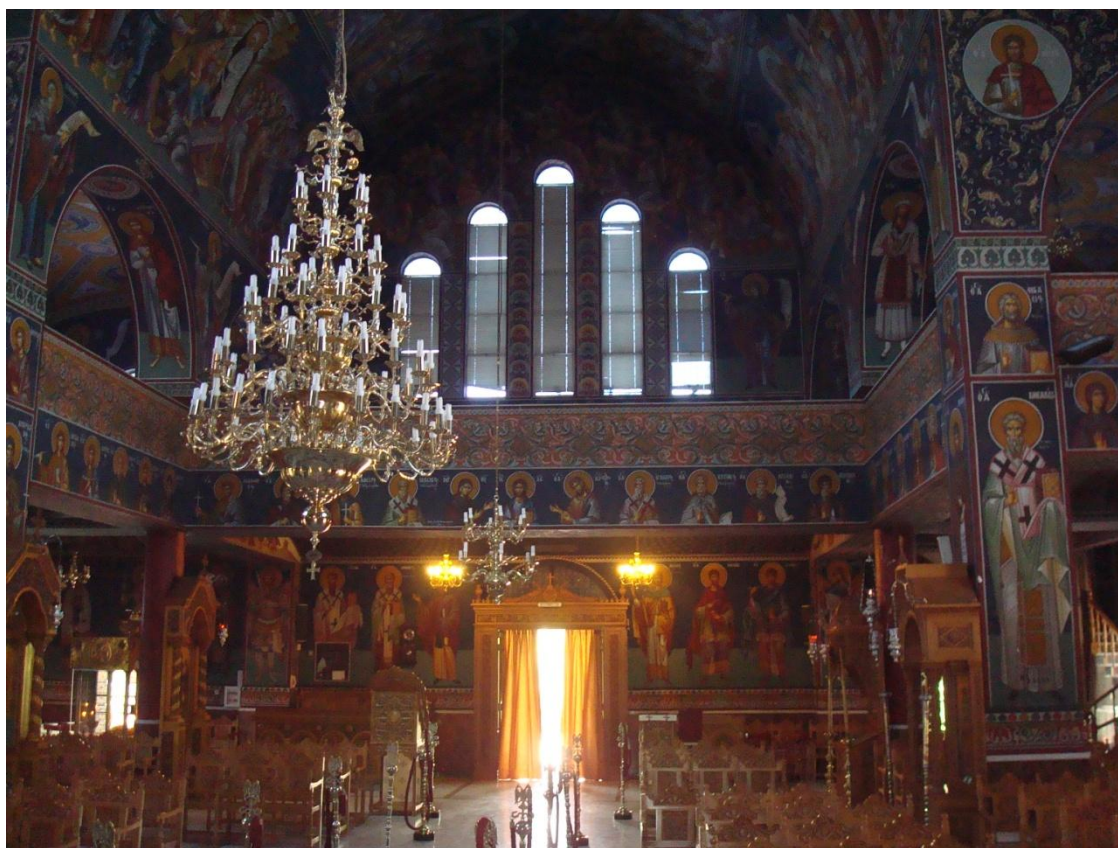




Φωτογραφία 4 (πάνω). Ο γυναικωνίτης.  
Φωτογραφία 5 (κάτω). Εξωτερική άποψη του ναού.



#### 4.6.2 Αγία Σοφία Νέου Ψυχικού



Φωτογραφία 6. Εσωτερική άποψη του ναού.



Φωτογραφία 7 (πάνω). Ο γυναικωνίτης.  
Φωτογραφία 8 (κάτω). Εξωτερική άποψη του ναού.



### 4.6.3 Αγία Τριάδα Χολαργού



Φωτογραφία 9. Εσωτερική άποψη του ναού.



Φωτογραφίες 10 και 11. Ο γυναικωνίτης από χαμηλά και από κοντά.





Φωτογραφία 12. Εξωτερική άποψη του ναού.



#### 4.6.4 Αγία Τριάδα Αμπελοκήπων



Φωτογραφία 13. Εξωτερική άποψη του ναού.

Φωτογραφία 14. Εσωτερική άποψη του ναού.





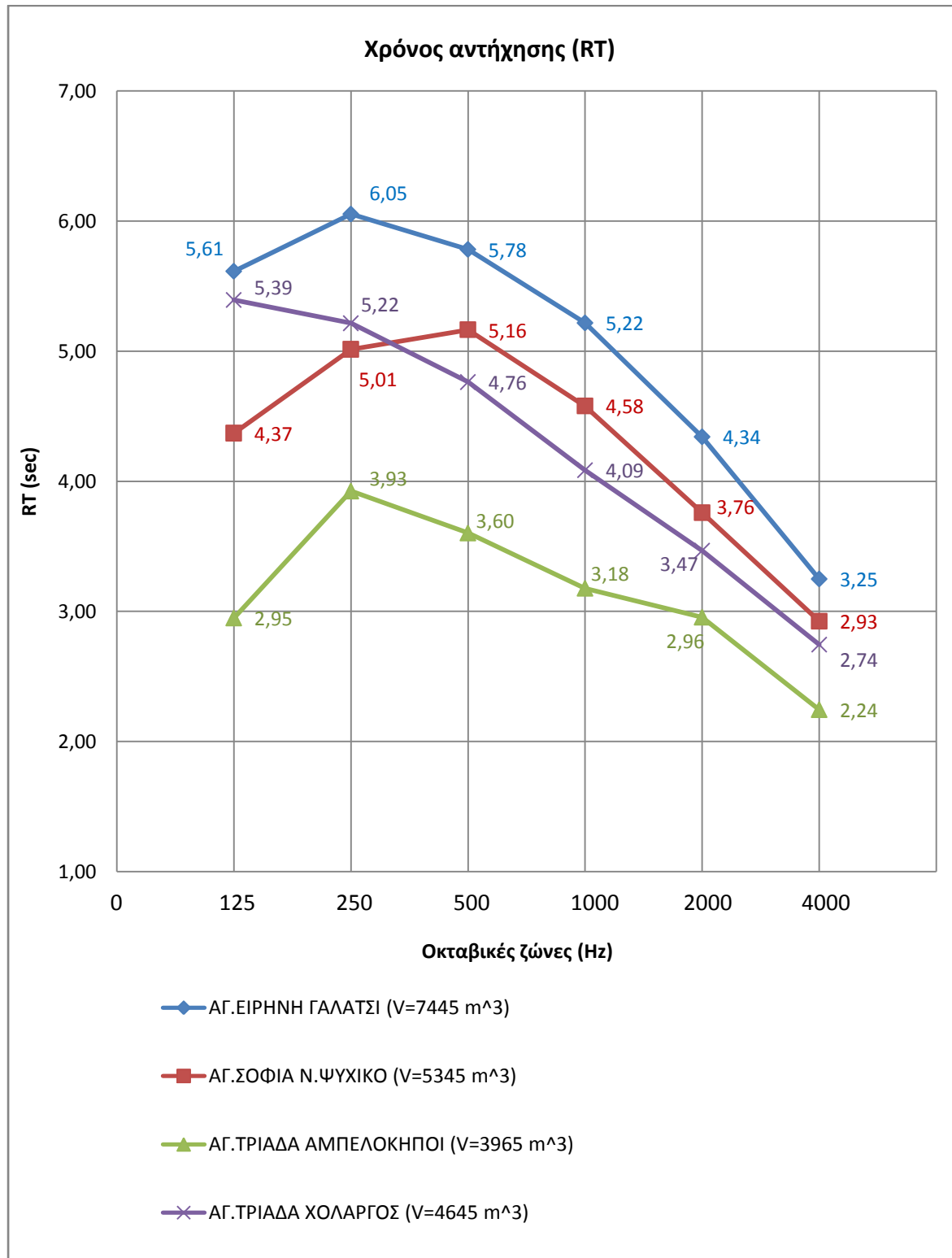
Φωτογραφίες 15 και 16. Ο γυναικωνίτης από κοντά και από χαμηλά.

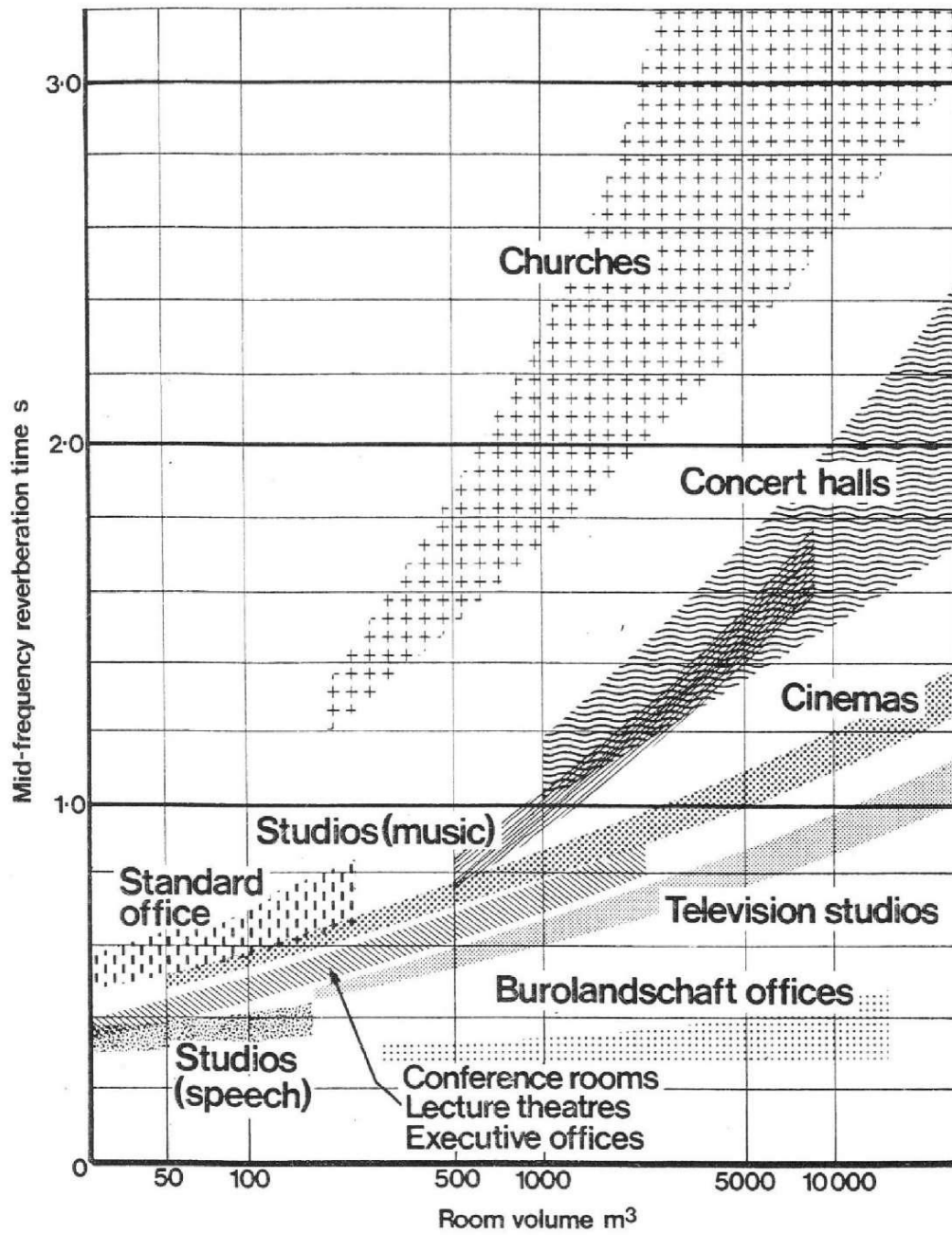


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Μετά τη διεξαγωγή των μετρήσεων και την στατιστική τους επεξεργασία (με τα προγράμματα Digac και Microsoft Office - Excel) προέκυψαν τα γραφήματα που παρατίθενται παρακάτω.

### 5.1 ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ (RT - ΓΙΑ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΝΑΟΥΣ)



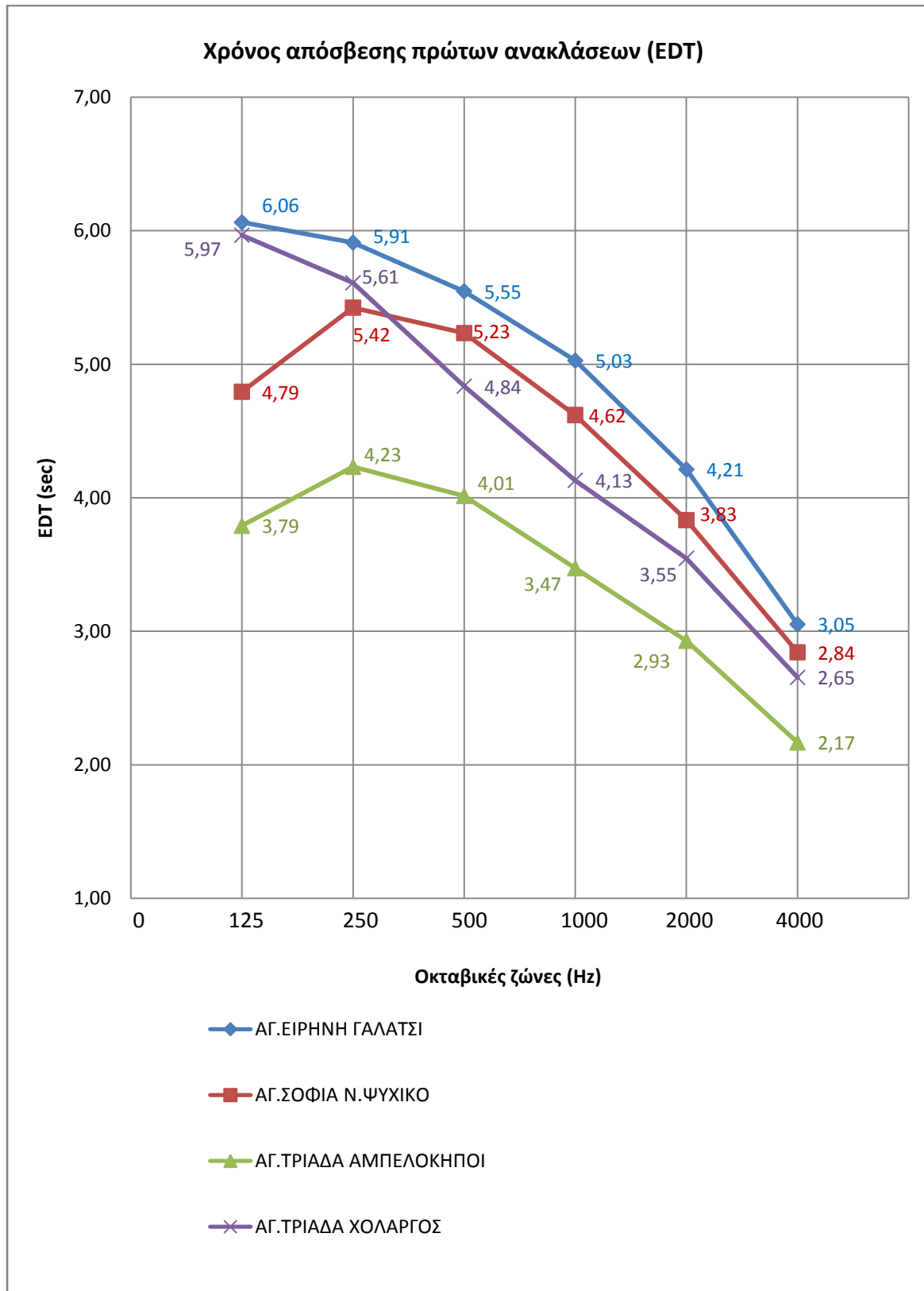


Σχήμα 5.1 Βέλτιστος χρόνος αντήχησης για μεσαίες συχνότητες (500 – 1.000 Hz) [6].

ΝΑΟΣ	ΟΓΚΟΣ (m <sup>3</sup> )	RT <sub>500-1000 Hz</sub> (sec)	Βέλτιστος RT (sec)
ΑΓ.ΕΙΡΗΝΗ ΓΑΛΑΤΣΙΟΥ	7445	5,50	2,4-3,2
ΑΓ.ΣΟΦΙΑ Ν.ΨΥΧΙΚΟΥ	5345	4,87	2,35-3,2
ΑΓ.ΤΡΙΑΔΑ ΧΟΛΑΡΓΟΥ	4645	4,42	2,15-3,2
ΑΓ.ΤΡΙΑΔΑ ΑΜΠΕΛΟ- ΚΗΠΩΝ	3965	3,39	2,1-3,2

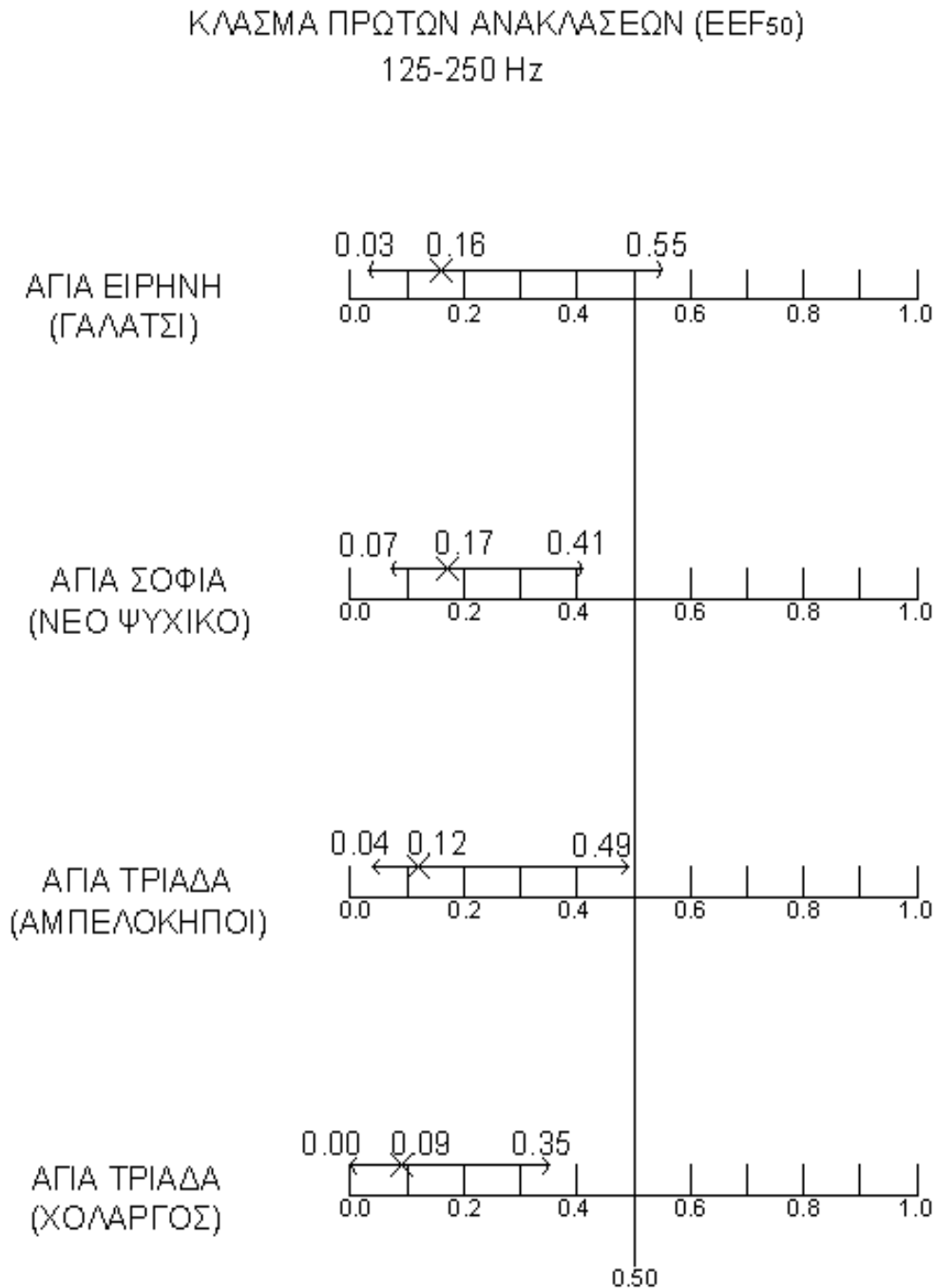
Σχήμα 5.2 Μετρηθείς και βέλτιστος χρόνος αντήχησης [6] για κάθε ναό (βλέπε και σελίδες 21 και 56).

## 5.2 ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΠΡΩΤΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ (EDT - ΓΙΑ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΝΑΟΥΣ)



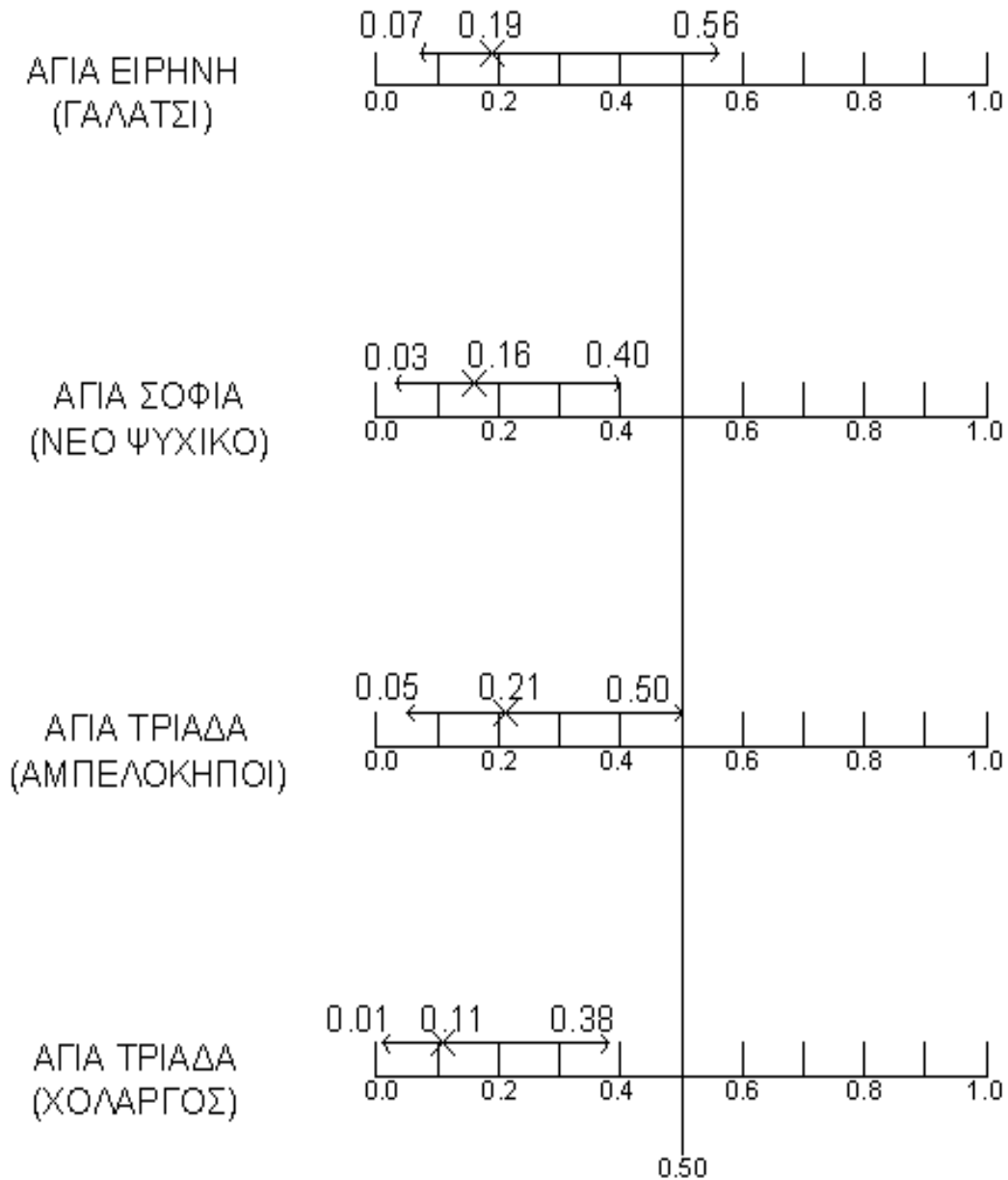
### 5.3 ΚΛΑΣΜΑ ΠΡΩΤΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ (EEF<sub>50</sub>)

A) Κυρίως ναός



Σχήμα 5.3 Μετρηθείσες τιμές του κλάσματος πρώτων ανακλάσεων στις χαμηλές συχνότητες (μέσος όρος 125 και 250 Hz) για ισότροπη ηχητική πηγή σε 4 βυζαντινούς ναούς στην Αθήνα. Μέσες τιμές, καθώς μέγιστες και ελάχιστες δίνονται για κάθε ναό. Αποδεκτές τιμές είναι  $\geq 0.50$  (βλέπε σελ. 56).

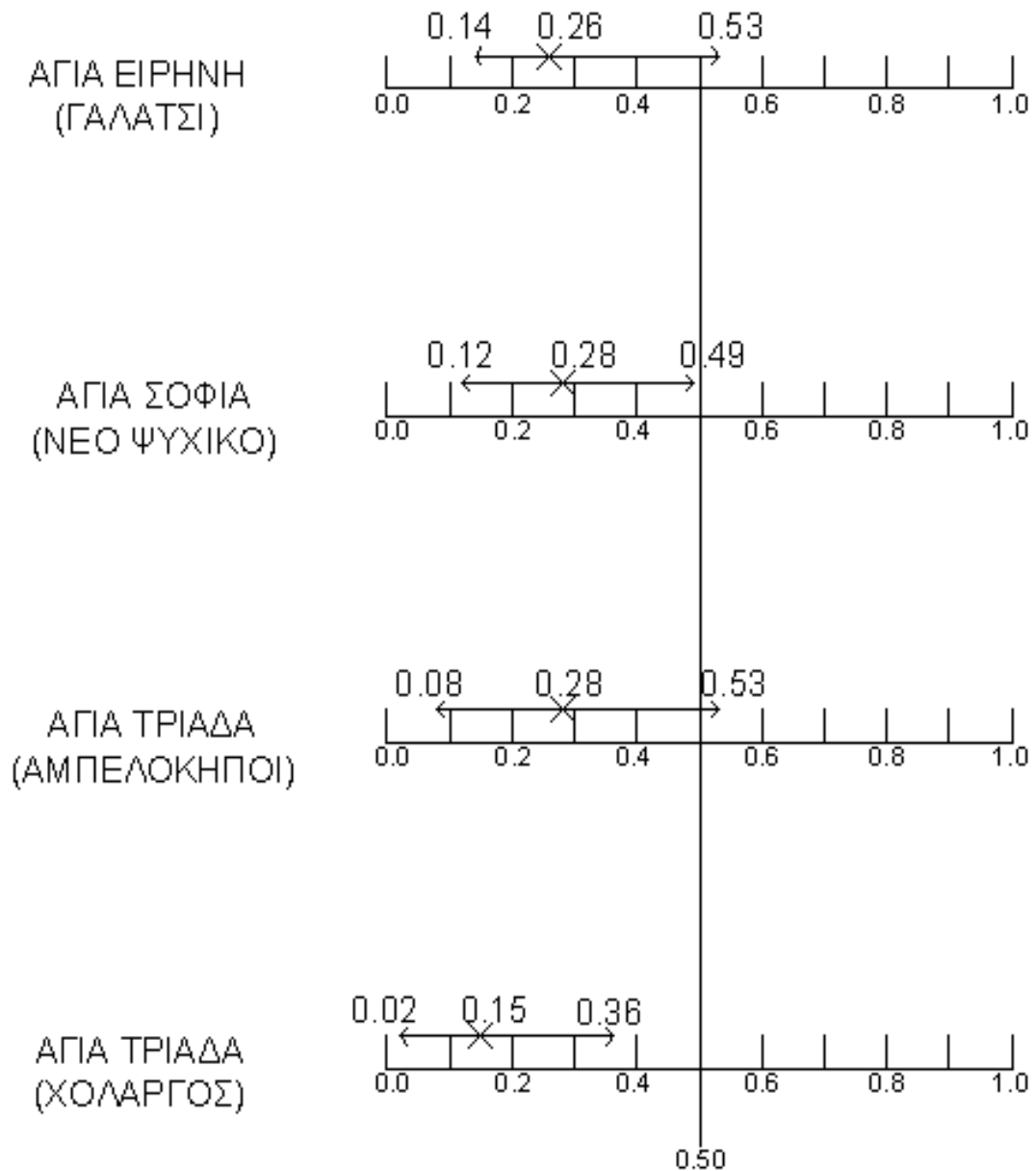
ΚΛΑΣΜΑ ΠΡΩΤΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ (EEF<sub>50</sub>)  
500-1000 Hz



Σχήμα 5.4 Μετρηθείσες τιμές του κλάσματος πρώτων ανακλάσεων στις μεσαίες συχνότητες (μέσος όρος 500 και 1.000 Hz) για ισότροπη ηχητική πηγή σε 4 βυζαντινούς ναούς στην Αθήνα. Μέσες τιμές, καθώς μέγιστες και ελάχιστες δίνονται για κάθε ναό. Αποδεκτές τιμές είναι  $\geq 0.50$  (βλέπε σελ. 56).

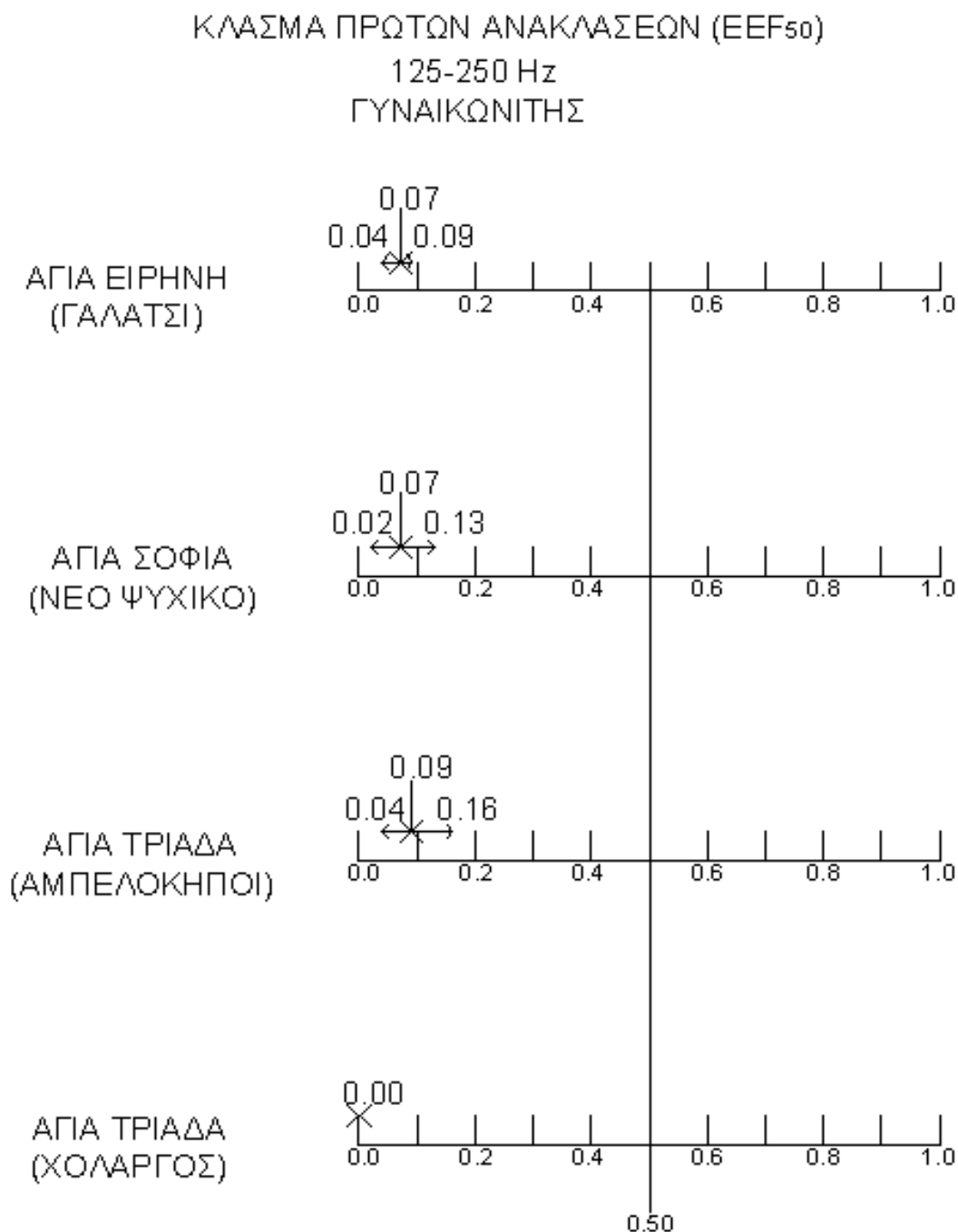


ΚΛΑΣΜΑ ΠΡΩΤΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ (EEF<sub>50</sub>)  
2000-4000 Hz



Σχήμα 5.5 Μετρηθείσες τιμές του κλάσματος πρώτων ανακλάσεων στις υψηλές συχνότητες (μέσος όρος 2.000 και 4.000 Hz) για ισότροπη ηχητική πηγή σε 4 βυζαντινούς ναούς στην Αθήνα. Μέσες τιμές, καθώς μέγιστες και ελάχιστες δίνονται για κάθε ναό. Αποδεκτές τιμές είναι  $\geq 0.50$  (βλέπε σελ. 56).

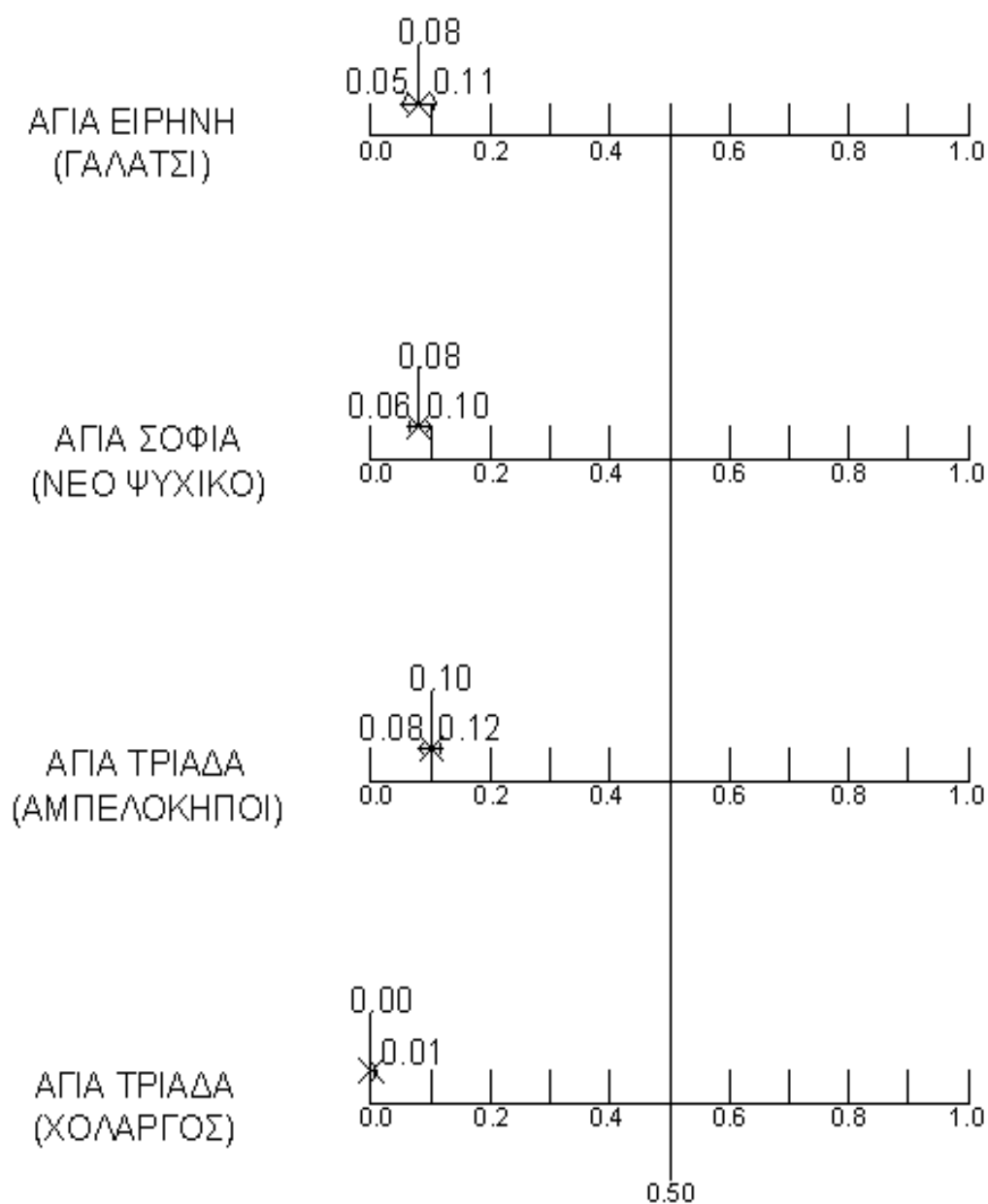
## B) Γυναικωνίτης



Σχήμα 5.6 Μετρηθείσες τιμές του κλάσματος πρώτων ανακλάσεων στις χαμηλές συχνότητες (μέσος όρος 125 και 250 Hz) για ισότροπη ηχητική πηγή στο γυναικωνίτη, σε 4 βυζαντινούς ναούς στην Αθήνα. Μέσες τιμές, καθώς μέγιστες και ελάχιστες δίνονται για κάθε ναό. Αποδεκτές τιμές είναι  $\geq 0.50$  (βλέπε σελ. 56).

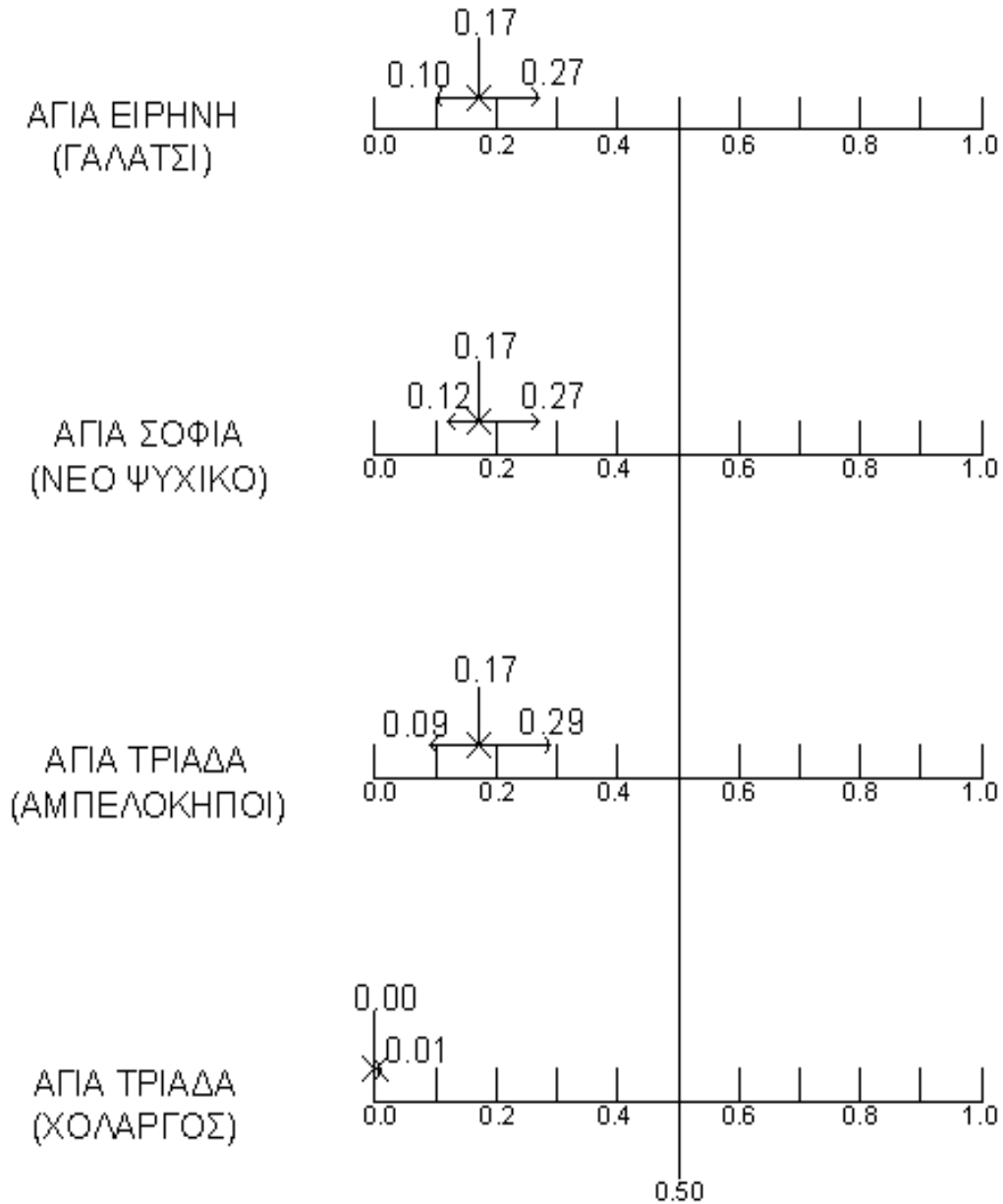
ΚΛΑΣΜΑ ΠΡΩΤΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ (EEF<sub>50</sub>)

500-1000 Hz  
ΓΥΝΑΙΚΩΝΙΤΗΣ



Σχήμα 5.7 Μετρηθείσες τιμές του κλάσματος πρώτων ανακλάσεων στις μεσαίες συχνότητες (μέσος όρος 500 και 1.000 Hz) για ισότροπη ηχητική πηγή στο γυναικωνίτη, σε 4 βυζαντινούς ναούς στην Αθήνα. Μέσες τιμές, καθώς μέγιστες και ελάχιστες δίνονται για κάθε ναό. Αποδεκτές τιμές είναι  $\geq 0.50$  (βλέπε σελ. 56).

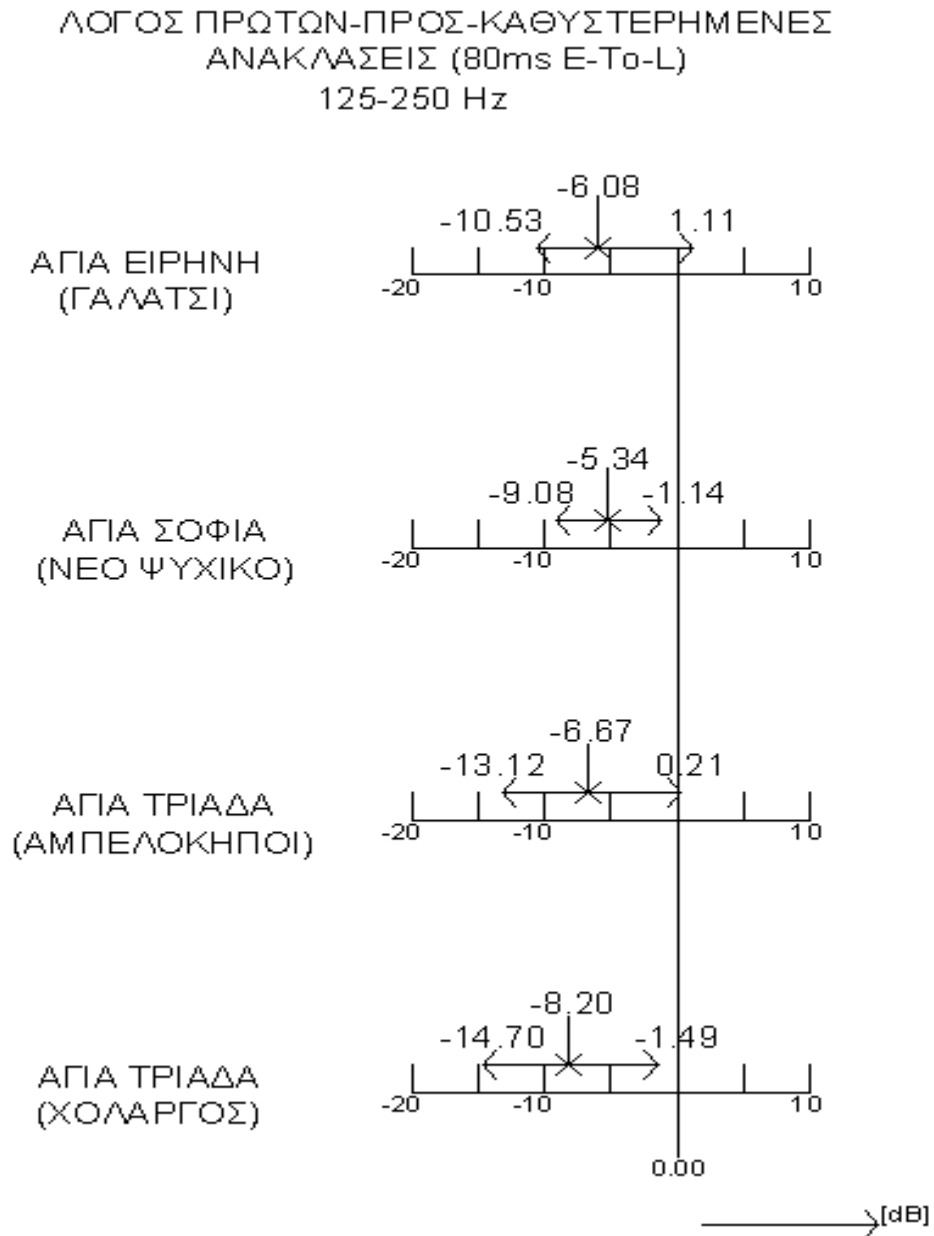
ΚΛΑΣΜΑ ΠΡΩΤΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ (EEF<sub>50</sub>)  
 2000-4000 Hz  
 ΓΥΝΑΙΚΩΝΙΤΗΣ



Σχήμα 5.8 Μετρηθείσες τιμές του κλάσματος πρώτων ανακλάσεων στις υψηλές συχνότητες (μέσος όρος 2.000 και 4.000 Hz) για ισότροπη ηχητική πηγή στο γυναικωνίτη, σε 4 βυζαντινούς ναούς στην Αθήνα. Μέσες τιμές, καθώς μέγιστες και ελάχιστες δίνονται για κάθε ναό. Αποδεκτές τιμές είναι  $\geq 0.50$  (βλέπε σελ. 56).

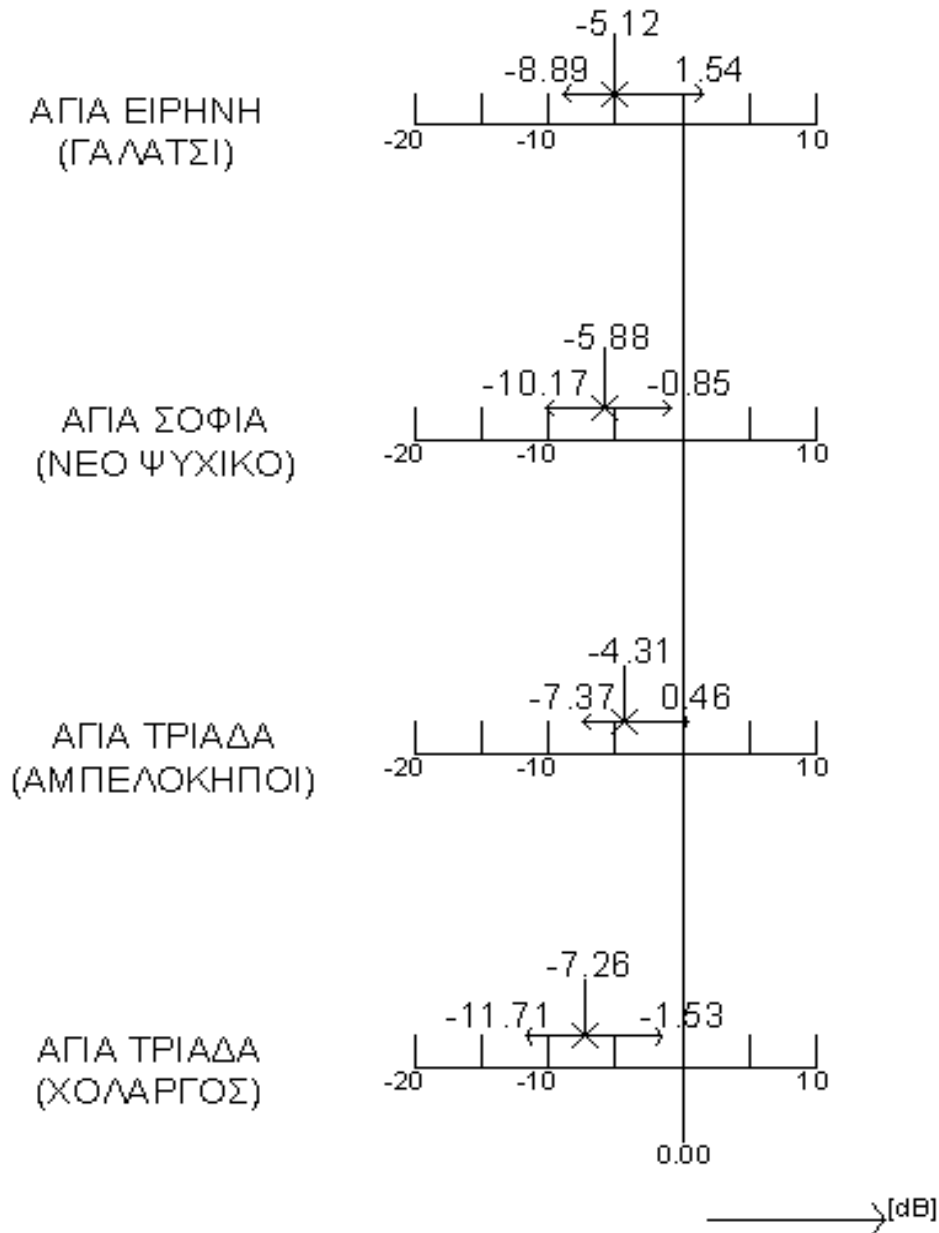
## 5.4 ΛΟΓΟΣ ΠΡΩΤΩΝ-ΠΡΟΣ-ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΜΕΝΕΣ ΑΝΑΚΛΑΣΕΙΣ (80ms E-To-L)

A) Κυρίως ναός



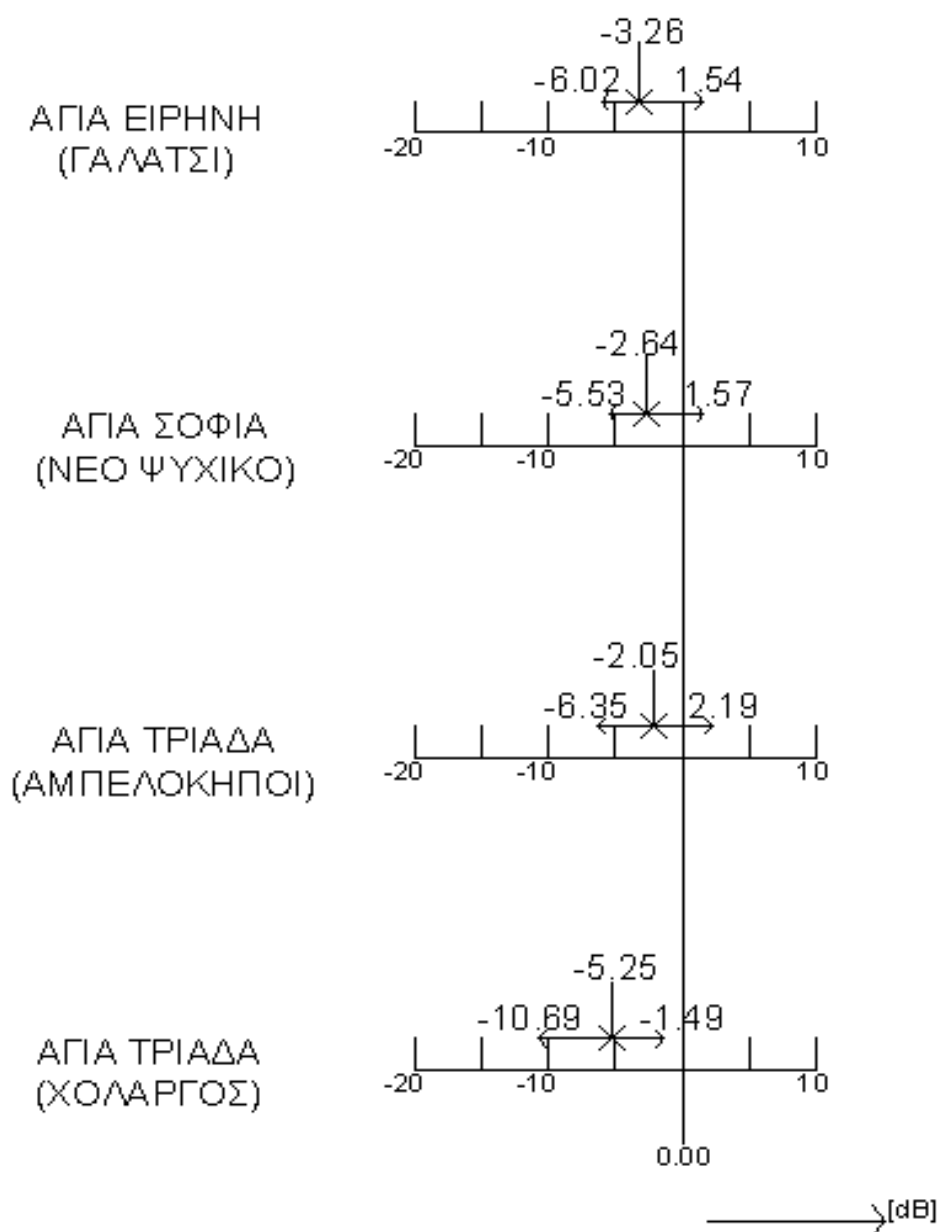
Σχήμα 5.9 Μετρηθείσες τιμές του λόγου πρώτων-προς-καθυστερημένες ανακλάσεις στις χαμηλές συχνότητες (μέσος όρος 125 και 250 Hz) για ισότροπη ηχητική πηγή σε 4 βυζαντινούς ναούς στην Αθήνα. Μέσες τιμές, καθώς μέγιστες και ελάχιστες δίνονται για κάθε ναό. Βέλτιστη τιμή είναι το 0 (βλέπε σελ. 56).

ΛΟΓΟΣ ΠΡΩΤΩΝ-ΠΡΟΣ-ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΜΕΝΕΣ  
ΑΝΑΚΛΑΣΕΙΣ (80ms E-To-L)  
500-1000 Hz



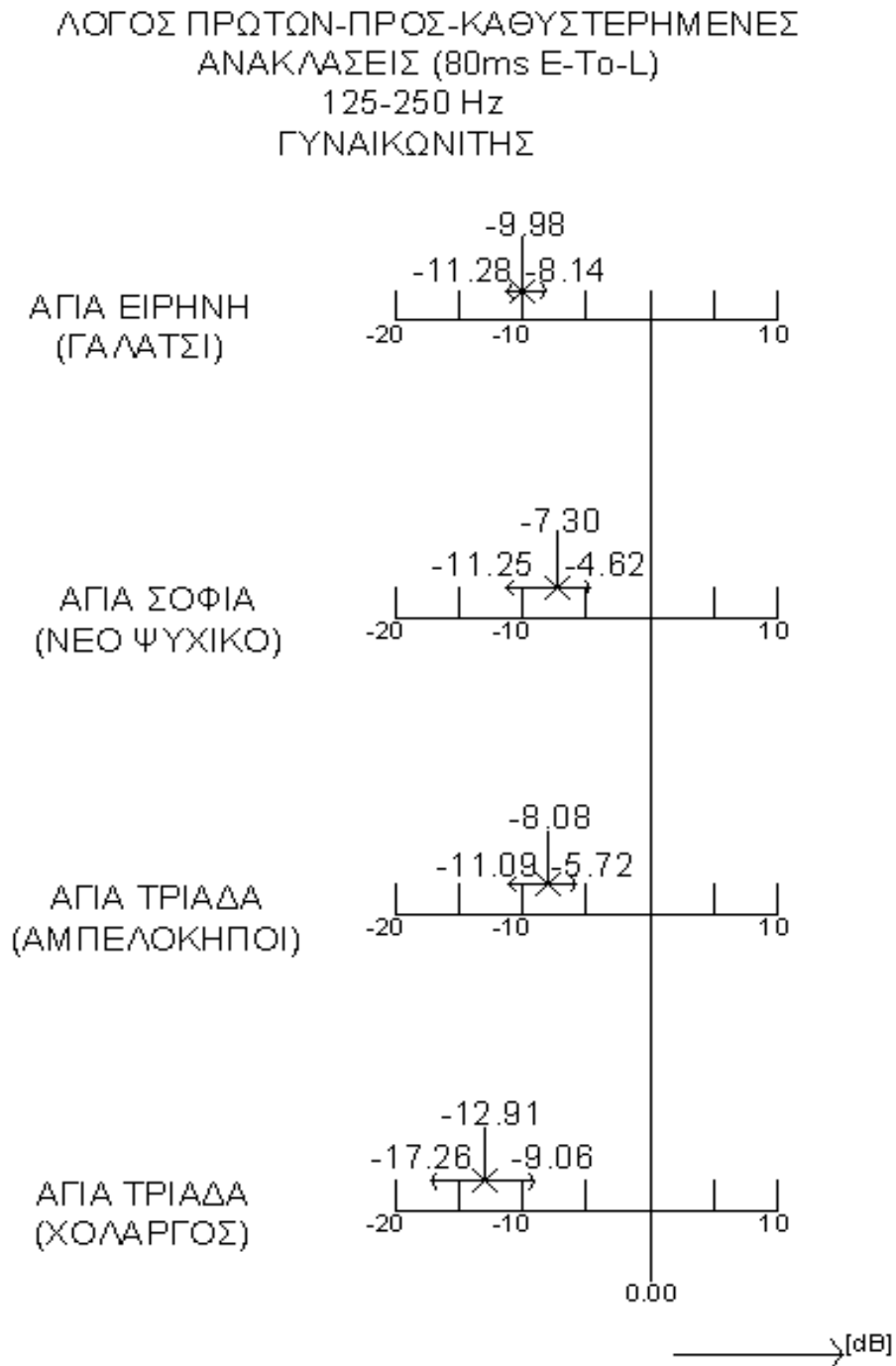
Σχήμα 5.10 Μετρηθείσες τιμές του λόγου πρώτων-προς-καθυστερημένες ανακλάσεις στις μεσαίες συχνότητες (μέσος όρος 500 και 1.000 Hz) για ισότροπη ηχητική πηγή σε 4 βυζαντινούς ναούς στην Αθήνα. Μέσες τιμές, καθώς μέγιστες και ελάχιστες δίνονται για κάθε ναό. Βέλτιστη τιμή είναι το 0 (βλέπε σελ. 56).

ΛΟΓΟΣ ΠΡΩΤΩΝ-ΠΡΟΣ-ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΜΕΝΕΣ  
ΑΝΑΚΛΑΣΕΙΣ (80ms E-To-L)  
2000-4000 Hz



Σχήμα 5.11 Μετρηθείσες τιμές του λόγου πρώτων-προς-καθυστερημένες ανακλάσεις στις υψηλές συχνότητες (μέσος όρος 2.000 και 4.000 Hz) για ισότροπη ηχητική πηγή σε 4 βυζαντινούς ναούς στην Αθήνα. Μέσες τιμές, καθώς μέγιστες και ελάχιστες δίνονται για κάθε ναό. Βέλτιστη τιμή είναι το 0 (βλέπε σελ. 56).

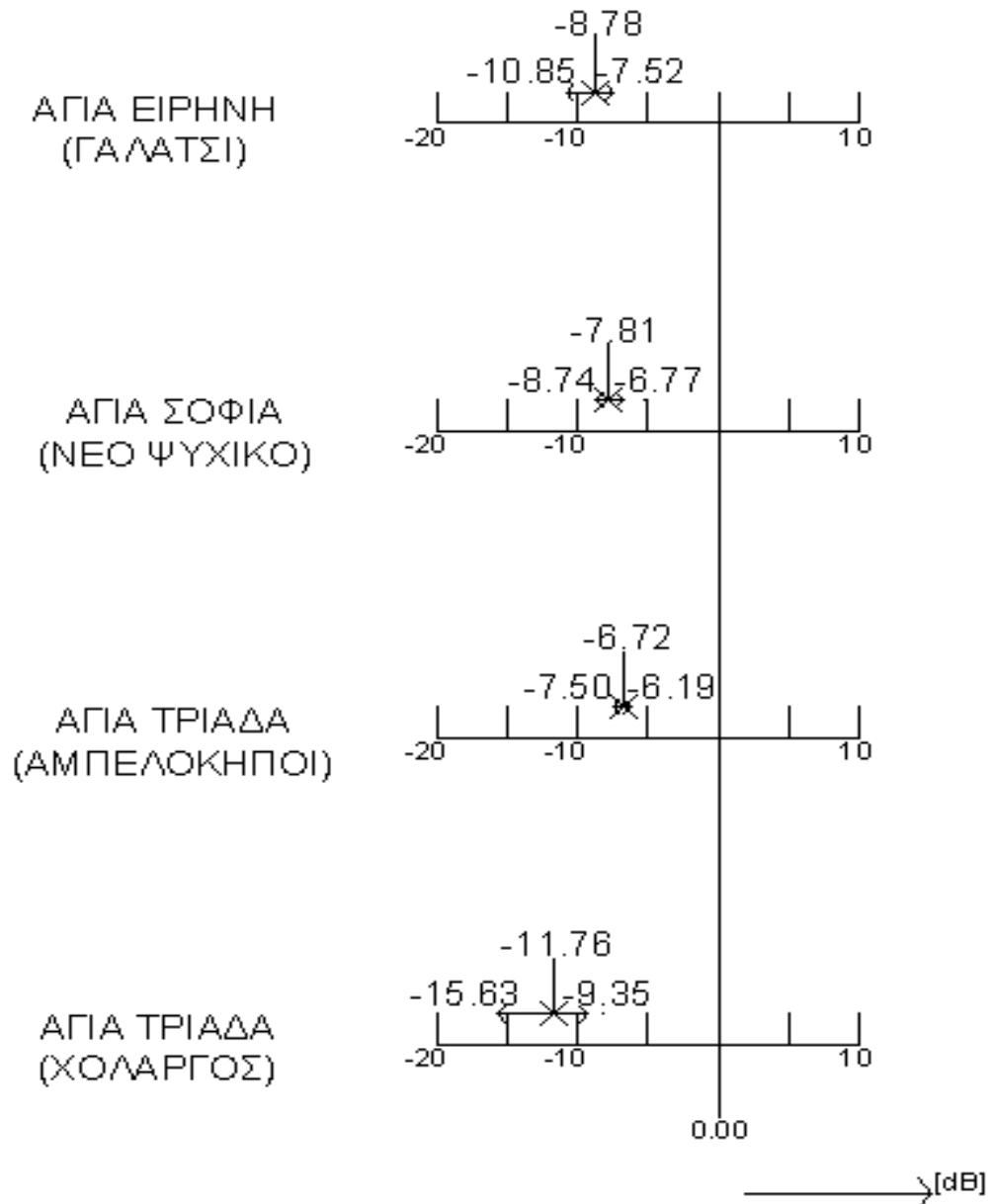
## B) Γυναικωνίτης



Σχήμα 5.12 Μετρηθείσες τιμές του λόγου πρώτων-προς-καθυστερημένες ανακλάσεις στις χαμηλές συχνότητες (μέσος όρος 125 και 250 Hz) για ισότροπη ηχητική πηγή στο γυναικωνίτη, σε 4 βυζαντινούς ναούς στην Αθήνα. Μέσες τιμές, καθώς μέγιστες και ελάχιστες δίνονται για κάθε ναό. Βέλτιστη τιμή είναι το 0 (βλέπε σελ. 56).

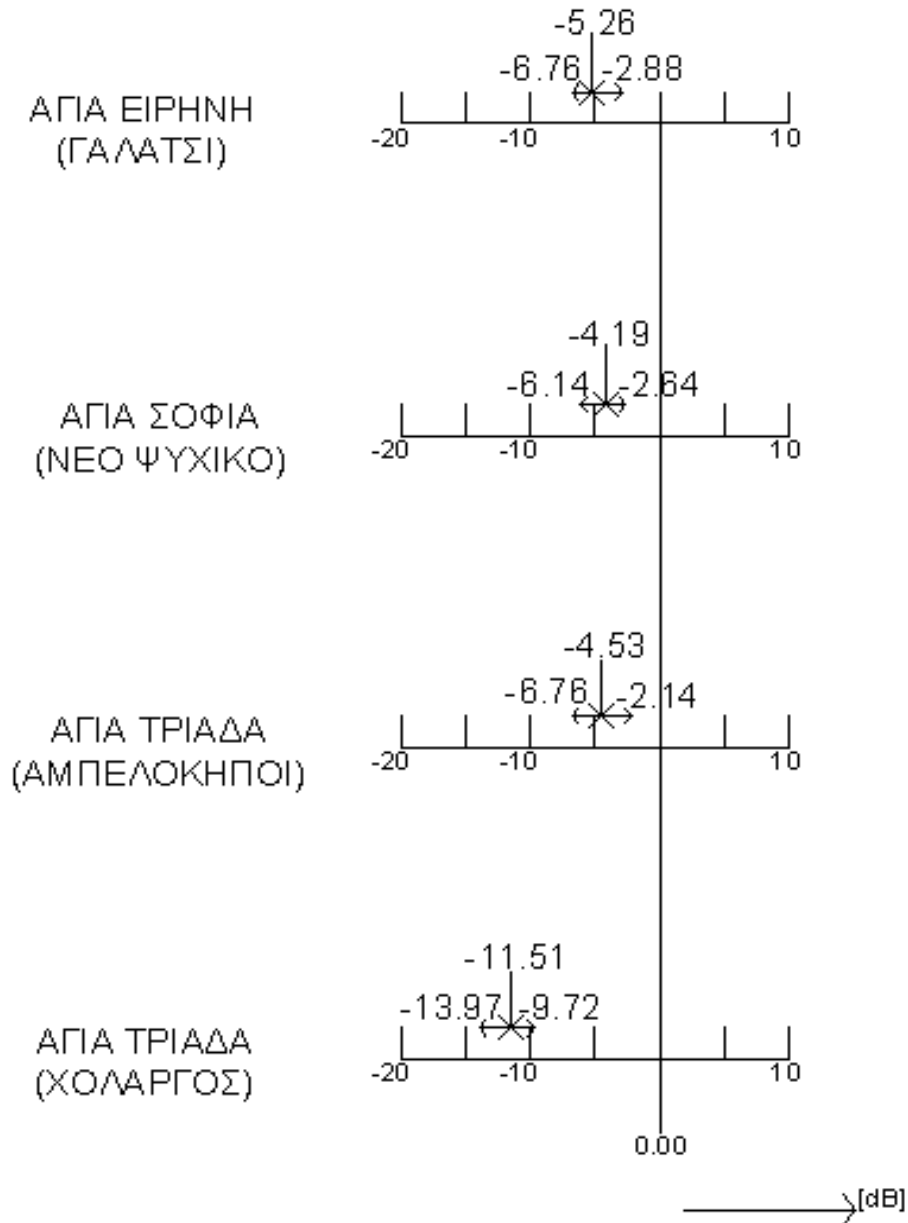


ΛΟΓΟΣ ΠΡΩΤΩΝ-ΠΡΟΣ-ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΜΕΝΕΣ  
ΑΝΑΚΛΑΣΕΙΣ (80ms E-To-L)  
500-1000 Hz  
ΓΥΝΑΙΚΩΝΙΤΗΣ



Σχήμα 5.13 Μετρηθείσες τιμές του λόγου πρώτων-προς-καθυστερημένες ανακλάσεις στις μεσαίες συχνότητες (μέσος όρος 500 και 1.000 Hz) για ισότροπη ηχητική πηγή στο γυναικωνίτη, σε 4 βυζαντινούς ναούς στην Αθήνα. Μέσες τιμές, καθώς μέγιστες και ελάχιστες δίνονται για κάθε ναό. Βέλτιστη τιμή είναι το 0 (βλέπε σελ. 56).

ΛΟΓΟΣ ΠΡΩΤΩΝ-ΠΡΟΣ-ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΜΕΝΕΣ  
ΑΝΑΚΛΑΣΕΙΣ (80ms E-To-L)  
2000-4000 Hz  
ΓΥΝΑΙΚΩΝΙΤΗΣ

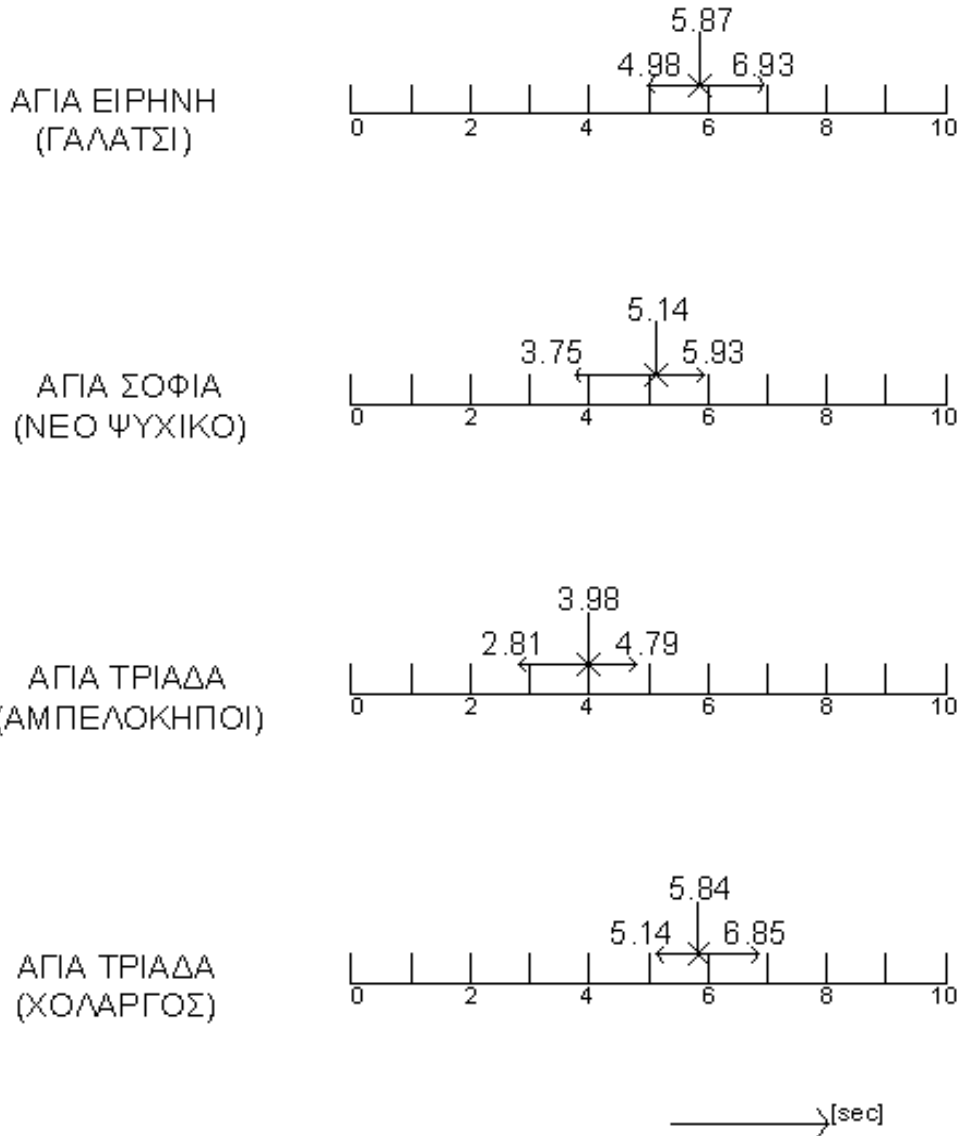


Σχήμα 5.14 Μετρηθείσες τιμές του λόγου πρώτων-προς-καθυστερημένες ανακλάσεις στις υψηλές συχνότητες (μέσος όρος 2.000 και 4.000 Hz) για ισότροπη ηχητική πηγή στο γυναικωνίτη, σε 4 βυζαντινούς ναούς στην Αθήνα. Μέσες τιμές, καθώς μέγιστες και ελάχιστες δίνονται για κάθε ναό. Βέλτιστη τιμή είναι το 0 (βλέπε σελ. 56).

## 5.5 ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΠΡΩΤΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ (EDT)

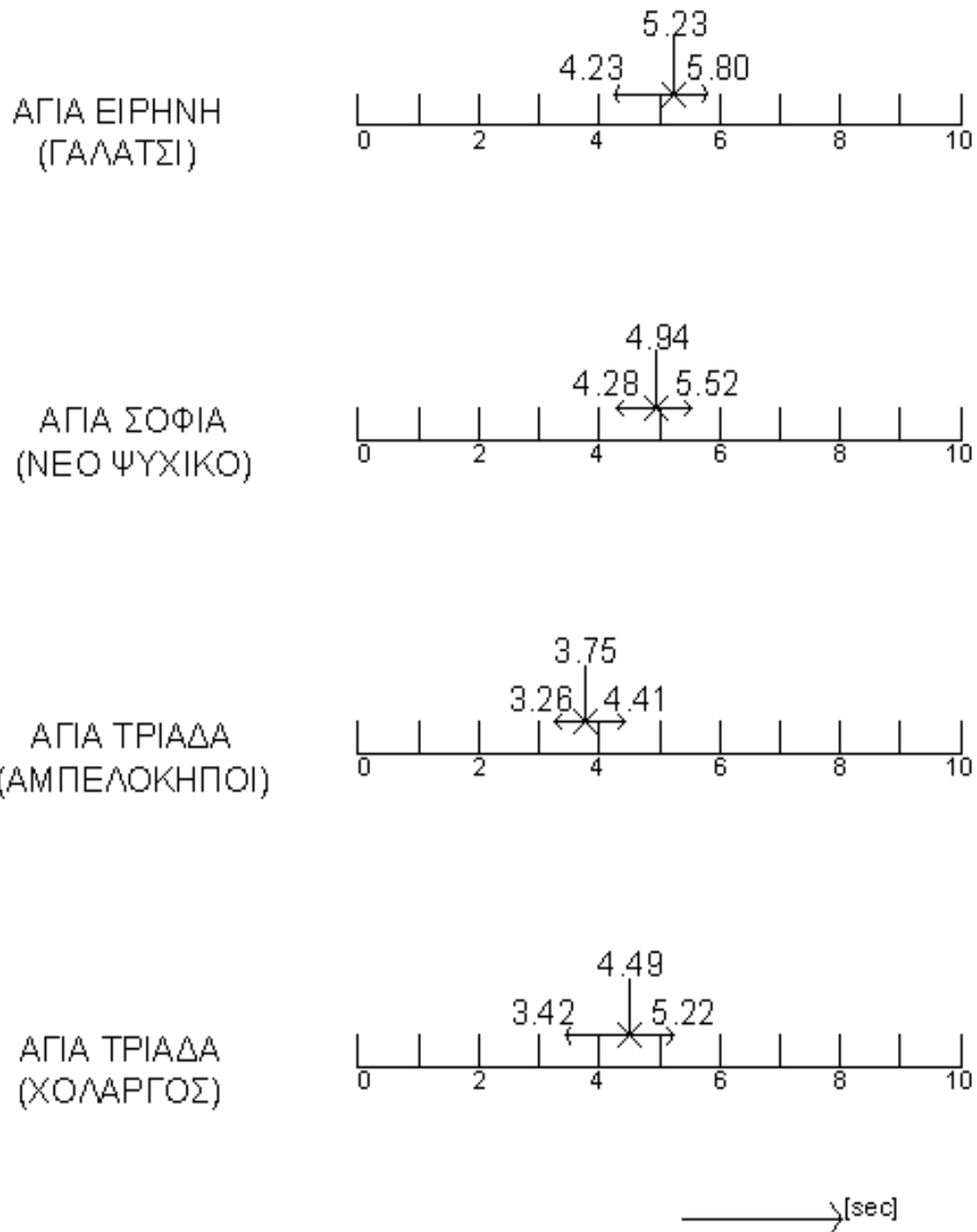
### A) Κυρίως ναός

#### ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΠΡΩΤΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ (EDT) 125-250 Hz



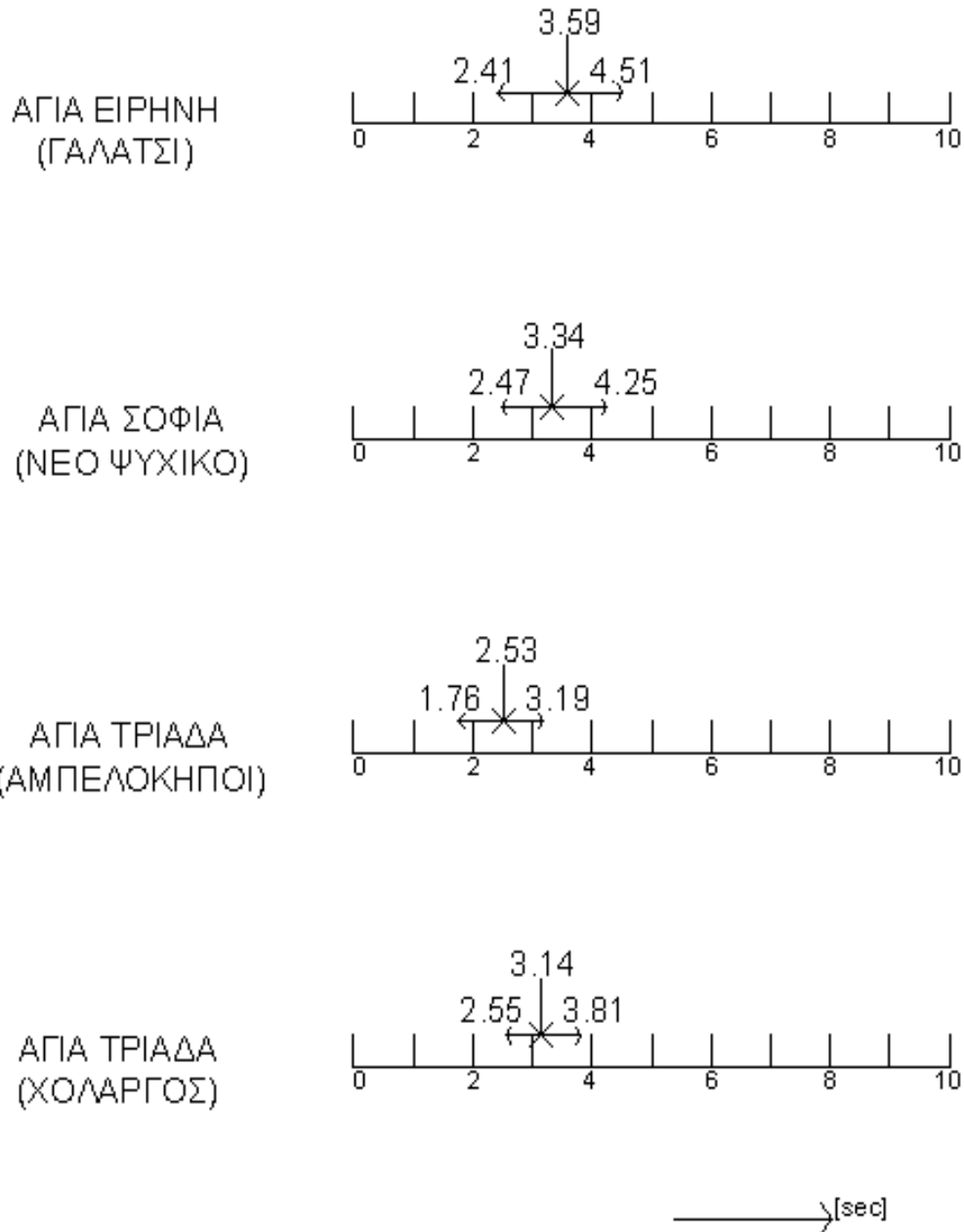
Σχήμα 5.15 Μετρηθείσες τιμές του χρόνου απόσβεσης πρώτων ανακλάσεων στις χαμηλές συχνότητες (μέσος όρος 125 και 250 Hz) για ισότροπη ηχητική πηγή σε 4 βυζαντινούς ναούς στην Αθήνα. Μέσες τιμές, καθώς μέγιστες και ελάχιστες δίνονται για κάθε ναό (βλέπε σελ. 22 και 56).

ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΠΡΩΤΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ (EDT)  
500-1000 Hz



Σχήμα 5.16 Μετρηθείσες τιμές του χρόνου απόσβεσης πρώτων ανακλάσεων στις μεσαίες συχνότητες (μέσος όρος 500 και 1.000 Hz) για ισότροπη ηχητική πηγή σε 4 βυζαντινούς ναούς στην Αθήνα. Μέσες τιμές, καθώς μέγιστες και ελάχιστες δίνονται για κάθε ναό (βλέπε σελ. 22 και 56).

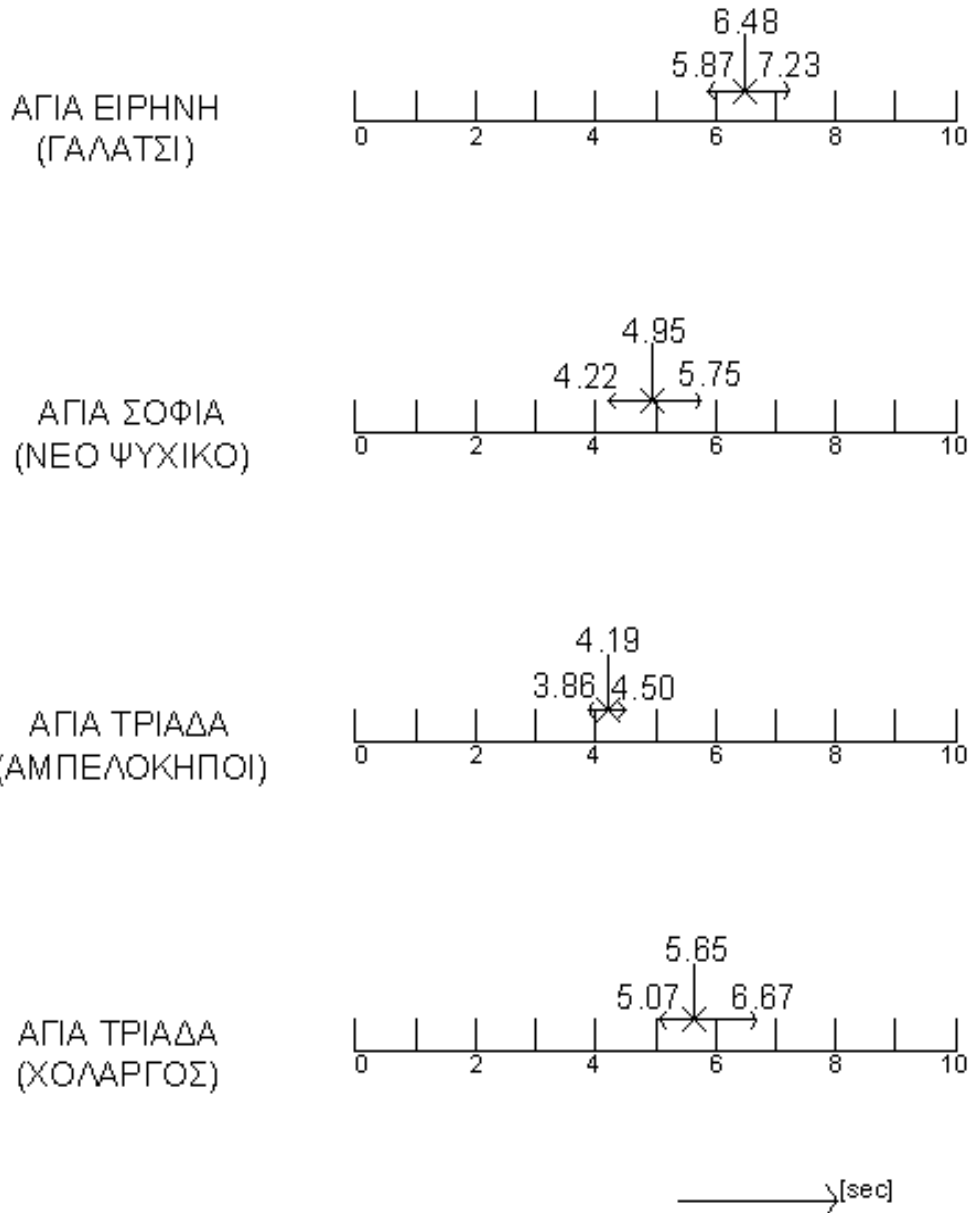
ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΠΡΩΤΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ (EDT)  
2000-4000 Hz



Σχήμα 5.17 Μετρηθείσες τιμές του χρόνου απόσβεσης πρώτων ανακλάσεων στις υψηλές συχνότητες (μέσος όρος 2.000 και 4.000 Hz) για ισότροπη ηχητική πηγή σε 4 βυζαντινούς ναούς στην Αθήνα. Μέσες τιμές, καθώς μέγιστες και ελάχιστες δίνονται για κάθε ναό (βλέπε σελ. 22 και 56).

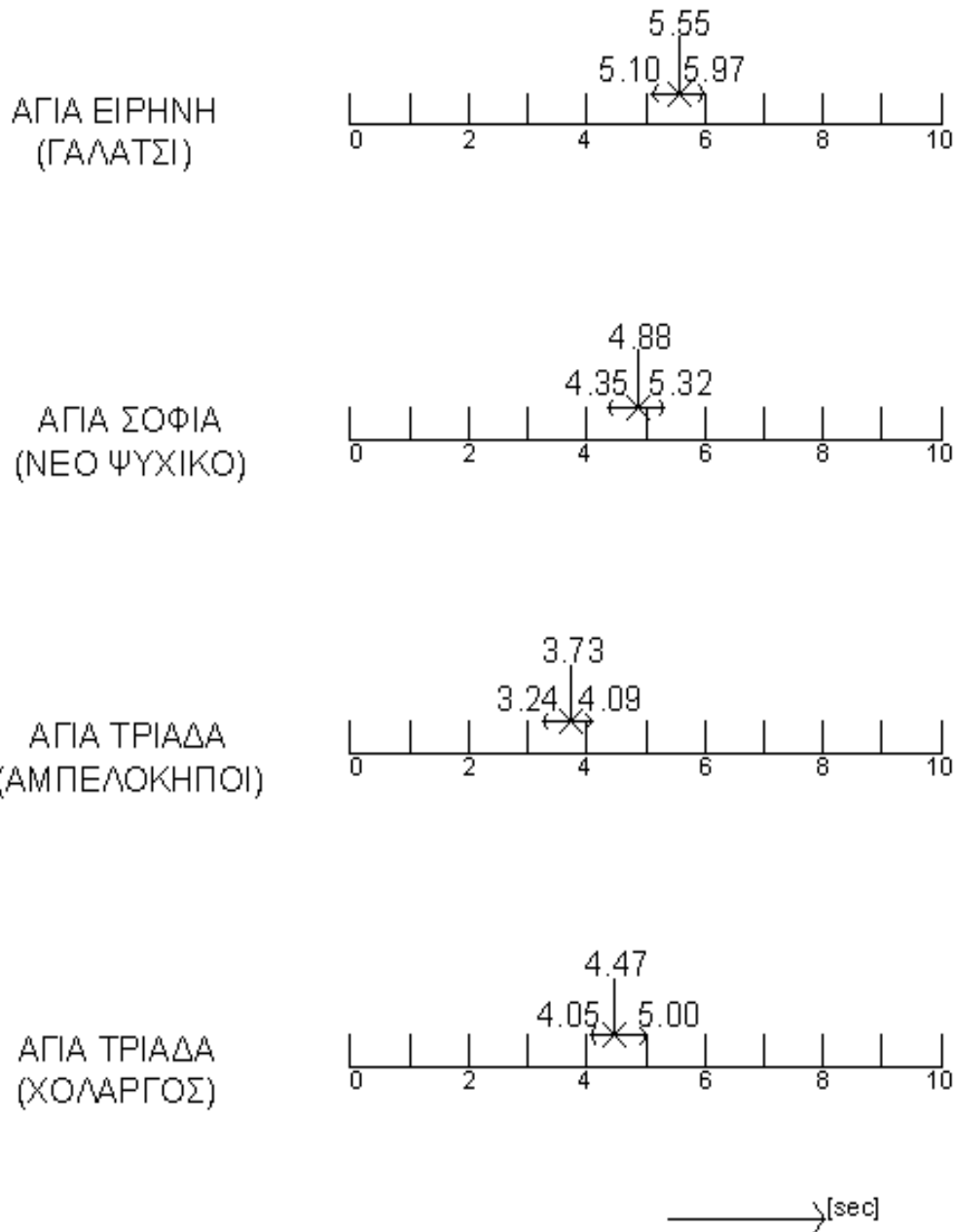
## B) Γυναικωνίτης

ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΠΡΩΤΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ (EDT)  
125-250 Hz  
ΓΥΝΑΙΚΩΝΙΤΗΣ



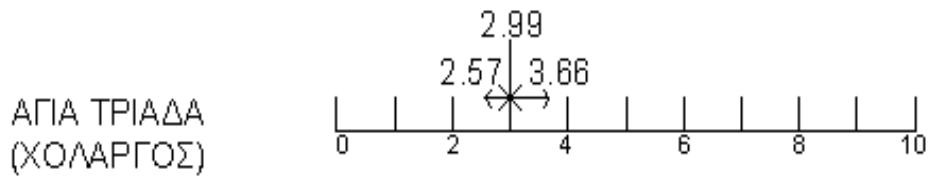
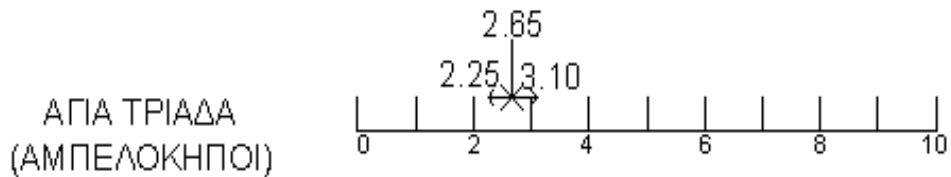
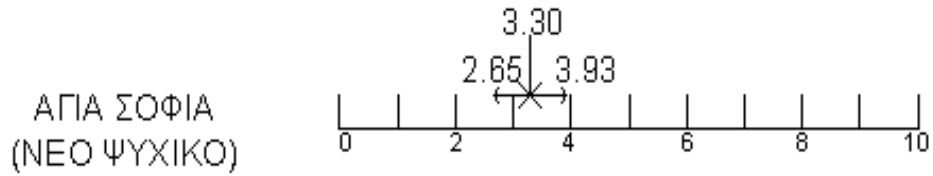
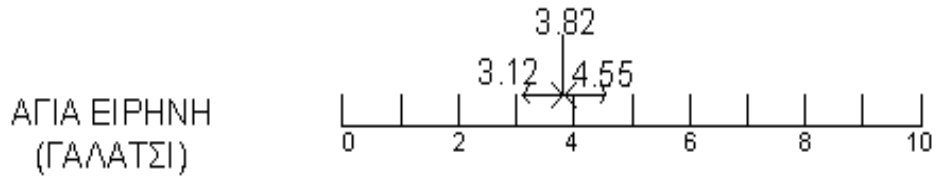
Σχήμα 5.18 Μετρηθείσες τιμές του χρόνου απόσβεσης πρώτων ανακλάσεων στις χαμηλές συχνότητες (μέσος όρος 125 και 250 Hz) για ισότροπη ηχητική πηγή στο γυναικωνίτη, σε 4 βυζαντινούς ναούς στην Αθήνα. Μέσες τιμές, καθώς μέγιστες και ελάχιστες δίνονται για κάθε ναό (βλέπε σελ. 22 και 56).

ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΠΡΩΤΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ (EDT)  
500-1000 Hz  
ΓΥΝΑΙΚΩΝΙΤΗΣ



Σχήμα 5.19 Μετρηθείσες τιμές του χρόνου απόσβεσης πρώτων ανακλάσεων στις μεσαίες συχνότητες (μέσος όρος 500 και 1.000 Hz) για ισότροπη ηχητική πηγή στο γυναικωνίτη, σε 4 βυζαντινούς ναούς στην Αθήνα. Μέσες τιμές, καθώς μέγιστες και ελάχιστες δίνονται για κάθε ναό (βλέπε σελ. 22 και 56).

ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΠΡΩΤΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ (EDT)  
 2000-4000 Hz  
 ΓΥΝΑΙΚΩΝΙΤΗΣ



\_\_\_\_\_ } [sec]

Σχήμα 5.20 Μετρηθείσες τιμές του χρόνου απόσβεσης πρώτων ανακλάσεων στις υψηλές συχνότητες (μέσος όρος 2.000 και 4.000 Hz) για ισότροπη ηχητική πηγή στο γυναικωνίτη, σε 4 βυζαντινούς ναούς στην Αθήνα. Μέσες τιμές, καθώς μέγιστες και ελάχιστες δίνονται για κάθε ναό (βλέπε σελ. 22 και 56).



## 5.6 ΘΟΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ

Τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις του θορύβου βάθους (βλέπε σελίδες 29 και 56) φαίνονται στο σχήμα 5.3 που ακολουθεί.

ΝΑΟΣ	ΘΟΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ (dBA)	ΣΧΟΛΙΑ
ΑΓ.ΕΙΡΗΝΗ ΓΑΛΑΤΣΙΟΥ	34,2	ΘΟΡΥΒΟΣ ΑΠΟ ΓΕΙΤΟΝΙΚΟ ΣΧΟΛΕΙΟ
ΑΓ.ΣΟΦΙΑ Ν.ΨΥΧΙΚΟΥ	46,2	ΠΡΟΣΚΥΝΗΤΕΣ, ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ
ΑΓ.ΤΡΙΑΔΑ ΧΟΛΑΡΓΟΥ	42,8	ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΚΤΟΣ ΤΟΥ ΝΑΟΥ
ΑΓ.ΤΡΙΑΔΑ ΑΜΠΕΛΟΚΗΠΩΝ	55	ΠΡΟΣΚΥΝΗΤΕΣ, ΕΝΤΟΝΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 5.3 Τιμές θορύβου βάθους για κάθε ναό και σύντομη περιγραφή των συνθηκών που επηρέασαν κάθε μέτρηση.

Δραστηριότητα	NC
Αποδεκτές συνθήκες εργασίας με την ελάχιστη λεκτική παρέμβαση. (Βιομηχανικές περιοχές, εμπορικές περιοχές, όπως γκαράζ, κλειστά πάρκινγκ αυτοκινήτων, πλυντήρια, κ.τ.λ.)	45 - 55
Αποδεκτές οι μέτριες συνθήκες ακουστικής. (Χώροι με μηχανήματα γραφείου, καφετέριες, χώροι εργοστασίων, διάδρομοι, μπάνια, κ.τ.λ.)	40 - 45
Απαιτούμενες οι σχετικά καλές συνθήκες ακουστικής. (Μεγάλα γραφεία, εστιατόρια, κ.τ.λ.)	35 - 40
Απαιτούμενες οι καλές συνθήκες ακουστικής. (Ιδιωτικά γραφεία, τάξεις, βιβλιοθήκες, κ.τ.λ.)	30 - 35
Ύπνος, ξεκούραση. (Σπίτια, διαμερίσματα, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, κ.τ.λ.)	20 - 30
Απαιτούμενες οι πολύ καλές συνθήκες ακουστικής. (Αμφιθέατρα, θέατρα, εκκλησίες, κ.τ.λ.)	25
Απαιτούμενες οι άριστες συνθήκες ακουστικής. (Αίθουσες συναυλιών, τηλεοπτικά στούντιο.)	20
Απαιτούμενες οι εξειδικευμένες συνθήκες ακουστικής. (Πειραματικά ακουστικά εργαστήρια, κ.τ.λ.)	15

Σχήμα 5.4 Κριτήρια θορύβου (αποδεκτές τιμές θορύβου) ανάλογα με τη λειτουργία του χώρου [6].

Τα 25 NC που αντιστοιχούν στις εκκλησίες ισούνται με 30 dBA.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγιναν μετρήσεις με βάση τα φυσικά κριτήρια EEF<sub>50</sub> (κλάσμα πρώτων ανακλάσεων, βλέπε σελ. 63), 80ms E-To-L (λόγος πρώτων-προς-καθυστερημένες ανακλάσεις, βλέπε σελ. 63), RT (χρόνος αντήχησης, βλέπε σελ. 21 και 63) και EDT (χρόνος απόσβεσης πρώτων ανακλάσεων, βλέπε σελ. 22 και 63) σε τυπικούς ναούς του δεύτερου ημίσεως 20<sup>ου</sup> αιώνα, ρυθμού σταυροειδούς εγγεγραμμένου με τρούλο. Οι μετρήσεις έγιναν χωρίς ακροατήριο.

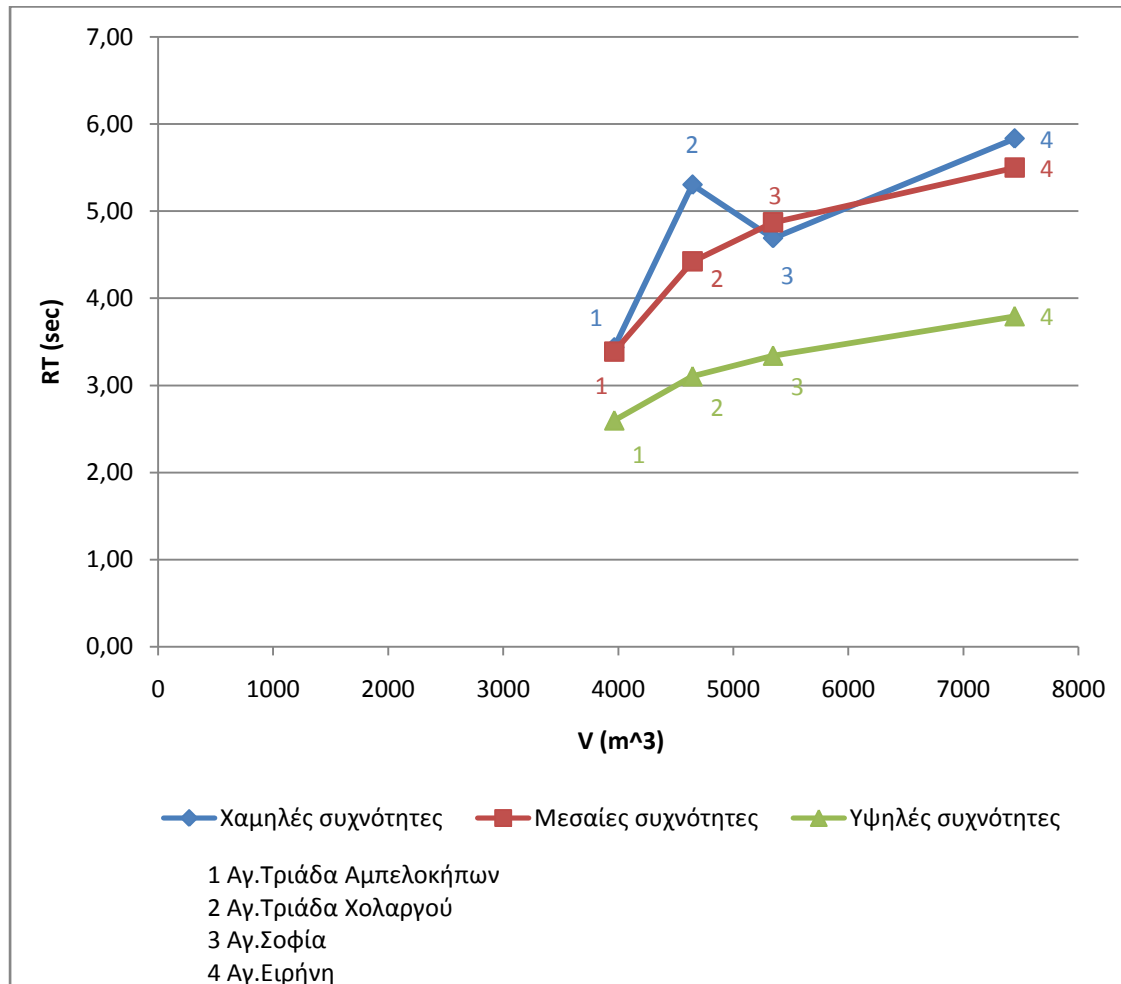
Με βάση τα αποτελέσματα που προηγήθηκαν διαπιστώθηκαν τα εξής:

1. Όσον αφορά το κλάσμα πρώτων ανακλάσεων (EEF<sub>50</sub>):
  - 1.1 Οι τιμές που προέκυψαν για κάθε συχνότητα είναι μικρότερες της βέλτιστης τιμής 0.5 (βλέπε σελ. 63), που σημαίνει ότι υπάρχει έλλειψη εγγύς προς το εκκλησίασμα ανακλαστικών επιφανειών. Ακόμη, ή οι πρώτες ανακλάσεις απουσιάζουν, ή οι καθυστερημένες ανακλάσεις είναι περισσότερες, ή και τα δυο ενδεχόμενα συμβαίνουν ταυτόχρονα.
  - 1.2 Στις χαμηλές συχνότητες (125-250 Hz) όπου το μήκος κύματος είναι σχετικά μεγάλο, στο ναό δημιουργείται ως επί το πλείστον διάχυση (βλέπε σελ. 20). Συνεπώς εξηγούνται οι σχετικά περιορισμένες πρώτες ανακλάσεις τις οποίες υπαινίσσονται οι χαμηλές τιμές του μετρηθέντος EEF<sub>50</sub>.
2. Όσον αφορά το λόγο πρώτων-προς-καθυστερημένες ανακλάσεις (80ms E-To-L):
  - 2.1 Οι τιμές που προέκυψαν για κάθε συχνότητα είναι αρνητικές (βλέπε σελ. 63), γεγονός που επιβεβαιώνει και πάλι την απουσία εγγύς ανακλαστικών επιφανειών.
  - 2.2 Για την κλασική μουσική οι αποδεκτές τιμές του λόγου αυτού κυμαίνονται από -2 έως +2, ενώ η διακύμανση των μετρηθεισών εκκλησιών είναι από -8 έως -2 για τον κυρίως ναό και από -12 έως -4 για το γυναικωνίτη.
  - 2.3 Η μεταβλητότητα του 80ms E-To-L δε βρέθηκε να εξαρτάται από τον όγκο των ναών.
3. Όσον αφορά το χρόνο απόσβεσης πρώτων ανακλάσεων (EDT):
  - 3.1 Οι τιμές του χρόνου απόσβεσης πρώτων ανακλάσεων (EDT) δεν έχουν μεγάλες διαφορές από αυτές του χρόνου αντήχησης (RT). Από αυτό προκύπτει ότι έχουμε σχετικά διάχυτο ηχητικό πεδίο.
  - 3.2 Παρατηρείται διαφοροποίηση του EDT μεταξύ των ναών λόγω της μεταβολής του όγκου.

4. Όσον αφορά το χρόνο αντίληψης (RT):

4.1 Οι χρόνοι αντίληψης (RT) είναι σχετικά υψηλοί.

4.2 Παρατηρείται διαφοροποίηση του RT μεταξύ των ναών λόγω της μεταβολής του όγκου. Μάλιστα υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ χρόνου αντίληψης και όγκου, το οποίο επιβεβαιώνει την κλασική θεωρία της αντίληψης και φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



5. Τα φυσικά κριτήρια  $EEF_{50}$  (κλάσμα πρώτων ανακλάσεων), 80ms E-To-L (λόγος πρώτων-προς-καθυστερημένες ανακλάσεις), RT (χρόνος αντίληψης) και EDT (χρόνος απόσβεσης πρώτων ανακλάσεων) για το γυναικωνίτη διαφέρουν σημαντικά από τα αντίστοιχα του κυρίως μέρους των ναών (βλέπε σελίδες 87 - 104). Δηλαδή η ακουστική του γυναικωνίτη του σύγχρονου ναού διαφοροποιείται και ο γυναικωνίτης είναι σαν να μην ανήκει στο ναό, σαν να βρισκόμαστε έξω από αυτόν. Αυτό συμβαίνει επειδή ο γυναικωνίτης βρίσκεται πολύ ψηλά από το κυρίως μέρος του ναού με αποτέλεσμα:

α) να μη φθάνει ο απ' ευθείας ήχος μέσα στο γυναικωνίτη πέραν του στήθαιου,

β) οι καμπύλες επιφάνειες της στέγασης του ναού να μην προωθούν ούτε πρώτες ούτε καθυστερημένες ανακλάσεις προς το γυναικωνίτη, αφού η στέγαση χαρακτηρίζεται από τρούλους και θόλους που δημιουργούν εστιασμό του ήχου (βλέπε σελ. 28).

6. Ο θόρυβος βάθους που μετρήθηκε είναι 34,2 dBA για την Αγία Ειρήνη Γαλατσίου, 46,2 dBA για την Αγία Σοφία Ν. Ψυχικού, 55 dBA για την Αγία Τριάδα Αμπελοκήπων (συμπεριλαμβάνει θόρυβο από αυτοκίνητα και περαστικούς, όχι όμως κορναρίσματα) και τέλος 42,8 dBA για την Αγία Τριάδα Χολαργού. Για αμφιθέατρα, θέατρα και εκκλησίες, όπου απαιτούνται πολύ καλές συνθήκες ακουστικής, το όριο είναι 30 dBA (ή 25 Noise Criterion – βλέπε σελ. 29 - 31). Συνεπώς ο θόρυβος βάθους για όλες τις εκκλησίες ξεπερνά το όριο, γεγονός που σημαίνει πως δεν υπάρχει επιτυχής σχεδιασμός ηχοπροστασίας των ναών. Παραδείγματος χάρη θα μπορούσε να υπάρχει προθάλαμος όπως αυτός απαντάται στους κλασσικούς βυζαντινούς ναούς, ο οποίος όμως απουσιάζει από τους ναούς που μετρήθηκαν στην παρούσα εργασία.
7. Το ηχείο που χρησιμοποιήθηκε είναι ισότροπη πηγή. Όμως η ανθρώπινη φωνή δεν είναι ισότροπη, έχει άλλη κατευθυντικότητα (βλέπε σελ. 15). Άρα απόλυτη σύγκριση με συνθήκες πραγματικής λειτουργίας δεν μπορεί να γίνει.

Οι μετρήσεις της παρούσας εργασίας συγκρίνονται με άρθρα από τη διεθνή βιβλιογραφία καθώς και με τα αποτελέσματα μιας προγενέστερης εργασίας με όμοιο αντικείμενο (βλέπε *Κεφάλαιο 3 Βιβλιογραφική αναδρομή* σελ. 36) ως εξής:

Στο άρθρο του Καραμπατζάκη (βλέπε σελ. 36 - 42), οι τιμές του κλάσματος πρώτων ανακλάσεων ( $EEF_{50}$ ) για τους αυθεντικούς ναούς ρυθμού σταυροειδούς εγγεγραμμένου με τρούλο, οι οποίες κυμαίνονται από 0.25 έως 0.40, κρίνονται από το συγγραφέα εκείνο ότι αντιστοιχούν σε χαμηλή καταληπτότητα του λόγου. Μετρήσεις της ίδιας παραμέτρου στην παρούσα εργασία κυμαίνονται μεταξύ 0.06 και 0.30, δηλαδή είναι ακόμη χαμηλότερες σε σχέση με τα ευρήματα του εν λόγω συγγραφέα. Αυτό δείχνει ότι τόσο οι κλασσικοί βυζαντινοί ναοί της Θεσσαλονίκης όσο και οι ελληνορθόδοξοι ναοί του 20ού αιώνα χαρακτηρίζονται από φειδωλή παροχή πρώτων ανακλάσεων του ήχου στο εκκλησίασμα.

Οι τιμές του 80ms E-To-L (λόγος πρώτων-προς-καθυστερημένες ανακλάσεις) στην εργασία του Καραμπατζάκη για σταυροειδείς εγγεγραμμένους με τρούλο ναούς κυμαίνονται από -2 έως +3 dB. Οι μετρηθείσες τιμές της ίδιας παραμέτρου στην παρούσα εργασία είναι στην πλειονότητά τους αρκετά μικρότερες του μηδενός (-15,63 έως +1.57). Αυτό δηλώνει ότι, σε αντίθεση με τους κλασι-

κούς βυζαντινούς ναούς όπου υπάρχει σχετική ισορροπία μεταξύ των πρώτων και των καθυστερημένων ανακλάσεων, στους σύγχρονους ναούς υπάρχει είτε σχετική απουσία πρώτων ανακλάσεων, είτε σχετική αφθονία καθυστερημένων ανακλάσεων είτε και τα δύο.

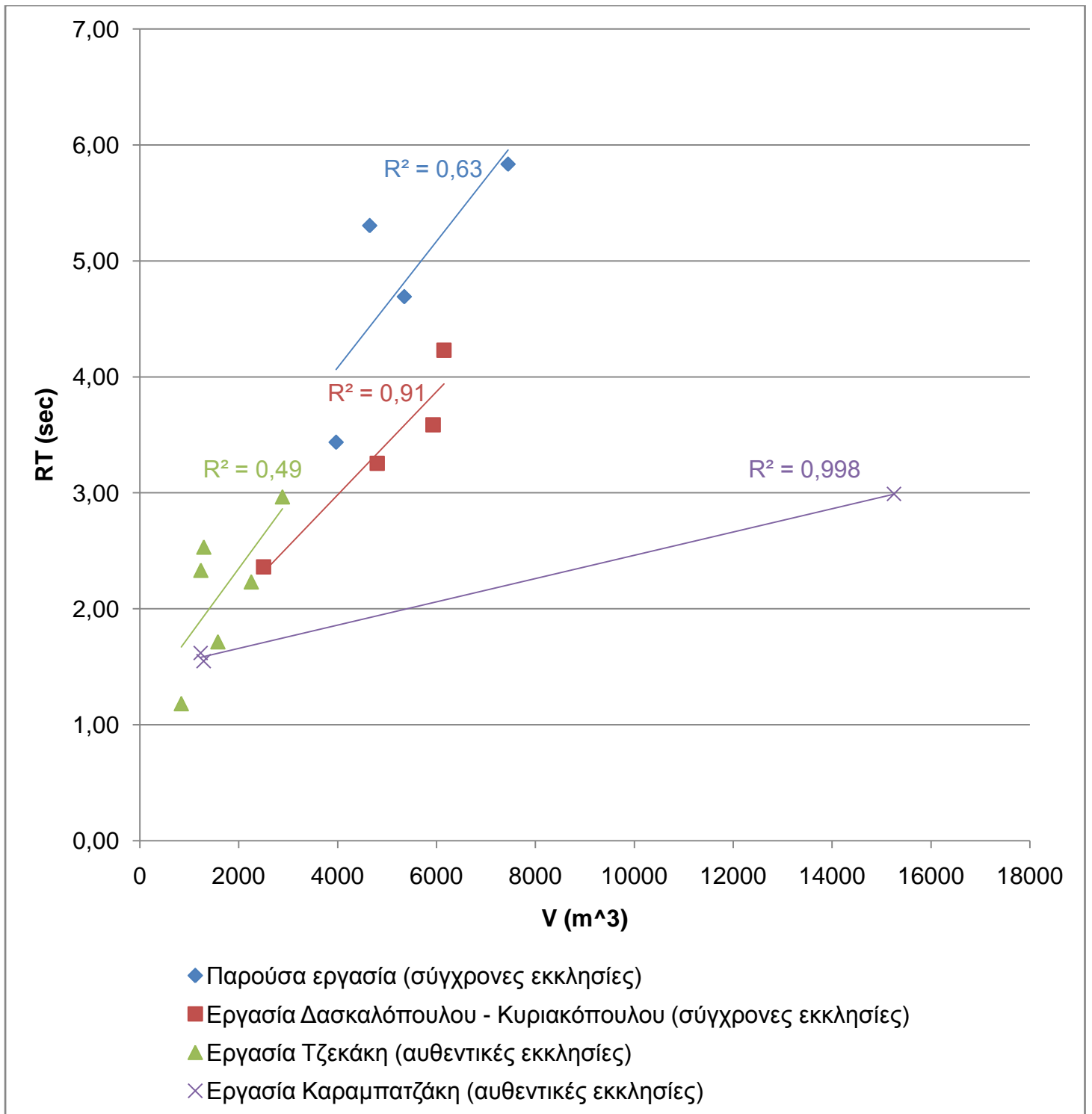
Στην εργασία του Τζεκάκη (βλέπε σελ. 43 – 46), οι εσωτερικές υποδιαιρέσεις στους κλασικούς ναούς της Θεσσαλονίκης οδήγησαν σε χαμηλότερους χρόνους αντήχησης (1,5 έως 3 sec για τους σταυροειδείς εγγεγραμμένους με τρούλο ναούς) από τους μετρηθέντες στις σύγχρονες ελληνορθόδοξες εκκλησίες της παρούσας εργασίας (4 έως 6 sec) διότι, όχι μόνον οι όγκοι είναι μεγαλύτεροι, αλλά και οι εσωτερικές υποδιαιρέσεις στην κάτοψη των ναών είναι απύσες. Ωστόσο κάποιοι χρόνοι αντήχησης στην εργασία του Τζεκάκη είναι μεγαλύτεροι από τους αναμενόμενους (βλέπε σελ. 47) με βάση τους αντίστοιχους όγκους των ναών.

Συγκρίνοντας τα ευρήματα της εργασίας αυτής με αυτά των Δασκαλόπουλου και Κυριακόπουλου (βλέπε σελ. 50 – 54), που αφορούν σύγχρονες ελληνορθόδοξες εκκλησίες διαφορετικού όμως αρχιτεκτονικού ρυθμού, επιβεβαιώνονται τα ως άνω, δηλαδή ότι οι σύγχρονοι ναοί χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλους όγκους και απουσία εσωτερικών υποδιαιρέσεων, σε αντίθεση με τους ιστορικούς βυζαντινούς ναούς.

Στην επόμενη σελίδα σχεδιάστηκαν διαγράμματα (σχήματα 6.2, 6.4 και 6.6) ανάλογα με το fig.10 (σελ. 46) του Τζεκάκη, όχι όμως μόνο τις χαμηλές συχνότητες (125-250 Hz) αλλά και για τις μεσαίες (500-1000 Hz) και τις υψηλές (2000-4000 Hz), για τους ναούς της παρούσας εργασίας, της εργασίας των Δασκαλόπουλου και Κυριακόπουλου, του Τζεκάκη και του Καραμπατζάκη μόνο για τους ναούς ρυθμού σταυροειδούς εγγεγραμμένου με τρούλο. Οι δυο πρώτες εργασίες αφορούν ναούς σύγχρονους, κατασκευασμένους τους 19<sup>ο</sup> και 20<sup>ο</sup> αιώνα, ενώ οι επόμενες κλασικούς βυζαντινούς ναούς. Τα δεδομένα κάθε διαγράμματος φαίνονται στους πίνακες των σχημάτων 6.1, 6.3 και 6.5. Επίσης σχεδιάστηκε και η ευθεία των Cremer και Muller [15], που αποτελεί το άνω όριο για το χρόνο αντήχησης στις μεσαίες συχνότητες σε άδειες εκκλησίες δυτικού τύπου. Σημειώνεται ότι οι ναοί που επιλέχθηκαν από τους Δασκαλόπουλο και Κυριακόπουλο είναι μεν ρυθμού τρουλαίας βασιλικής, αλλά έχουν κοινά χαρακτηριστικά με την παρούσα εργασία το χρόνο κατασκευής (19<sup>ος</sup> και 20<sup>ος</sup> αιώνας) άρα και τα υλικά κατασκευής, το μεγάλο όγκο και την απουσία εσωτερικών διαχωρισμών.

α/α	ΝΑΟΣ	ΟΓΚΟΣ (m <sup>3</sup> )	RT (sec)	
1	Αγ. Ειρήνη Γαλασίου	7445	5,83	Ναοί της Αθήνας, 20ός αιώνας - πα- ρούσα εργασία, 2010
2	Αγ. Σοφία Νέου Ψυχικού	5345	4,69	
3	Αγ. Τριάδα Αμπελοκήπων	3965	3,44	
4	Αγ. Τριάδα Χολαργού	4645	5,30	
5	Παναγία Χρυσοσπηλιώτισσα	5930	3,59	Ναοί της Αθήνας, 19 <sup>ος</sup> και 20ός αιώνας - Δασκαλόπουλος και Κυριακόπουλος, 2010
6	Αγ. Γεώργιος Καρύτσης	2500	2,36	
7	Αγ. Θεράποντας	6150	4,23	
8	Αγ. Βασίλειος	4800	3,26	
9	Παναγία Χαλκέων	1290	2,53	Αυθεντικοί βυζαντινοί ναοί της Θεσσαλονί- κης, 11 <sup>ος</sup> -14 <sup>ος</sup> αιώ- νας – Τζεκάκης, 1979
10	Άγ. Παντελεήμων	2880	2,97	
11	Αγ. Αικατερίνη	1230	2,33	
12	Άγ. Απόστολοι	1575	1,72	
13	Καθολικό Μοναστήρι Βλατάδων	835	1,18	
14	Προφ. Ηλίας	2250	2,23	Αυθεντικοί βυζαντινοί ναοί της Θεσσαλονί- κης, 7 <sup>ος</sup> – 13 <sup>ος</sup> αιώ- νας - Καραμπατζά- κης, 2008
15	Αγ. Σοφία	15250	2,99	
16	Παναγία Χαλκέων	1290	1,55	
17	Αγ. Αικατερίνη	1230	1,62	

Σχήμα 6.1 Χρόνος αντήχησης στις χαμηλές συχνότητες και όγκος των υπό εξέ-  
ταση ναών.

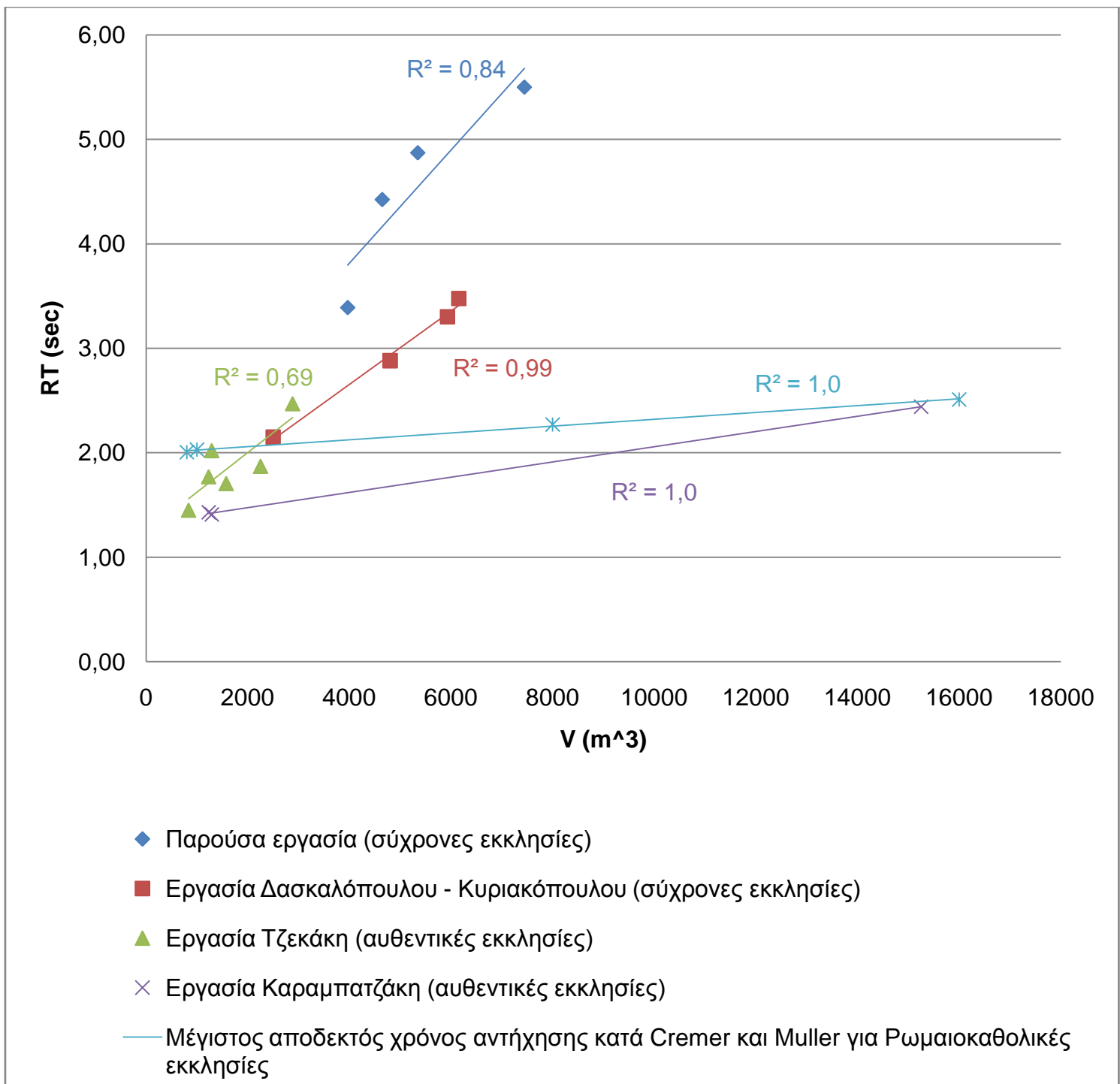


Σχήμα 6.2 Χρόνος αντήρησης στις χαμηλές συχνότητες συναρτήσει του όγκου για αυθεντικές και σύγχρονες βυζαντινές εκκλησίες. Για κάθε ομάδα σημείων σχεδιάστηκε μια γραμμή τάσης πρώτου βαθμού (γραμμική εξίσωση), της οποίας ο συντελεστής προσαρμογής ( $R^2$ ) φαίνεται στο σχήμα. Για το  $R^2$  ισχύει ότι  $0 \leq R^2 \leq 1$  και η παράμετρος αυτή δείχνει την προσαρμογή της γραμμής τάσης στα δεδομένα. Τέλεια προσαρμογή έχουμε για  $R^2=1$ .

α/α	ΝΑΟΣ	ΟΓΚΟΣ (m <sup>3</sup> )	RT (sec)	
1	Αγ. Ειρήνη Γαλατσίου	7445	5,50	Ναοί της Αθήνας, 20ός αιώνας - πα- ρούσα εργασία, 2010
2	Αγ. Σοφία Νέου Ψυχικού	5345	4,87	
3	Αγ. Τριάδα Αμπελοκήπων	3965	3,39	
4	Αγ. Τριάδα Χολαργού	4645	4,42	
5	Παναγία Χρυσοσπηλιώτισσα	5930	3,30	Ναοί της Αθήνας, 19ος και 20ός αιώ- νας - Δασκαλόπου- λος και Κυριακό- πουλος, 2010
6	Αγ. Γεώργιος Καρύτσης	2500	2,15	
7	Αγ. Θεράποντας	6150	3,48	
8	Αγ. Βασίλειος	4800	2,88	
9	Παναγία Χαλκέων	1290	2,02	Αυθεντικοί βυζαντι- νοί ναοί της Θεσσα- λονίκης, 11ος - 14ος αιώνας - Τζεκάκης, 1979
10	Άγ. Παντελεήμων	2880	2,47	
11	Αγ. Αικατερίνη	1230	1,77	
12	Άγ. Απόστολοι	1575	1,71	
13	Καθολικό Μοναστήρι Βλατά- δων	835	1,45	
14	Προφ. Ηλίας	2250	1,87	
15	Αγ. Σοφία	15250	2,44	Αυθεντικοί βυζαντι- νοί ναοί της Θεσσα- λονίκης, 7ος - 13ος αιώνας - Καραμπα- τζάκης, 2008
16	Παναγία Χαλκέων	1290	1,41	
17	Αγ. Αικατερίνη	1230	1,43	

Σχήμα 6.3 Χρόνος αντήχησης στις μεσαίες συχνότητες και όγκος των υπό εξέ-  
ταση ναών.

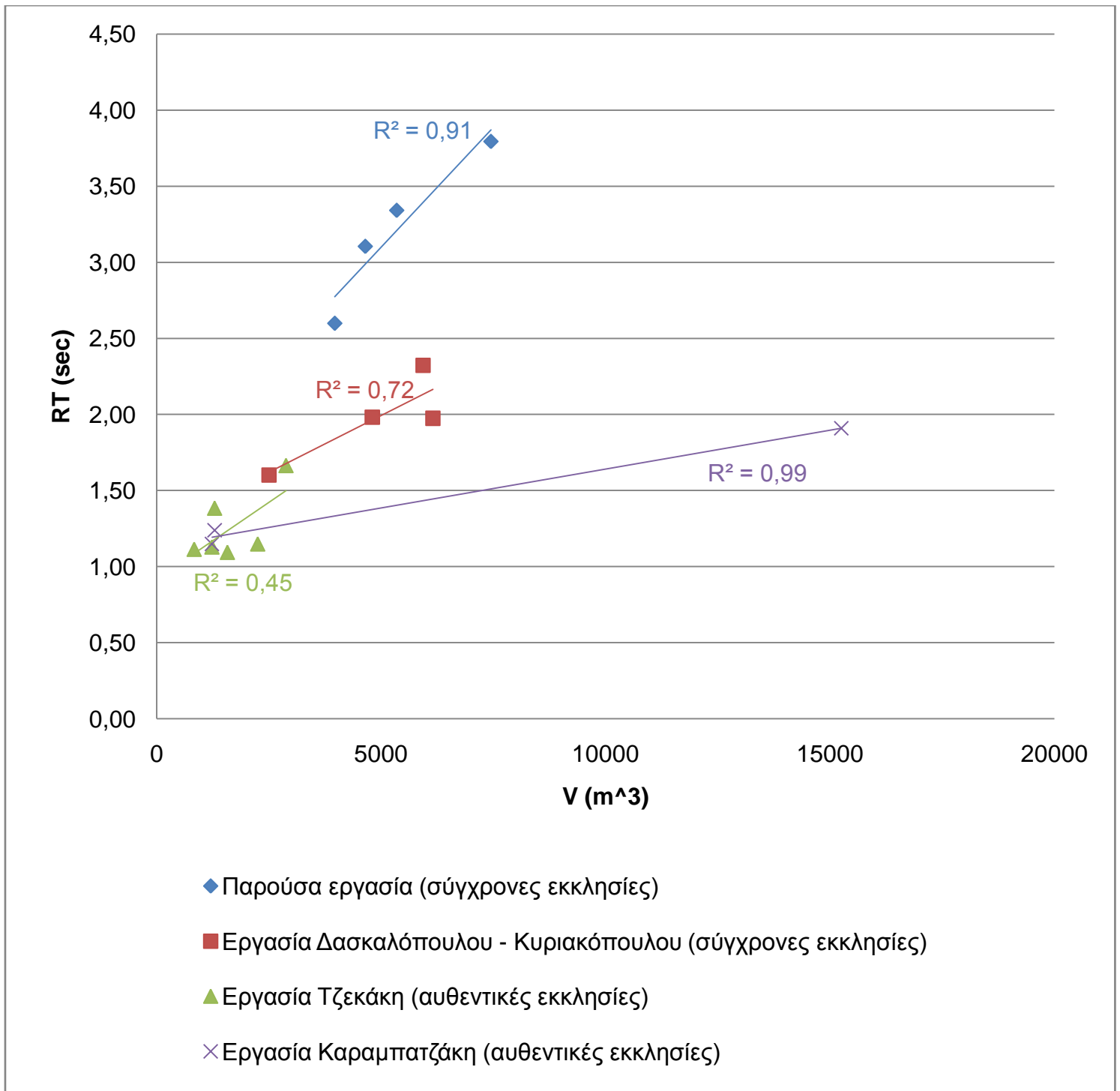




Σχήμα 6.4 Χρόνος αντήχησης στις μεσαίες συχνότητες συναρτήσει του όγκου για αυθεντικές και σύγχρονες βυζαντινές εκκλησίες. Για κάθε ομάδα σημείων σχεδιάστηκε μια γραμμή τάσης πρώτου βαθμού (γραμμική εξίσωση), της οποίας ο συντελεστής προσαρμογής ( $R^2$ ) φαίνεται στο σχήμα. Για το  $R^2$  ισχύει ότι  $0 \leq R^2 \leq 1$  και η παράμετρος αυτή δείχνει την προσαρμογή της γραμμής τάσης στα δεδομένα. Τέλεια προσαρμογή έχουμε για  $R^2=1$ .

α/α	ΝΑΟΣ	ΟΓΚΟΣ (m <sup>3</sup> )	RT (sec)	
1	Αγ. Ειρήνη Γαλατσίου	7445	3,79	Ναοί της Αθήνας, 20ός αιώνας - πα- ρούσα εργασία, 2010
2	Αγ. Σοφία Νέου Ψυχικού	5345	3,34	
3	Αγ. Τριάδα Αμπελοκήπων	3965	2,60	
4	Αγ. Τριάδα Χολαργού	4645	3,11	
5	Παναγία Χρυσοσπηλιώτισσα	5930	2,32	Ναοί της Αθήνας, 19ος και 20ός αιώ- νας - Δασκαλόπου- λος και Κυριακό- πουλος, 2010
6	Αγ. Γεώργιος Καρύτσης	2500	1,60	
7	Αγ. Θεράποντας	6150	1,98	
8	Αγ. Βασίλειος	4800	1,98	
9	Παναγία Χαλκέων	1290	1,39	Αυθεντικοί βυζαντι- νοί ναοί της Θεσσα- λονίκης, 11ος - 14ος αιώνας - Τζεκάκης, 1979
10	Άγ. Παντελεήμων	2880	1,67	
11	Αγ. Αικατερίνη	1230	1,13	
12	Άγ. Απόστολοι	1575	1,10	
13	Καθολικό Μοναστήρι Βλατά- δων	835	1,12	
14	Προφ. Ηλίας	2250	1,15	
15	Αγ. Σοφία	15250	1,91	Αυθεντικοί βυζαντι- νοί ναοί της Θεσσα- λονίκης, 7ος - 13ος αιώνας - Καραμπα- τζάκης, 2008
16	Παναγία Χαλκέων	1290	1,24	
17	Αγ. Αικατερίνη	1230	1,15	

Σχήμα 6.5 Χρόνος αντήχησης στις υψηλές συχνότητες και όγκος των υπό εξέ-  
ταση ναών.



Σχήμα 6.6 Χρόνος αντήχησης στις υψηλές συχνότητες συναρτήσει του όγκου για αυθεντικές και σύγχρονες βυζαντινές εκκλησίες. Για κάθε ομάδα σημείων σχεδιάστηκε μια γραμμή τάσης πρώτου βαθμού (γραμμική εξίσωση), της οποίας ο συντελεστής προσαρμογής ( $R^2$ ) φαίνεται στο σχήμα. Για το  $R^2$  ισχύει ότι  $0 \leq R^2 \leq 1$  και η παράμετρος αυτή δείχνει την προσαρμογή της γραμμής τάσης στα δεδομένα. Τέλεια προσαρμογή έχουμε για  $R^2=1$ .

Τα ως άνω σχήματα δηλώνουν ότι:

1. Υπάρχουν δυο ομάδες ναών, αφενός οι νεότεροι ελληνορθόδοξοι (απεικονίζονται με μπλε και κόκκινο χρώμα) και αφετέρου οι κλασικοί βυζαντινοί (με πράσινο και μωβ χρώμα).
2. Για τους νεότερους, οι χρόνοι αντήχησης που προέκυψαν είναι σημαντικά μεγαλύτεροι από τους επιθυμητούς κατά Cremer και Muller. Αντίθετα για τους αυθεντικούς ναούς που μέτρησαν ο Τζεκάκης και ο Καραμπατζάκης οι χρόνοι αντήχησης βρίσκονται κατά πολύ πλησιέστερα στις επιθυμητές τιμές. Το εύρημα αυτό επιβεβαιώνει την ύπαρξη του προβλήματος που θέσαμε από την εισαγωγή μας.
3. Στις αυθεντικές βυζαντινές εκκλησίες που μέτρησε ο Καραμπατζάκης, παρά τον τεράστιο όγκο των ναών, οι χρόνοι αντήχησης βρέθηκαν κοντά στις επιθυμητές τιμές. Αντίθετα στις σύγχρονες βυζαντινές εκκλησίες της παρούσας εργασίας παρατηρούνται τεράστιες αποκλίσεις του χρόνου αντήχησης από τα επιθυμητά επίπεδα, ακόμη και για ναούς συγκρίσιμου όγκου με τους αυθεντικούς στην εργασία του Καραμπατζάκη. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι οι ναοί που χρησιμοποίησε ο Καραμπατζάκης διέθεταν τεράστιο όγκο μεν, υποδιαιρεμένο όμως σε μικρότερα ημιχώρια. Σε αντίθεση, οι σύγχρονοι ναοί που μετρήθηκαν στην παρούσα εργασία διαθέτουν τεράστιο ενιαίο όγκο.
4. Οι σύγχρονοι ελληνορθόδοξοι ναοί της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ενώ διαθέτουν όγκο συγκρίσιμο με τον όγκο των ναών που μελέτησαν οι Δασκαλόπουλος και Κυριακόπουλος, εντούτοις οι χρόνοι αντήχησης της πρώτης ομάδας ναών είναι σχετικά αυξημένοι σε σχέση με τη δεύτερη ομάδα. Δηλαδή οι ναοί ρυθμού τρουλαίας βασιλικής δίνουν χρόνους αντήχησης μικρότερους από αυτούς ρυθμού σταυροειδούς εγγεγραμμένου με τρούλο.
5. Οι σύγχρονοι ελληνορθόδοξοι ναοί, αλλά και οι αυθεντικοί ναοί της εργασίας του Τζεκάκη, παρουσιάζουν μεγάλη αύξηση του χρόνου αντήχησης για μικρή μεταβολή του όγκου. Το αντίθετο συμβαίνει με τους αυθεντικούς ναούς που μέτρησε ο Καραμπατζάκης και με τη θεωρητική ευθεία που προτείνουν οι Cremer και Muller για ναούς δυτικού τύπου. Σε αυτούς, για μεγάλη μεταβολή του όγκου, η μεταβολή του χρόνου αντήχησης είναι μικρή.

Συγκρίνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία με αυτή των Fausti, Pompoli και Prodi (σελ 55 - 56) παρατηρούμε τα ακόλουθα:

1. Η μορφή των διαγραμμάτων χρόνου αντήχησης – συχνότητας είναι ίδια. Η μορφή των διαγραμμάτων σχετίζεται με την απορρόφηση του ήχου και επειδή στα κελύφη των ναών και των δυο περιπτώσεων δεν υπάρχει ηχοαπορρόφηση, τα διαγράμματα έχουν κοινή μορφή.
2. Η Αγία Σοφία έχει χρόνο αντήχησης στις μεσαίες συχνότητες περίπου 9,8 sec και εάν επεκτείνουμε την ευθεία των Cremer και Muller (βλέπε σελ. 47) για όγκο 180000 m<sup>3</sup> προκύπτει επιθυμητός χρόνος αντήχησης 7,5 sec. Άρα παρά τον τεράστιο όγκο της, οι χρόνοι αντήχησης που προέκυψαν γι' αυτήν είναι πλησιέστερα στο επιθυμητό όριο σε σύγκριση με τους ναούς της παρούσας εργασίας.
3. Ο όγκος της Αγίας Ειρήνης δεν αναφέρεται, άρα δεν μπορεί να γίνει σύγκριση με τους ναούς της παρούσας εργασίας.
4. Ο όγκος του Αγίου Βιταλίου είναι 25800 κυβικά μέτρα και ο χρόνος αντήχησης στις μεσαίες συχνότητες μετρήθηκε 4 sec. Ο χρόνος αυτός είναι αποδεκτός κατά το πρότυπο Cremer και Muller (βλέπε σελ. 47) και συνεπώς επιβεβαιώνεται το γεγονός ότι οι αυθεντικοί ναοί, παρότι έχουν μεγάλους όγκους, έχουν χαμηλούς χρόνους αντήχησης.

Τέλος, από την εργασία του Hammad (σελ 57 - 58) βρίσκουμε ότι:

1. Η μορφή της προτεινόμενης καμπύλης χρόνου αντήχησης – συχνότητας είναι ίδια με τις προκύπτουσες για κάθε ναό της παρούσας εργασίας.
2. Ωστόσο δεν αναφέρεται η πηγή του διαγράμματος, από τι είδους εκκλησίες προέκυψε (βυζαντινές, ρωμαιοκαθολικές κλπ) και σε τι εύρος όγκων ναών αναφέρεται.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ακουστική των εκκλησιών είναι μια πολιτιστική κληρονομιά που πρέπει να διατηρηθεί τόσο προσεκτικά όσο η καλλιτεχνική και η αρχιτεκτονική άποψη αυτής της συγκεκριμένης κατηγορίας κτιρίων [16].

Οι ελληνορθόδοξοι ναοί της νεότερης Ελλάδας χαρακτηρίζονται από την απουσία εγγύς προς το εκκλησίασμα ανακλαστικών επιφανειών, από τεράστιους ενιαίους όγκους και από υψηλούς χρόνους αντήχησης, σε αντίθεση με τους αυθεντικούς βυζαντινούς ναούς που έχουν χρόνους αντήχησης χαμηλότερους ανάλογα με τον όγκο τους ως εκ του γεγονότος ότι διαθέτουν διαιρεμένη κάτοψη. Ακόμη, οι σύγχρονοι ναοί που μετρήθηκαν στερούνται του προθαλάμου που υπάρχει στις αυθεντικές βυζαντινές εκκλησίες, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα μεταξύ άλλων λόγων, ο εισερχόμενος αστικός θόρυβος στον κυρίως ναό να υπερβαίνει τα δεκτά όρια.

Δημιουργία προθαλάμων στους σύγχρονους ναούς θα μπορούσε να συμβάλει στην προστασία αυτών από την αστική ηχορρύπανση. Υποδιαίρεση του συνολικού όγκου σε μικρότερα ημιχώρια κατά τα πρότυπα των αυθεντικών βυζαντινών ναών θα μπορούσε να μετριάσει τους προβληματικά υψηλούς χρόνους αντήχησης. Τέλος, αμφότερες οι ομάδες ναών δε φέρουν ηχοαπορροφητικές επενδύσεις (βλέπε σελ. 20-23).

Αν κάνουμε την παραδοχή ότι οι αυθεντικές βυζαντινές εκκλησίες είναι ικανοποιητικές για την απόδοση του βυζαντινού άσματος, τότε ο σχεδιασμός των νεότερων ελληνορθόδοξων ναών θα πρέπει να αναθεωρηθεί σύμφωνα με τα πρότυπα των ιστορικών ναών ώστε η μη φιλική ακουστική που παρατηρείται στους σύγχρονους ναούς κατά κοινή ομολογία να διορθωθεί.

Σε αυτή την κατεύθυνση ήδη εκπονείται σπουδαστική εργασία στη σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του ΕΜΠ η οποία προσπαθεί να εντάξει στη σύνθεση του ναού τα ευρήματά μας. Ο σπουδαστής [38] προτείνει την υποδιαίρεση της κάτοψης του ναού σε ανισοϋπή επίπεδα ούτως ώστε οι κατακόρυφες επιφάνειες μεταξύ των επιπέδων αυτών να τροφοδοτούν το εκκλησίασμα με πρώτες ανακλάσεις και πρόσθεσε στο ναό το νάρθηκα που συναντάμε και στους αυθεντικούς ναούς.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Σωτηροπούλου Αλεξάνδρα, Εμβάθυνση στο σχεδιασμό χώρων ακρόασης (Αθήνα 1996).
2. Σκαρλάτος Δ., Εφαρμοσμένη Ακουστική (1998).
3. Alton and Everest, Εγχειρίδιο Ακουστικής, 3<sup>η</sup> έκδοση (Θεσσαλονίκη 2003).
4. Barron M., Auditorium acoustics and architectural design. E & FN SPON, London (1993).
5. Egan M., Architectural acoustics, McGraw-Hill. Inc (1998).
6. SRL (Sound Research Laboratories Ltd), Practical Building Acoustics (London 1976).
7. Δασκαλόπουλος Παν. και Κυριακόπουλος Παν., Η Ακουστική Ελληνορθόδοξης Ναοδομίας (Διπλωματική εργασία, 2010).
8. Οικονόμου Άγγελος, Πειραματική Έρευνα της Αντίληψης της Ακουστικής Αιθουσών Διδασκαλίας Ι, Αίθουσες Διδασκαλίας Ζωγράφου, Πολυτεχνειούπολη (Διπλωματική εργασία, 2008).
9. Ταμβάκος Ι. και Λεμπέσης Ν., Συγκριτική μελέτη μεταξύ μετρήσεων στον πραγματικό χώρο και στον οιονεί χώρο, ακουστικών παραμέτρων αιθουσών διδασκαλίας (Διπλωματική εργασία, 2009).
10. Μπούρας Χ., Μαθήματα Ιστορίας της Αρχιτεκτονικής, τόμος Β, Αθήνα (ανατύπωση 1980).
11. Μπούρας Χ., Ιστορία της Αρχιτεκτονικής, τόμος Β, Αθήνα (1992).
12. Tzekakis Emm., Data on the Acoustics of Byzantine Churches of Thessaloniki, Acustica volume 43, page 275 (1979).
13. Καραμπατζάκης Παν., Ακουστικές μετρήσεις σε 11 βυζαντινούς ναούς της Θεσσαλονίκης, 4<sup>ο</sup> συνέδριο ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2008, Ξάνθη.
14. Καραμπατζάκης Παν., Σύγκριση των ακουστικών παραμέτρων των Μνημείων Αχειροποίητου και του Παναγίας Χαλκίων με την χρήση μετρήσεων και μαθηματικών μοντέλων, ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2010, Αθήνα.
15. Cremer Lothar and Muller Helmut, Principles and Applications of Room Acoustics volume 1, London and New York (1982).
16. Martellotta Fr., Cirillo Et., Carbonari Ant. and Ricciardi Paol., Guidelines for acoustical measurements in churches, Applied Acoustics volume 70, pages 378-388 (2009).
17. Oldham D.J. and Elkhateeb A., The absorption Characteristics of Muslim Worshippers, Building Acoustics volume 15, number 4, pages 335-348 (2008).
18. Tzekakis Emm., Reverberation time of the Rotunda of Thessaloniki, Journal of the Acoustical Society of America volume 57, No. 5, page 1207 (May 1975).
19. Desarnaulds V., Carvalho A. and Monay G., Church Acoustics and the Influence of Occupancy, Building Acoustics Volume 9, Number 1, Pages 29-47 (2002).

20. Martellotta Fr. and Cirillo Et., Sound propagation and energy relations in churches, *Journal of the Acoustical Society of America* 118 (1), pages 232-248 (July 2005).
21. Magrini A. and Ricciardi P., Churches as Auditoria: Analysis of Acoustical Parameters for a Better Understanding of Sound Quality, *Building Acoustics* volume 10, number 2, pages 135-158 (2003).
22. Fernandez M.D. and Recuero M., Data Base Design for Acoustics: The Case of Churches, *Building Acoustics* volume 12, number 1, pages 31-40 (2005).
23. Martellotta Fr. and Cirillo Et., Experimental studies of sound absorption by church pews, *Applied Acoustics* 70, pages 441-449 (2009).
24. Berardi U., Cirillo E. and Martellotta F., A comparative analysis of acoustic energy models for churches, *Journal of the Acoustical Society of America* 126 (4), pages 1838-1849 (October 2009).
25. Magrini A. and Magnani L., Models of the Influence of Coupled Spaces in Christian Churches, *Building Acoustics* volume 12, number 2, pages 115-139 (2005).
26. Hammad R.N.S., Technical Note; Rasti Measurements in Mosques in Amman, Jordan, *Applied Acoustics* 30, pages 335-345 (1990).
27. Fausti P., Pompoli R. and Prodi N., Comparing the acoustics of mosques and byzantine churches, <http://cipa.icomos.org/text%20files/antalya/65.pdf>.
28. Harun Mokhtar, Abdul Rahman Tharek, Ibrahim Najib and Said Ahmad Khan, Speech intelligibility evaluation for mosques, <http://eprints.utm.my/10991/> (2000).
29. Baumann D. and Niederstätter C., Acoustics in Sacred Buildings, <http://www.springerlink.com/content/g512n65263863048/> (2008).
30. Aydin A., Tavukcuoglu A. and Caliskan M., Assessment of Acoustical Characteristics for Historical Baths (Hammams), *Acoustics 08 Paris*.
31. Mutbul Kayili, Acoustic solutions in classic ottoman architecture, <http://www.muslimheritage.com/uploads/Acoustic.pdf> (May 2005).
32. [http://en.wikipedia.org/wiki/Basilica\\_of\\_San\\_Vitale](http://en.wikipedia.org/wiki/Basilica_of_San_Vitale)
33. <http://www.ekpaideusi.com/KONSTANTINOUPOLI/agia%20sofia.html>
34. <http://www.orthodoxosnaos.org/exelixa.html>
35. [http://www.stohellas.gr/18201\\_GR.html](http://www.stohellas.gr/18201_GR.html)
36. <http://www.mipeco.gr/content/view/121/638/lang,el/>
37. <http://www.akx.gr/20-08.asp>
38. Νικόλαος Τρούλος, 2010, προσωπική επικοινωνία.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Αποτελέσματα ηχομετρήσεων

Αγία Ειρήνη Γαλασίου

Έγιναν μετρήσεις σε 16 διαφορετικά σημεία.

<b>1</b>						
f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
EDT [s]:	6,57	6,53	5,46	4,57	3,99	2,41
T20 [s]:	5,06	5,98		5,13	4,14	
T30 [s]:	4,87	6,01	5,78	5,17	4,21	
Ts [ms]:	445,60	284,20	451,60	654,70	265,70	283,40
C80 [dB]:	0,38	1,11	1,26	1,54	1,23	1,54
D50 [-]:	0,52	0,55	0,56	0,55	0,53	0,50
<b>2</b>						
EDT [s]:	5,94	6,07	5,26	4,96	4,21	2,87
T20 [s]:	6,20	6,03	5,70	5,09	4,23	3,14
T30 [s]:	8,34	6,08	5,75	5,17	4,27	3,23
Ts [ms]:	424,00	399,50	363,10	447,10	255,10	193,30
C80 [dB]:	-6,36	-5,21	-3,57	-3,96	-1,41	0,40
D50 [-]:	0,15	0,18	0,24	0,25	0,38	0,45
<b>3</b>						
EDT [s]:	5,55	5,86	5,59	5,00	3,68	2,95
T20 [s]:	6,39	6,15	5,80		4,29	3,17
T30 [s]:	5,79	6,10	5,89	5,19	4,32	3,10
Ts [ms]:	379,80	414,20	434,30	400,70	321,20	242,00
C80 [dB]:	-4,10	-5,69	-5,91	-5,50	-6,02	-4,51
D50 [-]:	0,23	0,13	0,13	0,18	0,15	0,20

**4**

EDT [s]:	6,03	5,41	5,79	5,11	4,25	3,09
T20 [s]:	5,94	6,27	5,71	5,21	4,30	3,14
T30 [s]:	6,06	6,04	5,71	5,16	4,31	3,17
Ts [ms]:	481,80	386,90	433,00	410,20	326,40	254,80
C80 [dB]:	-7,19	-5,67	-6,76	-7,05	-5,55	-4,82
D50 [-]:	0,09	0,15	0,12	0,12	0,14	0,17

**5**

EDT [s]:	6,41	6,27	5,36	5,26	4,29	2,99
T20 [s]:	5,84	6,33	5,76	5,16	4,21	3,23
T30 [s]:	5,59	6,29	5,83	5,28	4,20	3,29
Ts [ms]:	542,00	417,80	379,20	410,50	302,10	187,60
C80 [dB]:	-5,52	-4,88	-5,88	-5,60	-4,36	-0,76
D50 [-]:	0,19	0,20	0,12	0,17	0,22	0,39

**6**

EDT [s]:	6,93	6,39	5,44	5,20	4,24	3,22
T20 [s]:	6,13	6,18	5,76	5,14	4,23	3,20
T30 [s]:	6,11	6,19	5,61	5,16	4,22	3,15
Ts [ms]:	579,10	437,20	389,20	417,20	315,80	238,00
C80 [dB]:	-6,58	-5,92	-5,36	-5,93	-5,40	-3,87
D50 [-]:	0,14	0,16	0,17	0,15	0,19	0,22

**7**

EDT [s]:	5,62	5,59	5,76	5,25	4,12	3,17
T20 [s]:	5,60	5,95	5,72	5,02	4,33	3,20
T30 [s]:	5,30		5,65	5,09	4,40	3,43
Ts [ms]:	645,90	427,20	418,10	436,90	300,30	230,40
C80 [dB]:	-6,54	-8,77	-6,72	-5,31	-4,55	-3,05
D50 [-]:	0,14	0,08	0,10	0,15	0,19	0,24

**8**

EDT [s]:	6,25	5,75	5,80	5,10	4,21	3,04
T20 [s]:	5,74	5,60	5,65		4,18	3,09
T30 [s]:	5,60		5,67	5,21	4,33	
Ts [ms]:	565,10	393,50	404,70	413,00	302,90	225,40
C80 [dB]:	-6,68	-4,84	-4,64	-3,82	-4,05	-2,95
D50 [-]:	0,05	0,17	0,17	0,23	0,22	0,27

**9**

EDT [s]:	5,49	6,20	5,46	5,09	4,22	3,08
T20 [s]:	6,16	5,65	5,80	5,17	4,19	3,22
T30 [s]:	6,31		5,73	5,12	4,38	3,23
Ts [ms]:	602,20	410,40	407,70	371,70	310,50	227,00
C80 [dB]:	-6,11	-4,60	-7,06	-5,23	-5,02	-2,90
D50 [-]:	0,16	0,15	0,12	0,18	0,19	0,25

**10**

EDT [s]:	5,78	5,43	5,51	4,98	4,35	3,18
T20 [s]:	4,83	6,21	5,89	5,27	4,31	3,13
T30 [s]:	4,33		6,01	5,31	4,32	3,17
Ts [ms]:	752,10	406,40	422,10	397,10	317,10	232,30
C80 [dB]:	-7,23	-6,14	-7,17	-5,69	-4,70	-3,06
D50 [-]:	0,06	0,06	0,10	0,14	0,16	0,25

**11**

EDT [s]:	4,98	5,87	5,21	4,76	3,94	2,86
T20 [s]:	5,75	5,55	5,42	5,23	3,93	3,12
T30 [s]:	5,49	5,71	5,77	5,19	4,43	
Ts [ms]:	521,50	413,50	386,30	450,10	303,60	239,60
C80 [dB]:	-9,15	-6,48	-4,64	-3,04	-3,29	-1,91
D50 [-]:	0,08	0,16	0,23	0,30	0,27	0,33

**12**

EDT [s]:	5,47	5,32	5,31	4,23	4,51	3,16
T20 [s]:	5,53	5,50	5,81		4,70	3,52
T30 [s]:	5,40	5,78	5,79	5,41	4,67	
Ts [ms]:	616,20	430,00	376,00	501,20	340,00	283,10
C80 [dB]:	-8,51	-7,95	-6,49	-5,90	-3,67	-3,72
D50 [-]:	0,09	0,06	0,13	0,16	0,23	0,20

**13**

EDT [s]:	5,47	5,53	5,47	4,99	4,10	3,19
T20 [s]:	6,90	6,16	5,71	5,13	4,24	3,13
T30 [s]:	5,27	6,09	5,81	5,15	4,31	3,24
Ts [ms]:	592,10	432,20	435,90	388,50	312,60	231,60
C80 [dB]:	-10,53	-8,94	-8,89	-5,85	-5,16	-3,25
D50 [-]:	0,03	0,07	0,07	0,15	0,17	0,24

**ΓΥΝΑΙΚΩΝΙΤΗΣ****14**

EDT [s]:	7,23	5,87	5,97	5,55	4,51	3,16
T20 [s]:	7,22	6,17	5,75	5,33	4,44	3,16
T30 [s]:	6,97	6,15	5,86	5,32	4,39	3,25
Ts [ms]:	636,90	472,70	465,20	456,50	357,80	227,00
C80 [dB]:	-9,33	-8,14	-7,52	-7,85	-6,76	-2,88
D50 [-]:	0,09	0,08	0,11	0,10	0,12	0,27

**15**

EDT [s]:	6,44	6,28	5,73	5,10	4,23	3,12
T20 [s]:	5,75	5,94	5,47	5,10	4,25	3,29
T30 [s]:	5,18	6,04	5,86	5,20	4,25	3,30
Ts [ms]:	686,80	511,20	459,60	400,60	325,40	259,60
C80 [dB]:	-11,08	-9,41	-9,16	-7,72	-6,22	-3,87
D50 [-]:	0,05	0,07	0,05	0,09	0,14	0,21

**16**

EDT [s]:	6,86	6,21	5,63	5,30	4,55	3,35
T20 [s]:	5,88	6,19	5,76	5,36	4,59	3,35
T30 [s]:	5,95	6,17	5,79	5,35	4,46	3,42
Ts [ms]:	620,20	533,20	496,30	427,50	355,10	267,80
C80 [dB]:	-10,63	-11,28	-10,85	-9,58	-6,71	-5,12
D50 [-]:	0,06	0,04	0,05	0,05	0,10	0,16

Όπου:

T30 = RT, C80 = 80ms E-To-L, D50 = EEF<sub>50</sub>

και: *πλάγια γραφή* = τιμές τις οποίες απέρριψε η αυτόματη επεξεργασία του προγράμματος Dirac αλλά χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό του μέσου όρου κάθε παραμέτρου,

**μωβ πλαίσιο** = τιμές που απορρίφθηκαν κατά τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων λόγω της μεγάλης απόκλισής τους από τις υπόλοιπες.

### Αγία Σοφία Νέου Ψυχικού

Έγιναν μετρήσεις σε 18 διαφορετικά σημεία.

**1**

	125	250	500	1000	2000	4000
EDT [s]:	4,91	5,14	4,90	4,36	3,53	2,47
T20 [s]:	4,80	5,42	5,30	4,62		2,77
T30 [s]:	4,25	5,07	5,50	4,66	3,73	2,90
Ts [ms]:	397,40	309,30	432,00	638,30	285,20	326,70
C80 [dB]:	-1,14	-1,65	-1,93	-0,85	0,48	1,57
D50 [-]:	0,41	0,36	0,36	0,40	0,47	0,49

**2**

EDT [s]:	5,11	5,51	5,28	4,59	3,65	2,84
T20 [s]:	4,97	4,87	5,24	4,49	3,75	2,76
T30 [s]:	4,59	4,86	5,36	4,67	3,82	2,99
Ts [ms]:	503,10	430,50	394,10	391,60	263,40	258,40
C80 [dB]:	-5,48	-6,79	-6,50	-5,39	-2,41	-1,12
D50 [-]:	0,19	0,12	0,15	0,16	0,30	0,36

**3**

EDT [s]:	4,42	5,88	5,15	4,69	3,82	2,78
T20 [s]:	4,70	4,74	5,03	4,49	3,71	2,82
T30 [s]:	4,32	4,68	4,89	4,16	3,73	2,94
Ts [ms]:	585,30	427,60	405,10	417,80	285,80	216,90
C80 [dB]:	-3,72	-6,15	-6,20	-5,12	-3,35	-0,86
D50 [-]:	0,24	0,13	0,13	0,16	0,24	0,37

**4**

EDT [s]:	5,49	5,35	5,16	4,52	3,82	2,84
T20 [s]:	4,67	5,12	4,93	4,67	3,66	2,81
T30 [s]:	4,64	4,97	5,06	4,61	3,77	2,92
Ts [ms]:	761,70	423,20	349,50	526,10	288,50	239,80
C80 [dB]:	-6,01	-6,54	-2,54	-3,09	-1,92	-0,59
D50 [-]:	0,18	0,14	0,32	0,28	0,35	0,41

**5**

EDT [s]:	4,28	5,56	5,31	4,28	3,87	2,77
T20 [s]:	4,45	5,29	5,10		3,70	2,82
T30 [s]:	3,80	4,88	5,34	4,70	3,72	2,88
Ts [ms]:	713,50	438,40	404,70	387,00	264,70	247,10
C80 [dB]:	-5,57	-7,72	-6,00	-4,14	-1,86	-0,93
D50 [-]:	0,10	0,09	0,11	0,22	0,33	0,37

**6**

EDT [s]:	5,56	5,31	5,36	4,47	3,51	2,75
T20 [s]:	4,69	5,20	5,02	4,58	3,68	2,80
T30 [s]:	4,70	5,15	5,11	4,59	3,69	2,92
Ts [ms]:	558,20	355,60	410,20	424,00	273,80	238,30
C80 [dB]:	-3,84	-4,69	-6,42	-6,19	-3,41	-2,04
D50 [-]:	0,20	0,15	0,10	0,16	0,23	0,27

**7**

EDT [s]:	5,15	5,56	5,29	4,78	3,89	2,91
T20 [s]:	4,46	5,18	5,04	4,70	3,82	2,87
T30 [s]:	4,21	5,02	5,12	4,60	3,82	2,95
Ts [ms]:	562,20	428,10	403,80	417,10	297,80	231,40
C80 [dB]:	-4,73	-9,08	-8,21	-5,93	-3,69	-2,19
D50 [-]:	0,17	0,07	0,08	0,14	0,20	0,26

**8**

EDT [s]:	3,75	5,37	5,40	4,74	3,81	2,97
T20 [s]:	5,59	4,87	4,91	4,57	3,74	2,82
T30 [s]:	4,50	4,85	5,28	4,67	3,78	2,95
Ts [ms]:	546,40	410,80	438,90	380,60	285,30	228,40
C80 [dB]:	-4,48	-7,23	-9,20	-5,81	-4,24	-2,60
D50 [-]:	0,22	0,10	0,06	0,17	0,21	0,28

**9**

EDT [s]:	5,31	5,58	5,23	4,82	4,25	3,02
T20 [s]:	4,29	5,29	5,12	4,62	3,88	2,96
T30 [s]:	4,39	5,02	5,06	4,70	3,89	2,98
Ts [ms]:	680,30	411,50	430,10	410,10	308,40	211,60
C80 [dB]:	-4,64	-6,09	-8,16	-5,69	-4,10	-1,75
D50 [-]:	0,22	0,12	0,09	0,15	0,23	0,34

**10**

EDT [s]:	5,00	5,02	5,35	4,64	3,89	3,05
T20 [s]:	4,50	5,02	5,07	4,66	3,83	2,84
T30 [s]:	4,25	4,98	5,65	5,03	3,84	2,96
Ts [ms]:	716,60	398,50	436,60	432,50	294,00	243,30
C80 [dB]:	-2,41	-7,29	-10,17	-7,58	-4,74	-4,36
D50 [-]:	0,23	0,11	0,03	0,08	0,12	0,12

**11**

EDT [s]:	4,95	5,49	5,22	4,73	3,76	2,97
T20 [s]:	5,39	5,25	5,14	4,38	3,56	2,91
T30 [s]:	5,12	5,15	5,62	4,29	3,67	2,89
Ts [ms]:	651,30	397,90	431,30	379,80	285,30	236,00
C80 [dB]:	-2,66	-5,55	-8,97	-6,22	-4,69	-3,74
D50 [-]:	0,26	0,14	0,07	0,16	0,19	0,22

**12**

EDT [s]:	4,02	5,93	5,48	4,81	4,00	2,86
T20 [s]:	4,51	4,61	5,22	4,49	3,77	2,79
T30 [s]:	4,24	4,83	5,56	4,65	3,81	2,96
Ts [ms]:	750,80	471,50	404,10	382,70	283,70	253,40
C80 [dB]:	-5,02	-7,48	-5,86	-4,10	-2,41	-1,35
D50 [-]:	0,13	0,10	0,11	0,19	0,29	0,33

**13**

EDT [s]:	5,10	5,09	5,22	4,67	3,82	2,73
T20 [s]:	5,15	5,05	5,22		3,63	2,85
T30 [s]:	8,58	5,11	5,65	4,75	3,73	2,91
Ts [ms]:	421,60	400,40	424,10	427,70	301,60	239,80
C80 [dB]:	-1,94	-7,37	-6,24	-6,54	-5,53	-3,64
D50 [-]:	0,36	0,12	0,13	0,10	0,12	0,18

**14**

EDT [s]:	4,69	5,29	5,52	4,31	3,83	2,83
T20 [s]:	4,01	4,78	4,97		3,49	2,78
T30 [s]:	3,61	4,76	4,80	4,63	3,66	2,85
Ts [ms]:	813,20	372,50	423,40	467,20	323,70	259,90
C80 [dB]:	-6,77	-6,14	-5,10	-3,43	-3,74	-1,60
D50 [-]:	0,07	0,16	0,21	0,26	0,25	0,35



**15**

EDT [s]:	5,33	5,05	5,00	4,82	4,02	3,05
T20 [s]:	5,32	5,27	5,09	4,65	3,77	2,92
T30 [s]:	5,07	5,04	4,81	4,39	3,82	2,90
Ts [ms]:	649,10	432,00	430,10	389,00	300,10	240,70
C80 [dB]:	-3,74	-8,22	-9,09	-5,75	-4,39	-4,04
D50 [-]:	0,25	0,10	0,07	0,16	0,21	0,22

**ΓΥΝΑΙΚΩΝΙΤΗΣ****16**

EDT [s]:	4,61	5,32	5,32	4,84	3,93	2,65
T20 [s]:	5,06	5,26	5,02	4,59	3,76	2,84
T30 [s]:	4,69	5,38	5,20	4,60	3,82	2,92
Ts [ms]:	598,00	390,90	415,50	450,60	296,70	222,90
C80 [dB]:	-4,62	-5,56	-6,77	-7,32	-4,20	-3,10
D50 [-]:	0,08	0,09	0,07	0,09	0,12	0,15

**17**

EDT [s]:	4,38	5,75	5,04	4,35	3,76	2,87
T20 [s]:	5,37	4,69	4,58	4,55	3,74	2,78
T30 [s]:	12,68	4,92	5,20	4,60	3,74	2,93
Ts [ms]:	623,90	442,70	414,70	385,20	302,90	237,00
C80 [dB]:	-6,36	-5,80	-7,78	-8,74	-4,85	-4,22
D50 [-]:	0,03	0,13	0,06	0,06	0,14	0,17

**18**

EDT [s]:	4,22	5,43	4,97	4,73	3,81	2,80
T20 [s]:	4,26	5,36	5,11	4,52	3,67	2,87
T30 [s]:	3,57	5,61	3,76	4,14	3,63	2,92
Ts [ms]:	797,80	483,50	423,40	426,00	309,80	209,80
C80 [dB]:	-11,25	-10,22	-8,53	-7,71	-6,14	-2,64
D50 [-]:	0,02	0,05	0,07	0,10	0,14	0,27

## Αγία Τριάδα Χολαργού

Έγιναν μετρήσεις σε 16 διαφορετικά σημεία.

**1**

	125	250	500	1000	2000	4000
EDT [s]:	6,85	6,30	4,43	3,42	3,55	2,55
T20 [s]:		5,31		4,08		2,87
T30 [s]:	4,97		4,85	4,01		2,88
Ts [ms]:	520,90	342,90	486,40	728,10	350,90	337,30
C80 [dB]:	-3,62	-1,49	-2,60	-1,53	-1,49	-1,51
D50 [-]:	0,27	0,35	0,30	0,38	0,36	0,36

**2**

EDT [s]:	6,18	5,51	5,01	4,57	3,62	2,71
T20 [s]:	6,07	5,08	4,78	4,07	3,48	2,71
T30 [s]:	6,62	5,24	4,71	4,10	3,48	2,71
Ts [ms]:	523,20	405,00	420,00	515,10	301,40	223,30
C80 [dB]:	-9,30	-6,50	-6,77	-5,88	-4,10	-2,06
D50 [-]:	0,08	0,15	0,13	0,15	0,22	0,31

**3**

EDT [s]:	6,24	5,48	4,84	4,13	3,55	2,81
T20 [s]:	5,16	5,31	5,02	4,21	3,45	2,70
T30 [s]:	5,04	5,32	4,86	4,14	3,41	2,70
Ts [ms]:	502,40	426,70	375,40	493,50	313,30	256,80
C80 [dB]:	-10,16	-7,71	-6,22	-6,31	-5,64	-4,54
D50 [-]:	0,07	0,09	0,13	0,11	0,13	0,15

**4**

EDT [s]:	6,56	5,67	4,91	4,37	3,71	2,69
T20 [s]:	5,63	4,87	4,73	3,99	3,44	2,75
T30 [s]:	5,48	5,08	4,60	3,98	3,50	2,79
Ts [ms]:	417,70	462,30	429,10	496,40	366,40	273,50
C80 [dB]:	-2,64	-9,66	-10,67	-10,31	-10,69	-8,31
D50 [-]:	0,33	0,06	0,06	0,07	0,06	0,09

**5**

EDT [s]:	6,22	5,56	4,64	4,32	3,48	2,56
T20 [s]:		5,51	4,88	4,20	3,50	2,67
T30 [s]:	6,16	5,46	4,83	4,15	3,44	2,75
Ts [ms]:	468,60	419,60	404,70	498,00	284,40	230,20
C80 [dB]:	-5,33	-7,47	-6,98	-5,45	-3,72	-1,73
D50 [-]:	0,07	0,05	0,08	0,13	0,15	0,16

**6**

EDT [s]:	6,14	5,98	5,06	4,26	3,81	2,75
T20 [s]:	5,42	5,12	4,49	4,08	3,46	2,68
T30 [s]:	4,98	5,12	4,65	4,03	3,49	2,77
Ts [ms]:	473,40	452,90	399,10	412,80	311,20	245,30
C80 [dB]:	-6,84	-7,29	-7,33	-6,60	-5,04	-3,44
D50 [-]:	0,14	0,10	0,12	0,13	0,18	0,23

**7**

EDT [s]:	5,64	5,87	5,05	3,82	3,66	2,64
T20 [s]:	5,64	5,22	4,60	3,97	3,34	2,60
T30 [s]:	7,54	5,20	4,67	3,97	3,42	2,73
Ts [ms]:	596,70	461,90	457,60	480,50	332,70	265,70
C80 [dB]:	-11,61	-11,95	-10,01	-7,96	-6,81	-6,14
D50 [-]:	0,01	0,01	0,03	0,07	0,09	0,09

**8**

EDT [s]:	6,22	5,59	4,60	4,03	3,56	2,59
T20 [s]:	6,07	5,06	4,73	4,08	3,47	2,65
T30 [s]:	6,14	5,14	4,84	4,13	3,43	2,72
Ts [ms]:	412,60	441,50	372,00	473,60	300,60	258,70
C80 [dB]:	-3,54	-8,53	-6,19	-5,88	-3,29	-2,73
D50 [-]:	0,06	0,04	0,07	0,12	0,15	0,19

**9**

EDT [s]:	5,35	5,56	4,95	4,34	3,56	2,57
T20 [s]:	5,34	5,38	4,73	4,13	3,37	2,63
T30 [s]:	5,36	5,17	4,82	4,08	3,48	2,67
Ts [ms]:	411,50	419,40	438,60	491,90	339,10	279,90
C80 [dB]:	-12,55	-8,62	-10,61	-8,52	-8,10	-7,97
D50 [-]:	0,02	0,01	0,03	0,05	0,05	0,04

**10**

EDT [s]:	5,68	5,46	5,22	4,11	3,52	2,67
T20 [s]:	5,40	5,30	4,62	4,10	3,49	2,69
T30 [s]:	5,44	5,24	4,62	4,16		2,74
Ts [ms]:	511,90	473,00	438,80	449,50	330,20	277,80
C80 [dB]:	-14,70	-10,04	-11,71	-9,03	-7,54	-7,98
D50 [-]:	0,01	0,00	0,01	0,03	0,02	0,02

**11**

EDT [s]:	5,60	5,53	4,59	4,16	3,74	2,73
T20 [s]:	5,60	5,31		4,23		2,63
T30 [s]:	5,37	5,22	4,72	4,13		2,70
Ts [ms]:	463,50	418,70	443,80	677,50	356,40	267,80
C80 [dB]:	-8,90	-5,89	-5,98	-4,51	-3,54	-2,81
D50 [-]:	0,06	0,08	0,13	0,18	0,19	0,19

**12**

EDT [s]:	5,14	5,72	4,80	4,10	3,56	2,67
T20 [s]:		4,81	4,71	4,11	3,50	2,75
T30 [s]:	4,77	4,90	4,84	4,13	3,52	2,78
Ts [ms]:	557,00	480,40	397,40	442,90	333,30	255,50
C80 [dB]:	-11,38	-11,00	-8,47	-8,60	-9,03	-7,85
D50 [-]:	0,02	0,03	0,07	0,07	0,03	0,05

**ΓΥΝΑΙΚΩΝΙΤΗΣ**

**13**

EDT [s]:	5,47	5,81	4,88	4,05	2,86	2,58
T20 [s]:	5,27	4,89	4,72	4,20	3,44	2,74
T30 [s]:	5,28	5,19	4,93	4,07	3,42	2,73
Ts [ms]:	448,80	460,50	447,20	438,30	345,50	286,90
C80 [dB]:	-15,49	-13,34	-15,63	-14,57	-13,97	-12,07
D50 [-]:	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00

**14**

EDT [s]:	6,67	5,39	5,00	4,13	3,66	2,79
T20 [s]:		5,35	4,77	4,13	3,49	2,75
T30 [s]:	3,97	5,39	4,78	4,07	3,46	2,79
Ts [ms]:	825,40	437,50	430,70	453,50	349,40	302,10
C80 [dB]:	-17,26	-10,60	-11,39	-11,24	-11,14	-9,78
D50 [-]:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**15**

EDT [s]:	6,22	5,07	4,61	4,22	3,46	2,57
T20 [s]:	5,60	5,20	4,90	4,19	3,50	2,64
T30 [s]:	5,95	5,17	4,86	4,15	3,55	2,83
Ts [ms]:	561,10	423,60	425,10	526,90	360,60	317,90
C80 [dB]:	-13,59	-11,07	-9,35	-9,40	-11,49	-11,83
D50 [-]:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**16**

EDT [s]:	5,29	5,28	4,78	4,06	3,44	2,59
T20 [s]:	5,18	5,26	4,58	4,01	3,39	2,66
T30 [s]:	5,39	5,39	4,64	4,07		2,61
Ts [ms]:	458,70	419,00	497,10	593,80	370,50	307,00
C80 [dB]:	-12,86	-9,06	-10,45	-12,03	-12,05	-9,72
D50 [-]:	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01

## Αγία Τριάδα Αμπελοκήπων

Έγιναν μετρήσεις σε 14 διαφορετικά σημεία.

**1**

	125	250	500	1000	2000	4000
EDT [s]:	2,81	4,58	3,61	3,26	2,56	1,76
T20 [s]:	0,10	4,20	3,86	3,00		1,85
T30 [s]:	0,09	4,07	3,51	2,68	2,66	1,92
Ts [ms]:	2513,80	294,40	427,50	1303,00	332,90	210,20
C80 [dB]:	-6,03	0,21	0,46	-1,42	-1,48	2,19
D50 [-]:	0,19	0,49	0,50	0,35	0,32	0,53

**2**

EDT [s]:	4,33	4,30	4,37	3,28	2,83	2,17
T20 [s]:	3,90	4,09	3,79	3,57	2,88	2,15
T30 [s]:	3,57	3,80	2,05	2,78	2,86	2,09
Ts [ms]:	2068,20	391,90	352,30	428,10	187,60	173,10
C80 [dB]:	-7,40	-3,64	-2,05	-2,64	0,53	0,97
D50 [-]:	0,08	0,19	0,34	0,27	0,42	0,45

**3**

EDT [s]:	3,63	3,97	3,70	3,42	3,03	2,12
T20 [s]:	3,03	3,90	4,19	3,39	2,91	2,21
T30 [s]:	2,88	4,15	3,46	3,17	3,08	2,33
Ts [ms]:	2437,00	374,40	365,50	528,50	230,00	201,90
C80 [dB]:	-6,56	-3,69	-4,75	-4,16	-1,51	-1,27
D50 [-]:	0,10	0,10	0,17	0,20	0,31	0,32

**4**

EDT [s]:	3,18	4,12	4,13	3,52	3,08	2,34
T20 [s]:	2,31	4,97	4,02	3,56	2,90	2,11
T30 [s]:	2,17	7,17	3,82	3,14	3,06	2,33
Ts [ms]:	3512,80	500,60	385,10	390,90	241,50	215,30
C80 [dB]:	-13,12	-5,60	-4,94	-3,72	-2,23	-1,80
D50 [-]:	0,04	0,15	0,18	0,23	0,29	0,31

**5**

EDT [s]:	3,31	4,30	4,10	3,36	2,78	2,22
T20 [s]:	3,62	4,11	4,02	3,59	2,99	2,20
T30 [s]:	3,21	3,76	3,03	3,19	3,06	2,37
Ts [ms]:	1024,00	361,00	362,10	420,20	242,40	182,60
C80 [dB]:	-2,61	-4,58	-4,55	-3,45	-2,70	-0,71
D50 [-]:	0,14	0,06	0,16	0,21	0,23	0,34

**6**

EDT [s]:	3,94	4,11	4,15	3,88	3,04	2,09
T20 [s]:	2,63	4,52	4,21	3,56	2,84	2,14
T30 [s]:	2,27	4,51	4,02	2,70	2,94	2,25
Ts [ms]:	3376,40	434,40	356,50	379,40	243,30	173,50
C80 [dB]:	-9,54	-8,61	-6,47	-3,93	-2,52	-1,59
D50 [-]:	0,05	0,10	0,15	0,19	0,23	0,29

**7**

EDT [s]:	3,72	4,24	4,22	3,55	2,86	2,26
T20 [s]:	2,64	4,14	4,07	3,57	2,89	2,13
T30 [s]:	2,43	4,19	3,91	3,39	3,04	2,24
Ts [ms]:	2637,90	433,90	423,40	397,80	316,20	226,70
C80 [dB]:	-7,81	-4,15	-6,28	-5,98	-2,97	-1,74
D50 [-]:	0,10	0,19	0,14	0,15	0,26	0,32

**8**

EDT [s]:	3,50	4,09	4,17	3,43	2,88	2,08
T20 [s]:	2,99	3,90	4,02	3,50	2,81	2,08
T30 [s]:	2,43	4,03	3,81	4,42	2,96	2,10
Ts [ms]:	2164,90	422,80	402,00	363,00	250,70	187,40
C80 [dB]:	-6,05	-7,04	-6,26	-5,41	-3,83	-2,76
D50 [-]:	0,11	0,12	0,12	0,13	0,17	0,24

**9**

EDT [s]:	4,79	4,24	4,41	3,61	2,96	2,13
T20 [s]:	3,43	3,99	3,89	3,53	2,89	2,17
T30 [s]:	7,29	3,88	3,66	3,26	2,99	2,29
Ts [ms]:	2782,80	390,70	392,70	415,50	268,10	221,20
C80 [dB]:	-12,26	-8,86	-7,37	-6,86	-6,35	-5,05
D50 [-]:	0,04	0,08	0,10	0,05	0,08	0,11

**10**

EDT [s]:	4,17	4,14	3,59	3,60	2,88	2,09
T20 [s]:	3,50	4,47	3,97	3,53	2,96	2,23
T30 [s]:	3,51	3,20	3,71	3,20	3,28	2,25
Ts [ms]:	2349,60	420,30	350,50	365,20	260,90	194,30
C80 [dB]:	-9,40	-6,37	-6,67	-5,91	-5,09	-2,65
D50 [-]:	0,08	0,12	0,07	0,12	0,13	0,20

**11**

EDT [s]:	3,29	4,38	3,74	3,44	2,87	2,09
T20 [s]:	3,67	3,99	4,06	3,39	2,82	2,12
T30 [s]:	5,60	3,97	3,99	3,80	2,92	2,23
Ts [ms]:	1123,30	319,40	334,60	563,00	240,20	169,80
C80 [dB]:	-6,68	-3,94	-2,30	-1,39	-0,35	1,45
D50 [-]:	0,08	0,20	0,31	0,30	0,35	0,45

**12**

EDT [s]:	4,19	4,23	3,85	3,51	3,19	2,43
T20 [s]:	5,28	3,92	3,83	3,80	2,88	2,20
T30 [s]:	4,77	3,61	3,49	3,04	3,17	2,51
Ts [ms]:	2473,80	458,20	379,50	515,60	317,80	251,50
C80 [dB]:	-9,97	-6,48	-3,58	-3,72	-4,51	-3,22
D50 [-]:	0,04	0,10	0,26	0,24	0,22	0,25



**ΓΥΝΑΙΚΩΝΙΤΗΣ****13**

EDT [s]:	3,86	4,50	4,06	3,52	2,94	2,25
T20 [s]:	3,47	4,20	3,71	3,26	2,80	2,16
T30 [s]:	2,99	3,95	3,61	3,04	2,92	2,17
Ts [ms]:	2532,10	398,00	400,70	444,70	241,70	183,80
C80 [dB]:	-11,09	-5,72	-6,19	-6,21	-3,97	-2,14
D50 [-]:	0,04	0,16	0,12	0,12	0,20	0,29

**14**

EDT [s]:	4,34	4,04	4,09	3,24	3,10	2,31
T20 [s]:	2,45	4,84	4,07	3,82	3,31	2,39
T30 [s]:	2,23	3,91	4,37	2,69	2,43	2,34
Ts [ms]:	2603,50	450,70	398,70	393,00	313,70	233,70
C80 [dB]:	-8,84	-6,65	-7,50	-6,99	-6,76	-5,25
D50 [-]:	0,05	0,11	0,08	0,09	0,09	0,10