

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη Θορύβου στο χώρο του Πολυτεχνείου

Καρατζούνης Α. Αριστείδης - Σοφιανού Δ. Χρυσούλα

Επιβλέπων : Γεώργιος Καμπουράκης

Επίκουρος Καθηγητής Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

Αθήνα, Ιούνιος 2014

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη Θορύβου στο χώρο του Πολυτεχνείου

Καρατζούνης Α. Αριστείδης - Σοφιανού Δ. Χρυσούλα

Επιβλέπων : Γεώργιος Καμπουράκης

Επίκουρος Καθηγητής Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....

Γεώργιος Καμπουράκης

.....

Ελευθέριος Καγιάφας

.....

Βασίλειος Λούμπος

Αθήνα, Ιούνιος 2014

.....
Καρατζούνης Α. Αριστείδης
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών
Ε.Μ.Π.

.....
Σοφιανού Δ. Χρυσούλα
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών
Ε.Μ.Π.

Copyright © Καρατζούνης Αριστείδης – Σοφιανού Χρυσούλα, 2014.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τους συγγραφείς και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο ήχος είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την ίδια μας τη ζωή. Η πρώτη αίσθηση που αναπτύσσουμε, από έμβρυα ακόμη, είναι η ακοή. Στην καθημερινότητά μας, με το που ξυπνήσουμε κατακλυζόμαστε από μια πληθώρα ήχων. Το φαινόμενο αυτό συνεχίζεται καθόλη τη διάρκεια της ημέρας με μεγαλύτερη ή μικρότερη ένταση. Μερικές φορές οι ήχοι αυτοί είναι ευχάριστοι και μας προκαλούν μια αίσθηση ευφορίας, όπως για παράδειγμα το άκουσμα μιας ωραίας μελωδίας. Άλλες φορές πάλι, είναι δυσάρεστοι και μας προκαλούν εκνευρισμό, όπως για παράδειγμα ο ήχος που παράγει ένα τρυπάνι.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, ασχολούμαστε με την ακουστική μελέτη στο χώρο του Πολυτεχνείου. Αρχικά, παραθέτουμε ορισμένα θεωρητικά στοιχεία που αφορούν τον ήχο γενικότερα, τα οποία βοηθούν στην κατανόηση του αντικειμένου της μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, καταγράφουμε τα επίπεδα του θορύβου που υφίστανται σε χώρους εσωτερικά του Πολυτεχνείου, όπως τα αμφιθέατρα, τα κυλικεία, το εστιατόριο και ο περιβάλλον χώρος ορισμένων κτιρίων. Επίσης καταγράφουμε το θόρυβο εξωτερικά του περιφραγμένου χώρου, που προέρχεται από τη λεωφόρο Κατεχάκη. Στη συνέχεια ακολουθεί η επεξεργασία των δεδομένων των μετρήσεων αυτών με τη βοήθεια του matlab. Μέσω της μελέτης και ανάλυσης των αποτελεσμάτων, αξιολογούμε την ακουστική συμπεριφορά και οδηγούμαστε σε συμπεράσματα κάνοντας παράλληλα μια αναφορά στην ισχύουσα νομοθεσία που ορίζει την ακουστική. Τέλος, για έναν χώρο τόσο σημαντικό όπως αυτόν του Πολυτεχνείου, όπου τελούνται καθημερινά οι ακαδημαϊκές δραστηριότητες χιλιάδων φοιτητών, διατυπώνουμε προτάσεις για τη βελτίωση της ακουστικής συμπεριφοράς και την περαιτέρω μείωση των επιπέδων του θορύβου.

Λέξεις Κλειδιά : Ακουστική, Θόρυβος, Στάθμη Ακουστικής Πίεσης, Ποσοστομοριακή Στάθμη, Ισοδύναμη Στάθμη Θορύβου.

ABSTRACT

Sound plays an important role in our lives. The first sense we develop, since before we are even born is hearing. In our daily life, from the time we wake up we are being overwhelmed by a variety of sounds. Throughout the day the situation remains the same, receiving sounds of different volumes. Sometimes these sounds may be pleasant, causing a sense of euphoria, like listening to a nice melody. However some other times they might be unpleasant, causing irritation, such as hearing the sound of a drill.

The subject of this paper is the acoustic study of the campus in the National Technical University of Athens. Firstly, we refer to some useful definitions of values around sound, that will help us in the development of the project. We record the existing levels of noise in the inside of the campus at different places such as amphitheaters, cafeterias, dining halls and the surrounding of some buildings. Also we record the noise levels outside the campus generated by Katechaki highway. Afterwards, we process the data from the noise measurements with the matlab program. Through studying and analyzing the results, we evaluate the acoustic behaviour and come to our conclusions. A reference to the applying legislation over acoustics has also been made. Finally, for such an important place as the university campus, where the daily academic activities of thousands of students take place, we make our suggestions on the improvement of its acoustic behaviour and the further reduction of the noise levels.

Keywords: Acoustic, Noise, Percentile Level, Equivalent Continuous Level, Sound Pressure Level

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε,

Όλους τους εργαζόμενους στην κοινότητα του Πολυτεχνείου, τους εκπαιδευτικούς και τους φοιτητές της, για τη συνεργασία τους και τη διευκόλυνση που μας προσέφεραν σε πολλές περιπτώσεις.

Τον υποψήφιο διδάκτορα του ΕΜΠ, Κωνσταντίνο Μπακογιάννη, για το ενδιαφέρον του, τις επιστημονικές του γνώσεις και τη συνεχή επίβλεψη που μας παρείχε έως το πέρας της διπλωματικής.

Τον επιβλέποντα καθηγητή μας, κ. Γεώργιο Καμπουράκη, για την καθοδήγηση, τις ιδέες, τις χρήσιμες πληροφορίες και τις γνώσεις που μας μετέδωσε.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε επίσης,

Τις οικογένειες μας, για την στήριξη που μας παρείχαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μας, και όλους εκείνους που βρέθηκαν και συνεχίζουν να βρίσκονται στις χαρές και στις λύπες κοντά μας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

<u>ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ, ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ</u>	10
1.1 Βασικά ακουστικά μεγέθη.....	10
1.2 Επιπτώσεις του θορύβου στην υγεία.....	23
1.3 Ακουστική στις Πανεπιστημιούπολεις.....	24

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

<u>ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ</u>	27
2.1 Ελλάδα.....	27
2.2 Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας - προτεινόμενες τιμές.....	35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

<u>ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ - ΠΡΟΤΥΠΑ</u>	40
---	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

<u>ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ</u>	58
4.1 Αμφιθέατρο και χώρος συγκέντρωσης της σχολής των Ηλεκτρολόγων.....	59
4.2 Αμφιθέατρο της σχολής των Τοπογράφων.....	78
4.3 Αμφιθέατρο της σχολής των Χημικών.....	83
4.4 Αμφιθέατρο της σχολής των Μηχανολόγων.....	87
4.5 Αμφιθέατρο της σχολής των Πολιτικών.....	91

4.6 Εργαστήριο της σχολής των Ηλεκτρολόγων.....	96
4.7 Βιβλιοθήκη της σχολής των Ηλεκτρολόγων.....	100
4.8 Κυλικείο της σχολής των Ηλεκτρολόγων.....	103
4.9 Κυλικείο της σχολής των Μηχανολόγων.....	109
4.10 Κυλικείο της σχολής των Πολιτικών.....	111
4.11 Κυλικείο της σχολής των Τοπογράφων.....	115
4.12 Κυλικείο της σχολής των Χημικών.....	118
4.13 Διάδρομος της σχολής των Πολιτικών.....	122
4.14 Εστιατόριο.....	125
4.15 Οδός Κατεχάκη.....	128

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

<u>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	162
---------------------------	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

<u>ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ</u>	180
---	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

<u>ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΥΝΕΧΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ</u>	191
---	-----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	193
---------------------------	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ, ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

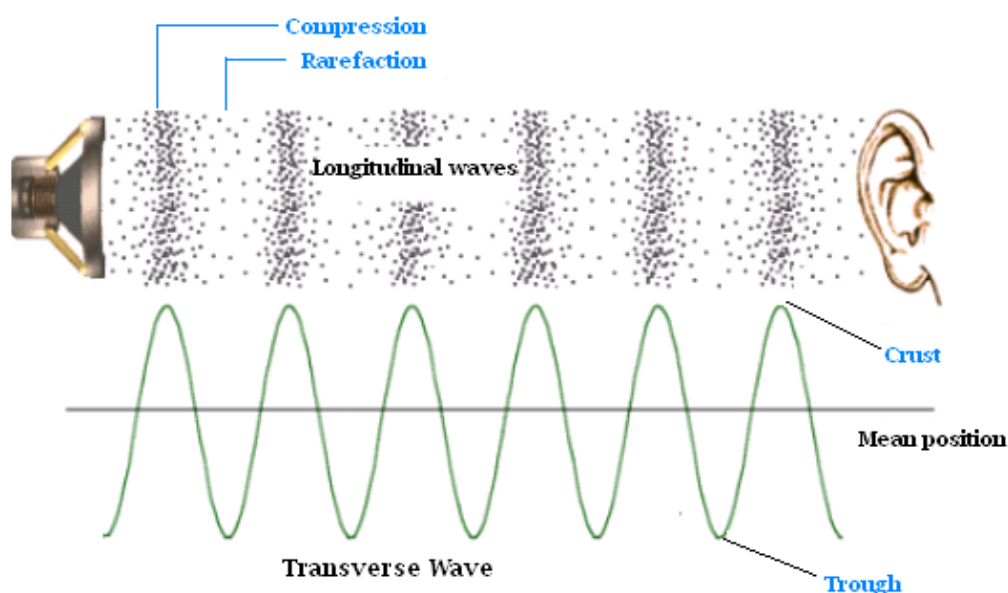
1.1 Βασικά Ακουστικά Μεγέθη

- **ΗΧΟΣ**

Από τη φύση του ο ήχος, αποτελεί ένα φαινόμενο που δεν υφίσταται στατικά και παράγεται όταν μια ηχητική πηγή ταλαντώνεται, δηλαδή εκτελεί παλμικές κινήσεις.

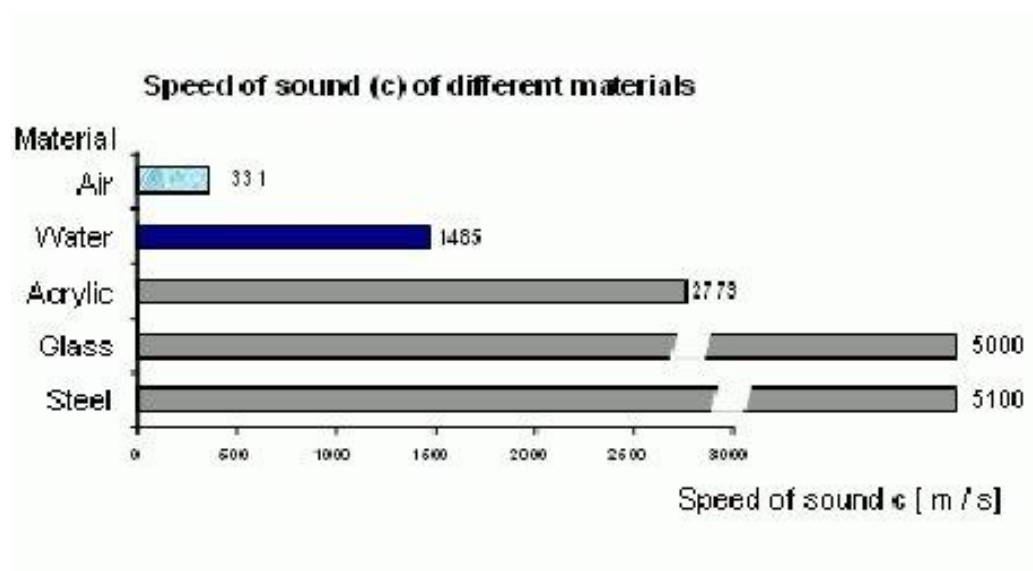
Ως **ήχος** ορίζεται κάθε μεταβολή στην πίεση του μέσου διάδοσης, το οποίο έχει τέτοιο χαρακτήρα ώστε να μπορεί να διεγείρει το αισθητήριο της ακοής και να προκαλεί ακουστικό αίσθημα.

Λόγω των ελαστικών ιδιοτήτων του υλικού η ενέργεια της ταλάντωσης μεταφέρεται από το κάθε μόριο στα γειτονικά του. Προκαλούνται έτσι μεταβολές της πίεσης και δημιουργούνται πυκνώματα (περιοχές υψηλής πίεσης) και αραιώματα (περιοχές χαμηλής πίεσης), που «ταξιδεύουν» μέσα στο υλικό σε διεύθυνση παράλληλη στη διεύθυνση ταλάντωσης των μορίων του. Ο ήχος λοιπόν θεωρείται ένα διαμήκες κύμα πίεσης. Όπως είναι φανερό, η παρουσία ενός ελαστικού μέσου είναι η απαραίτητη και αναγκαία προϋπόθεση για τη διάδοση των ηχητικών κυμάτων. Ο ήχος δεν διαδίδεται στο κενό. [1]

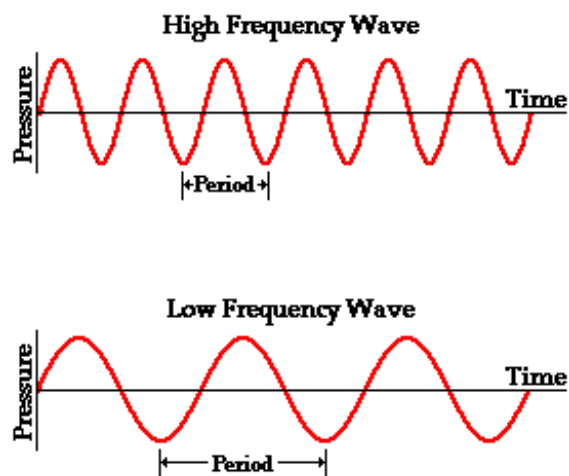


Η **ταχύτητα** του ήχου είναι η ταχύτητα διάδοσης των ηχητικών κυμάτων, με μονάδα μέτρησης : m/s (μέτρα ανά δευτερόλεπτο).

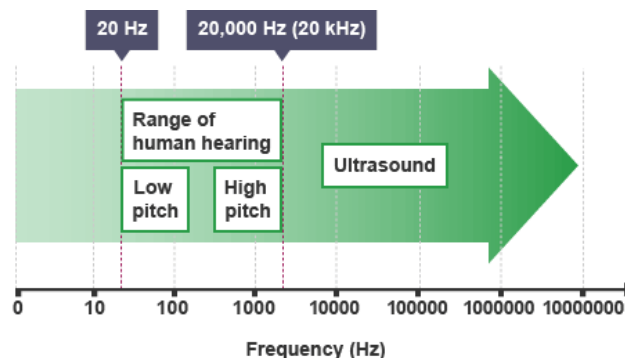
Σε κάθε μέσο διάδοσης είναι διαφορετική και εξαρτάται από το υλικό του μέσου καθώς επίσης από τη θερμοκρασία.



Όπως συμβαίνει με κάθε κύμα, έτσι και τα ηχητικά κύματα χαρακτηρίζονται από μια **συχνότητα** f (frequency), η οποία αναφέρεται στο σύνολο των μεταβολών της πίεσης που υφίστανται τα μόρια του μέσου διάδοσης ανά μονάδα χρόνου. Μονάδα μέτρησης της συχνότητας είναι το 1 Hertz, ή 1 κύκλος και ισοδυναμεί με μία ταλάντωση ανά δευτερόλεπτο. Η συχνότητα αποτελεί την κύρια ιδιότητα του ήχου που καθορίζει τον τόνο.



Υψηλές συχνότητες αντιστοιχούν σε πιο ψηλό τόνο, ενώ όσο μειώνονται γίνεται πιο μπάσος. Το εύρος των ακουστικών συχνοτήτων που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος κυμαίνεται από 20 έως 20.000 Hz , ωστόσο επηρεάζεται από διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες και διαφέρει ελαφρώς από άνθρωπο σε άνθρωπο. Αυτό που είναι βέβαιο είναι πως με την πάροδο των χρόνων, το εύρος αυτό μειώνεται ξεκινώντας από τις υψηλότερες συχνότητες. [1]



Σε ένα κύμα, η συχνότητα f είναι ανάλογη της ταχύτητας v του κύματος και αντιστρόφως ανάλογη του **μήκους** λ του **κύματος**. Όπως προκύπτει και από την παρακάτω σχέση.

$$Wavelength(\lambda) = \frac{Velocity(v)}{Frequency(f)}$$

Οι ήχοι δεν αποτελούνται από κύματα μιας μόνο συχνότητας, αλλά από τη μίξη πολλών κυμάτων διαφορετικής συχνότητας και πλάτους, παράγοντας τον τελικό ήχο που αντιλαμβανόμαστε. Υπάρχουν βέβαια και ήχοι που αποτελούνται από μία μόνο συχνότητα, οι λεγόμενοι μονοσυχνωτικοί (pure tone), ωστόσο απαντώνται σπάνια στη φύση. [1]

Κατά τη διάδοση ενός ηχητικού κύματος, μεταφέρεται ποσότητα ενέργειας (ηχητική ενέργεια). Ο ρυθμός μεταφοράς ηχητικής ενέργειας, δηλαδή το ποσό της ενέργειας που μεταφέρεται στη μονάδα του χρόνου, ονομάζεται **ακουστική ισχύς** και συμβολίζεται με W . Στο S.I. η ισχύς μετριέται σε Watts (1Watt=1Joule/sec).

Το επίπεδο της ακουστικής ισχύος συμβολίζεται ως L_W . Ενώ η ακουστική πίεση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, διαφορετικούς σε κάθε μέσο διάδοσης, η ακουστική ισχύς είναι ένα αντικειμενικό μέγεθος που ορίζει την πηγή. Μετριέται και αυτή σε dB και ορίζεται από τον τύπο :

$$L_W (dB) = 10 \cdot \log (W/W_{ref}) , \text{ με } W_{ref} = 1pW$$

Η **ακουστική ένταση** ορίζεται ως η ισχύς που διέρχεται από μια μοναδιαία επιφάνεια S κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Συμβολίζεται με το γράμμα I και μετριέται σε Watt/m^2 . [2]

Η σχέση που ορίζει ισχύ (W), ένταση (I) και επιφάνεια (S) είναι : $W = \int_S \vec{I} \cdot \vec{dS}$

Το επίπεδο της ακουστικής έντασης συμβολίζεται ως L_I , μετριέται σε dB και ορίζεται βάσει του τύπου :

$$L_I \text{ (dB)} = 10 \cdot \log (I/I_{ref}) , \text{ με } I_{ref} = 1 \mu\text{W/m}^2$$

Η υποκειμενική αντίληψη της έντασης του ήχου από τον άνθρωπο μας οδήγησε στη χρήση λογαριθμικής κλίμακας μονάδων στην ακουστική. Το εύρος τιμών της έντασης που γίνονται αντιληπτές κυμαίνεται από 10^{-12} W/m^2 έως 10 W/m^2 , δηλαδή ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη τιμή είναι 10^{13} . Είναι προφανές ότι δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί γραμμική κλίμακα για να απεικονιστεί μια τόσο ευρεία περιοχή τιμών.

Το πόσο «έντονα» αντιλαμβανόμαστε έναν ήχο δεδομένης συχνότητας, η ακουστότητα όπως λέγεται, συνδέεται με την ένταση του ηχητικού κύματος σύμφωνα με το νόμο των Weber – Fechner. Πρόκειται για έναν ψυχοφυσικό νόμο που συνδέει γενικά οποιαδήποτε υποκειμενική αντίληψη με την αντίστοιχη ένταση του ερεθίσματος που την προκαλεί. Σύμφωνα με τον νόμο αυτό η ακουστότητα ενός ήχου είναι ανάλογη με το λογάριθμο του λόγου της έντασής του ως προς μια ένταση αναφοράς. Για παράδειγμα η αίσθηση που έχουμε όταν η ένταση αυξηθεί από $10 \mu\text{W/m}^2$ σε $20 \mu\text{W/m}^2$, φαίνεται να είναι η ίδια με την αίσθηση που μας προκαλεί η αύξηση της έντασης από $20 \mu\text{W/m}^2$ σε $40 \mu\text{W/m}^2$, δεν εξαρτάται δηλαδή από τη διαφορά μεταξύ αρχικής και τελικής τιμής, αλλά μόνο από τον λόγο τους.

Για αυτό χρησιμοποιείται η **κλίμακα των ντεσιμπέλ** ή **κλίμακα dB**. Το ντεσιμπέλ δεν είναι μία απόλυτη μονάδα μέτρησης. Είναι μία αναλογία μεταξύ ενός μετρούμενου μεγέθους και ενός συμφωνημένου επιπέδου αναφοράς. Η κλίμακα dB είναι λογαριθμική και χρησιμοποιεί τα $20 \mu\text{Pa}$ ως ηχητική πίεση αναφοράς ($P_{ref}=20\mu\text{Pa}$). [3]

Ο ήχος αρχίζει να γίνεται οριακά αντιληπτός όταν η έντασή του υπερβεί μια ελάχιστη τιμή που καλείται **κατώφλι ακουστότητας** και ορίζεται στα 0 dB . Εξάλλου υπάρχει μια μέγιστη τιμή της έντασης που μπορεί να «ανεχθεί» το ανθρώπινο αυτί και η οποία αντίστοιχα καλείται όριο πόνου. Εάν η ένταση του ήχου υπερβεί αυτή την τιμή μας δημιουργείται το δυσάρεστο αίσθημα του πόνου. Η τιμή της έντασης τόσο στο κατώφλι ακουστότητας όσο και στο όριο πόνου εξαρτάται από την τιμή της συχνότητας. Η μέγιστη ευαισθησία της ανθρώπινης ακοής παρατηρείται στην περιοχή των $2 - 4 \text{ kHz}$. [3]

Μπορούμε επομένως να ορίσουμε τις ακόλουθες ηχητικές στάθμες :

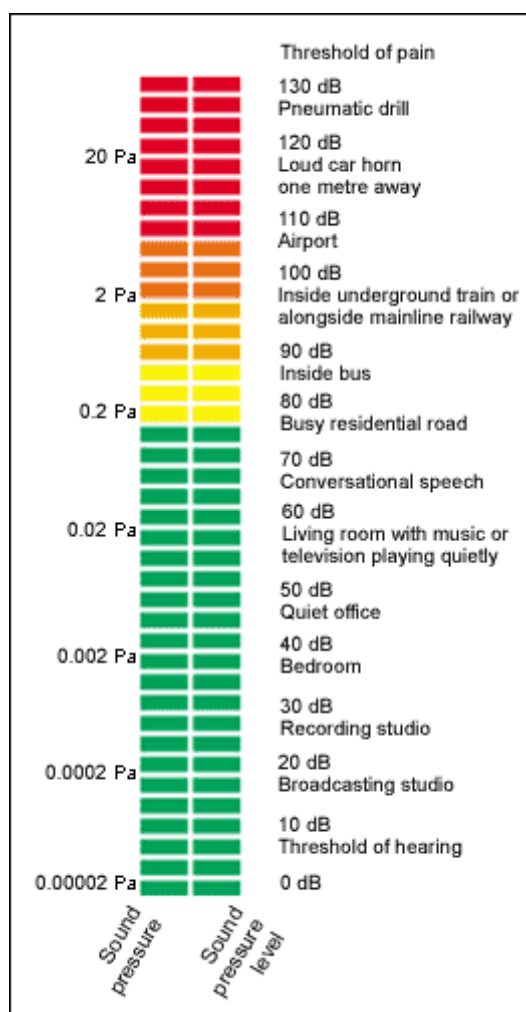
Η **στάθμη έντασης ήχου** (*sound intensity level, SIL*) συμβολίζεται με L_I και ορίζεται από τη σχέση:

$$L_I = 10 \cdot \log (I/I_{ref})$$

Ο βαθμός αλλαγής της ακουστικής πίεσης, ο οποίος παρατηρείται από το πλάτος του ηχητικού κύματος, προσδιορίζει τη **στάθμη ακουστικής πίεσης** (*SPL* → *sound pressure level*, συμβολίζεται και ως L_P). [1]

Η ένταση του ήχου σε dB που αντιστοιχεί σε ακουστική πίεση P προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

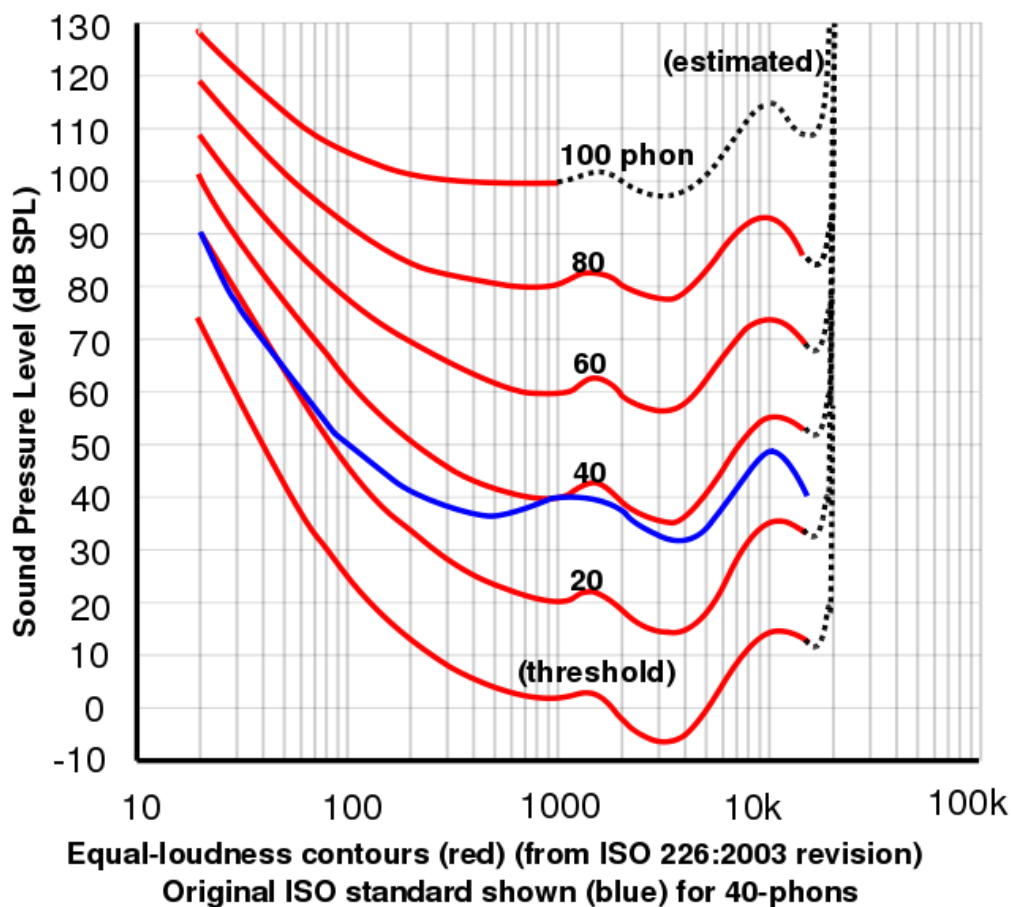
$$L_P (dB) = 20 \cdot \log (P/P_{ref})$$



[Σχέση μεταξύ Pascal και dB](#)

Ακουστότητα ενός ήχου είναι το μέγεθος που σχετίζεται άμεσα με το μέτρο του υποκειμενικού αισθήματος της έντασης του ήχου που αντιλαμβάνεται ο φυσιολογικός ακροατής. Όπως έχει αναφερθεί, η αντίληψη της έντασης του ήχου από τον άνθρωπο είναι υποκειμενική και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Έναν από αυτούς τους παράγοντες αποτελεί και η συχνότητα.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι καμπύλες ίσης ακουστότητας (με μονάδα μέτρησης το phon), δηλαδή το διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται οι καμπύλες που ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται την ίδια ένταση ήχου ανά συχνότητα.[4]



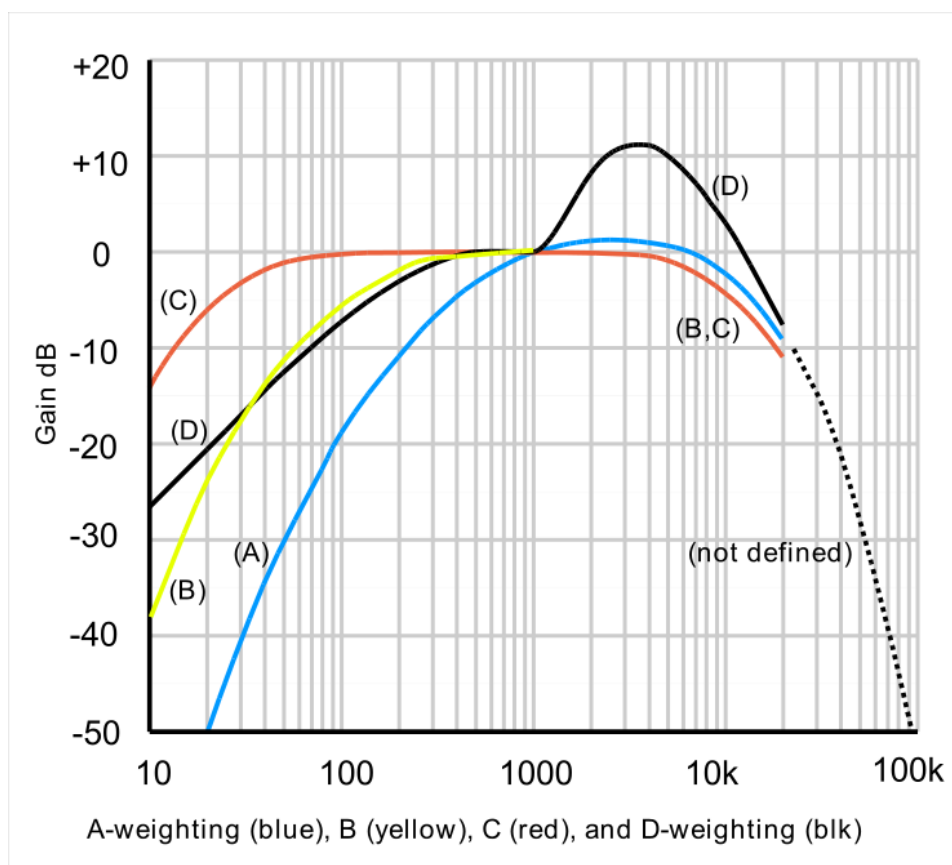
Το γεγονός ότι το ανθρώπινο αυτί είναι περισσότερο ευαίσθητο σε κάποιες συχνότητες σε σχέση με κάποιες άλλες, οδήγησε στη ζύγιση των μετρούμενων τιμών πίεσης του θορύβου με καμπύλες. Γενικά οι ήχοι, άρα και οι θόρυβοι, μικρής και μεγάλης συχνότητας γίνονται αντιληπτοί από τον άνθρωπο ως λιγότερο ηχηροί, σε σχέση με τους μεσαίως συχνότητας ήχους. Επομένως οι μετρητές στάθμης θορύβου εμπλουτίστηκαν με κάποια **φίλτρα** τα οποία δεν υπολογίζουν την συνεισφορά των χαμηλών και υψηλών συχνοτήτων και εξάγουν ένα αποτέλεσμα το οποίο προσομοιάζει περισσότερο με αυτό που αντιλαμβανόμαστε ότι ακούμε.

Τα **φίλτρα** αυτά χωρίζονται στις εξής κατηγορίες :

- Το **φίλτρο A** (για μεσαίες εντάσεις)
- Τα **φίλτρα B** και **C** (για υψηλές εντάσεις)
- Το **φίλτρο D**

Πιο ευρεία στις μέρες μας είναι η χρήση των φίλτρων C και A (ακόμα συχνότερη).

Οι καμπύλες των φίλτρων A, B, C και D



Η **A-ζυγισμένη ηχοστάθμη** (A-weighting) είναι η προσαρμογή του ηχομέτρου αναφορικά με την απόκριση συχνότητας, ώστε η καταγραφή του να συμβαδίζει με την ανθρώπινη αντίληψη.

Επομένως, για να περιγράψουμε έναν ήχο που περιέχει μεγάλη ποικιλία συχνοτήτων με ένα τρόπο αντιπροσωπευτικό της ανθρώπινης απόκρισης, πρέπει να περιορίσουμε την επίδραση των υψηλών και χαμηλών συχνοτήτων σε σχέση με τις μεσαίες συχνότητες (οι συχνότητες γύρω στο 1kHz μένουν ως έχουν). Η τελική ηχοστάθμη λέγεται A-σταθμισμένη και η μονάδα μέτρησης είναι το dBA. Αυτή η ηχοστάθμη αποκαλείται και στάθμη θορύβου.

Μια εκτίμηση θορύβου που έχει φιλτραριστεί από A-συνάρτηση βάρους αποτελεί μια καλή προσέγγιση του πώς το ανθρώπινο αυτί αντιλαμβάνεται αυτό το θόρυβο.

Η *A-ζυγισμένη ηχοστάθμη* προσαρμόζει τις τιμές των dB αναφορικά με την ευαισθησία του ανθρώπινου αυτιού σε κάθε ζώνη συχνοτήτων. Προσομοιάζει καλύτερα από τις υπόλοιπες ηχοστάθμες την υποκειμενική αντίληψη του ανθρώπου για την ένταση του ήχου γι' αυτό και είναι η πιο διαδεδομένη.

Η συνάρτηση μεταφοράς για το φίλτρο A είναι η ακόλουθη :

$$G_A(s) = \frac{k_A \cdot s^4}{(s + 129.4)^2 \cdot (s + 676.7) \cdot (s + 4636) \cdot (s + 76655)^2}$$

Ο τύπος που ορίζει τη διόρθωση που πρέπει να υποστεί το χωρίς ζύγισμα dB είναι:

$$W_A = 10 \log \left[\frac{1.562339 \cdot f^4}{(f^2 + 107.65265^2) \cdot (f^2 + 737.86223^2)} \right] + 10 \log \left[\frac{2.24288 \cdot 10^6 \cdot f^4}{(f^2 + 20.598997^2) \cdot (f^2 + 12194.22^2)} \right]$$

W_A σε dBA για διάφορες τιμές της συχνότητας f

Frequency Hz	A weighting dB	Frequency Hz	A weighting dB
20	-50,5	800	-0,8
25	-44,7	1000	0
31,5	-39,4	1250	0,6
40	-34,6	1600	1
50	-30,2	2000	1,2
63	-26,2	2500	1,2
80	-22,5	6150	1,2
100	-19,1	4000	1
125	-16,1	5000	0,5
160	-13,1	6300	-0,1
200	-10,9	8000	-1,1
250	-8,6	10000	-2,5
345	-6,6	12500	-4,3
400	-4,8	16000	-6,6
500	-3,2	20000	-9,3
600	-1,9		

Ο λόγος που οι B και C συναρτήσεις βάρους δε χρησιμοποιούνται τόσο διαδεδομένα είναι επειδή δε συμβαδίζουν με τα υποκειμενικά τεστ. Αυτό συμβαίνει διότι για την κατάστρωση των εξισώσεων που τα ορίζουν έχουν χρησιμοποιηθεί μονοσυχνωτικοί θόρυβοι, οι οποίοι όμως στη φύση δε συναντιούνται.[3]

Η λέξη **θόρυβος** έχει ευρεία έννοια και στις μέρες μας χρησιμοποιείται σε πολλές επιστήμες. Στην καθημερινή μας ζωή χρησιμοποιείται για να δηλώσει την ύπαρξη ενός ανεπιθύμητου ήχου ή την ηχορρύπανση. Στην επιστήμη της ηλεκτρονικής, ο θόρυβος είναι ένα ηλεκτρονικό σήμα το οποίο, σε αναλογία με τον ακουστικό θόρυβο, αλλοιώνει ή παραμορφώνει το ηλεκτρονικό σήμα που αναμένουμε. Η χρησιμοποίηση της λέξης είναι ατέρμονη.

Στην θεωρία πληροφορίας ο όρος θόρυβος μπορεί να αναφέρεται σε μια άχρηστη πληροφορία. Ακόμα και οι διαφημίσεις που δεν μας ενδιαφέρουν σε κάποιες ιστοσελίδες μπορούν να χαρακτηριστούν ως θόρυβος. Γενικά, ο θόρυβος μπορεί να αλλάξει ή να διαστρεβλώσει το περιεχόμενο ενός μηνύματος σε όλες τις μορφές της ανθρώπινης επικοινωνίας. Στην παρούσα διπλωματική αυτό που θα μας απασχολήσει είναι ο **ακουστικός θόρυβος**.

Όταν αναφερόμαστε σε ακουστικό θόρυβο στην καθημερινότητα συνήθως εννοούμε έναν ανεπιθύμητο ήχο, ή κάποιον ήχο χωρίς νόημα ο οποίος υπάρχει ταυτόχρονα με έναν άλλον ήχο που μας ενδιαφέρει. Παρόλα αυτά υπάρχουν και περιπτώσεις στις οποίες η λέξη «θόρυβος» δεν παίρνει αρνητικό νόημα, και αποτελεί χρήσιμο ήχο, όπως π.χ. σε μία συνομιλία πολλών ατόμων στην οποία δεν συμμετέχουμε.

Σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης) δίνονται δύο ορισμοί του ακουστικού θορύβου :

- Θόρυβος ονομάζεται κάθε δυσάρεστος ή ανεπιθύμητος ήχος.
- Θόρυβος ονομάζεται κάθε απεριοδικός σύνθετος ήχος που η στιγμιαία τιμή του αυξομειώνεται με τυχαίο τρόπο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. ΕΙΔΟΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΚΑΙ ΕΝΤΑΣΗ ΣΕ DB

Είδος θορύβου	dB
Θρόισμα φύλλων	15
Συνίθης κίνηση στο σπίτι	40
Ήπια κυκλοφορία	50
Συνηθισμένη συνομιλία	60
Δρόμος με έντονη κυκλοφορία	80
Κουδούνισμα τηλεφώνου	80
Κομπρεσέρ	90
Στερεοφωνικό στο αυτοκίνητο σε μεγάλη ένταση, «μουσική» σε ντισκοτέκ	100-110
Αεροδρόμιο (30m από jet που απογειώνεται)	140

Ο ακουστικός θόρυβος διαχωρίζεται σε δύο κατηγορίες:

Στον **θόρυβο περιβάλλοντος** (ambient noise), ο οποίος ορίζεται ως ο θόρυβος που εκπέμπεται από συγκεκριμένες πηγές που δεν μας ενδιαφέρουν κατά τη στιγμή της μέτρησης ή της παρατήρησης, όπως για παράδειγμα ο θόρυβος ενός κλιματιστικού σε μια αίθουσα διδασκαλίας κατά τη διάρκεια του μαθήματος.

Στον **θόρυβο βάθους** (background noise), ο οποίος ορίζεται ως ο θόρυβος που εκπέμπεται από όλες τις πηγές που βρίσκονται στο περιβάλλον και δεν μας ενδιαφέρουν. [5]

Επίσης ο θόρυβος κατηγοριοποιείται και ανάλογα με τον τρόπο που μεταβάλλεται. Έτσι έχουμε τον σταθερό θόρυβο, ο οποίος παρουσιάζει αμελητέες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της μέτρησης ή της παρατήρησης, τον μεταβλητό θόρυβο, ο οποίος δεν είναι σταθερός αλλά δεν μεταβάλλεται ραγδαία και τον κυμαινόμενο θόρυβο, η στάθμη του οποίου αλλάζει συνεχώς και σε σημαντικό βαθμό κατά τη διάρκεια της μέτρησης ή της παρατήρησης.

Η μέτρηση της στιγμιαίας ηχητικής στάθμης δεν είναι ακριβής ούτε εύκολη. Στην ειδική περίπτωση βέβαια που επιθυμούμε να μετρήσουμε τη στιγμιαία στάθμη ενός κυμαινόμενου θορύβου, η δυσκολία αυξάνει πολύ σημαντικά. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούμε ένα άλλο μέγεθος, την **ισοδύναμη στάθμη θορύβου L_{eq}** (**Equivalent Continuous Sound level**), μονάδα μέτρησης του οποίου είναι το dB.

Η ισοδύναμη στάθμη θορύβου είναι ο χρονικός μέσος όρος της στάθμης του θορύβου ή διαφορετικά είναι η ισοδύναμη στάθμη του σταθερού θορύβου. Το μέγεθος αυτό είναι σταθερό με το χρόνο και έχει το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο με το κανονικό σήμα το οποίο διαφοροποιείται με το χρόνο, επομένως προκαλεί τις ίδιες συνέπειες με το κανονικό σήμα.

Πολλές φορές το μέγεθος αυτό καταγράφεται ως $L_{Aeq,T}$ όπου το A προσδιορίζει το A-weighting και το T τον χρόνο μέτρησης.

Η ισοδύναμη στάθμη θορύβου υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο :

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0(t)} \right)^2 dt$$

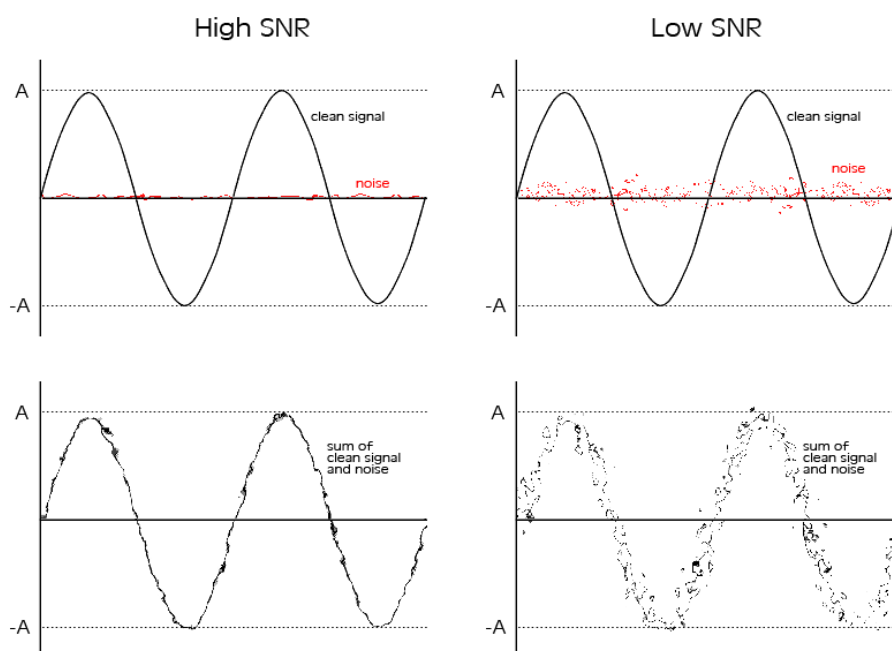
Για την μέτρηση του θορύβου σε ένα χώρο, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και την **μέση στάθμη θορύβου L_p** , δηλαδή την μέση τιμή της στάθμης ηχητικής πίεσης σε διάφορα σημεία του χώρου:

$$L_p = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N L_{pk}$$

Τις περισσότερες φορές η ένταση του ήχου παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση. Είναι πολύ χρήσιμο να κατατάξουμε τον ήχο που εξετάζουμε σύμφωνα με το μέγιστο επίπεδο του ήχου που υφίσταται σε κάποιο ποσοστό του χρόνου (n%). Έτσι, ορίζεται η **ποσοστομοριακή στάθμη (percentile level)**, L_n . [6] Οι ποσοστομοριακές στάθμες L_n χρησιμοποιούνται ευρέως στην καταγραφή περιβαλλοντικών ήχων. Το n μπορεί να είναι οποιοσδήποτε αριθμός από 1 έως 99, και εκφράζει ένα ποσοστό επί των δειγμάτων. Τα πιο χρήσιμα μεγέθη είναι :

- Το L_1 , το οποίο αντιπροσωπεύει τις μέγιστες καταγραφόμενες τιμές.
- Το L_{10} , το οποίο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του ανώτερου επιπέδου θορύβου, όπως το θόρυβο στα εργοτάξια, την κίνηση από τον δρόμο κ.λ.π.
- Το L_{50} , το οποίο απεικονίζει τη μέση τιμή και όχι το μέσο όρο.
- Τα L_{90} , L_{95} τα οποία απεικονίζουν το θόρυβο βάθους, ο οποίος είναι ο ανεπιθύμητος θόρυβος και συνυπάρχει με τον επιθυμητό ήχο της πηγής.

Ο **Σηματοθορυβικός Λόγος (S/N ή SNR)**, ορίζεται ως το πηλίκο της στάθμης του ήχου προς τη στάθμη του θορύβου. Για να ακουστεί ευκρινώς κάποιος επιθυμητός ήχος (Sound) σε ένα χώρο όπου συνυπάρχει και ο θόρυβος (Noise), θα πρέπει η στάθμη του ήχου να υπερβαίνει αυτή του θορύβου. Όταν χρησιμοποιούμε κλίμακα decibel, για να προκύψει η τιμή του σηματοθορυβικού λόγου αφαιρούμε τις δύο τιμές, ενώ όταν δεν χρησιμοποιούμε λογαριθμική αναπροσαρμογή (δηλαδή σε Pascal), παίρνουμε το λόγο τους.

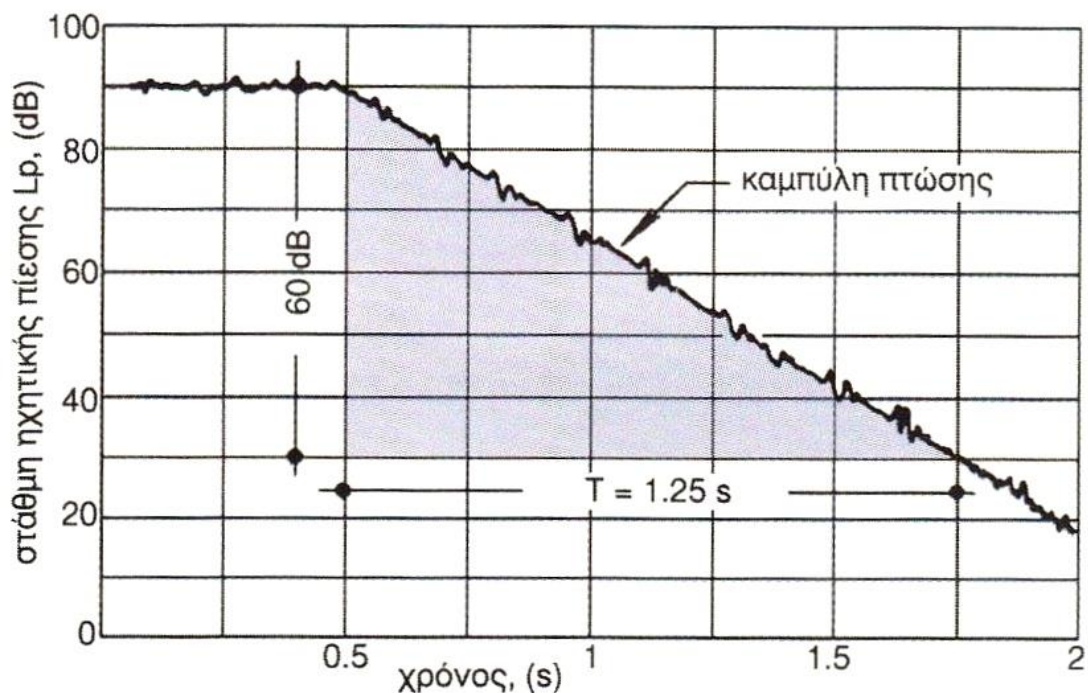


Θόρυβος σε μονοσυχνωτικό σήμα

Αμέσως μετά την άμεση οπτική εντύπωση, το επόμενο ερέθισμα που μας δίνει πληροφορίες για έναν κλειστό χώρο είναι ακουστικό και σχετίζεται με την αντήχησή του. Πρακτικά, αντήχηση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ένας ήχος συνεχίζει να είναι ακουστός ακόμη και όταν ο μηχανισμός που τον δημιουργεί πάψει να υφίσταται.

Χρόνος αντήχησης ενός χώρου σε sec για κάθε συχνότητα ορίζεται ο χρόνος που χρειάζεται για να επιτευχθεί μείωση της ηχητικής πίεσης L_p , που δημιουργείται στο χώρο αυτό από μία ηχητική πηγή κατά 60 dB μετά την παύση της.

Χρόνος Αντήχησης T



Η διάδοση του ήχου είναι ένα σύνθετο πρόβλημα γιατί ο ήχος μπορεί να διαδοθεί από μία περιοχή σε άλλη γειτονική περιοχή μέσω πολλών διαδρομών. Ο ήχος διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο διάδοσης του. Τον αερόφερτο ήχο, τον στερεόφερτο και τον κτυπογενή ως ειδική περίπτωση του στερεόφερτου.

Ηχομόνωση είναι η ικανότητα ενός συστήματος να αποτρέπει τη διάδοση του ήχου που παράγεται από μία πηγή σε ένα χώρο προς κάποιον άλλο.

Σε κάθε χώρο λόγω των ξεχωριστών ακουστικών χαρακτηριστικών του, ο ήχος υπόκειται σε διαφορετικές ανακλάσεις και απορροφήσεις επομένως ενισχύεται ή αποσβαίνεται διαφορετικά.

Για να μπορέσουμε να μετρήσουμε την ηχομόνωση μιας επιφάνειας θα πρέπει να ορίσουμε το χώρο από τον οποίο προέρχεται ο ήχος (πηγή), και το χώρο όπου διοχετεύεται αυτός ο ήχος (παραλήπτης). Στη συνέχεια χωρίζουμε την επιφάνεια σε τμήματα, μετρούμε την ένταση του ήχου σε κάθε τμήμα (και στους δύο χώρους), και βγάζουμε το μέσο όρο των μετρήσεων αυτών (L_1 από την πλευρά της πηγής και L_2 από αυτή του παραλήπτη). Από τη σχέση $R = L_1 - L_2$ (dB) υπολογίζουμε το **δείκτη ηχομείωσης R** .

Ορίζουμε το μέγεθος του **φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης R'** , καθότι οι μετρήσεις που λαμβάνουμε περιέχουν ποσοστά σφάλματος λόγω των πλευρικών απωλειών.

Στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες (όπως η ομιλία), υπάρχει η δυνατότητα καλύτερης ηχομόνωσης απ'ότι στις χαμηλές (τα μπάσα στη μουσική). Επομένως οι περισσότερες κατασκευές παρουσιάζουν μεγαλύτερη ικανότητα ηχομείωσης στις συχνότητες αυτές. Για το λόγο αυτό ορίζονται κάποιες βαθμονομημένες καμπύλες από τα 100Hz έως τα 3.15kHz και εφαρμόζονται σε όλα τα μεγέθη που περιγράψαμε παραπάνω και αφορούν την ηχομόνωση. Προκύπτουν έτσι τα ακόλουθα σταθμισμένα μεγέθη : $D_w, D_{nT,w}, R_w, R_w'$.

Όσον αφορά την ηχομόνωση από κτυπογενείς θορύβους, μια ηλεκτρική διάταξη προκαλεί κτύπους στο πάτωμα, με βάση κάποια πρότυπα ISO, και στο δωμάτιο από κάτω μετριέται το **επίπεδο της κτυπογενούς ακουστικής πίεσης, L_I** . Αντίστοιχα με το D , το L_I εξαρτάται και αυτό από τον χρόνο αντήχησης. Επομένως ορίζεται το **κανονικοποιημένο επίπεδο της κτυπογενούς ακουστικής πίεσης, L_{nT}** για δωμάτιο με χρόνο αντήχησης T , όπου $L'_{nT} = L_I + 10 \log(T/T_0)$.

Η ικανότητα ηχομόνωσης κτυπογενούς θορύβου είναι μεγαλύτερη στις υψηλές απ'ότι στις χαμηλές συχνότητες. Βαθμονομημένες καμπύλες από τα 100Hz έως τα 3.15kHz εφαρμόζονται στο L_I και στο L'_{nT} , και προκύπτουν τα σταθμισμένα μεγέθη $L_{I,w}$ και $L'_{nT,w}$.

1.2 Επιπτώσεις του θορύβου στην υγεία

Ο θόρυβος αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες υποβάθμισης του περιβάλλοντος και επομένως της ποιότητας ζωής . Το είδος των επιπτώσεων του θορύβου στην ανθρώπινη υγεία ήταν για πολλά χρόνια βασικό πεδίο έρευνας και μελέτης. Σήμερα έχει επαρκώς τεκμηριωθεί ότι οι επιπτώσεις του θορύβου στον άνθρωπο διακρίνονται σε φυσιολογικές και ψυχολογικές . Σημειώνεται ότι, σύμφωνα με την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (W.H.O.), "υγεία" δεν θεωρείται μόνο η απουσία αρρώστιας αλλά γενικότερα η φυσική και ψυχολογική ευεξία.

Παρότι οι ακουστικές βλάβες αποτελούν προτεραιότητα των κανονισμών ασφαλείας, δεν μπορεί να θεωρηθούν αμελητέες οι φυσικές και ψυχολογικές επιπτώσεις του θορύβου. Υπάρχουν προφανείς ψυχολογικές αντιδράσεις, όπως θυμός, ένταση ή νεύρα και φυσικές αντιδράσεις όπως αύξηση αρτηριακής πίεσης ή αυξημένη έκκριση μαγνησίου οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε μακροχρόνιες ψυχικές ή και σωματικές διαταραχές, ακόμη και σε επίπεδα ακουστικής πίεσης χαμηλότερα των 85dB-A.

Επιπλέον, μπορεί να επηρεαστεί και η απόδοση, σε βαθμό που εξαρτάται από την πολυπλοκότητα της απαιτούμενης εργασίας. Η πολυπλοκότητα σχετίζεται με τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά της εργασίας και με την υποκειμενική αξιολόγηση του επιπέδου δυσκολίας της. Επομένως ενδέχεται μια εργασία να θεωρηθεί πιο πολύπλοκη για ένα μη εκπαιδευμένο προσωπικό. Γενικά μια δουλειά είναι πιο πολύπλοκη όσο περισσότερες πληροφορίες θα πρέπει να διατηρούνται στη μνήμη, όσο επιτελούνται περισσότερες πνευματικές λειτουργίες, όσο υψηλότερες είναι οι απαιτήσεις για ακριβή χρήση μηχανημάτων, ή όσο πιο υπεύθυνος είναι ο εργαζόμενος για τις συνέπειες πιθανού λάθους. Όσο πιο πολύποκος είναι ο στόχος της εργασίας, τόσο αυξάνεται η ευαισθησία του ατόμου στην ενόχληση από το θόρυβο, συνεπώς τόσο θα αυξηθεί και ο αριθμός των λαθών, ενώ η ολοκλήρωση του στόχου θα επιβραδυνθεί. Οδηγούμαστε λοιπόν σε πτώση της απόδοσης.[7]

Τρεις περιπτώσεις που συνδέουν το θόρυβο με την υγεία είναι αναγνωρισμένες πλέον διεθνώς :

- Ο θόρυβος επιδρά δυσμενώς στο σύστημα ακοής του ανθρώπου. Υπάρχει αποδεδειγμένα ένας βιολογικός μηχανισμός σύμφωνα με τον οποίο ο θόρυβος προκαλεί ουσιαστικές δυσμενείς επιπτώσεις στην ακοή με τη μορφή παροδικής ή μόνιμης ακουστικής απώλειας.
- Ο θόρυβος επιδρά δυσμενώς στην ψυχική και σωματική υγεία, δεδομένης της συνεισφοράς του στη δημιουργία άγχους (stress).
- Ο θόρυβος έχει καθοριστική επίπτωση στους ανθρώπους που ήδη πάσχουν από κάποια αρρώστια ή μη ομαλή φυσιολογία.

Ορισμένα μέρη του πληθυσμού είναι περισσότερο ευπαθή στις υψηλότερες στάθμες θορύβου, παραδείγματος χάριν αυτοί που πάσχουν από υπέρταση ή που έχουν ψυχικά προβλήματα κλπ. Τέλος, εκτός των παραπάνω επιπτώσεων που αφορούν στην υγεία, η ενόχληση από το θόρυβο έχει επιπτώσεις στην ικανότητα απόδοσης του ατόμου και κατ' επέκταση στην Εθνική Οικονομία.

1.3 Ακουστική στις Πανεπιστημιούπολεις

Η ακουστική χώρων ή *αρχιτεκτονική ακουστική* ασχολείται με τη μελέτη και συμπεριφορά του ήχου σε διάφορους κλειστούς χώρους και την αλληλεπίδραση με τα διάφορα αντικείμενα στο εσωτερικό των χώρων αυτών με σκοπό τον έλεγχο του παραγόμενου ηχητικού αποτελέσματος και του επιπέδου θορύβου και αντηχήσεων.

Ειδικό θέμα της ακουστικής χώρων αποτελεί η ηχομόνωση και η ηχοπροστασία από το θόρυβο εγκαταστάσεων σε κλειστούς χώρους, με τους αντίστοιχους κανονισμούς, προδιαγραφές και μεθοδολογία υπολογισμών. Σημαντικό ρόλο στον τομέα αυτό, μεταξύ των άλλων παίζουν οι συντελεστές ηχοαπορρόφησης και οι ηχομονωτικές ιδιότητες των διαφόρων υλικών.

Το αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής περιλαμβάνει τη λήψη μετρήσεων θορύβου τόσο σε εσωτερικούς, όσο και σε εξωτερικούς χώρους της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου.

Οι εξωτερικές μετρήσεις ανήκουν στην κατηγορία των μετρήσεων περιβαλλοντικού θορύβου. Οι ηχομετρήσεις περιβαλλοντικού θορύβου αφορούν τον θόρυβο που εκπέμπεται προς το περιβάλλον από διάφορες ηχητικές πηγές. Συγκεκριμένα αφορά την μέτρηση και αξιολόγηση θορύβου που συνδέεται με αυτοκινητόδρομους, μονάδες παραγωγής κ.ά.

Στις εσωτερικές ηχομετρήσεις περιλαμβάνονται οι πηγές θορύβου που βρίσκονται στον εσωτερικό χώρο των κτηρίων της Πολυτεχνειούπολης, όπως σε χώρους εργαστηρίων, αμφιθεάτρων, συνεστιάσεων κ.λ.π. και επικεντρώνουμε το ενδιαφέρον μας στην καταγραφή τους. Παραδείγματα τέτοιων πηγών θορύβου αποτελούν οι μονάδες κλιματισμού, τα διάφορα μηχανήματα όπως οι ψύκτες καθώς και η γενικότερη κοινωνική ζωή των μελών της Πολυτεχνειούπολης στο εσωτερικό της.

Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

2.1 Ελλάδα

Σε αρκετές χώρες διεθνώς έχουν ορισθεί νομοθετικά συγκεκριμένες προδιαγραφές ως προς την ακουστική, βάσει των οποίων πρέπει να κατασκευαστεί και να λειτουργεί ένας ακαδημαϊκός χώρος. Στην Ελλάδα προς το παρόν δεν υπάρχει σχετική νομοθεσία. Ως εκ τούτου δεν προβλέπεται και δεν καθίσταται υποχρεωτική η κατάθεση ακουστικής μελέτης για την ανέγερση νέων αιθουσών στην τριτοβάθμια εκπαίδευση. Ωστόσο σύμφωνα με τον Ελληνικό Κτιριοδομικό Κανονισμό εκτίθενται κάποιες προτάσεις που αφορούν κυρίως την ηχομόνωση και την ηχοπροστασία αιθουσών διδασκαλίας.

- *Ελληνικός Κτιριοδομικός Κανονισμός*

Ο Ε.Κ.Κ. ταξινομεί τα κτίρια και τις δομικές κατασκευές ανάλογα με τη χρήση τους. Σύμφωνα με αυτήν την ταξινόμηση τα περισσότερα από τα κτίρια και τους υπαίθριους χώρους του ενδιαφέροντός μας (μεγάλες αίθουσες διδασκαλίας, εστιατόριο, αίθουσες αναμονής) ανήκουν στην **Γ κατηγορία**, ως χώροι συνάθροισης άνω των 50 ατόμων για εκπαιδευτικές και κοινωνικές δραστηριότητες. Οι μικρότεροι χώροι διδασκαλίας της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης χωρητικότητας 6 έως 49 ατόμων ανήκουν στην Δ κατηγορία.

Οι κανόνες Ηχοπροστασίας και Ηχομόνωσης που θα ήταν ωφέλιμο να ακολουθούν όλα τα κτίρια περιλαμβάνονται στο **άρθρο 12** του Ε.Κ.Κ. Σε αυτό επισημαίνεται ότι η λήψη των απαραίτητων μέτρων κτιριακής ηχοπροστασίας και ηχομόνωσης εξασφαλίζει την αποδεκτή ακουστική άνεση.

Ως ακουστική άνεση ενός κτιρίου ορίζεται η ικανότητά του να προστατεύει τους ενοίκους από εξωγενείς θορύβους και να παρέχει ακουστικό περιβάλλον κατάλληλο για διαμονή ή για διάφορες δραστηριότητες.

Η ακουστική άνεση ενός χώρου καθορίζεται από ένα σύνολο ηχητικών παραμέτρων, που αφορούν την ηχομόνωση και ηχοπροστασία του χώρου από :

- τον αερόφερτο ήχο, που παράγεται σε γειτονικούς χώρους.
- τον κτυπογενή ήχο, που παράγεται σε γειτονικούς χώρους.
- τον αερόφερτο ήχο, που παράγεται από κοινόχρηστες ή ιδιωτικές εγκαταστάσεις του ίδιου κτιρίου.
- τον αερόφερτο ήχο που παράγεται από εξωτερικές πηγές.

Οι ορισμοί των παραμέτρων ακουστικής άνεσης R_w , R'_w , $L'_{n,w}$, $L_{Aeq,h}$, L_{pA} φαίνονται στον Πίνακα 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Παράμετροι ακουστικής άνεσης

ΕΙΔΟΣ ΗΧΟΜΟΝΩΣΗΣ- ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ				ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ			
	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΟΤ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΟΤ
ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΠΟ ΑΕΡΟΦΕΡΤΟ ΗΧΟ	Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης	R_w	dB	461.1	Δείκτης ηχομείωσης	R	dB	370.3
	Σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης	R'_w	dB	461.1	Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης	R'	dB	370.4
ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΠΟ ΚΤΥΠΟΓΕΝΗ ΗΧΟ	Σταθμισμένη κανονικοποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης κτυπογενούς ήχου	$L'_{n,w}$	dB	461.2	Κανονικοποιημέν η στάθμη ηχητικής πίεσης κτυπογενούς ήχου	L'_n	dB	370.7 370.8
ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΑΕΡΟΦΕΡΤΟ ΘΟΡΥΒΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ	Ωριαία ισοδύναμη A – ηχοστάθμη	$L_{Aeq,h}$	dB (A)	230	A- ηχοστάθμη	L_{pA}	dB (A)	230
ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΟΦΕΡΤΟ ΘΟΡΥΒΟ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΕΤΑΙ ΑΠΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ	A- ηχοστάθμη	L_{pA}	dB (A)	229	A- ηχοστάθμη	L_{pA}	dB (A)	229

Όλα τα νέα κτίρια που κατασκευάζονται υπάγονται σε μία από τις παρακάτω «κατηγορίες ακουστικής άνεσης».

- Κατηγορία Α. «υψηλή ακουστική άνεση». Όταν πληρούνται όλα τα κριτήρια του πίνακα 2.

- Κατηγορία Β. «κανονική ακουστική άνεση». Όταν πληρούνται όλα τα κριτήρια του πίνακα 3.

- Κατηγορία Γ. «χαμηλή ακουστική άνεση». Όταν δεν πληρούνται όλα τα κριτήρια του πίνακα 3.

Για κάθε κατηγορία ακουστικής άνεσης αντιστοιχούν κάποια κριτήρια ηχομόνωσης – ηχοπροστασίας. Πρόκειται για τις οριακές τιμές των παραμέτρων ακουστικής άνεσης.

Οι απαιτήσεις για όλα τα είδη των κτιρίων εκφράζονται με εννέα συνολικά κριτήρια που περιλαμβάνονται στους πίνακες 2 και 3.

Κατά τη σύνταξη μελετών, είναι δυνατόν να λαμβάνεται μεταξύ R_w & R'_w η σχέση που ορίζεται στον πίνακα 4. Κατά την κατασκευή, θα πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα, ώστε οι διαφορές μεταξύ R_w & R'_w , που οφείλονται στις πλευρικές μεταδόσεις, να μην είναι μεγαλύτερες από τις τιμές που προκύπτουν από τον πίνακα 4. Μέτρα μείωσης των πλευρικών μεταδόσεων είναι, μεταξύ άλλων, η διακοπή συνέχειας των οικοδομικών στοιχείων μεταξύ των δύο χώρων και η αύξηση της επιφανειακής μάζας των πλευρικών στοιχείων (π.χ. άνω των 350 kg/m^2). Αν λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα για τη μείωση των πλευρικών μεταδόσεων, είναι δυνατόν να γίνονται αποδεκτές μικρότερες τιμές για τη διαφορά αυτή.

Αναλυτικά και ειδικά για τους χώρους που σχετίζονται με την εκπαιδευτική διαδικασία:

- Η ηχομόνωση από γειτονικό χώρο κύριας ή βοηθητικής χρήσης και η ηχομόνωση από χώρους κοινής χρήσης αφορούν όλα τα οριζόντια και κατακόρυφα χωρίσματα ανάμεσα στο:
 - χώρο κύριας χρήσης και γειτονικό χώρο κύριας ή βοηθητικής χρήσης.
 - χώρο κύριας χρήσης και τους κοινής χρήσης χώρους του κτιρίου.Το κριτήριο ηχομόνωσης στην περίπτωση αερόφερτου ήχου για τα κατακόρυφα και τα οριζόντια χωρίσματα είναι η ελάχιστη τιμή του μονότιμου μεγέθους R'_w σε decibel (dB), δηλαδή τα 57dB. Το κριτήριο ηχομόνωσης στην περίπτωση κτυπογενή ήχου για τα οριζόντια χωρίσματα είναι η μέγιστη τιμή του μονότιμου μεγέθους $L'_{n,w}$ σε decibel(dB), δηλαδή τα 58dB.
- Η ηχοπροστασία από εξωτερικούς θορύβους αφορά τον εξωτερικό θόρυβο περιβάλλοντος (κυκλοφοριακό, αστικό) που μεταδίδεται μέσα από όλα τα εξωτερικά οριζόντια και κατακόρυφα χωρίσματα για όλα ανεξαιρέτως τα κτίρια. Το κριτήριο ηχοπροστασίας είναι η μέγιστη τιμή της ωριαίας ισοδύναμης Α-ηχοστάθμης $L_{Aeq,h}$ σε decibel-A (dB(A)), δηλαδή τα 30dB.

- Η ηχοπροστασία από εγκαταστάσεις αφορά το θόρυβο που προέρχεται από τις κοινόχρηστες εγκαταστάσεις, που μεταδίδεται μέσα από όλα τα οριζόντια και κατακόρυφα χωρίσματα και από όλες τις άλλες ηχητικές διαδρομές για όλα ανεξαιρέτως τα κτίρια. Το κριτήριο ηχοπροστασίας είναι η μέγιστη τιμή της A - ηχοστάθμης L_{pA} σε decibel - A (dB(A)) μέσα στο χώρο κύριας χρήσης, δηλαδή τα 25dB. Κοινόχρηστες εγκαταστάσεις, θεωρούνται η υδραυλική, η ηλεκτρική, η εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης - ψύξης - αερισμού, οι ανελκυστήρες, οι αντλίες και τα κάθε είδους μηχανήματα που εξυπηρετούν από κοινού όλους τους χώρους.
- Η ηχομόνωση χώρου κύριας χρήσης από χώρους εγκαταστάσεων αφορά τα κατακόρυφα και οριζόντια χωρίσματα ανάμεσα σε χώρους κύριας χρήσης και χώρους εγκαταστάσεων για όλα τα κτίρια. Το κριτήριο ηχομόνωσης στην περίπτωση αερόφερτου ήχου για τα κατακόρυφα και τα οριζόντια χωρίσματα είναι η ελάχιστη τιμή του μονότιμου μεγέθους R'_w σε decibel (dB), δηλαδή τα 60 dB. Το κριτήριο ηχομόνωσης στην περίπτωση κτυπογενή ήχου για τα οριζόντια χωρίσματα είναι η μέγιστη τιμή του μονότιμου μεγέθους $L_{n,w}$ σε decibel (dB), δηλαδή τα 45dB.

Αξίζει να τονιστεί ότι μεγάλα μεγέθη του R'_w δείχνουν την μεγάλη μόνωση ενός τοίχου ή μιας οροφής. Αντίθετα μικρά μεγέθη του $L'_{n,w}$ δείχνουν υψηλή ικανότητα ηχομόνωσης κτυπογενούς ήχου.

Στην περίπτωση που είναι αδύνατη η εξασφάλιση της υψηλής ακουστικής άνεσης, συνίσταται η συμμόρφωση με τις ελάχιστες απαιτήσεις ακουστικής άνεσης. Αυτό σημαίνει ότι όλα ανεξαιρέτως τα νέα κτίρια πρέπει να καλύπτουν τουλάχιστον τις απαιτήσεις της κατηγορίας ακουστικής άνεσης B.

Για την αντιμετώπιση των αναγκών σε μετρήσεις - πιστοποιήσεις που απορρέουν από την εφαρμογή του άρθρου 12, χρησιμοποιούνται εργαστήρια μετρήσεων κτιριακής ηχοπροστασίας. Αυτά λειτουργούν κάτω από την επίβλεψη εξειδικευμένου διπλωματούχου μηχανικού και διαθέτουν εξοπλισμό για τις εργαστηριακές και επιτόπιες μετρήσεις σύμφωνα με τα πρότυπα ΕΛΟΤ. (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης, ΝΠΙΔ συσταθέν το 1976, λειτουργεί με βάση τα διεθνή πρότυπα τυποποίησης).

Ο έλεγχος των εργασιών ηχομόνωσης - ηχοπροστασίας γίνεται από τις κατά τόπους αρμόδιες πολεοδομικές υπηρεσίες. Σε περιπτώσεις ελέγχου που απαιτούν ειδικές συσκευές και εξειδίκευση, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν τα παραπάνω εργαστήρια μετρήσεων.

Επισημαίνεται ότι οι αποδεκτές κατασκευαστικές λύσεις είναι αυτές που αναφέρονται στις ισχύουσες κάθε φορά τεχνικές οδηγίες. Σε περίπτωση κατασκευαστικών λύσεων που δεν περιλαμβάνονται σε τεχνικές οδηγίες, απαιτούνται εργαστηριακές μετρήσεις, σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Κριτήρια ηχομόνωσης - ηχοπροστασίας. Κατηγορία Α «υψηλή ακουστική άνεση».

ΕΙΔΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ	ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΠΟ ΓΕΙΤΟΝΙΚΟ ΧΩΡΟ ΚΥΡΙΑΣ Ή ΒΟΗΘΗΤΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ. ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΠΟ ΧΩΡΟΥΣ ΚΟΙΝΗΣ ΧΡΗΣΗΣ		ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ (ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ) ΑΠΟ ΑΛΛΟ ΧΩΡΟ ΚΥΡΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ		ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ		ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΗΣ ΙΔΙΑΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ	ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΚΥΡΙΟΥ ΧΩΡΟΥ ΑΠΟ ΧΩΡΟΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	
	1	2	3	4	Εξωτερικούς θορύβους	Θορύβους εγκαταστάσεων	7	8	9
	R'_{w}	$L'_{n,w}$	R'_{w}	$L'_{n,w}$	$L_{Aeq,h}$	L_{pA}	R'_{w}	R'_{w}	$L'_{n,w}$
	dB	dB	dB	dB	dB (A)	dB (A)	dB	dB	dB
ΚΑΤΟΙΚΙΑ - ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΔΙΑΜΟΝΗ	54	55	-	-	30	25	48	60	45
ΓΡΑΦΕΙΑ – ΕΜΠΟΡΙΟ	52	60	58	52	35	30	-	55	55
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ	57	58	58	52	30	25	-	60	45
ΥΓΕΙΑ	57	55	58	52	30	25	-	60	45
ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗ – ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	65	40	62	47	(25)	(25)	-	(65)	(40)

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Κριτήρια ηχομόνωσης - ηχοπροστασίας. Κατηγορία Β «κανονική ακουστική άνεση».

ΕΙΔΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ	ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΠΟ ΓΕΙΤΟΝΙΚΟ ΧΩΡΟ ΚΥΡΙΑΣ Ή ΒΟΗΘΗΤΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ. ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΠΟ ΧΩΡΟΥΣ ΚΟΙΝΗΣ ΧΡΗΣΗΣ		ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ (ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ) ΑΠΟ ΑΛΛΟ ΧΩΡΟ ΚΥΡΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ		ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ		ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΗΣ ΙΔΙΑΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ	ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΚΥΡΙΟΥ ΧΩΡΟΥ ΑΠΟ ΧΩΡΟΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ		
					Εξωτερικούς θορύβους	Θορύβους εγκαταστάσεων				
	1	2	3	4	5	6		7	8	9
	R'_{w}	$L'_{n,w}$	R'_{w}	$L'_{n,w}$	$L_{Aeq,h}$	L_{pA}		R'_{w}	R'_{w}	$L'_{n,w}$
dB	dB	dB	dB	dB (A)	dB (A)	dB	dB	dB		
ΚΑΤΟΙΚΙΑ - ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΔΙΑΜΟΝΗ	50	60	-	-	35	30	42	55	50	
ΓΡΑΦΕΙΑ - ΕΜΠΟΡΙΟ	40	65	52	55	40	35	-	53	60	
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ	50	65	55	55	35	30	-	55	50	
ΥΓΕΙΑ	50	60	55	55	35	30	-	55	50	
ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗ - ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	60	45	60	48	(25)	(25)	-	(62)	(45)	

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

1. Οι τιμές σε παρενθέσεις αποτελούν μόνο οδηγό για σχεδιασμό θεάτρων, κινηματογράφων, αιθ. συγκεντρώσεων, αιθ. μουσικής χώρων ηχογράφησης και επεξεργασίας ήχου, εκκλησιών και άλλων χώρων, στους οποίους η αυξημένη ηχοπροστασία αποτελεί προϋπόθεση για τη διαμόρφωση της εσωτερικής ακουστικής τους.
 2. Για κτίρια στα οποία συνυπάρχουν επιμέρους τμήματα διαφορετικών κύριων χρήσεων, η επιλογή των τιμών των κριτηρίων γίνεται έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις σε ηχομόνωση, ηχοπροστασία κάθε χώρου κύριας χρήσης. Η επιλογή ακολουθεί τιμές των χώρων με περισσότερο αυξημένες απαιτήσεις, έτσι ώστε να καλύπτονται και οι απαιτήσεις των άλλων χώρων.
 3. Οι τιμές της στήλης 9 αφορούν μόνο την επιφάνεια έδρασης των μηχανημάτων.
- [8]

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Σχέση μεταξύ R_w & R'_w

R'_w (dB)	R_w (dB)
έως 42	$R'_w + 0$
από 43 έως 48	$R'_w + 2$
από 48 έως 52	$R'_w + 3$
από 53 έως 55	$R'_w + 4$
από 56 έως 60	$R'_w + 6$

- **Προεδρικό Διάταγμα 149/2006**

Στο παρελθόν, Ευρωπαϊκοί, Αμερικάνικοι, καθώς και Διεθνείς οργανισμοί είχαν προβεί στην θέσπιση προτύπων για τις μεθόδους μέτρησης και αξιολόγησης του θορύβου και της ακοής. Με την πάροδο των χρόνων επήλθε ταύτιση αυτών των προτύπων, καρπός της οποίας ήταν το διεθνές πρότυπο, ISO 1999-1990. Το πρότυπο αυτό αποτελεί τη βάση για τα όρια έκθεσης στο θόρυβο κατά την εργασία, τη σχέση έντασης και χρόνου έκθεσης και τη συσχέτιση συνεχούς και παλμικού θορύβου. Αρκετά κράτη έχουν στηρίξει τη σχετική νομοθεσία τους σε αυτό το πρότυπο, ένα από τα οποία είναι και η Ελλάδα.

Το Π.Δ. 149/2006 είναι πλήρως εναρμονισμένο με την ευρωπαϊκή οδηγία 2003/10/ΕΚ και περιλαμβάνει τις ελάχιστες προδιαγραφές υγείας και ασφάλειας όσον αφορά την έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (θόρυβος).

Για τους σκοπούς του προεδρικού διατάγματος, οι φυσικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη των κινδύνων ορίζονται ως εξής:

α) κορυφοτιμή της ηχητικής πίεσης (P_{peak}): μέγιστη τιμή της C-σταθμισμένης στιγμιαίας πίεσης θορύβου.

β) ημερήσια στάθμη έκθεσης σε θόρυβο ($L_{\text{EX},8\text{h}}$): [dB(A) ως προς 20 μPa]: χρονικά σταθμισμένη μέση τιμή των σταθμών έκθεσης σε θόρυβο για οκτάωρη ημέρα εργασίας όπως ορίζεται από το διεθνές πρότυπο ISO 1999:1990, σημείο 3.6. Καλύπτει όλα τα είδη θορύβου που απαντώνται στο εργασιακό περιβάλλον, περιλαμβανομένου και του παλμικού.

γ) εβδομαδιαία στάθμη έκθεσης σε θόρυβο ($L_{\text{X},8\text{h}}$): χρονικά σταθμισμένη μέση τιμή των ημερήσιων σταθμών έκθεσης σε θόρυβο για εβδομάδα πέντε οκτάωρων εργασιμών ημερών όπως ορίζεται από το διεθνές πρότυπο ISO 1999:1990, σημείο 3.6.

Οι οριακές τιμές έκθεσης και οι τιμές έκθεσης για ανάληψη δράσης, όσον αφορά τις ημερήσιες στάθμες έκθεσης σε θόρυβο και τις κορυφοτιμές της ηχητικής πίεσης καθορίζονται ως εξής:

α) οριακές τιμές έκθεσης: $L_{\text{EX},8\text{h}} = 87 \text{ dB(A)}$ και $P_{\text{peak}} = 200 \text{ Pa}$, αντιστοίχως.

β) ανώτερες τιμές έκθεσης για ανάληψη δράσης: $L_{\text{EX},8\text{h}} = 85 \text{ dB(A)}$ και $P_{\text{peak}} = 140 \text{ Pa}$ αντιστοίχως.

γ) κατώτερες τιμές έκθεσης για ανάληψη δράσης: $L_{\text{EX},8\text{h}} = 80 \text{ dB(A)}$ και $P_{\text{peak}} = 112 \text{ Pa}$, αντιστοίχως.

Στο προεδρικό διάταγμα επισημαίνεται ότι οι μέθοδοι και τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του θορύβου πρέπει να προσαρμόζονται στις επικρατούσες συνθήκες και ειδικότερα στα χαρακτηριστικά του προς μέτρηση θορύβου, τη διάρκεια της έκθεσης, τους περιβαλλοντικούς παράγοντες και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου μέτρησης. Οι μέθοδοι και τα όργανα μέτρησης πρέπει να επιτρέπουν τον προσδιορισμό των φυσικών παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη κινδύνων που ορίστηκαν παραπάνω και τη διαπίστωση αν σε δεδομένη περίπτωση έχει σημειωθεί υπέρβαση των τιμών έκθεσης. Οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι είναι δυνατόν να περιλαμβάνουν δειγματοληψία αντιπροσωπευτική της ατομικής έκθεσης του εργαζομένου. Τέλος, στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων λαμβάνονται υπόψη τα σφάλματα μέτρησης, που προσδιορίζονται σύμφωνα με τη μετρολογική πρακτική. [9]

2.2 Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας - προτεινόμενες τιμές

W.H.O. (World Health Organization) – Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας

Οι μελέτες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας σχετικά με την ακοή και το θόρυβο χρονολογούνται από τα πρώτα χρόνια της ίδρυσής του. Το 1978, υπήρξε η γενική παραδοχή ότι η ηχητική στάθμη των 3000 Hz σχετίζεται με την σύλληψη και την κατανόηση της ομιλίας, ειδικά υπό την παρουσία θορύβου. Την ίδια χρονολογία έρευνες αποκάλυψαν ότι η ομιλία ήταν περισσότερο ευδιάκριτη όταν οι συχνότητες εκπομπής της ξεπερνούσαν τα 2000Hz, συγκριτικά με σήματα χαμηλότερων συχνοτήτων.

Το Διεθνές πρότυπο **ISO 9921** περιλαμβάνει μια εργονομική εκτίμηση της συνομιλίας. Στο πρώτο μέρος του αποδίδεται η στάθμη παρεμβολής της ομιλίας (Speech Interference Level -SIL) και οι αποστάσεις επικοινωνίας για ανθρώπους με φυσιολογική ικανότητα ακοής σε απ'ευθείας επικοινωνία, λαμβάνοντας υπόψη τον περιβάλλοντα θόρυβο στη θέση του ομιλητή και του ακροατή και την προσπάθεια για ομιλία.

Υπάρχουν πολλές φυσικές και ατομικές συνθήκες που επηρεάζουν τη συνομιλία. Κάποιες από τις πιο σημαντικές είναι η φυσική ικανότητα ακοής των ατόμων που επικοινωνούν, ο χρόνος αντήχησης και τυχόν προστατευτικά ακοής που φορά ο ομιλητής. Αρχικά το πρότυπο ISO 9921-1 χωρίζει τη φωνητική προσπάθεια σε επτά βήματα από τη χαλαρή στην πολύ δυνατή και συσχετίζει κάθε βήμα με τον περιβάλλοντα θόρυβο στη θέση του ομιλητή. Στη συνέχεια συσχετίζει τα παραπάνω βήματα με τη μέγιστη απόσταση μεταξύ ομιλητή και ακροατή. Η επικοινωνία μπορεί να αξιολογηθεί με την αναλογία A-σταθμισμένου σήματος και θορύβου στη θέση του ακροατή, χρησιμοποιώντας μια κλίμακα επτά βημάτων από το “εξαιρετικό” έως το “ανεπαρκές”. Το πρότυπο επισημαίνει ότι προκειμένου να αποφανθεί κανείς για την ποιότητα της επικοινωνίας σε μια δεδομένη περίπτωση, είναι χρήσιμη η συχνότητα, η αναγκαιότητα της επικοινωνίας και το μέγεθος του λεξιλογίου (συγκεκριμένα “πακέτα” λέξεων, όπως για παράδειγμα εντολές ή προειδοποιήσεις). Επί παραδείγματι, στις αίθουσες συνεδρίων θα ήταν ικανοποιητική η “πολύ καλή” ή “εξαιρετική” ποιότητα αντιληπτότητας.

SNR (dB)	Αντιληπτότητα ομιλίας
<-6	Ανεπαρκής
-6 έως -3	Μη ικανοποιητική
-3 έως 0	Επαρκής
0 έως 6	Ικανοποιητική
6 έως 12	Καλή
12 έως 18	Πολύ καλή
>18	Εξαιρετική

Το πρότυπο ISO 11690-1 στοιχειοθετεί τις μέγιστες τιμές της A-ζυγιασμένης ισοδύναμης ακουστικής ηχοστάθμης, για καθημερινή δουλειά γραφείου στο εύρος των 45 έως 55 dB και για αίθουσες συνεδρίων ή σκοπούς που απαιτούν συγκέντρωση στο εύρος των 35 έως 45dB. Περαιτέρω λεπτομερής περιγραφή των μηχανισμών που οδηγούν σε μείωση απόδοσης και μια κατανομή των εργασιών διαφορετικής πολυπλοκότητας σε προτεινόμενα επίπεδα κάτω από 40dB(A) υπάρχει στο δίγλωσσο Γερμανικό πρότυπο VDI 2058, μέρος 3 (1999).

Το 1993 ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας υιοθέτησε μια σειρά μέτρων για τη σχεδίαση νέων αιθουσών ή τη βελτίωση των υφισταμένων, βασισμένων σε σχετικές έρευνες. Το υπόστρωμα θορύβου (background noise level) δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 30 dB(A) L_{eq} ή τα 50 dB(C). Η τιμή αυτή προβλέπεται στο γερμανικό πρότυπο DIN 4109, αλλά δεν εφαρμόζεται πάντα. Για λόγους οικονομικούς, θα μπορούσαμε να δεχθούμε τιμές μεταξύ 35 dB(A) και 40 dB(A). Το μέτρο αυτό επιβάλλει ειδική μελέτη ηχομόνωσης, όπου θα εκτιμηθούν όλοι οι επιβαρυντικοί παράγοντες μέσα και έξω από την αίθουσα. Μάλιστα συστήνεται εγκατάσταση ηλεκτρικής υποβοήθησης του ομιλητή με ασύρματο μικρόφωνο, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις αιθουσών που φιλοξενούν παιδιά με προβλήματα ακοής. [7]

Ένα απλό παράδειγμα που ενισχύει την παραπάνω παραδοχή για το υπόστρωμα θορύβου είναι το εξής: ο όγκος φωνής του μέσου καθηγητή είναι 60 dB(A), οπότε σύμφωνα με το νόμο του Lombard για να βελτιώσει την καταληπτότητα, όταν το υπόστρωμα θορύβου είναι 65 dB(A), θα πρέπει να ανεβάσει τον όγκο του στα 70-75 dB(A) και τότε παρουσιάζονται προβλήματα, διότι αναγκαστικά ο ομιλητής αναγκάζεται να μιλάει πιο αργά με μεγαλύτερες και περισσότερες παύσεις, ιδίως μεταξύ των προτάσεων.

Ακόμα παρατηρείται μείωση της επικοινωνούμενης πληροφορίας επειδή κατά κανόνα ο ομιλητής απλοποιεί τις εκφράσεις του. Το αποτέλεσμα είναι η κόπωση του ομιλητή αλλά και των μαθητών, που μετά από λίγο αρχίζουν να μιλούν μεταξύ τους ανεβάζοντας τη στάθμη θορύβου, με όλες τις γνωστές συνέπειες. Άρα καταλήγουμε ότι σε χώρους, όπου η καταληπτότητα είναι σημαντική, η βασική στάθμη θορύβου δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 35 dB(A). [10]

- **Προτεινόμενες τιμές**

Ο στόχος όσον αφορά την ακουστική συμπεριφορά μιας αίθουσας είναι η ακουστική ευκρίνεια και η διαμόρφωση ενός ήσυχου, φιλόξενου ακουστικού περιβάλλοντος που να συμβάλει στην εκπαιδευτική διαδικασία. Όπως ήδη αναφέρθηκε, για να επιτευχθεί αυτό πρέπει το βάθος θορύβου της αίθουσας (θόρυβος που υπάρχει ούτως ή άλλως στην αίθουσα) να είναι λιγότερο από 35dB.

Παρακάτω, παρουσιάζεται ο πίνακας που σχετίζεται με τα επίπεδα ηχομόνωσης, το βάθος θορύβου δωματίου και τις ακουστικές απαιτήσεις.

Απαιτούμενη ηχομόνωση (dB)	Απαιτούμενο R_w				Απαιτούμενο $L_{n,w'}$			
	Έντονη ομιλία		Δυνατή μουσική		Βάδισμα		Τρίξιμο καρέκλας	
Βάθος θορύβου δωματίου	20	30	20	30	20	30	20	30
<i>Να μην ακούω</i>	67	57	72	62	33	43	28	38
<i>Να ακούω αλλά να μην καταλαβαίνω</i>	57	47	63	53	43	43	38	48
<i>Να ακούω και να καταλαβαίνω</i>	53	43	57	47	53	63	48	58
<i>Να ακούω δυνατά και να καταλαβαίνω ευκρινώς</i>	42	32	47	37	63	73	58	48

Ένας πολύ χρήσιμος δείκτης της καταληπτότητας της ομιλίας σε μια αίθουσα είναι ο **σηματοθορυβικός λόγος** (Signal-to-Noise Ratio, S/N). Η ηχητική στάθμη της φωνής του καθηγητή σε dB, μείον το υπόστρωμα θορύβου στην αίθουσα σε dB, ισούται με το S/N σε dB. Όσο μεγαλύτερο είναι το S/N, τόσο πιο καταληπτή είναι η ομιλία. Αν το S/N είναι αρνητικό (π.χ. το υπόστρωμα θορύβου είναι δυνατότερο από τη φωνή του καθηγητή), θα είναι σχεδόν αδύνατη η κατανόηση των λεγομένων. Να τονισθεί εδώ ότι το S/N ποικίλει στις διάφορες θέσεις της αίθουσας, εφόσον το σήμα και ο θόρυβος ποικίλουν. Τυπικά, το S/N είναι χαμηλότερο: (1) στο πίσω μέρος της αίθουσας, όπου η στάθμη της φωνής του καθηγητή έχει πέσει στην ελάχιστη τιμή ή (2) κοντά στην πηγή θορύβου, όπου η στάθμη του θορύβου είναι στο μέγιστο, όπως κοντά σε ένα εντοιχισμένο κλιματιστικό.

Μελέτες έχουν δείξει ότι για να ακούγεται ο ομιλητής με σαφήνεια πρέπει οι τιμές του S/N να υπακούουν στον παρακάτω πίνακα. [11]

<u>Ελάχιστο S/N και ικανότητα ακοής</u>	Ενήλικες
Με κανονική ακοή	6dB
Με ακουστικές δυσκολίες	15dB

Σε έναν υπάρχοντα χώρο η καταληπτότητα της ομιλίας μπορεί να αξιολογηθεί με τη χρήση 'λίστων λεξιλογίου'. Κατά τη διάρκεια μερικών σχετικών εξετάσεων ένα άτομο απαγγέλλει λέξεις από μια συγκεκριμένη λίστα και οι ακροατές καταγράφουν ό,τι ακούνε. Το ποσοστό των λέξεων που οι ακροατές ακούνε σωστά αποτελεί ένα μέτρο της καταληπτότητας ομιλίας στο συγκεκριμένο δωμάτιο. Ωστόσο είναι μάλλον ανέφικτο να εφαρμόζονται παρόμοια τεστ σε κάθε χώρο που χρειάζεται σχετική μελέτη. Συνεπώς έχουν αναπτυχθεί άλλες μέθοδοι για αυτόν τον σκοπό.

Κάποιες από τις διεθνώς αναγνωρισμένες μεθόδους για τη μέτρηση και την πρόβλεψη της καταληπτότητας της ομιλίας, είναι οι SII, %ALcons και το STI (Speech Transmission Index). Η τελευταία μέθοδος αποτελεί τη βάση για άλλες μεθόδους και κλίμακες όπως η STIPA και η CIS. Χρησιμοποιεί το σηματοθορυβικό λόγο (SNR) και ένα άλλο πολύ χρήσιμο για την ακουστική μέγεθος, τον χρόνο αντήχησης [ο χρόνος που χρειάζεται μετά το σταμάτημα της ηχητικής πηγής για να ελαττωθεί η στάθμη ηχητικής πίεσης (SPL) κατά 60 dB σε ένα μερικά ή ολικά κλειστό χώρο σε ορισμένη συχνότητα]. Διαφορετικοί χρόνοι αντήχησης για σταθερό S/N ή το αντίθετο μπορεί να οδηγήσουν σε δραματική μεταβολή της καταληπτότητας.

Πιο συγκεκριμένα, το STI εκφράζει το ποσοστό των σωστών συλλαβών που αντιλαμβάνεται ο μέσος ακροατής και οι τιμές του κυμαίνονται μεταξύ 0 (μηδενική αντίληψη της ομιλίας) και 1 (τέλεια αντίληψη της ομιλίας). Σε γενικές γραμμές το STI λειτουργεί με τον εξής τρόπο: ορίζει ένα ηχητικό σήμα αναφοράς που να προσομοιάζει σε σήμα ομιλίας. Το σήμα αυτό διαμορφώνεται ανάλογα με τον χρόνο αντήχησης και το θόρυβο βάθους. Η σύγκριση του σήματος αναφοράς με το τελικό, διαμορφωμένο σήμα, σε μία σειρά από συχνότητες στο ακουστικό φάσμα δίνει τιμή για το STI. Το ηχόμετρο της Briel&Kjaer περιλαμβάνει ειδικό λογισμικό υπολογισμού του STI.

Για να έχουμε μια πιο σαφή εικόνα για το τι πρεσβεύει το STI θα ορίσουμε το %ALcons και θα κάνουμε μια σύγκριση μεταξύ τους. Το %ALcons (Articulation loss of consonants in %) αντιπροσωπεύει τα ποσοστά των συμφώνων που δεν γίνονται αντιληπτά κατά την ομιλία. Παρόλο που τα φωνηέντα περιέχουν το μεγαλύτερο «μερίδιο» από την ηχητική ενέργεια της ομιλίας, τα σύμφωνα, των οποίων η ενέργεια είναι συσσωρευμένη προς τις υψηλότερες συχνότητες του ακουστικού φάσματος, επηρεάζουν περισσότερο την αντίληψη μας όσον αφορά την ομιλία. Κατά μία έννοια λοιπόν, το μέγεθος αυτό είναι πολύ παρεμφερές με το ποσοστό αναγνώρισης λέξεων που αναφέραμε παραπάνω.

Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας που αξιολογεί τις τιμές των STI και %ALcons όσον αφορά το επίπεδο της αντιληπτότητας και παρουσιάζει την αντιστοιχία των τιμών των μεγεθών αυτών μεταξύ τους.

STI	0-0.3	0.3-0.45	0.45-0.6	0.6-0.75	0.75-1.0
	μη αποδεκτή	ανεπαρκής	Επαρκής	Καλή	Άψογη
% ALCONS	100-33 %	33-15 %	15-7 %	7-3 %	3-0 %

Σε περιπτώσεις διδασκαλίας μία απώλεια της τάξης του 5-10% της είναι αποδεκτή. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι επιδιώκουμε για το STI μία τιμή γύρω στο 0.6. Το 5% ALcons αντιστοιχεί σε 0,678 για το STI, ενώ το 10% σε 0,54. [12], [13]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ – ΠΡΟΤΥΠΑ

Στην παρούσα μελέτη ασχοληθήκαμε επιλεκτικά με κάποια αμφιθέατρα των πέντε πολυπληθέστερων σχολών της Πολυτεχνειούπολης, τους χώρους συνάθροισης και τα κυλικεία που γειτνιάζουν με τα αμφιθέατρα αυτά. Θεωρήσαμε ότι σε αυτούς τους χώρους περιορίζεται κατά κύριο λόγο η μετακίνηση των φοιτητών που περνούν την ημέρα τους στις συγκεκριμένες σχολές.

Τις σχολές αυτές αποτελούν:

- Η σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
- Η σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
- Η σχολή Πολιτικών Μηχανικών
- Η σχολή Τοπογράφων
- Η σχολή Χημικών Μηχανικών

Επιπλέον ελήφθησαν μετρήσεις περιμετρικά του χώρου του Πολυτεχνείου στην πλευρά της Λεωφόρου Κατεχάκη, όπου παρατηρείται αυξημένος θόρυβος λόγω του αυτοκινητόδρομου, και αντίστοιχες μετρήσεις κοντά στα πρώτα κτήρια που συναντούμε καθώς εισερχόμαστε στις εγκαταστάσεις.

Σε κάθε θέση (εκτός από ορισμένες, στις οποίες δεν υπάρχει μεταβολή του θορύβου αναλογικά με την ώρα) έγινε δειγματοληψία σε τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους: το πρωί, το μεσημέρι και το βράδυ, καθώς επίσης και σε διαφορετικές συνθήκες: σε ώρα μαθήματος και διαλείμματος. Τέλος κρίθηκαν χρήσιμες ορισμένες μετρήσεις στο εστιατόριο και σε μια βιβλιοθήκη, επιλέχθηκε αυτή των Ηλεκτρολόγων.

Με αυτές τις επιλογές προσπαθήσαμε ουσιαστικά να σκιαγραφήσουμε το συνολικό ημερήσιο θόρυβο που δέχεται ένας φοιτητής από τη στιγμή που εισέρχεται στο χώρο της Πολυτεχνειούπολης, για να παρακολουθήσει τις πρωϊνές παραδόσεις, μέχρι το απόγευμα, που έχει ολοκληρώσει την εκπαιδευτική του δραστηριότητα και αποχωρεί από αυτόν.

Οι χώροι που επιλέχθηκαν διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους ως προς την κατασκευή και την τοποθεσία, καθότι κάποια από τα κτίρια βρίσκονται πιο κοντά στον αυτοκινητόδρομο και σε χαμηλότερο υψόμετρο από τα άλλα, ενώ κάποια αποτελούν πιο σύγχρονες κατασκευές. Συγκεκριμένα:

- Οι σχολές των Ηλεκτρολόγων, Χημικών και Μηχανολόγων βρίσκονται στο ίδιο περίπου υψόμετρο με τη λεωφόρο Κατεχάκη, ενώ οι άλλες δυο βρίσκονται ψηλότερα, προς την περιοχή του Ζωγράφου, κοντά στην οδό Ηρώων Πολυτεχνείου και στον εσωτερικό περιφερειακό δρόμο της Πολυτεχνειούπολης. Κανείς από αυτούς τους δυο δρόμους δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη κίνηση.
- Οι σχολές των Ηλεκτρολόγων, των Πολιτικών και των Τοπογράφων, στεγάζονται σε νεώτερα κτίσματα, με άλλου είδους επενδυτικά υλικά και τζάμια, από αυτά των υπολοίπων σχολών.
- Κάθε αμφιθέατρο έχει τις ιδιομορφίες του.

Το Αμφιθέατρο 1 των Ηλεκτρολόγων είναι το μεγαλύτερο σε χωρητικότητα, όγκο και ύψος, συγκριτικά με τα υπόλοιπα, έχει μακρόστενα παράθυρα στις δυο πλευρές του και τρεις εισόδους, δυο χαμηλά, πλάι στην έδρα και μια ψηλά, πίσω από τα τελευταία καθίσματα.

Το Αμφιθέατρο Β των Μηχανολόγων, το Αμφιθέατρο των Χημικών και των Πολιτικών δεν έχουν παράθυρα, έχουν πόρτες στο πίσω μέρος ενώ τα δύο πρώτα έχουν και δύο πλαϊνές πόρτες δίπλα από την έδρα. Η ιδιαιτερότητα του Αμφιθεάτρου των Πολιτικών είναι ότι η μία από τις πλαϊνές πλευρές του δεν είναι κτισμένη αλλά οριοθετείται από μια διαχωριστική επιφάνεια που στην ουσία χωρίζει ένα μεγάλο αμφιθέατρο σε δυο μικρότερα. Τέλος, το αμφιθέατρο των Τοπογράφων, έχει μόνο μια είσοδο που βρίσκεται δίπλα από το τελευταίο έδρανο και παράθυρα στην πίσω πλευρά.

Όλα τα παράθυρα, όπως και οι πόρτες είναι μονίμως κλειστά στις περισσότερες μετρήσεις. Η κλίση των αμφιθεάτρων ποικίλει επίσης. Μεγαλύτερη κλίση είχε το Αμφιθέατρο Β των Μηχανολόγων, ενώ μικρότερη είχε αυτό των Τοπογράφων.

Τα κυλικεία των αντίστοιχων σχολών διαφέρουν επίσης αρκετά μεταξύ τους.

-Το κυλικείο των Ηλεκτρολόγων είναι γωνιακό, με τις δυο πλευρές του να διαχωρίζονται από το εξωτερικό περιβάλλον με τζάμι, την τρίτη πλευρά να είναι χτισμένη και την τελευταία να διαχωρίζεται από τον εσωτερικό χώρο επίσης με τζάμι. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, ήταν ανοιχτές δύο πόρτες, η μία εξωτερική και η εσωτερική.

-Το κηλικείο των Μηχανολόγων είναι διόροφο. Στον κάτω όροφο υπάρχουν τα διάφορα μηχανήματα και γίνονται οι παραγγελίες, ενώ στον επάνω όροφο υπάρχουν τραπέζοκαθίσματα όπου έγιναν οι μετρήσεις. Οι δύο πλευρές του είναι χτισμένες, η μία πλευρά χωρίζεται από τον εσωτερικό χώρο με τζάμι και η τελευταία χωρίζεται από τον εξωτερικό χώρο επίσης με τζάμι. Εκεί βρίσκεται και η εξωτερική πόρτα η οποία ήταν μόνιμως ανοιχτή.

-Το κυλικείο των Χημικών έχει μακρόστενο σχήμα με μικρή χωρητικότητα, και περιβάλλεται και από τις τρεις πλευρές του από τζάμι.

-Το κυλικείο των Τοπογράφων είναι το μεγαλύτερο σε όγκο και χωρητικότητα από όλα τα κυλικεία. Η πλευρά της εισόδου είναι από τζάμι ενώ οι υπόλοιπες είναι χτισμένες.

-Το κυλικείο των Πολιτικών είναι διώροφο. Κάθε όροφος έχει ουσιαστικά δύο χώρους, στον ένα υπάρχουν τα μηχανήματα και το ταμείο και στον άλλο βρίσκονται τα τραπέζοκαθίσματα. Γι' αυτό το λόγο θεωρήθηκε σκόπιμο να ληφθούν μετρήσεις και στους δυο χώρους. Μόνο η μια πλευρά του καλύπτεται από τζάμι και εκεί βρίσκεται και η πόρτα.

Ξεχωριστοί χώροι αναμονής και συνάθροισης των φοιτητών δεν υπάρχουν σε όλες τις σχολές, καθώς στις τρεις από τις πέντε συμπίπτουν με τα κυλικεία. Ωστόσο στη σχολή των Ηλεκτρολόγων και σε αυτή των Πολιτικών διατίθενται δύο τέτοιοι χώροι, από τους οποίους πήραμε και τις μετρήσεις μας.

Αυτός των Ηλεκτρολόγων είναι μια μεγάλη αίθουσα με μάλλον ασαφή όρια καθώς από τις τρεις πλευρές της εκτείνεται προς μεγάλους διαδρόμους που χρησιμεύουν επίσης ως χώροι αναμονής. Η κεντρική είσοδος της από το εξωτερικό περιβάλλον είναι από τζάμι και ήταν ανοιχτή κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Αντίθετα, ο χώρος συνάθροισης των Πολιτικών είναι ουσιαστικά ένας στενός διάδρομος, όπου εδρεύουν εκπρόσωποι των φοιτητικών παρατάξεων και τον χρησιμοποιούν οι φοιτητές για να μετακινούνται από και προς τις διάφορες αίθουσες.

Το εστιατόριο της Πολυτεχνειούπολης είναι αρκετά ευρύχωρο, αν και χαμηλό σε ύψος και παλιάς κατασκευής. Περιλαμβάνει μία μεγάλη αίθουσα με τραπέζοκαθίσματα και τον χώρο των μαγειριών. Γι' αυτό επιλέξαμε δύο διαφορετικά σημεία για τη λήψη των μετρήσεων.

Η βιβλιοθήκη των Ηλεκτρολόγων παραδόθηκε σχετικά πρόσφατα σε λειτουργία και είναι ένας μικρός χώρος που αποτελείται από γραφεία, ράφια με βιβλία και μηχανήματα όπως υπολογιστές και εκτυπωτές. Η μία πλευρά καλύπτεται από παράθυρα, κάποια από τα οποία ήταν ανοιχτά κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Μια συνοπτική παρουσίαση της μεθοδολογίας είναι η εξής:

- ❖ Λήψη μετρήσεων με ειδικό ηχώμετρο.
- ❖ Ηχογράφηση με τη χρήση μικροφώνου και ηλεκτρονικού υπολογιστή.
- ❖ Επεξεργασία των ηχητικών αρχείων μέσω του λογισμικού MatLab.
- ❖ Μελέτη των υπαρχόντων στοιχείων και εξαγωγή συμπερασμάτων.

Αναλυτικά, τα ακριβή σημεία στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις με το ηχώμετρο και οι ηχογραφήσεις είναι τα παρακάτω:

- Στα αμφιθέατρα προτιμήθηκαν κεντρικές θέσεις μεταξύ των εδράνων, που παρουσιάζουν συνήθως τη μεγαλύτερη πυκνότητα φοιτητών. Όπου αυτό δεν ήταν δυνατό λόγω τεχνικών δυσκολιών, επιλέχθηκαν θέσεις προς την πίσω πλευρά του αμφιθεάτρου, όπου υπάρχει και μεγαλύτερη αλλοίωση της ακουστικής ικανότητας.
- Στα κυλικεία και στο εστιατόριο επιλέχθηκαν γωνιακές θέσεις με προσανατολισμό προς το κέντρο της αίθουσας και στις περιπτώσεις μεγάλων χώρων έγιναν μετρήσεις σε διαφορετικές γωνίες. Επειδή το εστιατόριο λειτουργεί μεσημέρι και απόγευμα και η μεγαλύτερη προσέλευση φοιτητών συμβαίνει το μεσημέρι, πραγματοποιήθηκαν εκείνη την ώρα οι μετρήσεις μας.
- Στη βιβλιοθήκη των Ηλεκτρολόγων τα μηχανήματα τοποθετήθηκαν περίπου στο κέντρο της αίθουσας, μπροστά από τα φωτοτυπικά, με προσανατολισμό τα γραφεία μελέτης και τα παράθυρα. Προφανώς, η πυκνότητα των φοιτητών δεν επηρεάζεται από τις διδακτικές ώρες, γι' αυτό πήραμε μόνο μία μεσημεριανή μέτρηση σε δύο σημεία, οπότε και παρατηρείται η μεγαλύτερη κίνηση στο χώρο.

- Στο χώρο συνάντησης του κτιρίου των Ηλεκτρολόγων πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε τρεις διαφορετικές πλευρές διότι όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ο χώρος αυτός είναι αρκετά μεγάλος με πολλές πλατιές εισόδους. Αντίθετα στο στενό διάδρομο των Πολιτικών Μηχανικών, όπου η κίνηση φαίνεται να είναι η ίδια όλες τις ώρες, έγιναν δύο μετρήσεις η μία σε ώρα μαθήματος και η άλλη σε ώρα διαλείμματος στο ίδιο σημείο το μεσημέρι.
- Στις εξωτερικές μετρήσεις, με τις οποίες θέλαμε να διαπιστώσουμε την επίδραση της κυκλοφορίας, στις αίθουσες διδασκαλίας, σταθήκαμε έξω από τρεις εγκαταστάσεις, σε απόσταση πέντε μέτρων περίπου από αυτές. Πρόκειται για το κτίριο των Ηλεκτρολόγων, των Μηχανολόγων και των Χημικών. Ο προσανατολισμός των εργαλείων μέτρησης ήταν προς τη λεωφόρο Κατεχάκη. Από τις ευθείες που ορίζουν τα κτίρια και τα σημεία αυτά, προκύπτουν άλλα τρία σημεία μέτρησης πάνω στη λεωφόρο. Σταθήκαμε λοιπόν στο πεζοδρόμιο της Κατεχάκη και λάβαμε τις αντίστοιχες μετρήσεις.

Οι μετρήσεις ήταν τουλάχιστον δεκάλεπτες. Υπήρξε ιδιαίτερη επιμέλεια ως προς τη σταθερότητα των οργάνων μέτρησης, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και την προσπάθεια αποφυγής εμποδίων μεταξύ αυτών και των ηχητικών πηγών. Επιπλέον, δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στην ανεπιτήδευτη συμπεριφορά των μελών της Πολυτεχνειακής κοινότητας, γι' αυτό και ενθαρρύνσαμε όσους φοιτητές και καθηγητές συμμετείχαν με την παρουσία τους στις μετρήσεις, να δρουν φυσιολογικά. Βέβαια, αυτό σημαίνει πως ταυτόχρονα, προσπαθήσαμε να αποφύγουμε την καταγραφή συνομιλιών πολύ κοντά στα όργανα, διότι αυτό θα αλλοίωνε το γενικό συμπέρασμα για το θόρυβο στο χώρο.

Αρχικά, εξήχθησαν συμπεράσματα και αξιολογήθηκε η ακουστική συμπεριφορά κάθε αίθουσας χωριστά.

Στο τέλος έγινε συγκεντρωτική παράθεση των μετρούμενων μεγεθών και στατιστική μελέτη αυτών. Έτσι οδηγηθήκαμε στα τελικά συμπεράσματα και τη συνολική αξιολόγηση. Βάσει των παρατηρήσεων που έγιναν αναφέρονται μία σειρά από γενικές προτάσεις για τη βελτίωση της ακουστικής των αιθουσών διδασκαλίας και των υπόλοιπων χρηστικών χώρων της Πολυτεχνειούπολης. Οι προτάσεις αφορούν την αρχική σχεδίαση, την κατασκευή των αιθουσών και τη βελτίωση της υπάρχουσας ακουστικής συμπεριφοράς των ήδη κατασκευασμένων αιθουσών.

Για τη λήψη των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το ηχόμετρο, της εταιρίας Brüel&Kjaer, τύπου 2270. Το μικρόφωνο ήταν τύπου 4189. Το calibration του μικροφώνου έγινε με το calibrator τύπου 4231. Πριν από την έναρξη της εκάστοτε μέτρησης γινόταν έλεγχος του calibration, για να εξασφαλίζουμε κάθε φορά όσο το δυνατόν λιγότερα σφάλματα που οφείλονται σε τυχόν κακή βαθμονόμηση. [14]



Ακολουθούν αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των οργάνων :

➤ ***Sound level meter***

Brüel&Kjaer, Hand-held Analyzer .

Type 2270, with Sound Level Meter Software BZ-7222, Frequency Analysis Software BZ-7223, Logging Software BZ-7224, Enhanced Logging Software BZ-7225 and Sound Recording Option BZ-7226

➤ ***Supplied Microphone***

Type 4189: Prepolarized Free-field ½" Microphone.

Nominal Open-circuit Sensitivity: 50 mV/Pa (corresponding to -26 dB re 1 V/Pa) ±1.5 dB.

Capacitance: 14 pF (at 250 Hz)

MICROPHONE PREAMPLIFIER ZC-0032

Nominal Preamplifier Attenuation: 0.25 dB

Connector: 10-pin LEMO

CALIBRATOR: Sound Calibrator Type 4231

Για την καταγραφή των ηχητικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν επίσης:

- USB επαγγελματική κάρτα ήχου: εταιρεία Digigram, μοντέλο UAX 220-Mic
- Πυκνωτικό Μικρόφωνο: εταιρεία Behringer, μοντέλο ECM 8000
- Φορητός Ηλεκτρονικός Υπολογιστής (Laptop)

Το λογισμικό ηχογράφησης ήταν της εταιρίας Adobe Systems, το μοντέλο Audition 1.5. Τα χαρακτηριστικά ηχογράφησης ήταν:

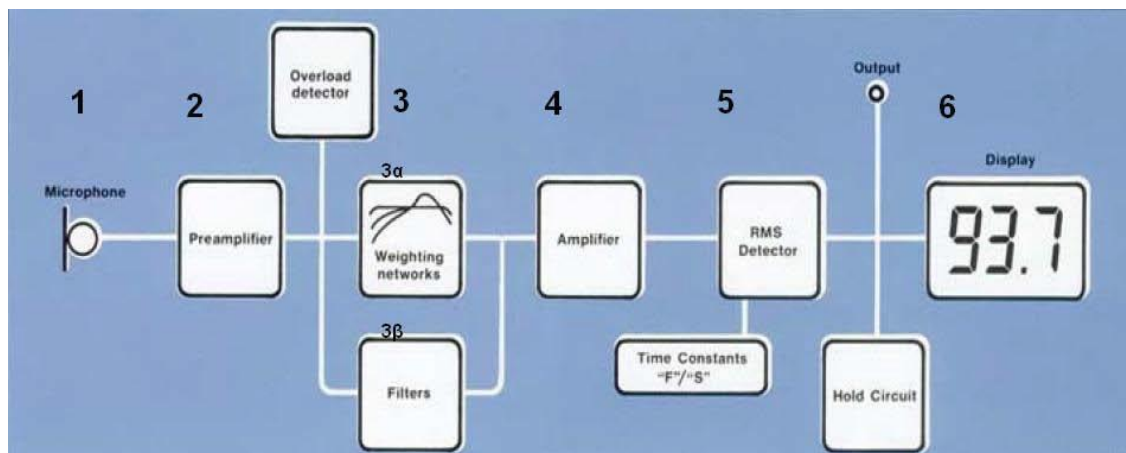
- ✓ Sample Rate: 44100Hz
- ✓ Channels: Mono
- ✓ Resolution: 16-bit

Χαρακτηριστικά: γραμμική απόκριση συχνοτήτων, μη κατευθυντική πολική συμπεριφορά

Ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή των αρχών λειτουργίας του ηχομέτρου.

Τα ηχητικά κύματα που φτάνουν στο μικρόφωνο μετατρέπονται σε ηλεκτρικό σήμα (σημείο 1). Το σήμα αυτό ωστόσο είναι ασθενές και για να μπορέσουμε να το αξιοποιήσουμε προενισχύεται (σημείο 2). Στη συνέχεια, περνά από ένα δίκτυο φίλτρων A ή C (A/C weighting) το οποίο του δίνει συγκεκριμένη ευαισθησία σε κάθε συχνότητα (σημείο 3α). Το σήμα φιλτράρεται (σημείο 3β), ώστε να παραμείνουν μόνο οι ακουστές συχνότητες (20Hz – 20.000Hz). Σε περίπτωση που επιθυμούμε να γίνει φασματική ανάλυση, το σήμα διαιρείται σε ζώνες συχνοτήτων, σε οκταβική ή 1/3οκταβική ανάλυση. Ακολουθώς το σήμα ενισχύεται (σημείο 4). Υπολογίζεται η ενεργός (rms) τιμή του σήματος (σημείο 5). Στο στάδιο αυτό, προσδιορίζεται και ο επιθυμητός χρόνος αντίδρασης του ηχομέτρου. Για πολύ ταχείες αλλαγές του αναλογικού σήματος επιλέγεται η γρήγορη αντίδραση (Fast «F»), με χρόνο αντίδρασης 25ms, ενώ για πιο ομαλή αντίδραση η αργή (Slow «S»), με χρόνο αντίδρασης 1sec. Υπάρχει και η επιλογή (Impulse «I»), με χρόνο αντίδρασης 35ms, για περιπτώσεις που ο μετρούμενος ήχος αποτελείται από μεμονωμένους χτύπους, η οποία όμως δε χρησιμοποιείται πολύ. Στο τελευταίο στάδιο (σημείο 6), έχουμε την απεικόνιση του μετρούμενου μεγέθους σε dB. Η απεικόνιση αυτή γίνεται απευθείας μετά τον υπολογισμό της ενεργούς τιμής του σήματος. Εάν θέλουμε να εξετάσουμε τις μέγιστες τιμές της καταγραφής μας έχουμε δύο επιλογές, την max ή την peak, μέσω του Hold Circuit. Η peak είναι η μέγιστη απόλυτη τιμή που καταγράφηκε σε μία μεμονωμένη χρονική στιγμή. Η max είναι η μέγιστη ενεργός τιμή που υπολογίσθηκε σε κάποιο μεμονωμένο χρονικό διάστημα. [6]

Λειτουργία ηχομέτρου



Τα προς επεξεργασία ηχητικά αρχεία αποθηκεύτηκαν σε μορφή .wav, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα περαιτέρω ανάλυσής τους με το λογισμικό matlab και τις σχετικές εντολές. Επίσης το συγκεκριμένο ηχόμετρο που χρησιμοποιήσαμε Sound Level Meter 2270, μας παρείχε τη δυνατότητα άμεσης φασματικής ανάλυσης, η οποία στη συνέχεια έγινε και μέσω matlab στα wav αρχεία.

Η επεξεργασία των ηχογραφημένων αρχείων στο λογισμικό του matlab, και η εξαγωγή των επιθυμητών αποτελεσμάτων έγινε με τη χρήση κώδικα που έχει συνταχθεί από τον Γεώργιο Καμπουράκη και τον Christophe Coudreux. Οι κώδικες αυτοί με τις κατάλληλες τροποποιήσεις, μας βοήθησαν να εξάγουμε όλα εκείνα τα προς μελέτη στοιχεία και δεδομένα με τα οποία ασχοληθήκαμε στην εργασία μας.

Η βαθμονόμηση (calibration) έγινε με χρήση του calibrator 4231 της Bruel&Kjaer το οποίο παρήγαγε μονοσυχνωτικούς ήχους 1kHz, στα 94dB και στα 114dB και χρησιμοποιήθηκαν σαν καταγραφές αναφοράς. Στο τέλος έγινε έλεγχος με καταγραφές στα ηχόμετρα και στα εξαγόμενα του MATLAB που αναφέρονταν στα ίδια ηχητικά σήματα που κατεγράφησαν ταυτόχρονα. Σημαντική βοήθεια για την κατανόηση και την επεξεργασία των δεδομένων με το MATLAB έδωσε ο ιστότοπος "<http://www.teleteaching.gr>", ένα έργο που συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και το ΥΠΕΠΘ και ανάδοχος του έργου ήταν το ΕΜΠ.

Τα είδη των διαγραμμάτων που θα παρουσιάσουμε είναι δύο:

- Τα ποσοστομοριακά επίπεδα θορύβου L_{10} , L_{50} , L_{95}
- Η τριτοκταβική φασματική ανάλυση, δηλαδή η αναπαράσταση του L_{eq} (ισοδύναμη στάθμη θορύβου) σε σχέση με τη συχνότητα. Η κάθε ζώνη συχνοτήτων οριοθετείται βάση της τριτοκταβικής κλίμακας. Αυτό σημαίνει ότι το φάσμα συχνοτήτων χωρίζεται σε ζώνες σύμφωνα με τον τύπο:

$f_2 = \sqrt[3]{2} \cdot f_1$, (όπου f_1 και f_2 είναι το κάτω και το άνω όριο της ζώνης αντίστοιχα).

Ακολουθούν οι αρχικοί κώδικες στο matlab:

```
function [B,A] = adsgn(Fs);
% ADSSGN Design of a A-weighting filter.
% [B,A] = ADSSGN(Fs) designs a digital A-weighting filter
for
% sampling frequency Fs. Usage: Y = FILTER(B,A,X).
% Warning: Fs should normally be higher than 20 kHz. For
% example,
% Fs = 48000 yields a class 1-compliant filter.
%
% Requires the Signal Processing Toolbox.
%
% See also ASPEC, CDSGN, CSPEC.

% Author: Christophe Couvreur, Faculte Polytechnique de
Mons (Belgium)
% couvreur@thor.fpms.ac.be
% Last modification: Aug. 20, 1997, 10:00am.
% References:
% [1] IEC/CD 1672: Electroacoustics-Sound Level Meters,
Nov. 1996.

% Definition of analog A-weighting filter according to
IEC/CD 1672.
f1 = 20.598997;
f2 = 107.65265;
f3 = 737.86223;
f4 = 12194.217;
A1000 = 1.9997;
pi = 3.14159265358979;
NUMs = [ (2*pi*f4)^2*(10^(A1000/20)) 0 0 0 0 ];
```



```

DENs = conv([1 +4*pi*f4 (2*pi*f4)^2],[1 +4*pi*f1
(2*pi*f1)^2]);
DENs = conv(conv(DENs,[1 2*pi*f3]),[1 2*pi*f2]);

% Use the bilinear transformation to get the digital
filter.
[B,A] = bilinear(NUMs,DENs,Fs);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

function [X,Leq,L10,L95,s] = levelAEstimation(x,Fs,Int,C)
% levelEstimation Estimates a recorded signal level.
%
%
% Author: George Cambourakis, 11/11/07
% if omitted C=160 dB, Int=500 mS, Fs=44100 samples/sec
%
if nargin < 4, C=115;end
if nargin < 3, Int=500;end
if nargin < 2, Fs=44100;end
tin=Int*Fs/1000; % Integration time in mS
if Fs==44100
B=[0.2563 -0.5126 -0.2563 1.0252 -0.2563 -0.5126 0.2563];
A=[1.0000 -4.0172 6.1803 -4.4398 1.4119 -0.1393 0.0042];
else
[B,A]=adsgn1(Fs);
end
len=length(x);
% Squaring the original signal
s=x.*x+1e-17;
% Time integration tin mS
X=filter(1/tin,[1 (1-tin)/tin],s);
% Converting to dB
X=10*log10(X)+C;
s=std(X);
% Plot estimated signal level.
figure(1); clf;
plot(X,'LineWidth',2);
title('Signal Level');
xlabel('Elapsed Time (sec.)');
ylabel('Signal Level (dB)');
xlim([1 len]);
grid on;

% Statistics
% Cumulative
p=[];

```

```

for i=20:0.5:110
    p=[p;sum(X > i)];
end
L10=20+(181-sum(p<len/10))/2;
L95=20+(181-sum(p<len*0.95))/2;
dp=[];lp=length(p);
% Percentiles
for i=1:180
    dp=[dp;p(i)-p(i+1)];
end
dp=[dp;p(181)];
ax=20:0.5:110;mx=max(dp);
Leq=10*log10(sum(x.*x)/len)+C
% plot statistics
l10=ones(lp,1)*sum(dp)/10;
figure(2); clf;
plot(ax,p,ax,l10,ax,l10*9.5,'LineWidth',2);
text(ax(2),l10(2)*1.4,'L10');
text(ax(2),l10(2)*9.8,'L95');
title('Cumulative distribution of Levels');
xlabel('Signal levels dB');
ylabel('population of levels (samples)');
xlim([20 110]);
grid on;

figure(3); clf;
plot(ax,dp,'r','LineWidth',2);
line(ones(mx,1)*Leq,1:mx);
text(Leq+1,mx/20,'Leq');
title('Percentiles of levels');
xlabel('Signal levels dB');
ylabel('population of levels (samples)');
xlim([20 110]);
grid on;
%%%%%%%%%%

```

Οι τροποποιημένοι κώδικες που χρησιμοποιήθηκαν:

```

function [B,A] = adsgn(Fs);
f1 = 20.598997;
f2 = 107.65265;
f3 = 737.86223;
f4 = 12194.217;
A1000 = 1.9997;
pi = 3.14159265358979;
NUMs = [ (2*pi*f4)^2*(10^(A1000/20)) 0 0 0 0 ];
DENs = conv([1 +4*pi*f4 (2*pi*f4)^2],[1 +4*pi*f1
(2*pi*f1)^2]);

```

```

DENs = conv(conv(DENs,[1 2*pi*f3]),[1 2*pi*f2]);
[B,A] = bilinear(NUMs,DENs,Fs);

x=wavread('filename.wav');
C=115.9;
Int=500;
Fs=44100;
tin=Int*Fs/1000;
[B,A]= adsgn(Fs);
len=length(x);
x=filter(B,A,x);
s=x.*x+1e-17;
X=filter(1/tin,[1 (1-tin)/tin],s);
X=10*log10(X)+C;
s=std(X);
figure(1); clf;
plot(X,'LineWidth',2);
title('Signal Level');
xlabel('Elapsed Time (sec.)');
ylabel('Signal Level (dB)');
xlim([1 len]);
grid on;
p=[];
for i=20:0.5:110
p=[p;sum(X > i)];
end
L10=20+(181-sum(p<len/10))/2;
L95=20+(181-sum(p<len*0.95))/2;
L50=20+(181-sum(p<len*0.50))/2;
dp=[];lp=length(p);
for i=1:180
dp=[dp;p(i)-p(i+1)];
end
dp=[dp;p(181)];
ax=20:0.5:110;mx=max(dp);
Leq=10*log10(sum(x.*x)/len)+C
l10=ones(lp,1)*sum(dp)/10;
figure(2); clf;
plot(ax,p,ax,l10,ax,l10*9.5,'LineWidth',2);
text(ax(2),l10(2)*1.4,'L10');
text(ax(2),l10(2)*9.8,'L95');
title('Cumulative distribution of Levels');
xlabel('Signal levels dB');
ylabel('population of levels (samples)');
xlim([20 110]);
grid on;
figure(3); clf;

```

```

plot(ax,dp,'r','LineWidth',2);
line(ones(mx,1)*Leq,1:mx);
text(Leq+1,mx/20,'Leq');
title('Percentiles of levels');
xlabel('Signal levels dB');
ylabel('population of levels (samples)');
xlim([20 110]);
grid on;

```

Τα αρχικά αρχεία για τη Φασματική Ανάλυση:

```

function [B,A] = oct3dsgn(Fc,Fs,N);
% OCT3DSGN Design of a one-third-octave filter.
% [B,A] = OCT3DSGN(Fc,Fs,N) designs a digital 1/3-octave
% filter with
% center frequency Fc for sampling frequency Fs.
% The filter is designed according to the Order-N
% specification
% of the ANSI S1.1-1986 standard. Default value for N is
% 3.
% Warning: for meaningful design results, center
% frequency used
% should preferably be in range Fs/200 < Fc < Fs/5.
% Usage of the filter: Y = FILTER(B,A,X).
%
% Requires the Signal Processing Toolbox.
%
% See also OCT3SPEC, OCTDSGN, OCTSPEC.

% Author: Christophe Couvreur, Faculte Polytechnique de
% Mons (Belgium)
% couvreur@thor.fpms.ac.be
% Last modification: Aug. 25, 1997, 2:00pm.

% References:
% [1] ANSI S1.1-1986 (ASA 65-1986): Specifications for
% Octave-Band and Fractional-Octave-Band Analog and
% Digital Filters, 1993.

if (nargin > 3) | (nargin < 2)
    error('Invalid number of arguments.');
```

```

    error('Design not possible. Check frequencies.');
```

end

```

% Design Butterworth 2Nth-order one-third-octave filter
% Note: BUTTER is based on a bilinear transformation, as
% suggested in [1].
pi = 3.14159265358979;
f1 = Fc/(2^(1/6));
f2 = Fc*(2^(1/6));
Qr = Fc/(f2-f1);
Qd = (pi/2/N)/(sin(pi/2/N))*Qr;
alpha = (1 + sqrt(1+4*Qd^2))/2/Qd;
W1 = Fc/(Fs/2)/alpha;
W2 = Fc/(Fs/2)*alpha;
[B,A] = butter(N,[W1,W2]);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function [p,f] = oct3bank(x);

% OCT3BANK Simple one-third-octave filter bank.
% OCT3BANK(X) plots one-third-octave power spectra of
% signal vector X.
% Implementation based on ANSI S1.11-1986 Order-3
% filters.
% Sampling frequency Fs = 44100 Hz. Restricted one-third-
% octave-band
% range (from 100 Hz to 5000 Hz). RMS power is computed
% in each band
% and expressed in dB with 1 as reference level.
%
% [P,F] = OCT3BANK(X) returns two length-18 row-vectors
% with the RMS power (in dB) in P and the corresponding
% preferred labeling
% frequencies (ANSI S1.6-1984) in F.
%
% See also OCT3DSGN, OCT3SPEC, OCTDSGN, OCTSPEC.

% Author: Christophe Couvreur, Faculte Polytechnique de
% Mons (Belgium)
% couvreur@thor.fpms.ac.be
% Last modification: Aug. 23, 1997, 10:30pm.

% References:
% [1] ANSI S1.1-1986 (ASA 65-1986): Specifications for
% Octave-Band and Fractional-Octave-Band Analog and
% Digital Filters, 1993.
% [2] S. J. Orfanidis, Introduction to Signal Processing,
% Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1996.

pi = 3.14159265358979;
```

```

Fs = 44100;           % Sampling Frequency
N = 3;              % Order of analysis filters.
F = [ 100 125 160, 200 250 315, 400 500 630, 800 1000
1250, ... 1600 2000 2500, 3150 4000 5000 ]; % Preferred
labeling freq.
ff = (1000).*((2^(1/3)).^[-10:7]); % Exact center freq.
P = zeros(1,18);
m = length(x);

% Design filters and compute RMS powers in 1/3-oct. bands
% 5000 Hz band to 1600 Hz band, direct implementation of
filters.
for i = 18:-1:13
    [B,A] = oct3dsgn(ff(i),Fs,N);
    y = filter(B,A,x);
    P(i) = sum(y.^2)/m;
end
% 1250 Hz to 100 Hz, multirate filter implementation (see
[2]).
[Bu,Au] = oct3dsgn(ff(15),Fs,N); % Upper 1/3-oct. band in
last octave.
[Bc,Ac] = oct3dsgn(ff(14),Fs,N); % Center 1/3-oct. band
in last octave.
[Bl,Al] = oct3dsgn(ff(13),Fs,N); % Lower 1/3-oct. band in
last octave.
for j = 3:-1:0
    x = decimate(x,2);
    m = length(x);
    y = filter(Bu,Au,x);
    P(j*3+3) = sum(y.^2)/m;
    y = filter(Bc,Ac,x);
    P(j*3+2) = sum(y.^2)/m;
    y = filter(Bl,Al,x);
    P(j*3+1) = sum(y.^2)/m;
end

% Convert to decibels.
Pref = 1; % Reference level for dB scale.
idx = (P>0);
P(idx) = 10*log10(P(idx)/Pref);
P(~idx) = NaN*ones(sum(~idx),1);

% Generate the plot
if (nargout == 0)
    bar(P);
    ax = axis;
    axis([0 19 ax(3) ax(4)])
    set(gca,'XTick',[2:3:18]); % Label frequency axis on
octaves.

```

```

        set(gca, 'XTickLabels', F(2:3:length(F))); % MATLAB
4.1c
% set(gca, 'XTickLabel', F(2:3:length(F))); % MATLAB 5.1
    xlabel('Frequency band [Hz]'); ylabel('Power [dB]');
    title('One-third-octave spectrum')
% Set up output parameters
elseif (nargout == 1)
    p = P;
elseif (nargout == 2)
    p = P;
    f = F;
end.

```

Ο τροποποιημένος κώδικας για τη Φασματική Ανάλυση:

```

function [p,f] = oct3bank(x);
x=wavread('filename.wav');
pi = 3.14159265358979;
Fs = 44100; % Sampling Frequency
N = 3; % Order of analysis filters.
F = [ 100 125 160, 200 250 315, 400 500 630, 800 1000
1250, ...
1600 2000 2500, 3150 4000 5000, 6300 8000 10000 ]; %
Preferred labeling freq.
ff = (1000).*(2^(1/3)).^[-10:10]); % Exact center freq.
P = zeros(1,21);
m = length(x);
% Design filters and compute RMS powers in 1/3-oct. bands
% 5000 Hz band to 1600 Hz band, direct implementation of
filters.
for i = 21:-1:13
[B,A] = oct3dsgn(ff(i),Fs,N);
y = filter(B,A,x);
P(i) = sum(y.^2)/m;
end
% 1250 Hz to 100 Hz, multirate filter implementation (see
[2]).
[Bu,Au] = oct3dsgn(ff(15),Fs,N); % Upper 1/3-oct. band in
last octave.
[Bc,Ac] = oct3dsgn(ff(14),Fs,N); % Center 1/3-oct. band
in last octave.
[Bl,Al] = oct3dsgn(ff(13),Fs,N); % Lower 1/3-oct. band in
last octave.
for j = 3:-1:0
x = decimate(x,2);
m = length(x);

```

```

y = filter(Bu,Au,x);
P(j*3+3) = sum(y.^2)/m;
y = filter(Bc,Ac,x);
P(j*3+2) = sum(y.^2)/m;
y = filter(Bl,Al,x);
P(j*3+1) = sum(y.^2)/m;
end
% Convert to decibels.
idx = (P>0);
P(idx) = 10*log10(P(idx))+115.9;
P(~idx) = NaN*ones(sum(~idx),1);
p=P;
f=F;
% Generate the plot
figure(4); clf;
bar(P);
ax = axis;
axis([0 22 ax(3) ax(4)])
set(gca,'XTick',[2:3:24]); % Label frequency axis on
octaves.
set(gca,'XTickLabels',F(2:3:length(F))); % MATLAB 4.1c
% set(gca,'XTickLabel',F(2:3:length(F))); % MATLAB 5.1
xlabel('Frequency band [Hz]'); ylabel('Power [dB]');
title('One-third-octave spectrum')
end

```


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στο Κεφάλαιο αυτό θα παραθέσουμε τα αποτελέσματα των μετρήσεών μας σε διαγραμματική μορφή (ποσοστομοριακά επίπεδα και τριτοκταβική φασματική ανάλυση), και θα σχολιάσουμε τα στοιχεία εκείνα που μας αφορούν και οδηγούν σε συμπεράσματα για την ακουστική συμπεριφορά του εκάστοτε χώρου. Όπου κρίνεται ενδιαφέρον, γίνεται αναφορά και στην ισοδύναμη ηχοστάθμη L_{Aeq} .

Αναφέρουμε ότι οι πρωϊνές μετρήσεις, πραγματοποιήθηκαν στο χρονικό διάστημα 11:00 έως 13:00, οι μεσημεριανές στο διάστημα 14:00 έως 17:00 και οι απογευματινές στο διάστημα 17:00 έως 19:00.

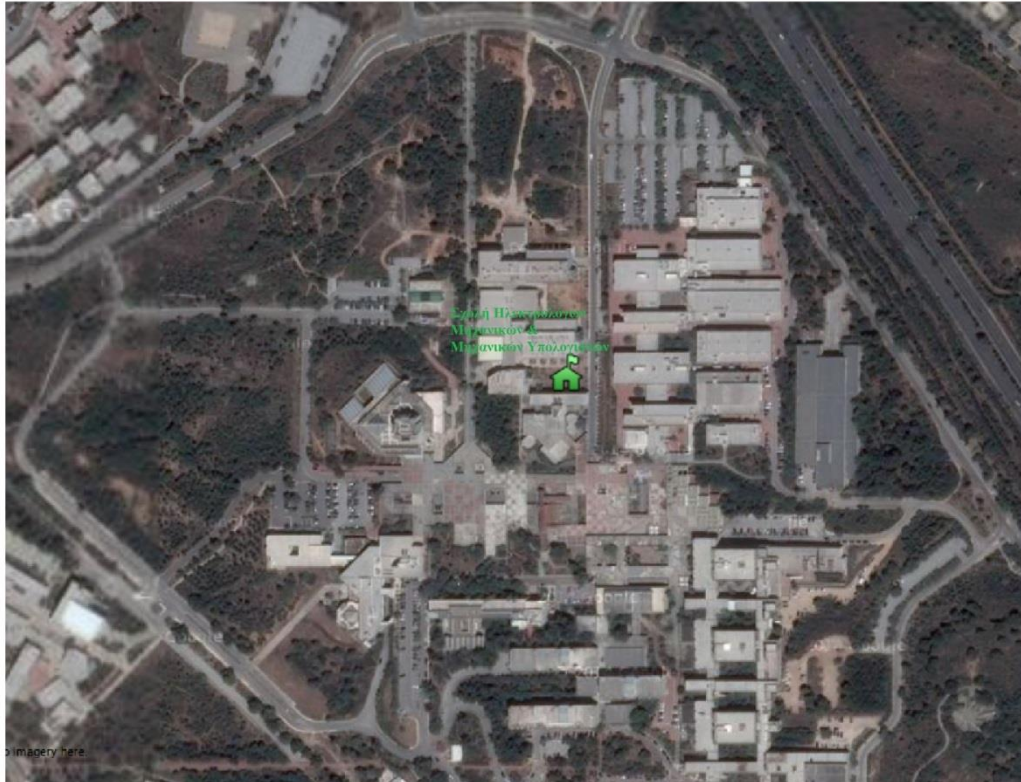
Τα μετρητικά όργανα ήταν τοποθετημένα πάντα σε απόσταση περίπου 75cm από το έδαφος.

Να αναφέρουμε επίσης σε αυτό το σημείο, πως οι μετρήσεις ελήφθησαν με την μέγιστη δυνατή προσήλωση και σοβαρότητα ώστε τα αποτελέσματα να είναι όσο το δυνατόν πιο άρτια. Ωστόσο λόγω του ανθρώπινου παράγοντα και των καιρικών συνθηκών, οι μετρήσεις δεν είναι απόλυτα αντικειμενικές και ενδέχεται να υπεισέρχεται ένα μικρό σφάλμα στα όρια του επιτρεπτού.

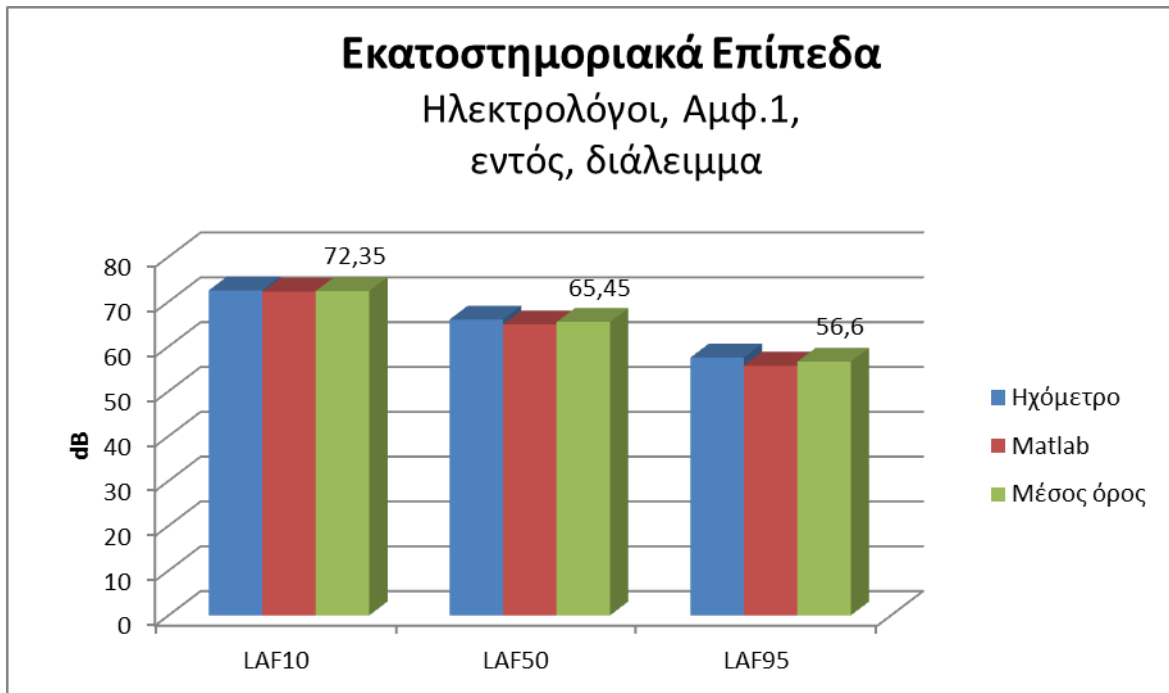
Οι μετρήσεις μας εκτίθενται με την εξής σειρά:

- Αμφιθέατρο και χώρος συγκέντρωσης της σχολής των Ηλεκτρολόγων
- Αμφιθέατρα των σχολών Τοπογράφων, Χημικών, Πολιτικών και Μηχανολόγων
- Εργαστήριο των Ηλεκτρολόγων
- Βιβλιοθήκη των Ηλεκτρολόγων
- Κυλικεία των σχολών Ηλεκτρολόγων, Τοπογράφων, Χημικών, Πολιτικών και Μηχανολόγων
- Χώρος συγκέντρωσης της σχολής των Πολιτικών
- Εστιατόριο του Πολυτεχνείου
- Εξωτερικές μετρήσεις

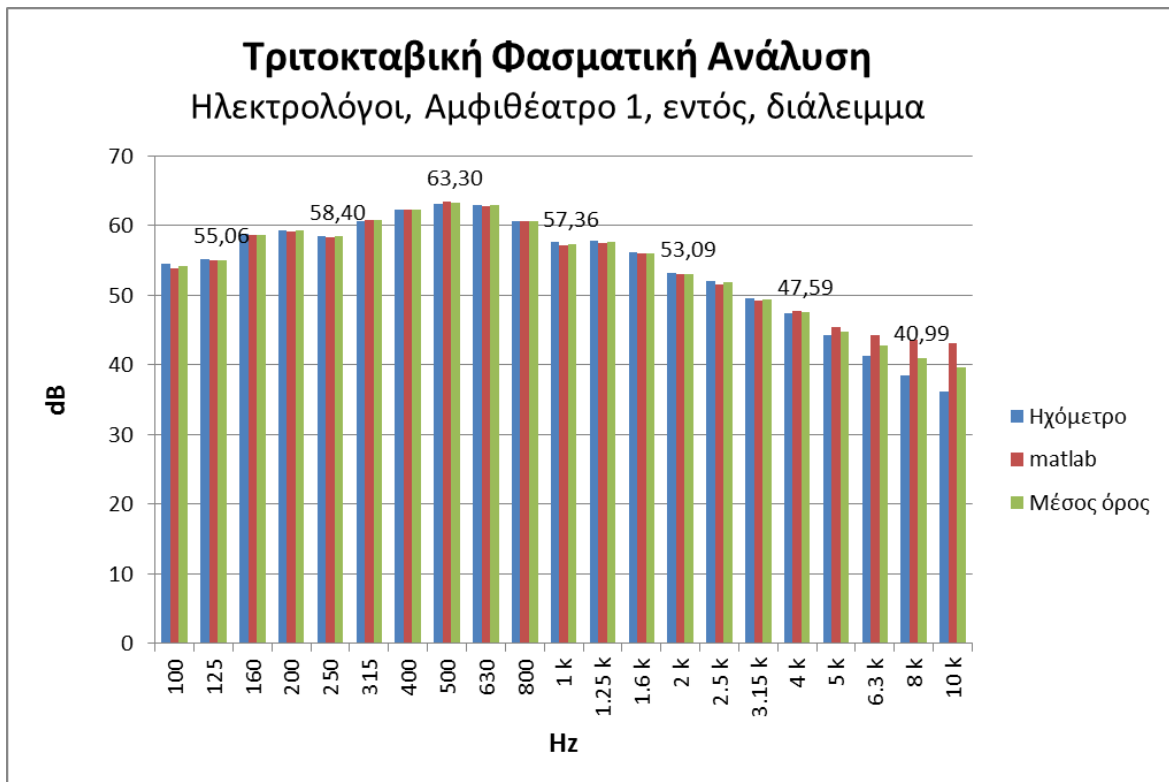
4.1 Αμφιθέατρο και χώρος συγκέντρωσης της σχολής των Ηλεκτρολόγων



- Αρχικά παραθέτουμε κάποιες μετρήσεις μέσα στο Αμφιθέατρο 1 κατά τη διάρκεια μιας μεσημεριανής παράδοσης, από διάφορες θέσεις, σε συνθήκες μαθήματος και διαλείμματος.



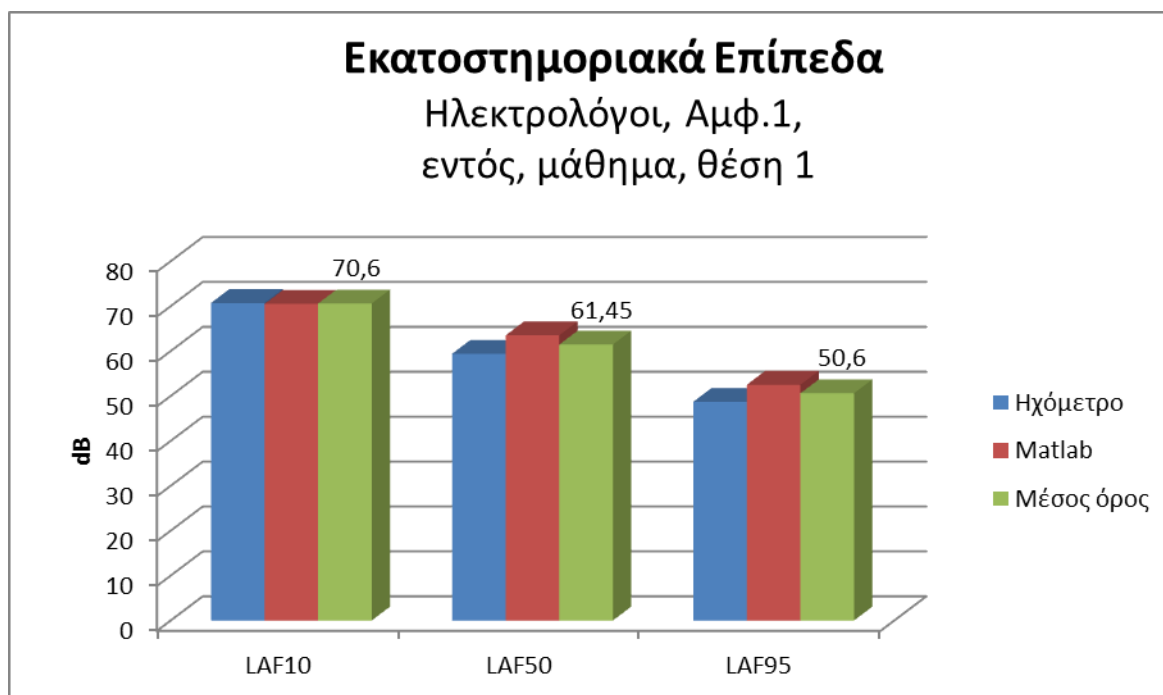
Γράφημα 4.1. 1



Γράφημα 4.1. 2

Το Αμφιθέατρο 1 των νέων κτηρίων των Ηλεκτρολόγων αποτελεί το μεγαλύτερο αμφιθέατρο της σχολής αυτής τόσο σε όγκο όσο και σε χωρητικότητα. Κατά τη διάρκεια της παραπάνω μέτρησης, η οποία πραγματοποιήθηκε στο κέντρο της αίθουσας, υπήρχαν 15 φοιτητές και η πίσω πόρτα ήταν ανοιχτή.

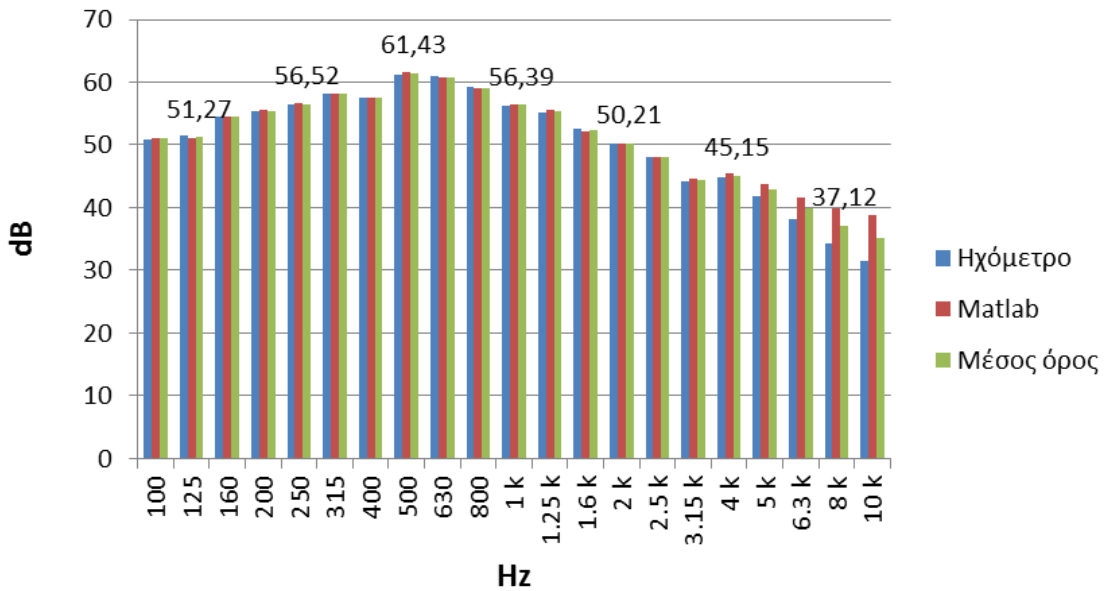
Σύμφωνα με το γράφημα 4.1.1, ο μέσος όρος του ανώτερου επιπέδου του θορύβου LAF10 κατά τη διάρκεια του διαλείμματος στο εσωτερικό του χώρου είναι 72,35dB. Το LAF50 που αποδίδει τη μέση τιμή του θορύβου βρίσκεται στα 65,45dB. Από το γράφημα 4.1.2 που αποτελεί τη φασματική ανάλυση του σήματος, διαπιστώνουμε ότι η αιχμή του φάσματος βρίσκεται στα 500Hz και είναι 63,3dB. Εφόσον βρισκόμαστε σε ώρα διαλείμματος, όπου θεωρητικά κυριαρχούν τα «πηγαδάκια», αυτό υποδεικνύει ότι οι συνομιλίες των φοιτητών κυμαίνονται σε αυτή την ένταση. Μάλιστα, το γεγονός ότι η αιχμή αυτή πλησιάζει αριθμητικά τη μέση τιμή του θορύβου σημαίνει ότι ο κυρίαρχος θόρυβος είναι όντως οι συνομιλίες. Το επίπεδο του θορύβου βάθους LAF95 βρίσκεται κατά μέσο όρο στα 56,6dB (Γράφημα 4.1.1). Η διαφορά του με το LAF50 πλησιάζει τα 10dB υποδεικνύοντας επαρκές SNR. Αυτό σημαίνει ότι εάν κάποιος θελήσει να κάνει μια ανακοίνωση υπό αυτές τις συνθήκες θα ακουστεί ευκρινώς στους συνομιλητές του.



Γράφημα 4.1. 3

Η θέση 1 βρίσκεται στο κέντρο του αμφιθεάτρου. Σύμφωνα με το Γράφημα 4.1.3, το ανώτερο επίπεδο θορύβου είναι στα 70,6dB. Η μέση τιμή του ηχητικού σήματος είναι κατά μέσο όρο στα 61,45dB και παρατηρείται ακριβώς στη συχνότητα των 500Hz (Γράφημα 4.1.4). Αυτό υποδεικνύει την υπερίσχυση της ομιλίας του καθηγητή έναντι του θορύβου βάθους που βρίσκεται στα 50,6dB. Η διαφορά τους κρίνεται καλή για την αντιληπτότητα της ομιλίας.

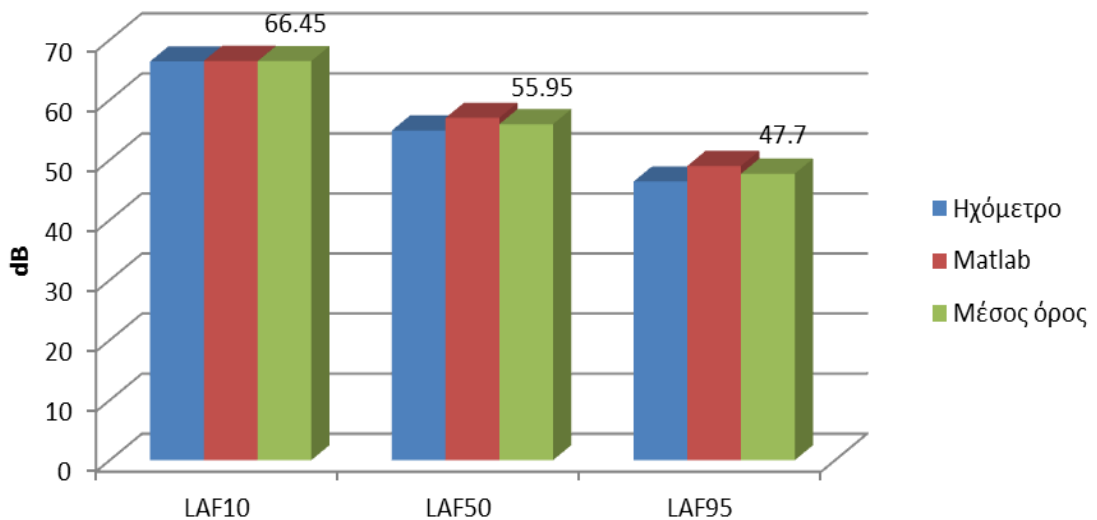
Τριτοκταβική Φασματική Ανάλυση Ηλεκτρολόγοι, Αμφιθέατρο 1, εντός, μάθημα, θέση 1



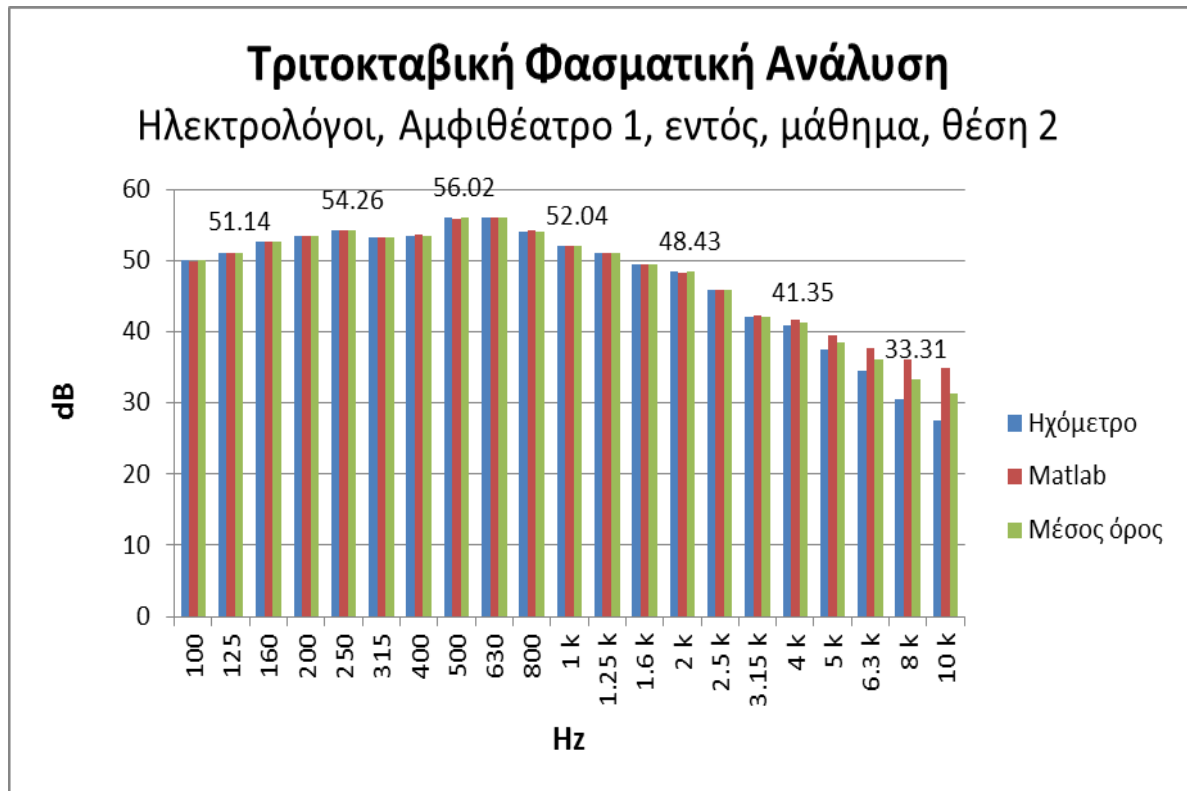
Γράφημα 4.1. 4

Εκατοστημοριακά Επίπεδα

Ηλεκτρολόγοι, Αμφ.1,
εντός, μάθημα, θέση 2



Γράφημα 4.1. 5



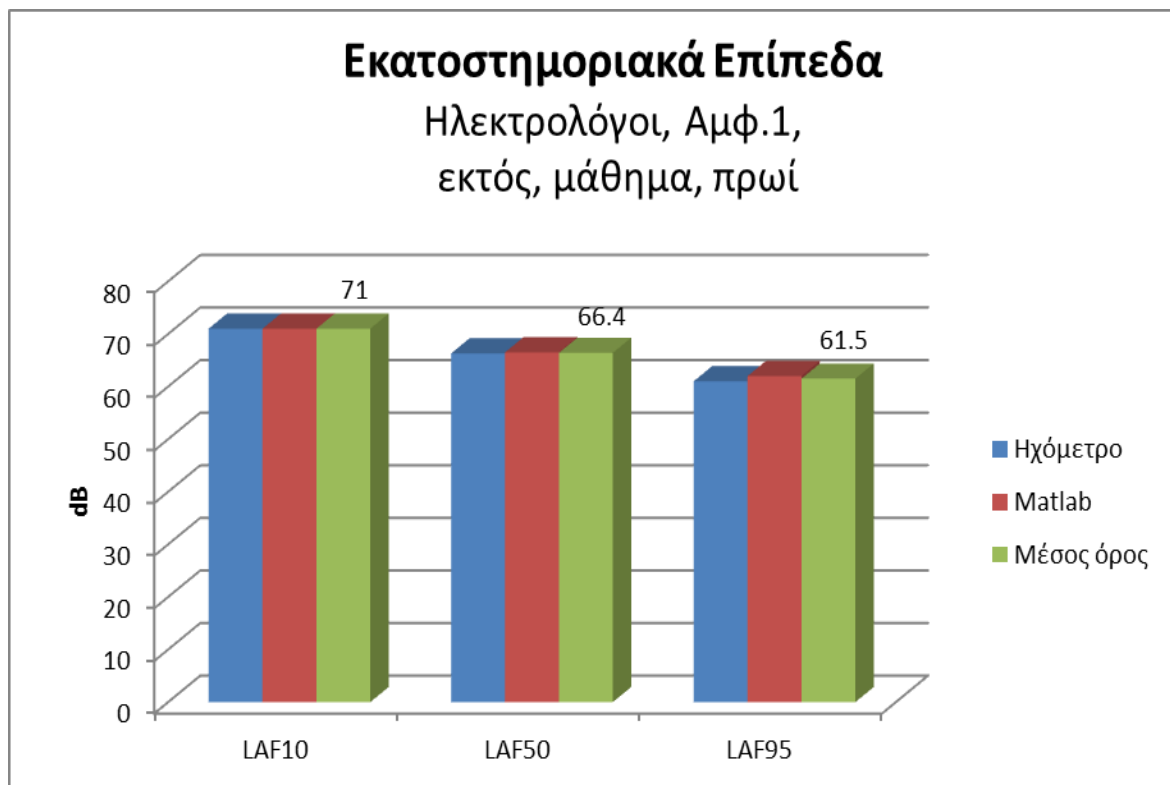
Γράφημα 4.1. 6

Ως θέση 2 ορίσαμε κάποιο από τα πλευρικά έδρανα του Αμφιθεάτρου 1. Συγκρίνοντας τα Γραφήματα 4.1.5 και 4.1.3 διαπιστώνουμε χαμηλότερο LAF10 στη θέση 2 από τη θέση 1, που σημαίνει χαμηλότερα επίπεδα υψηλού θορύβου. Μάλιστα μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η θέση 1 διαθέτει καλύτερη ακουστική συμπεριφορά από τη θέση 2, καθότι η μέση τιμή του ηχητικού σήματος (LAF50) στη θέση 1 είναι μεγαλύτερη κατά 6dB, ενώ το βάθος θορύβου (LAF95) είναι μεγαλύτερο μόλις κατά 3 dB. Αυτό σημαίνει ότι το συνολικό SNR στα πλευρικά έδρανα βρίσκεται γύρω στο 8 και στα κεντρικά έδρανα στο 11 τα οποία βρίσκονται μέσα στα όρια για μια καλή αντίληψη της ανθρώπινης ομιλίας.

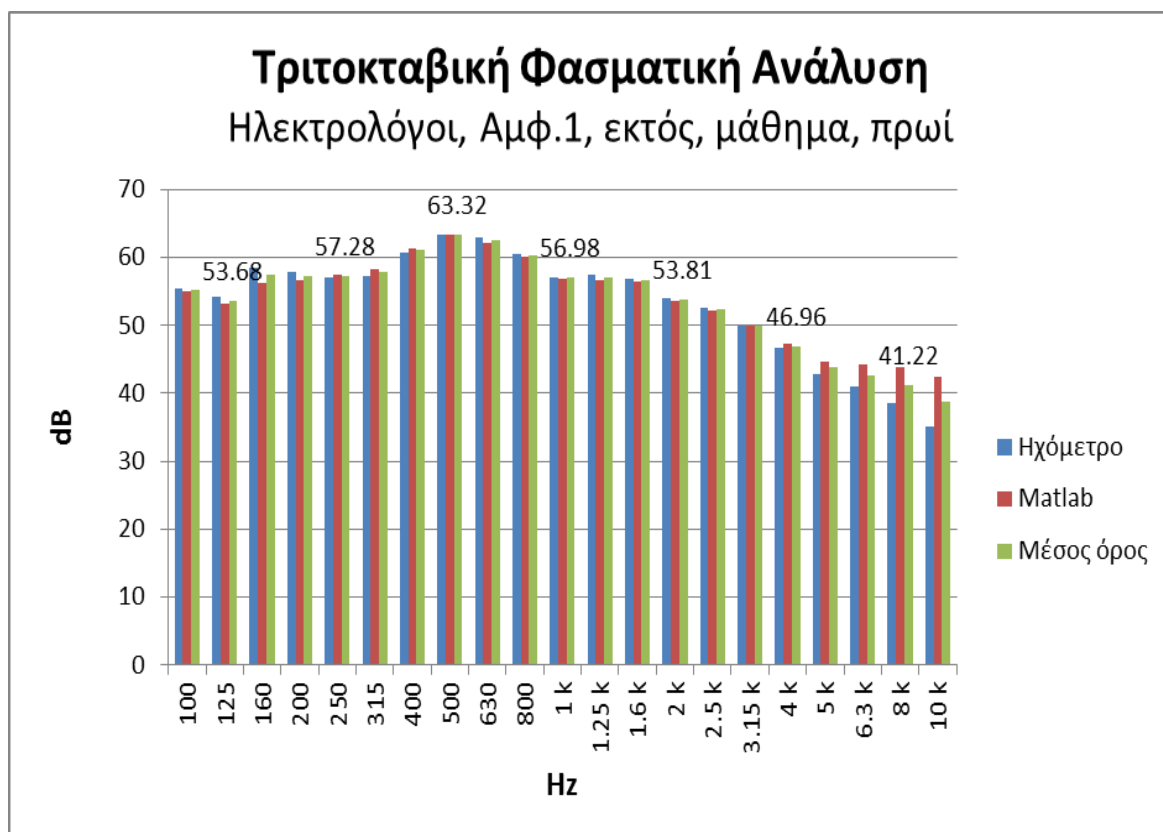
Παρατηρούμε ότι και στις δυο θέσεις η φασματική ανάλυση (γραφήματα 4.1.4, 4.1.6) αποδίδει τη μέση τιμή του σήματος στα 500Hz, πράγμα απολύτως λογικό, καθώς ηχογραφήθηκε και στις δυο περιπτώσεις ο ίδιος καθηγητής. Σημειώνουμε ότι ο αριθμός των φοιτητών ξεπερνούσε τους 50. Ο μικρός αυτός αριθμός συγκριτικά με τη χωρητικότητα του αμφιθεάτρου, μας προβληματίζει για την περίπτωση ενδεχόμενης πληρότητάς του.

- Στη συνέχεια παραθέτουμε αποτελέσματα μετρήσεων που διεξήχθησαν στο χώρο συγκέντρωσης των φοιτητών που βρίσκεται ακριβώς έξω από το Αμφιθέατρο 1, κατά τη διάρκεια διαλείμματος και μαθήματος, τις πρωινές και τις μεσημεριανές ώρες, σε διάφορες θέσεις.

Οι πρωινές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν πλησίον του μικρού γραφείου του φύλακα των κτιρίων.

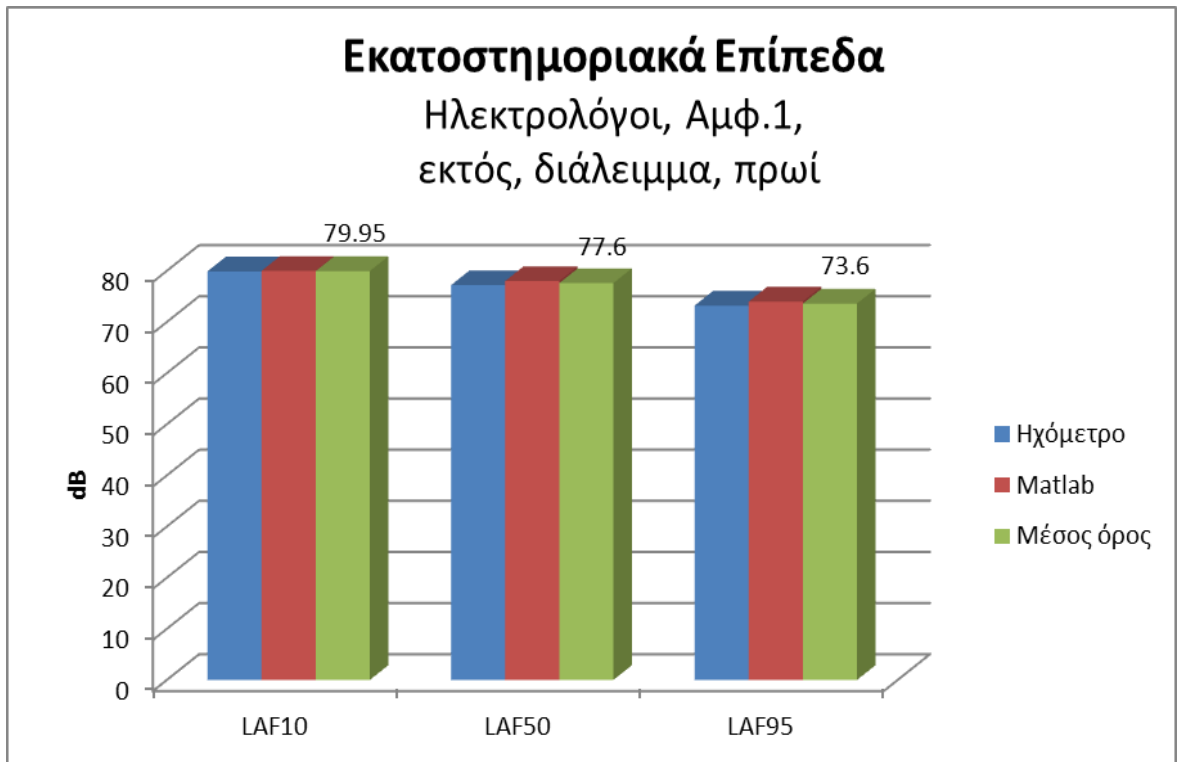


Γράφημα 4.1. 7

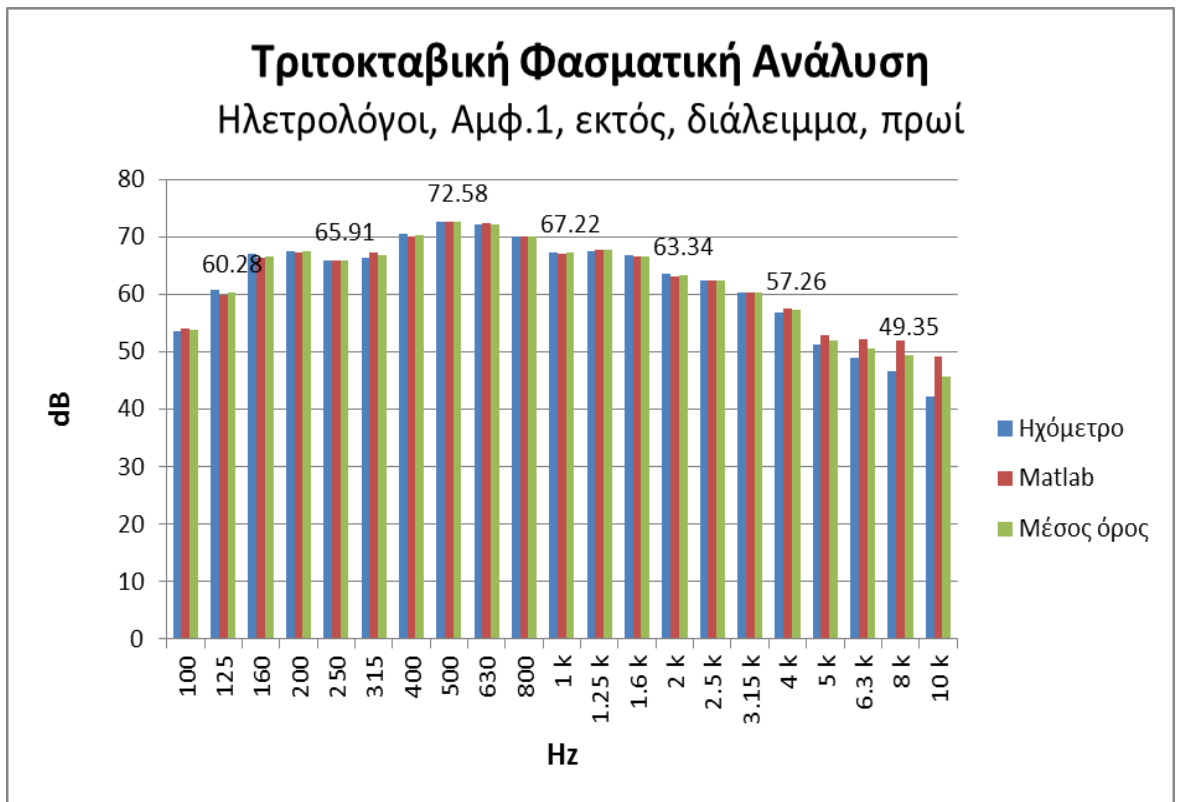


Γράφημα 4.1. 8

Από το γράφημα 4.1.7 βλέπουμε ότι το LAF10 ισούται με 71dB, ενώ είναι αξιοσημείωτο ότι η μέση τιμή και το υπόστρωμα του θορύβου έχουν πολύ κοντινές τιμές (66,4dB και 61,5dB αντίστοιχα), γεγονός που υποδεικνύει ότι γενικά επικρατούσε ησυχία από την άποψη των συνομιλιών, εκτός του αμφιθεάτρου. Αυτό επαληθεύεται από τον αριθμό των ατόμων που υπήρχαν στο μεγάλο χώρο συγκέντρωσης, που φτάνει μόλις τα 20.



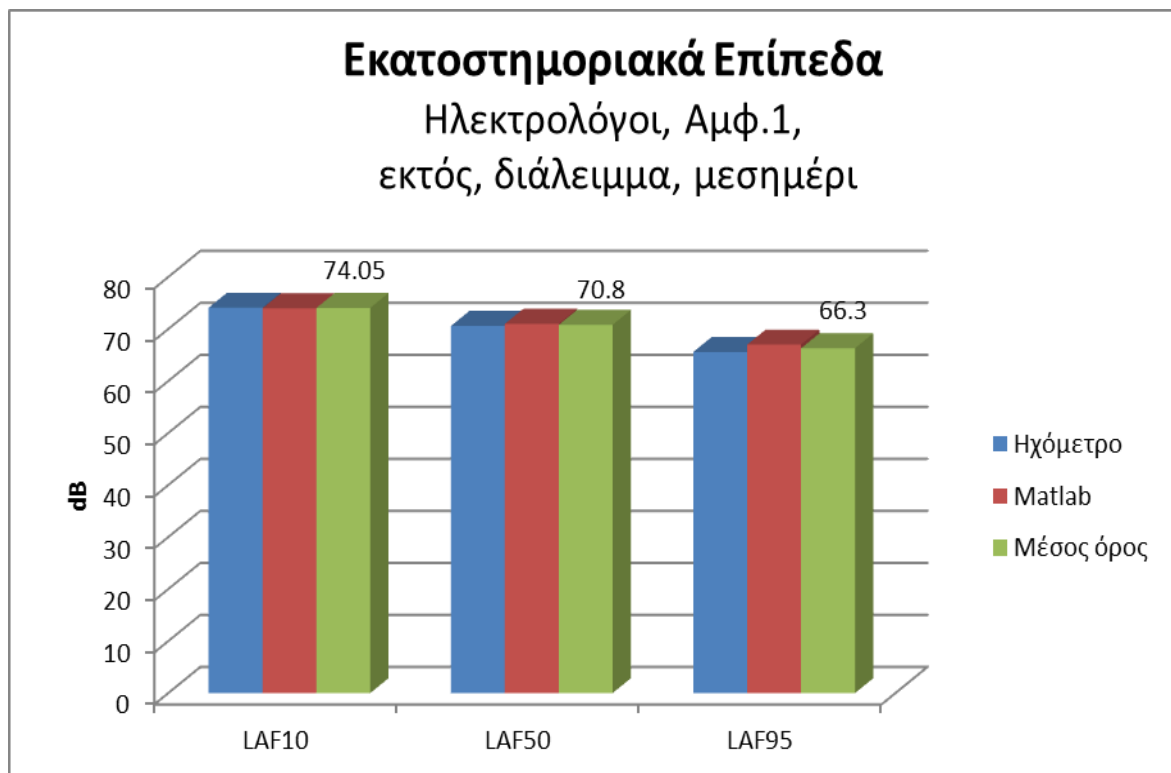
Γράφημα 4.1. 9



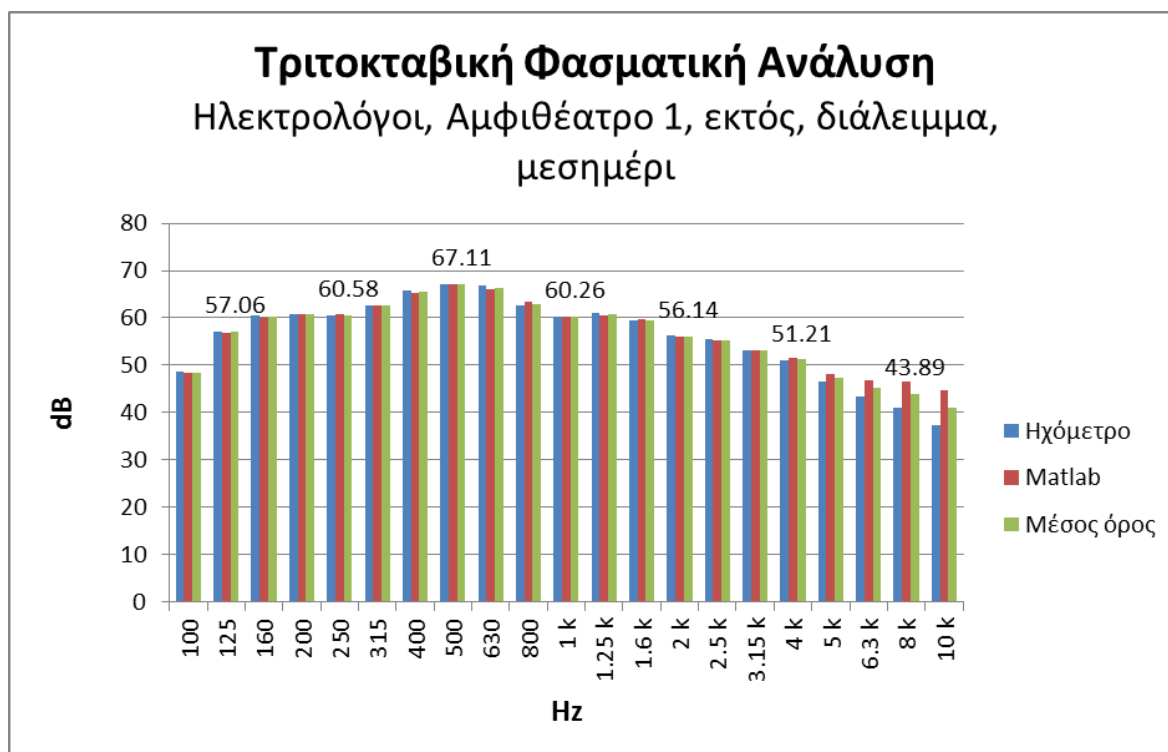
Γράφημα 4.1. 10

Από το Γράφημα 4.1.9 διαφαίνεται ότι όλες οι μετρούμενες ηχοστάθμες έχουν παραπλήσιες τιμές. Συγκριτικά με την κατάσταση που επικρατούσε σε ώρα μαθήματος όλα τα επίπεδα είναι ανεβασμένα κατά 10dB περίπου, φαινόμενο λογικό, καθώς ο αριθμός των φοιτητών που κατακλύζουν το χώρο ξεπερνά τους 80.

Το διάγραμμα 4.1.10 της φασματικής ανάλυσης, παρουσιάζει μια αιχμή των 72,58dB στα 500 Hz η οποία πλησιάζει την τιμή του LAF95, δηλαδή οι εκπεμπόμενοι ήχοι στη συγκεκριμένη συχνότητα πλησιάζουν τα επίπεδα του θορύβου βάθους.



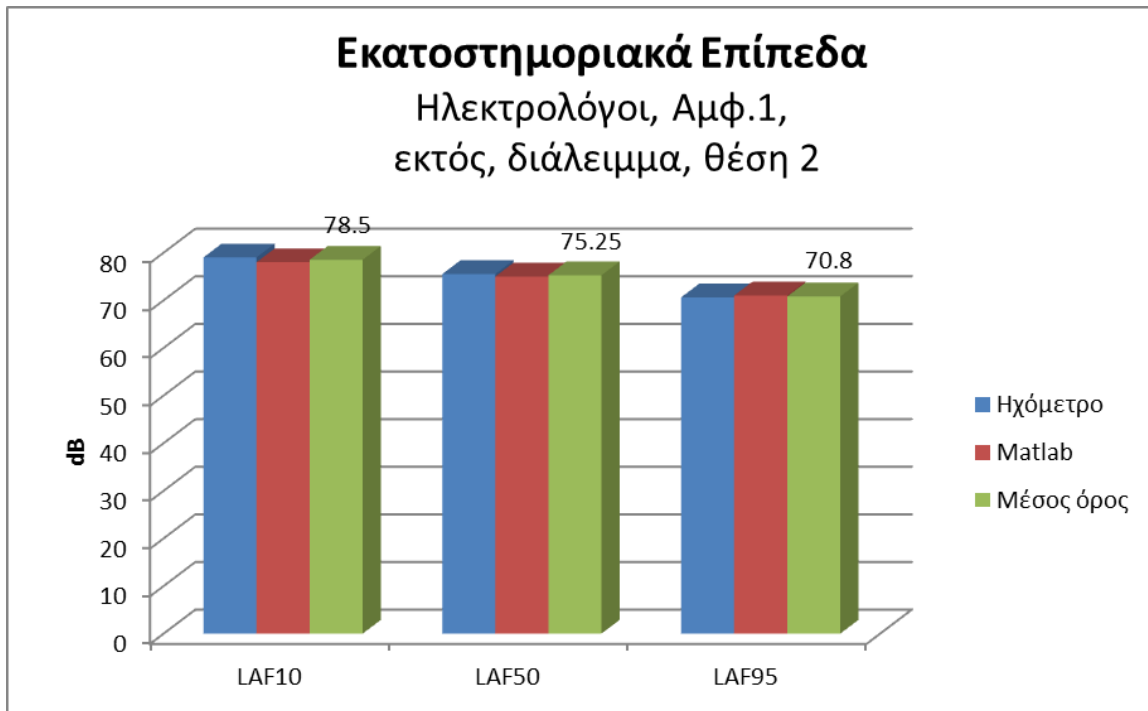
Γράφημα 4.1. 11



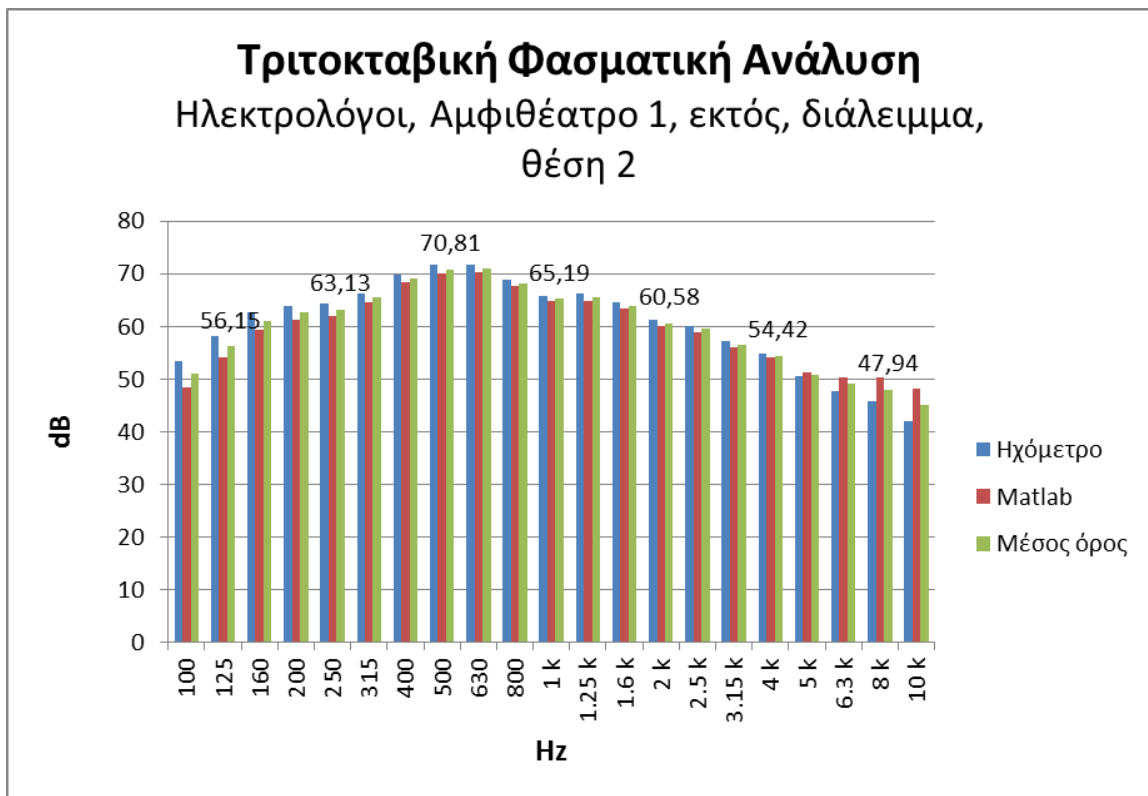
Γράφημα 4.1. 12

Η λήψη έγινε στο σημείο, πλησίον του μικρού γραφείου του φύλακα των κτιρίων. Αυτό το χρονικό διάστημα, αν κρίνουμε από το αντίστοιχο πρωινό, η κατάσταση στο χώρο συγκέντρωσης είναι αναμενόμενη. Σύμφωνα με τα γραφήματα 4.1.9 έως 4.1.12 διαπιστώνουμε μια μικρή μείωση των 5dB περίπου, σε όλα τα επίπεδα, σε σχέση με το πρωί, που οφείλεται στον μικρότερο αριθμό των παρευρισκόμενων φοιτητών, που είναι 35.

Όπως και στην πρωινή μέτρηση, η τιμή του LAF95 = 66,3dB πλησιάζει την αιχμή της φασματικής ανάλυσης, που βρίσκεται στα 500Hz και είναι ίση με 67,11dB.



Γράφημα 4.1. 13

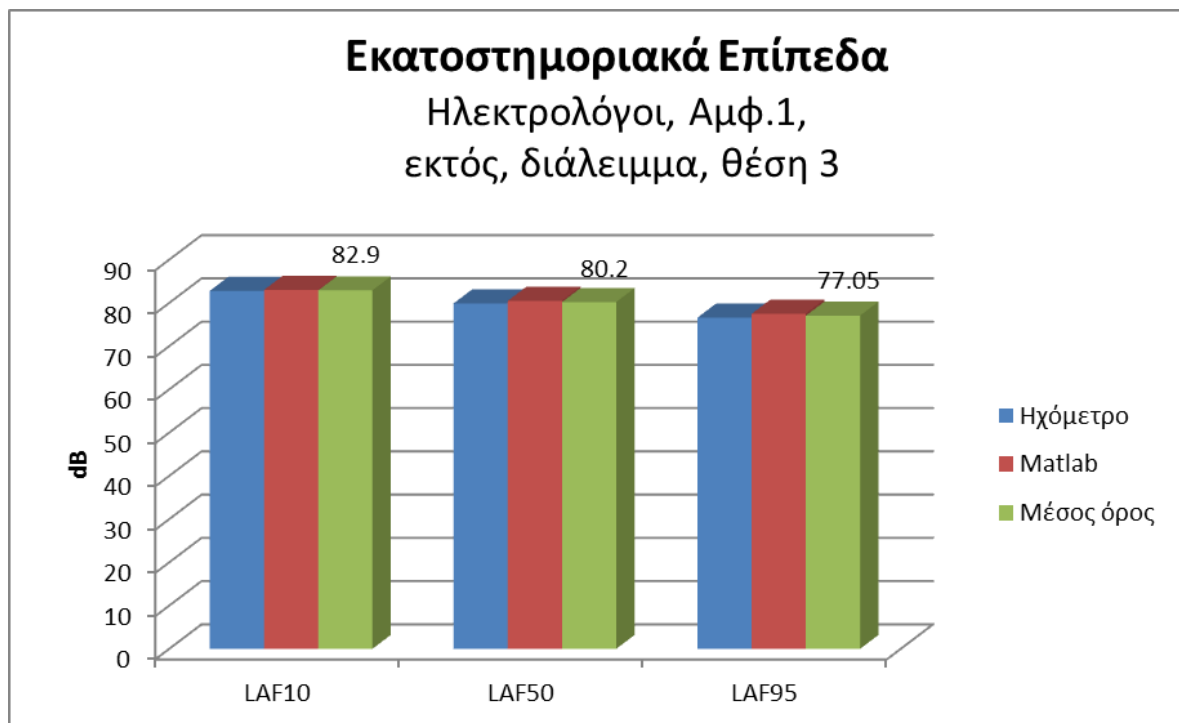


Γράφημα 4.1. 14

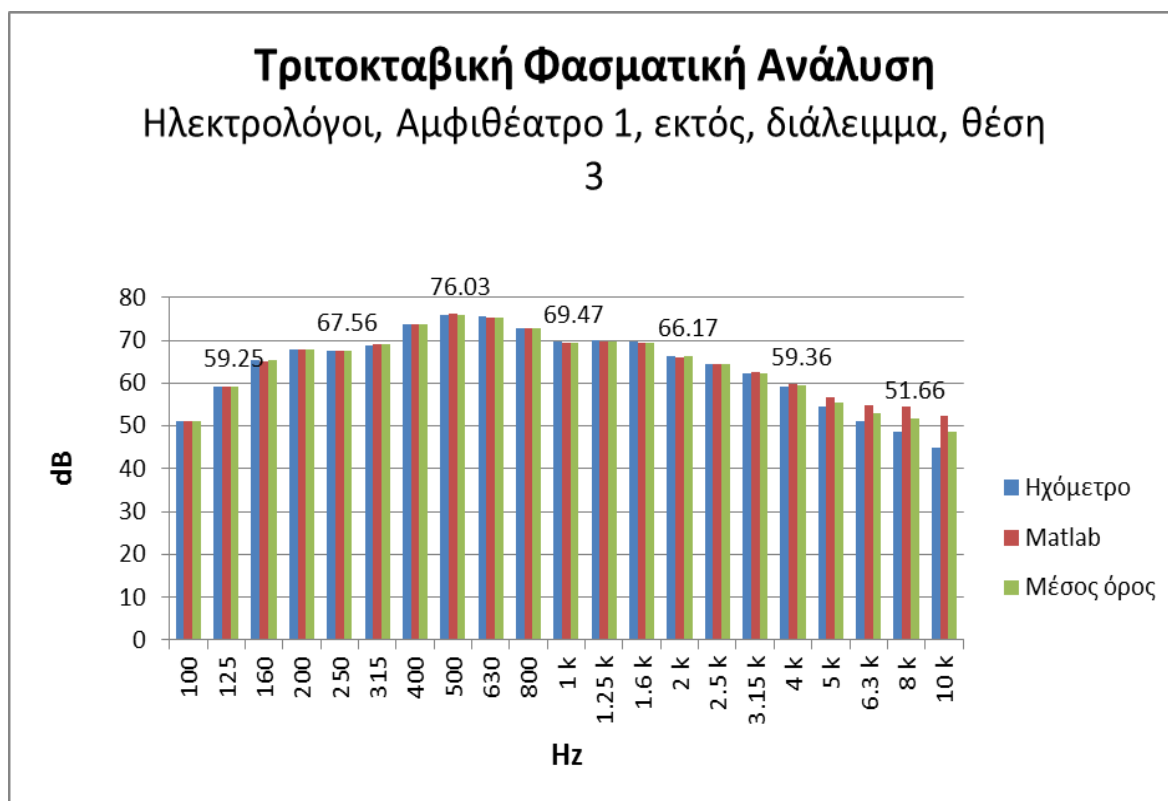
Ως θέση 2 ορίσαμε τα καθίσματα ακριβώς έξω από το αμφιθέατρο. Εδώ βλέπουμε επίπεδα θορύβου που μοιάζουν πολύ με τα πρωϊνά.

Εκ πρώτης όψεως θα συμπεραίναμε ότι ο αριθμός των φοιτητών στο χώρο συμπίπτει με αυτόν της πρωϊνής μέτρησης. Ωστόσο κάτι τέτοιο δε συμβαίνει. Οι φοιτητές είναι περίπου 55, έναντι των 80 το πρωί. Παρόλα αυτά είναι πιο θορυβώδεις κι αυτό είναι λογικό, καθώς δεν διακατέχονται από την πρωϊνή νωθρότητα.

Πιο αναλυτικά λοιπόν, όπως φαίνεται από το γράφημα 4.1.13 οι ακραίες τιμές θορύβου ξεκινούν από τα 78,5 dB, η μέση τιμή του ηχητικού σήματος βρίσκεται στα 75,25 dB και ο θόρυβος βάθους είναι στα 70,8 dB. Η τιμή της τελευταίας ηχοστάθμης εντοπίζεται στα 500Hz της φασματικής ανάλυσης. (γράφημα 4.1.14)



Γράφημα 4.1. 15

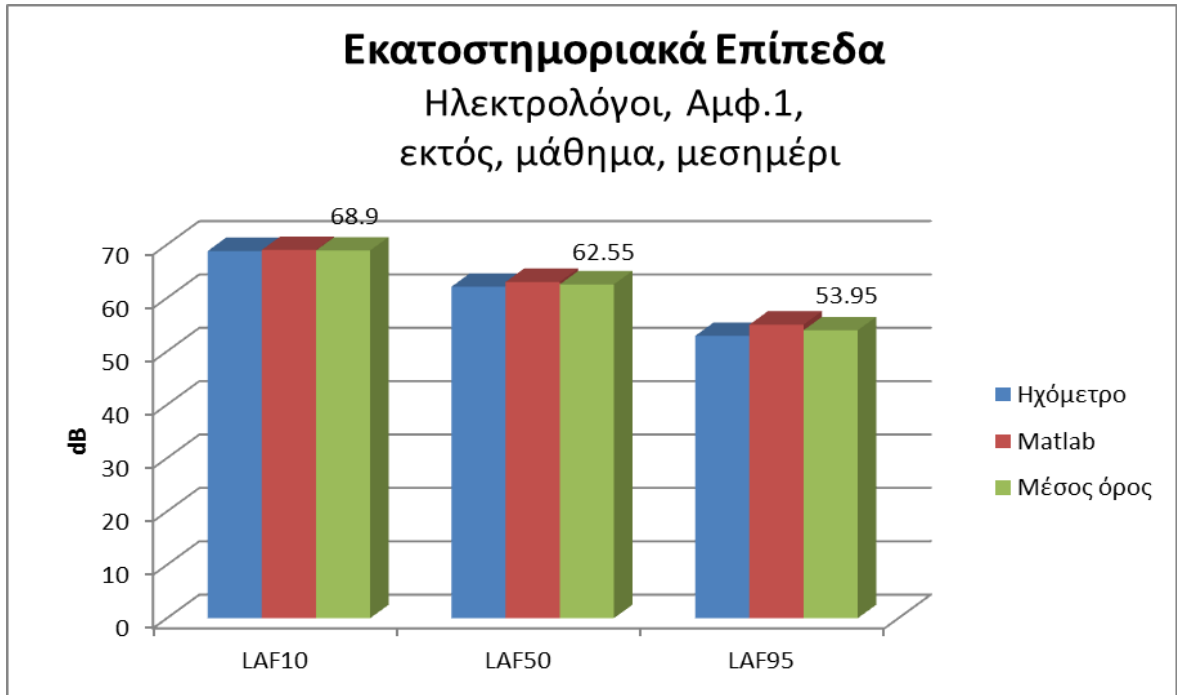


Γράφημα 4.1. 16

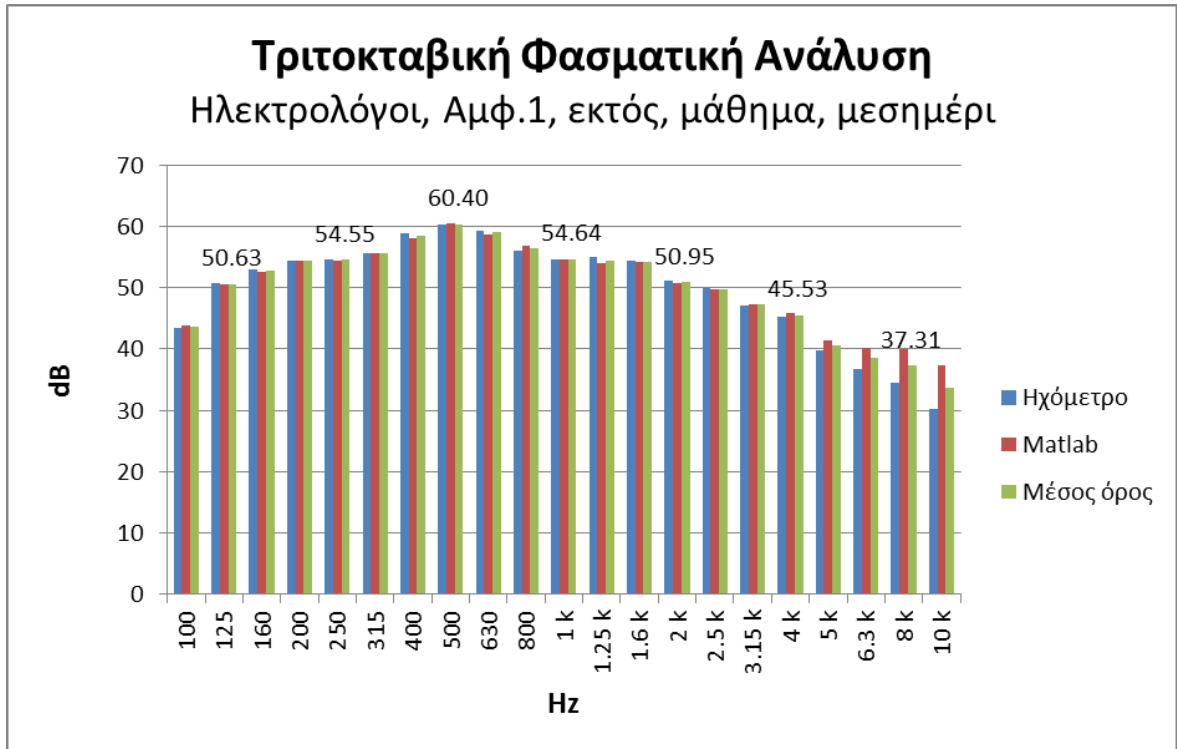
Ως θέση 3 ορίσαμε τα καθίσματα που βρίσκονται αριστερά του διαδρόμου που οδηγεί στις αίθουσες της Α φάσης. Στην περίπτωση αυτή, ο αριθμός των φοιτητών ξεπερνά τους 80. Τα γραφήματα 4.1.9 και 4.1.15, όπως και τα 4.1.10 και 4.1.16 υποδεικνύουν πολύ υψηλότερα επίπεδα θορύβου σε σχέση με αυτά που παράγει ο ίδιος αριθμός φοιτητών το πρωί.

Από το διάγραμμα 4.1.15 προκύπτει ότι η διαφορά της μέσης τιμής και του βάθους θορύβου είναι μόλις 3dB. Αυτό οδηγεί τους φοιτητές στην αύξηση της έντασης της φωνής τους για να γίνουν κατανοητοί από τους συνομιλητές τους, γεγονός που προκαλεί μία κατάσταση οχλαγωγίας.

Και στη θέση 3, σε ώρα διαλείμματος, παρατηρούμε ότι η αιχμή της φασματικής ανάλυσης σχεδόν συμπίπτει με την τιμή του LAF95 (4.1.15 - 4.1.16).



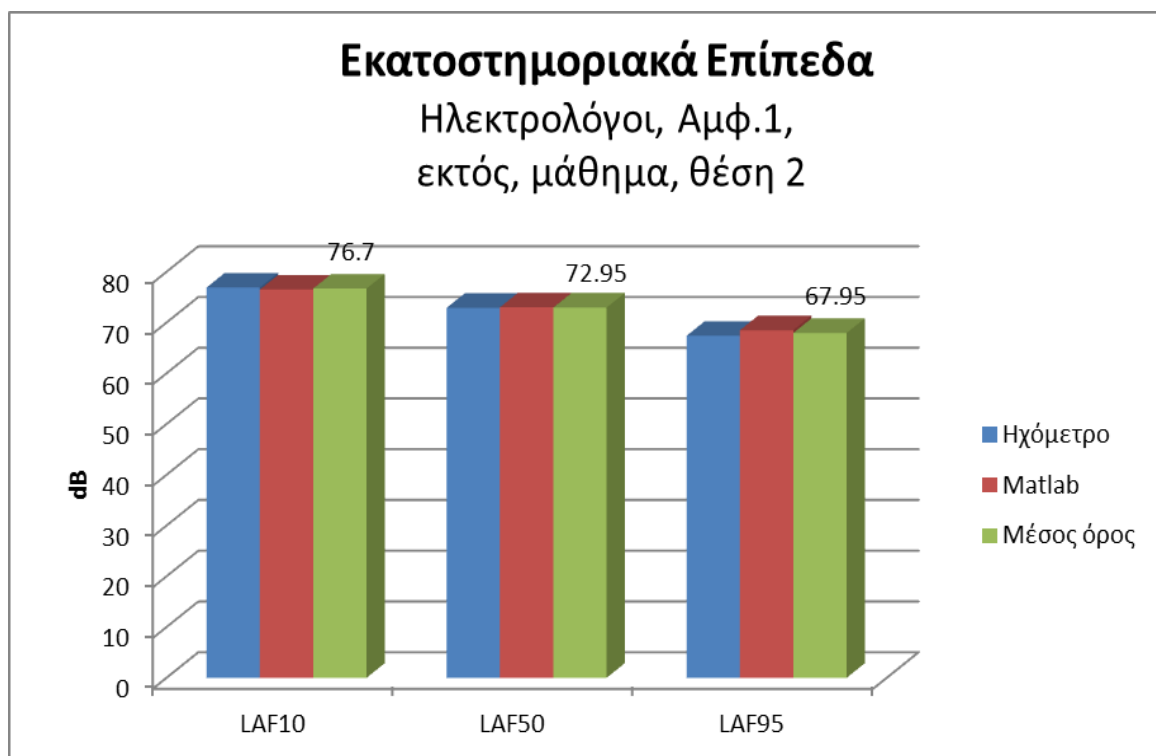
Γράφημα 4.1. 17



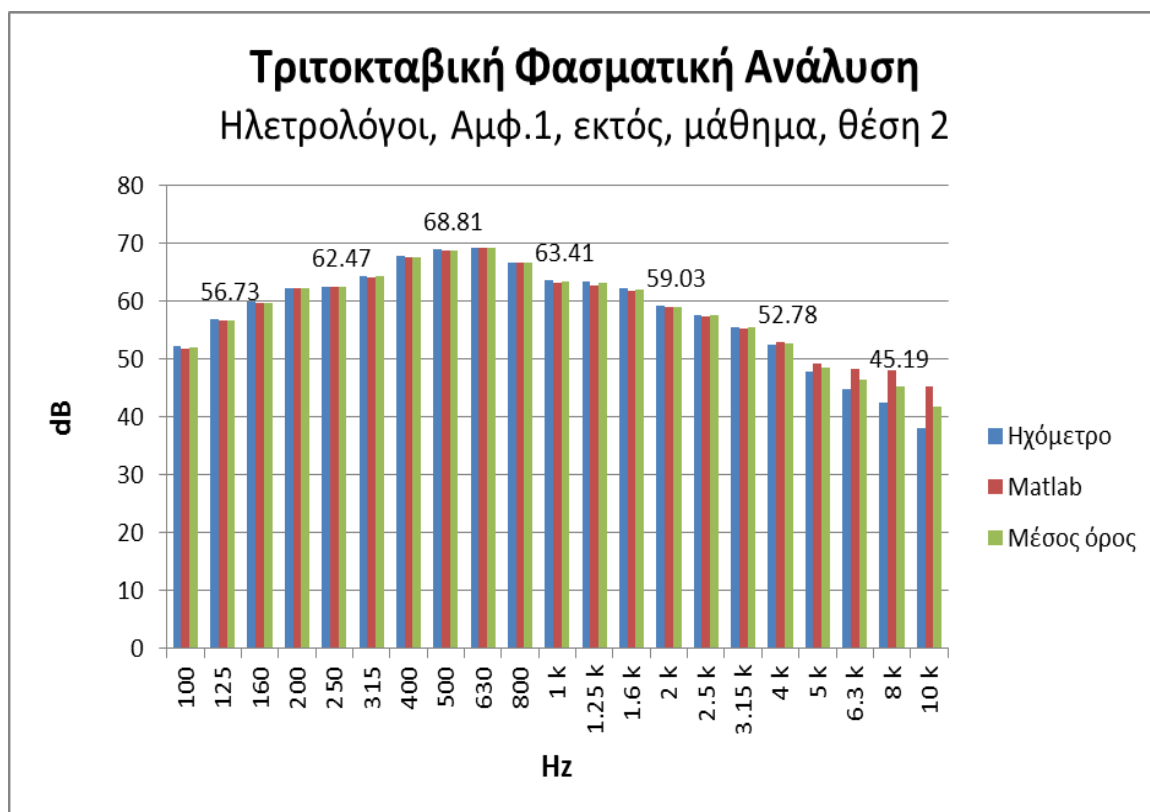
Γράφημα 4.1. 18

Επαναλαμβάνοντας τη δεκάλεπτη μέτρηση στη θέση πλησίον του γραφείου του φύλακα των κτιρίων, το μεσημέρι σε ώρα μαθήματος, οδηγούμαστε στην εξής παρατήρηση:

Όλες οι ηχοστάθμες έχουν πέσει περίπου κατά 10 dB από την αντίστοιχη πρωινή μέτρηση (βλ. Γραφήματα 4.1.7 και 4.1.17, όπως και 4.1.8 και 4.1.18). Το γεγονός αυτό οφείλεται στο μικρότερο αριθμό των παρευρισκόμενων φοιτητών (16 άτομα). Στα 500 Hz παρατηρείται η μεγαλύτερη τιμή της παραγόμενης έντασης θορύβου για το ακουστικό φάσμα των 100Hz έως 10kHz (γράφημα 4.1.18), η οποία είναι 60,4dB και πλησιάζει τη μέση τιμή του θορύβου (62,55dB κατά μέσο όρο από τις δύο μεθόδους μέτρησης).



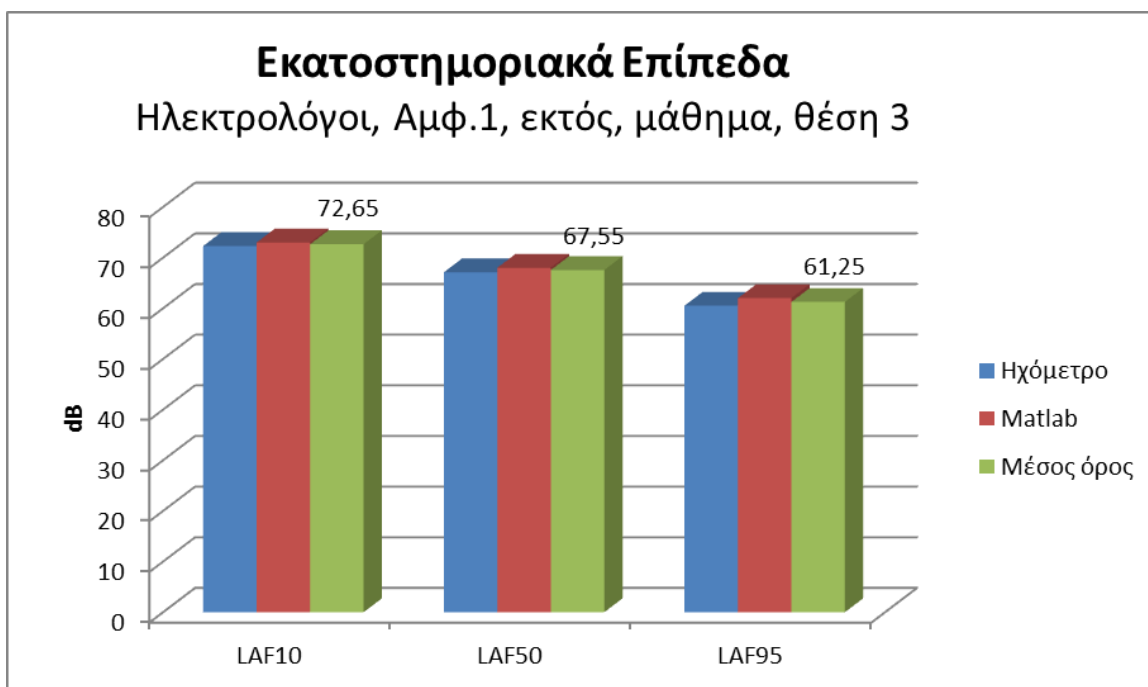
Γράφημα 4.1. 19



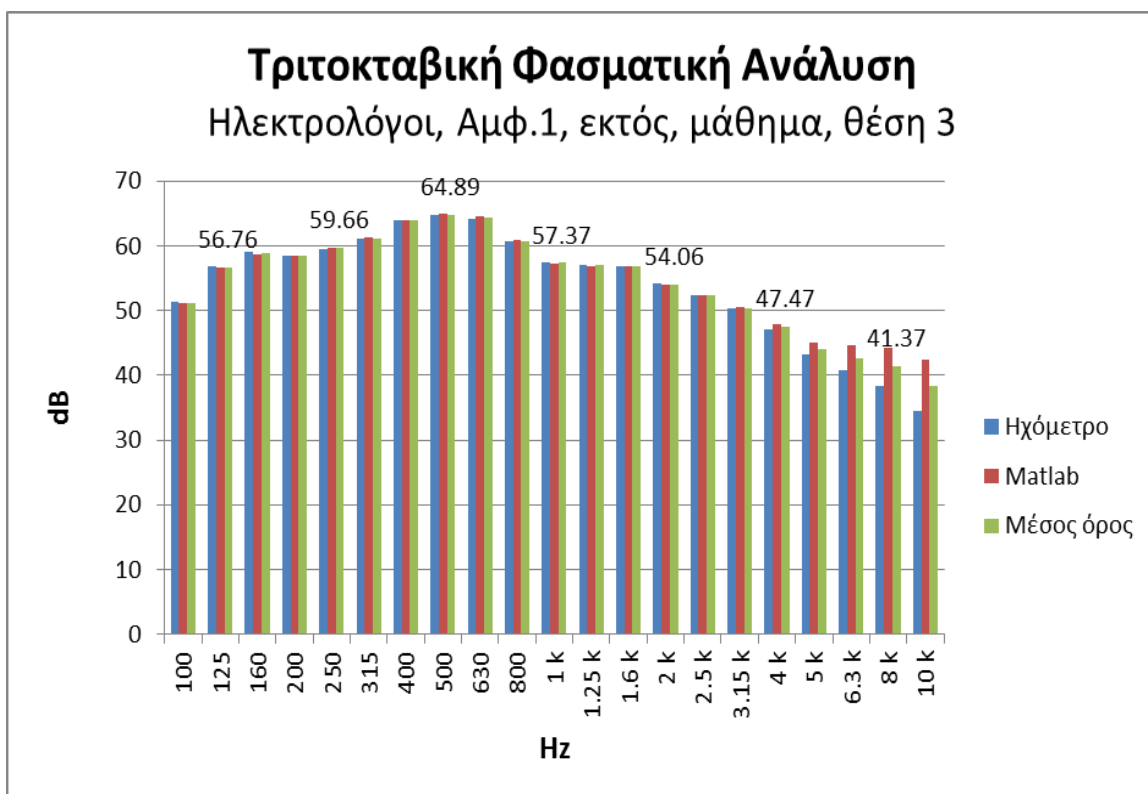
Γράφημα 4.1. 19

Όπως φαίνεται στο γράφημα 4.1.19, το LAF10 είναι στα 76,7dB, το LAF50 στα 72,95dB και το LAF95 στα 67,95dB. Συγκριτικά με την προηγούμενη μέτρηση και το γράφημα 4.1.17 φαίνεται ότι όλα τα επίπεδα θορύβου έχουν αυξηθεί συνολικά, γεγονός που οφείλεται περισσότερο στο διπλασιασμό των παρευρισκόμενων φοιτητών (40) και λιγότερο στη διαφορετική θέση, η οποία θα μπορούσε κατά κάποιο τρόπο να θεωρηθεί συμμετρική της θέσης 1.

Η φασματική ανάλυση δίνει την τιμή 68,81dB ως τη μεγαλύτερη για το διάστημα 100Hz έως 10kHz και την εντοπίζει στα 500Hz.



Γράφημα 4.1. 20

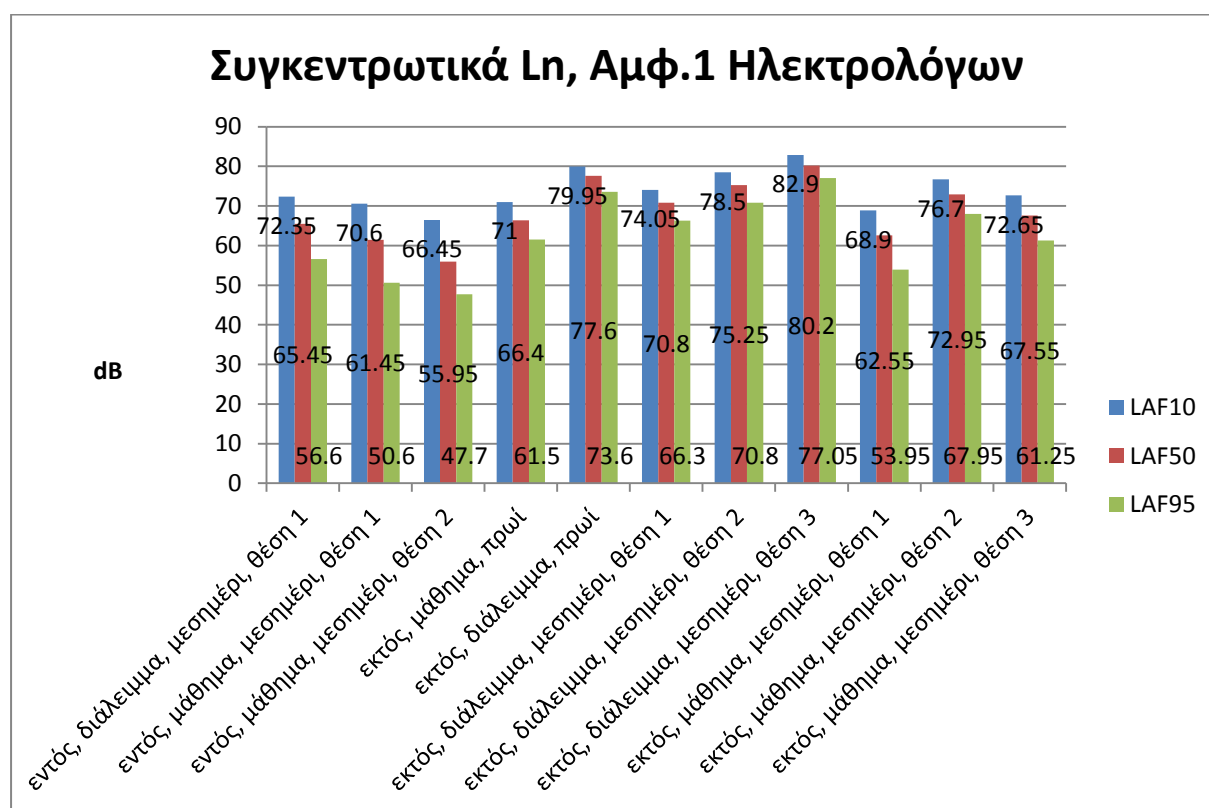


Γράφημα 4.1. 21

Για άλλη μια φορά έχουμε αναμενόμενα αποτελέσματα, καθώς οι τιμές κυμαίνονται ανάμεσα σε αυτές των 2 προηγούμενων μετρήσεων (βλ. γραφήματα 4.1.17, 4.1.19 και 4.1.21, όπως και 4.1.18, 4.1.20 και 4.1.22) γεγονός φυσιολογικό, καθώς στο ενδιαμέσο βρίσκεται και ο αριθμός των φοιτητών (25). Διαπιστώνουμε λοιπόν, ότι κύριο ρόλο στη διαμόρφωση του θορύβου διαδραματίζει η πυκνότητα των φοιτητών στο χώρο. Αυτός διαχέεται ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις, παρά την ποικιλομορφία των ορίων του συγκεκριμένου χώρου.

Η τούβλινη επένδυση των τοίχων απορροφά ένα μέρος του ήχου, ενώ και οι ανοιχτές δίοδοι τον αφήνουν να απομακρυνθεί.

Για λόγους σύγκρισης παραθέτουμε συγκεντρωτικά τους μέσους όρους των ποσοστομοριακών μεγεθών για όλες τις παραπάνω μετρήσεις. (Γράφημα 4.1.23)



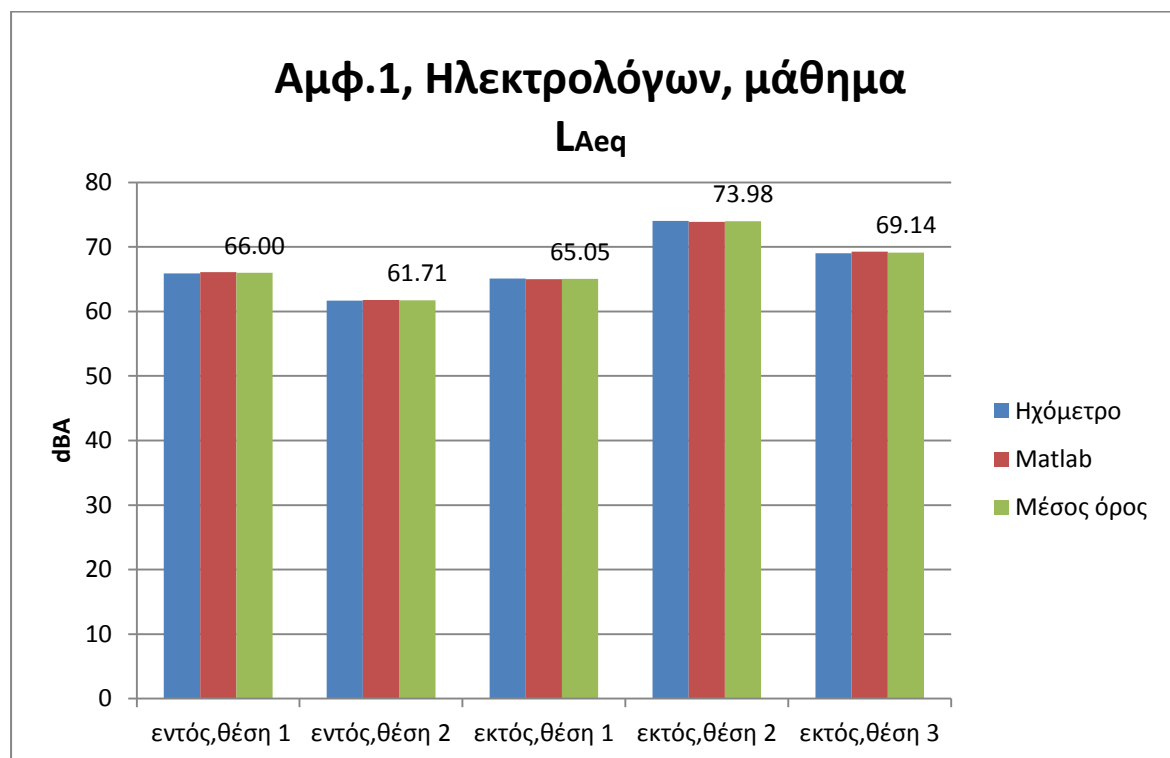
Γράφημα 4.1. 23

Συνολικά λοιπόν, τα υψηλότερα επίπεδα θορύβου που συναντά ένας Ηλεκτρολόγος, που παρακολουθεί διαλέξεις και περνά τα διαλείμματά του στο χώρο συγκέντρωσης έξω από το Αμφιθέατρο 1, παρατηρούνται σε ένα μεσημεριανό διάλειμμα στο σημείο πλησίον του διαδρόμου που οδηγεί στις αίθουσες της Α φάσης των Νέων Κτιρίων (θέση 3). Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς σε αυτή την πλευρά του χώρου, δεν καταφθάνει μόνο ο θόρυβος από τις ζωηρές ομιλίες των πολλών παρευρισκομένων, αλλά και οι ανακλάσεις τους από τους απέναντι τοίχους και τζαμαρίες.

Οι τιμές του θορύβου είναι σχετικά υψηλές, με ανώτερο επίπεδο θορύβου $LAF10=82.9\text{dB}$, μέση τιμή $LAF50=80.2\text{dB}$ και θόρυβο βάθους $LAF95=77.05\text{dB}$, αν σκεφτεί κανείς ότι τέτοια επίπεδα συναντάμε κοντά σε μεγάλους αυτοκινητόδρομους, ενώ τα 80dB(A) έχουν θεωρηθεί βάσει της ελληνικής νομοθεσίας, ως η κατώτερη τιμή της ημερήσιας έκθεσης στο θόρυβο ($L_{EX,8h}$) για ανάληψη δράσης.

Οι χαμηλότερες τιμές θορύβου συναντώνται στα πλευρικά έδρανα του Αμφιθεάτρου 1 κατά τη διάρκεια του μαθήματος το μεσημέρι, θέση 2, με τις ακραίες τιμές θορύβου να ξεκινούν από τα $66,45\text{dB}$ ($LAF10$), το $LAF50$ να ισούται με $55,95\text{dB}$ και το υπόστρωμα θορύβου να βρίσκεται στα $47,7\text{dB}$.

Τέλος θα ήταν χρήσιμο να παραθέσουμε κάποιες τιμές της ισοδύναμης ηχητικής στάθμης, για να έχουμε μια εικόνα της ακουστικής συμπεριφοράς του Αμφιθεάτρου 1 και του χώρου συγκέντρωσης, έξω από αυτό. (Γράφημα 4.1.24)

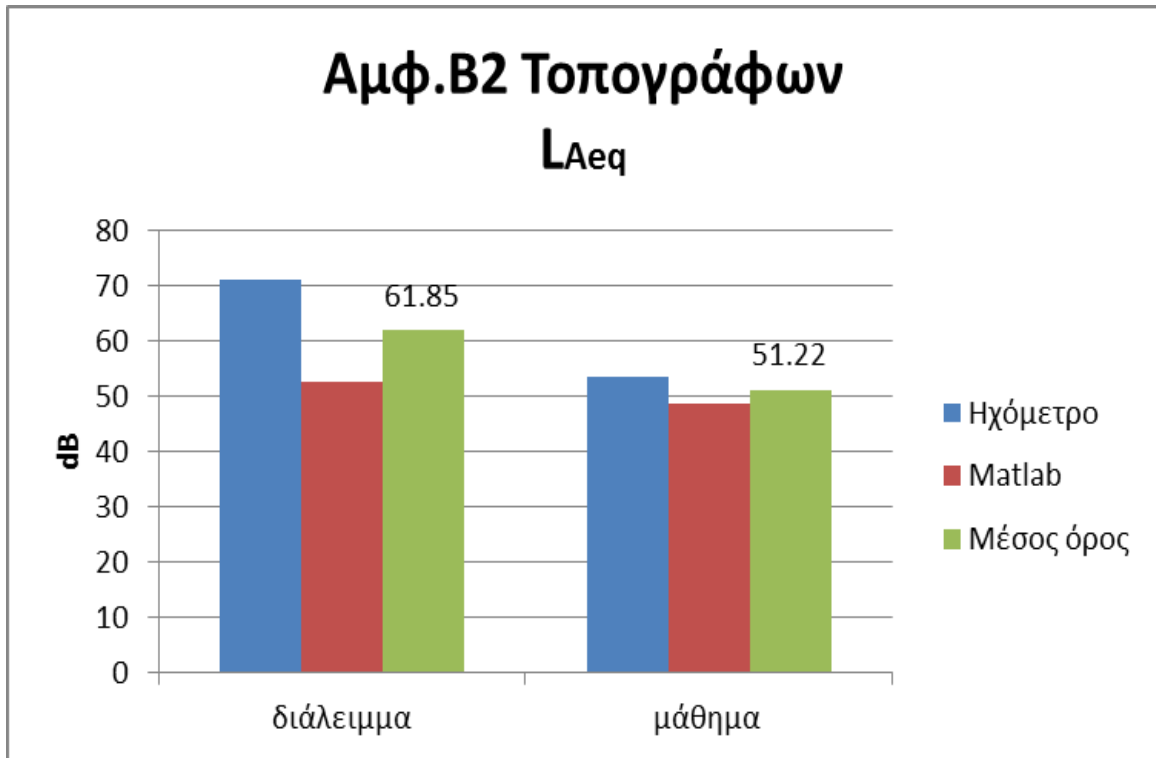


Γράφημα 4.1. 24

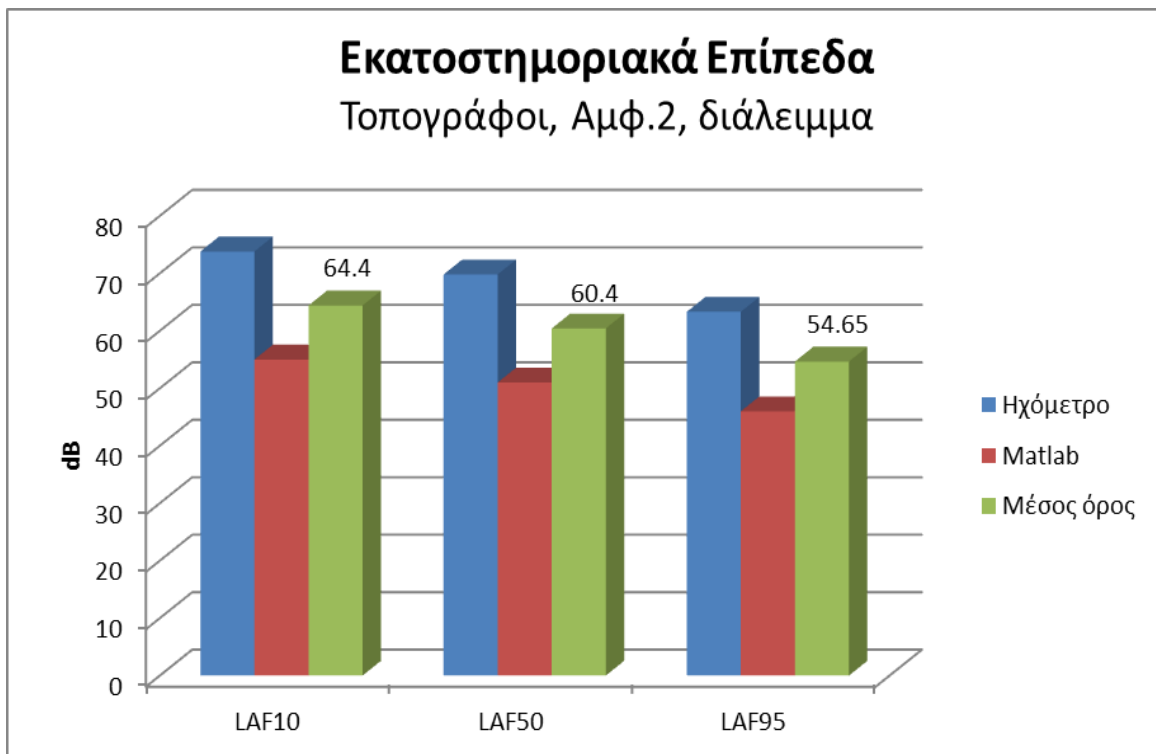
4.2 Αμφιθέατρο της σχολής των Τοπογράφων



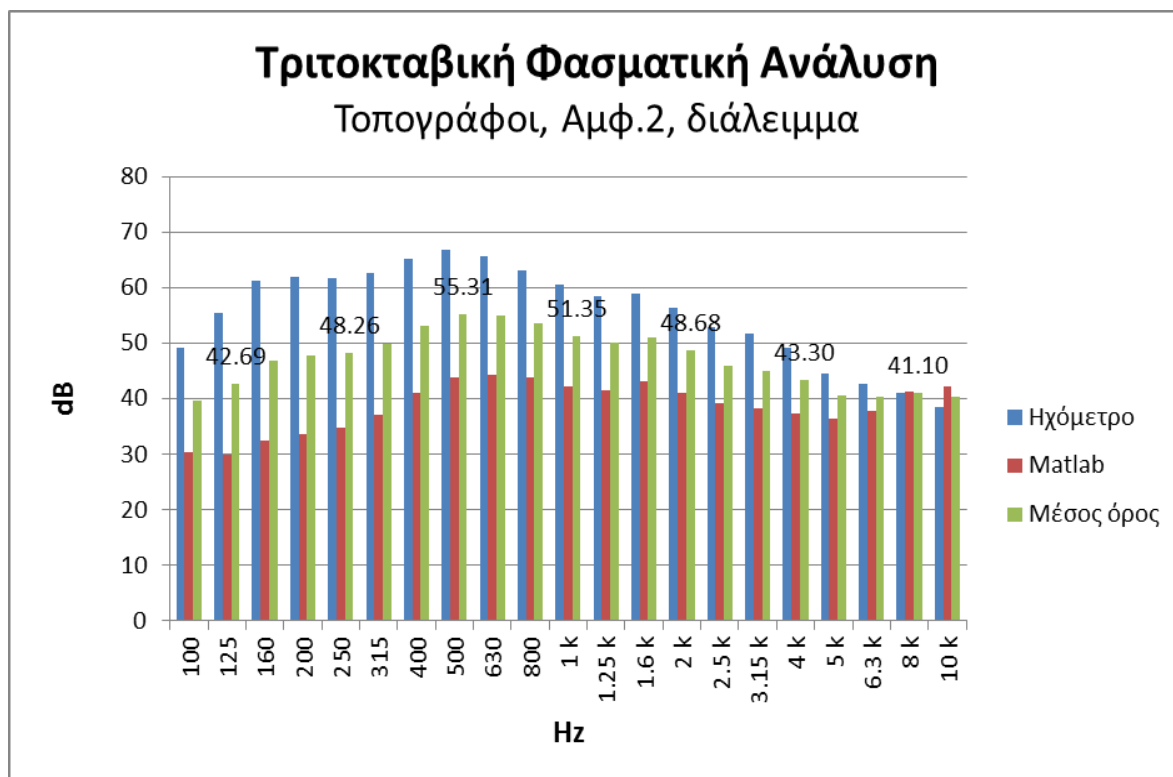
Παραθέτουμε αποτελέσματα μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στο Αμφιθέατρο B2 των Τοπογράφων, ένα από τα μεγαλύτερα της σχολής, κατά τη διάρκεια μαθήματος 1^{ου} εξαμήνου με μεγάλη προσέλευση. Τα όργανα τοποθετήθηκαν στο πίσω μέρος και σε κεντρικό σημείο της αίθουσας. Οι αποκλίσεις μεταξύ ηχομέτρου και κάρτας ήχου οφείλονται στη μεγάλη πυκνότητα των φοιτητών που δεν επέτρεπε την τοποθέτηση των οργάνων σε θέση απομακρυσμένη από αυτούς. Έτσι το ηχόμετρο βρέθηκε πιο κοντά στην πηγή του θορύβου έναντι του μικροφώνου της κάρτας ήχου και γι' αυτό υπολογίζει υψηλότερες τιμές. Ωστόσο εμείς θα χρησιμοποιήσουμε το μέσο όρο των ενδείξεων, όπως και στις υπόλοιπες μετρήσεις.



Γράφημα 4.2. 1

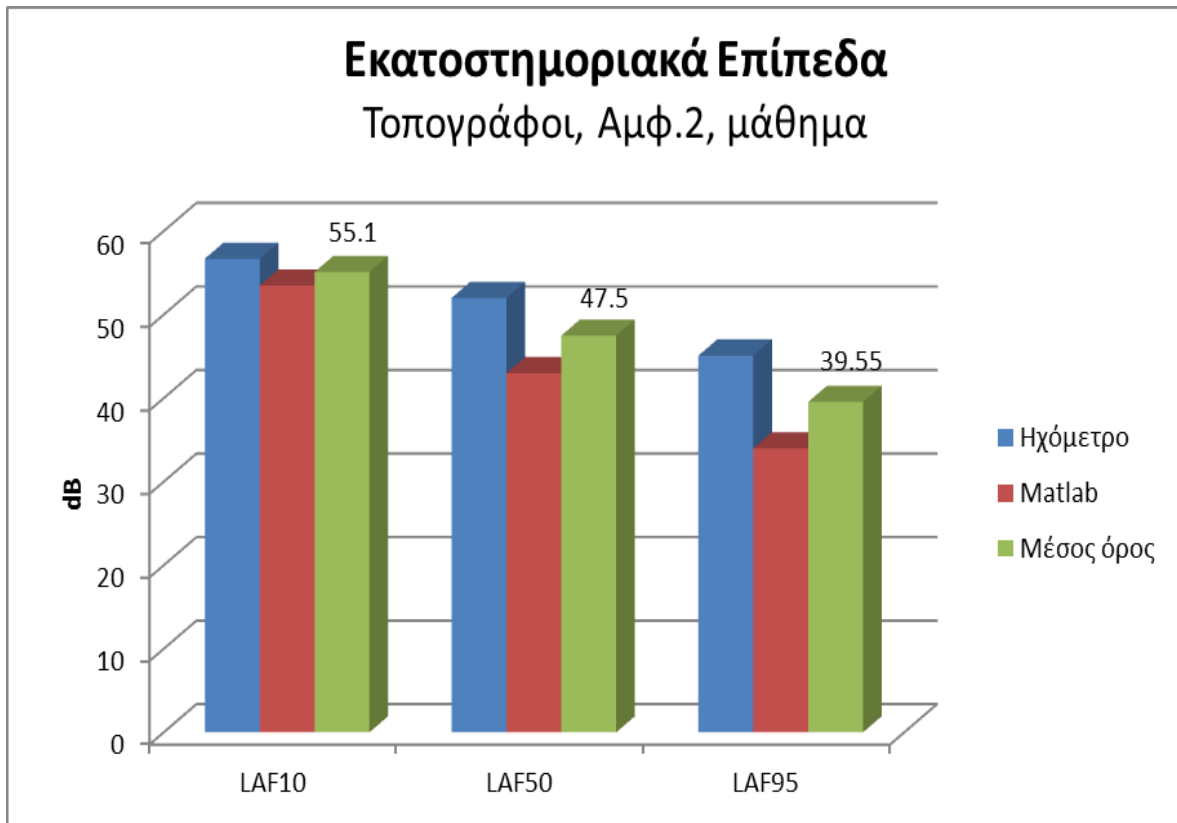


Γράφημα 4.2. 2

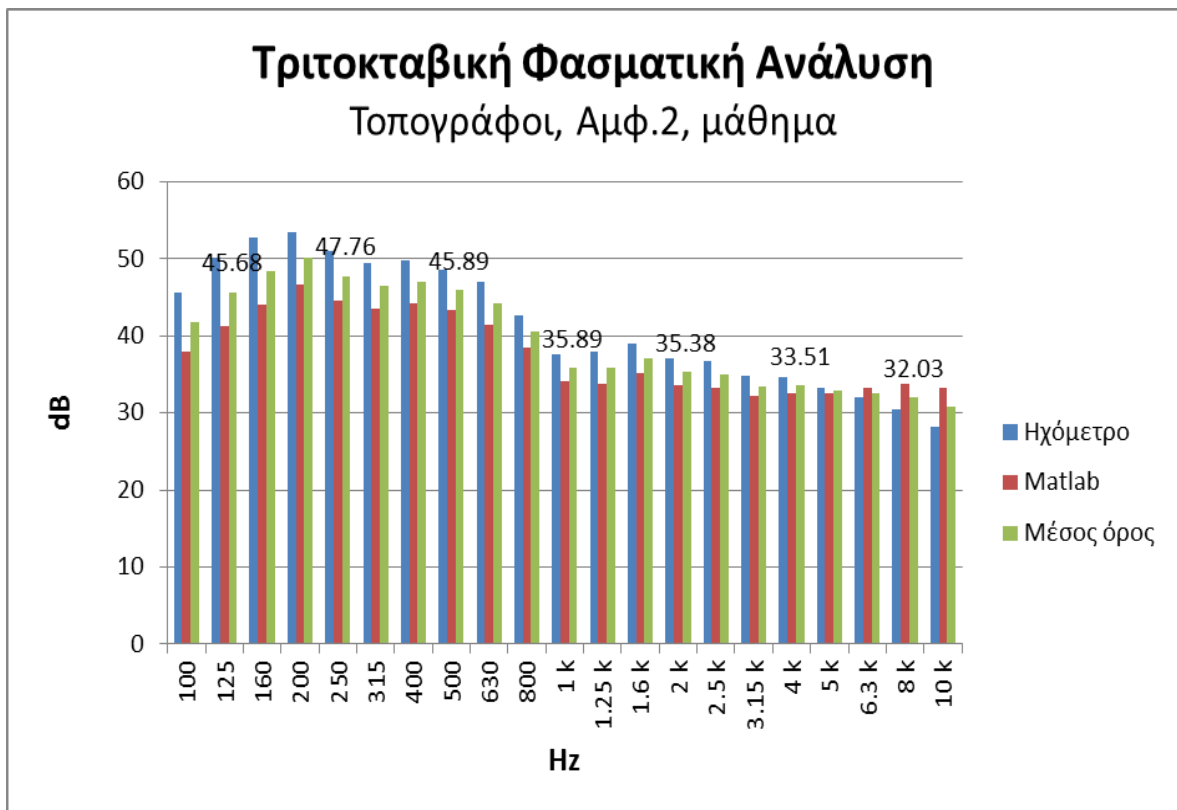


Γράφημα 4.2. 3

Κατά τη διάρκεια του διαλείμματος υπήρχαν 50 φοιτητές στην αίθουσα. Σύμφωνα με το γράφημα 4.2.2 το επίπεδο των ακραίων ηχητικών τιμών που καταγράφηκαν LAF10 είναι 64,4dB, η μέση τιμή του θορύβου LAF50 είναι 60,4dB και ο θόρυβος βάθους LAF95 είναι 54,65dB. Από τη φασματική ανάλυση (γράφημα 4.2.3), φαίνεται ότι στο θόρυβο συμβάλλει κυρίως η ομιλία μεταξύ των φοιτητών, που παράγεται γύρω από τα 500 Hz.



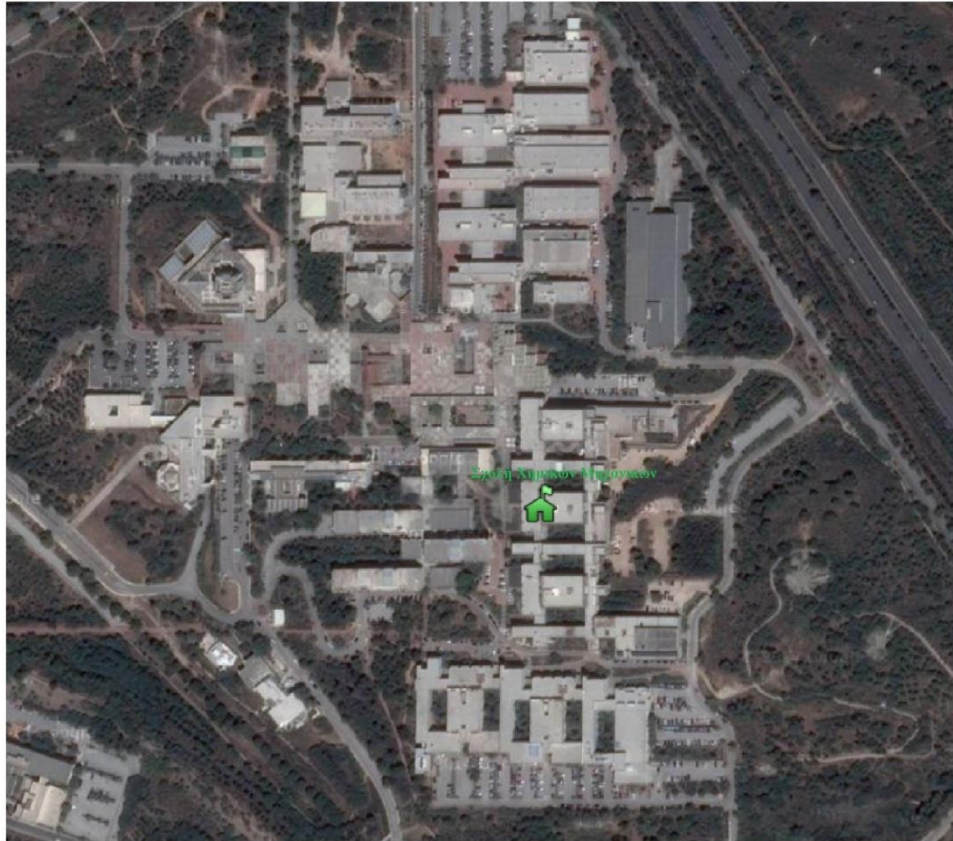
Γράφημα 4.2. 4



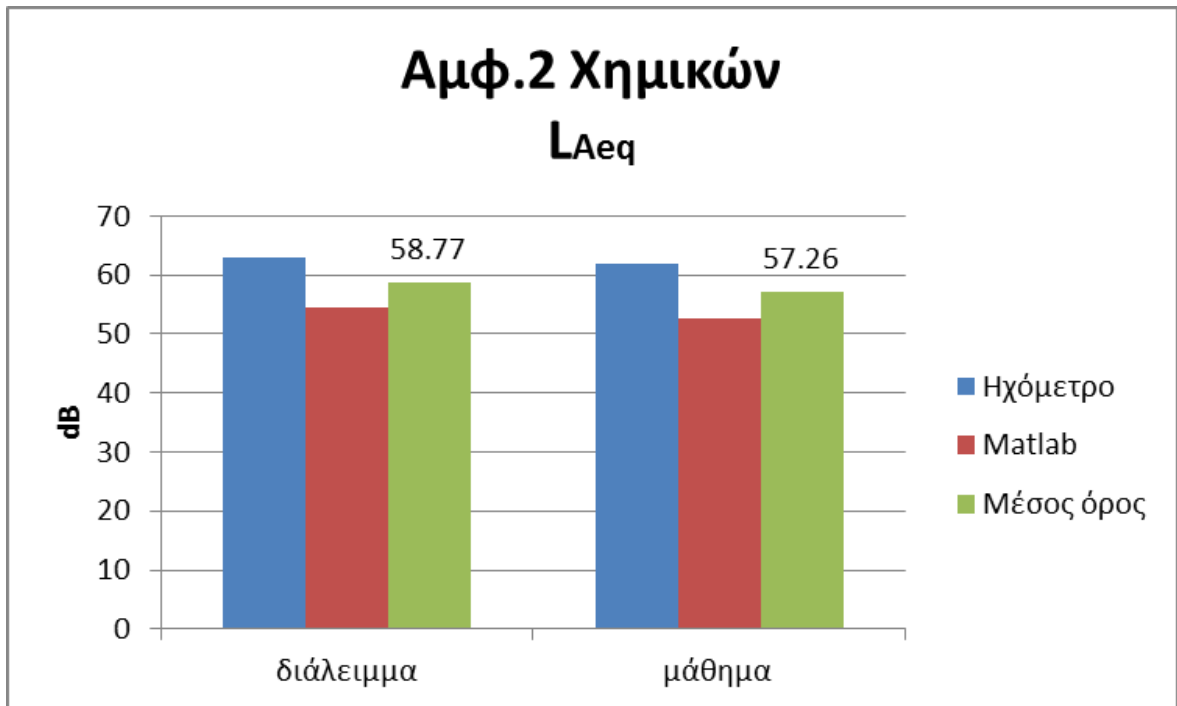
Γράφημα 4.2. 5

Στο μάθημα, όπου ο αριθμός των φοιτητών αυξήθηκε ελάχιστα στους 70, παρατηρείται ικανοποιητικό SNR, καθώς υπολογίζεται γύρω στο 8. (καλή ένδειξη αντιληπτότητας της ομιλίας) με τη βοήθεια του γραφήματος 4.2.4. Συγκεκριμένα, το LAF95 ισούται με μόλις 39,55dB, ενώ το LAF50 κυμαίνεται στα 47,5dB. Από τη διαφορά τους, έχουμε μια εικόνα του SNR. Οι ακραίες τιμές θορύβου έχουν μειωθεί επίσης κατά 10dB από το διάλειμμα (βλ. Γραφήματα 4.2.2 και 4.2.4). Τα στοιχεία αυτά υποδεικνύουν καλή ακουστική και ήσυχο ακροατήριο. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αιχμή της φασματικής ανάλυσης (γράφημα 4.2.5), η οποία ταυτίζεται με τη μέση τιμή του συνολικού σήματος, εμφανίζεται στα 150Hz, δηλαδή είναι μετατοπισμένη προς χαμηλότερες συχνότητες σε σχέση με το Αμφ.1 των Ηλεκτρολόγων, που σημαίνει ότι ο καθηγητής στο μάθημα αυτό έχει ενδεχομένως πιο μπάσα φωνή.

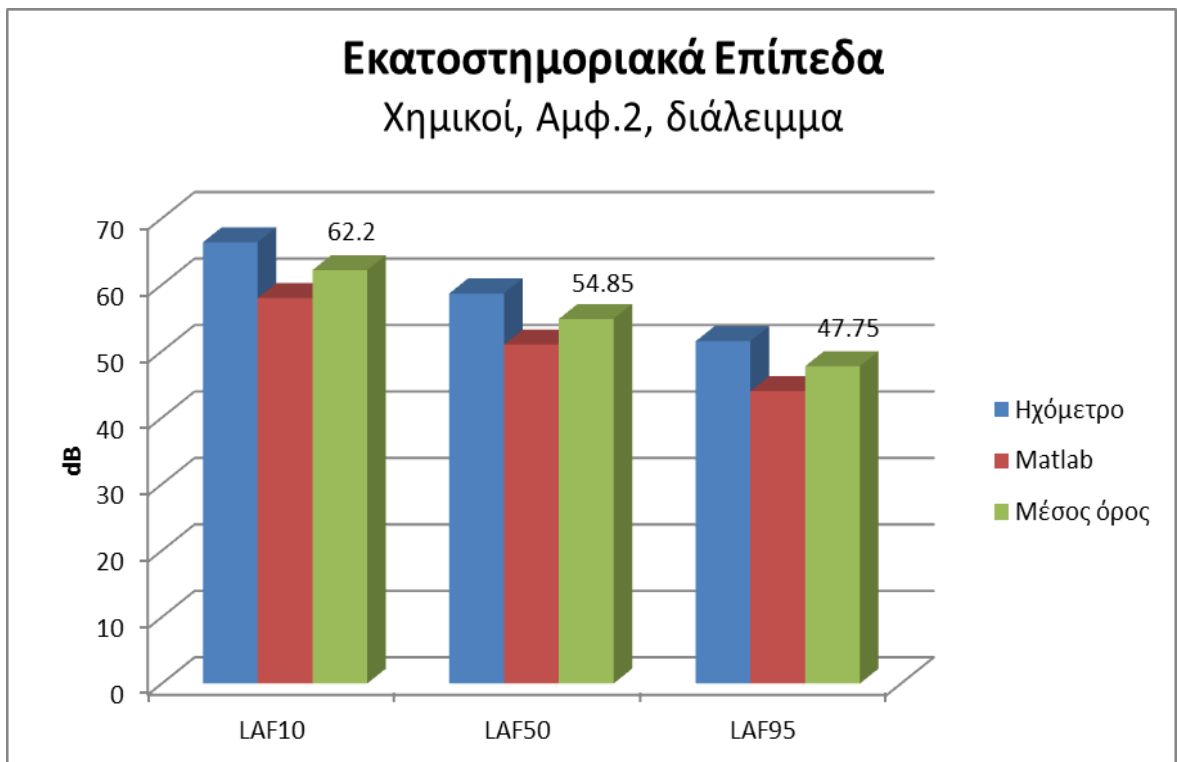
4.3 Αμφιθέατρο της σχολής των Χημικών



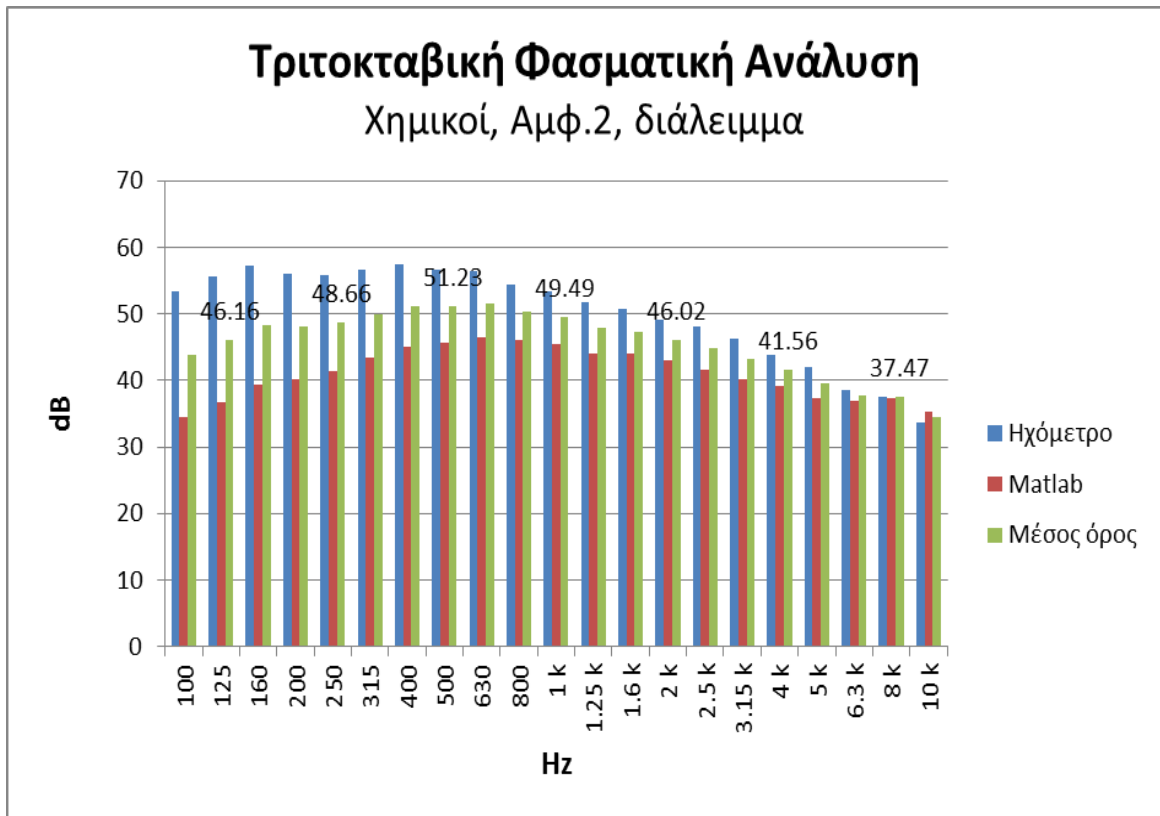
Το μεγαλύτερο αμφιθέατρο των Χημικών είναι το Αμφιθέατρο 2. Η θέση που επιλέχθηκε για την τοποθέτηση των οργάνων μέτρησης ήταν σε κεντρικό σημείο στο πίσω μέρος της αίθουσας. Ο αριθμός των παρευρισκόμενων φοιτητών ήταν σταθερός κατά τη διάρκεια του μαθήματος και του διαλείμματος, γύρω στους 25.



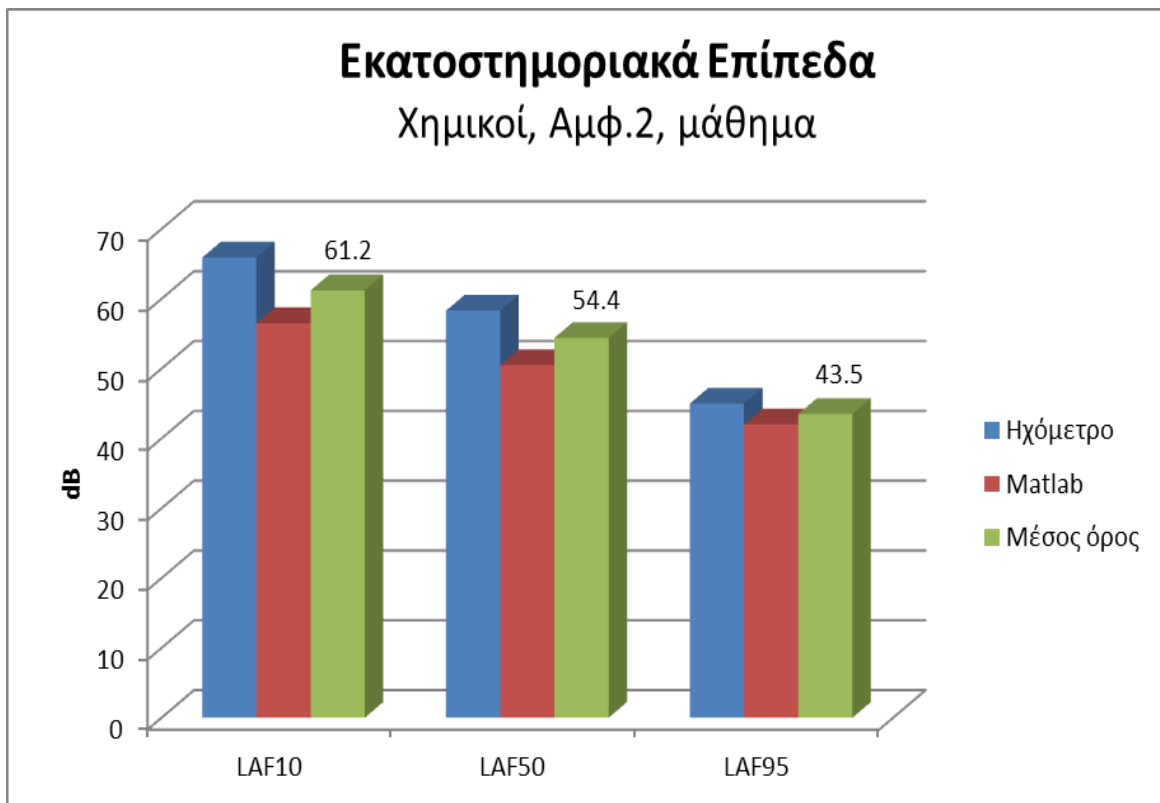
Γράφημα 4.3. 1



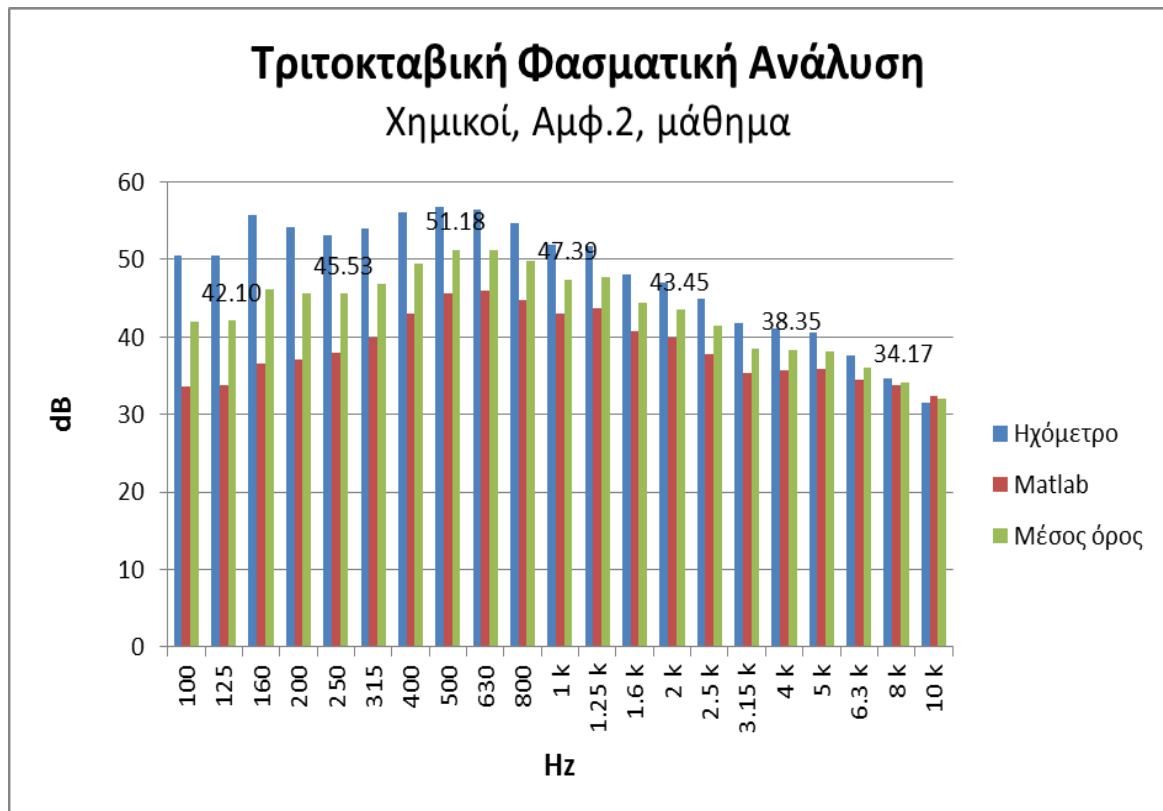
Γράφημα 4.3. 2



Γράφημα 4.3. 3



Γράφημα 4.3. 4



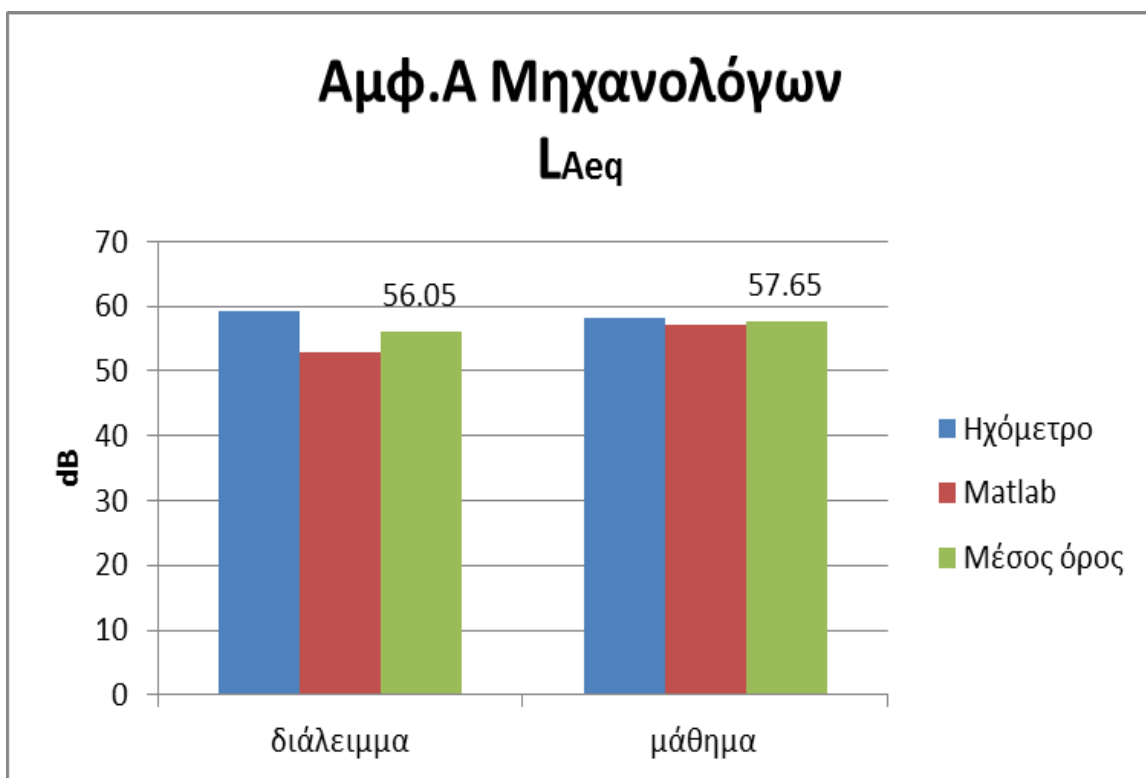
Γράφημα 4.3.5

Σύμφωνα με τα γραφήματα 4.3.1. έως 4.3.5 οι ακουστικές συνθήκες που επικρατούν είναι σχεδόν πανομοιότυπες, κατά τη διάρκεια του μαθήματος και του διαλείμματος, με μοναδική εξαίρεση το θόρυβο βάθους, που είναι ελαττωμένος κατά 4dB στο μάθημα, συγκριτικά με το διάλειμμα. Αυτό είναι εν μέρη λογικό, καθώς ο αριθμός των φοιτητών είναι ίδιος και στις δυο περιπτώσεις ωστόσο κατά τη διάρκεια του μαθήματος έχουμε σίγαση των συνομιλιών. Έτσι το SNR στο μάθημα βρίσκεται περίπου στο 11, αριθμός ικανοποιητικός, αν σκεφτούμε ότι βρίσκεται στο μεταίχμιο καλής και πολύ καλής αντιληπτότητας της ομιλίας. Επίσης από τη φασματική ανάλυση βλέπουμε ότι υπάρχει μια κάπως πιο έντονη ακμή στα 500Hz στην περίοδο της παράδοσης, που σημαίνει ότι υπερिशχύει η φωνή του καθηγητή, έναντι των άλλων ήχων.

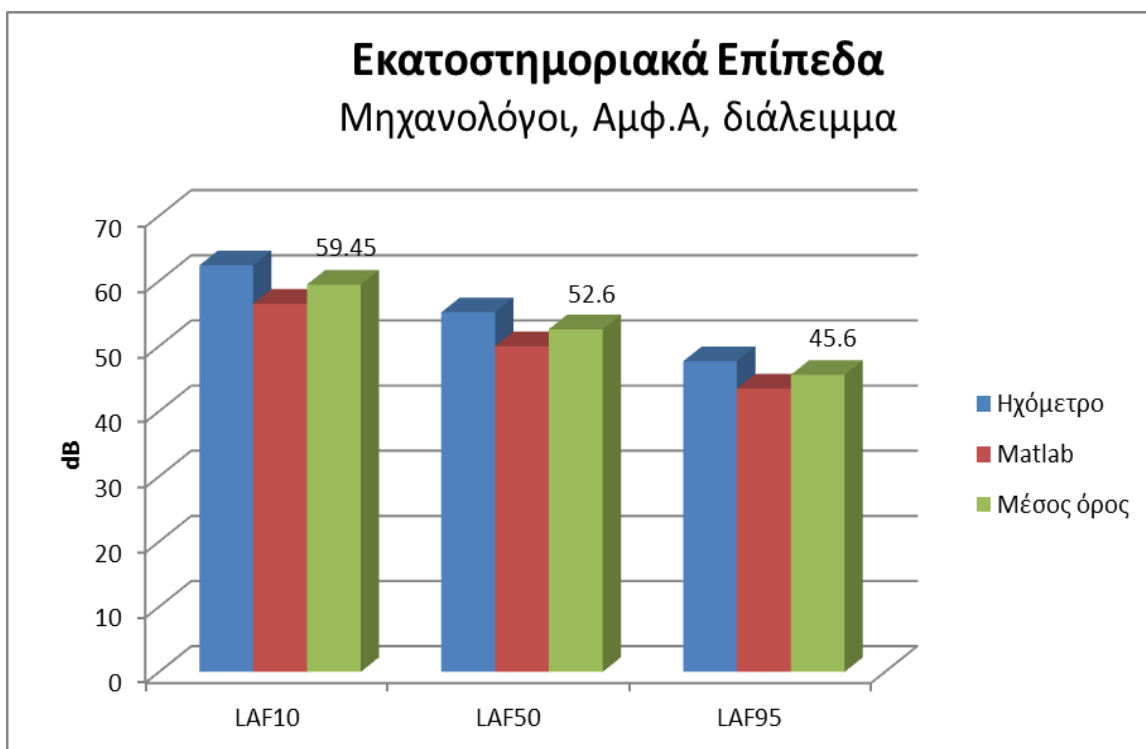
4.4 Αμφιθέατρο της σχολής των Μηχανολόγων



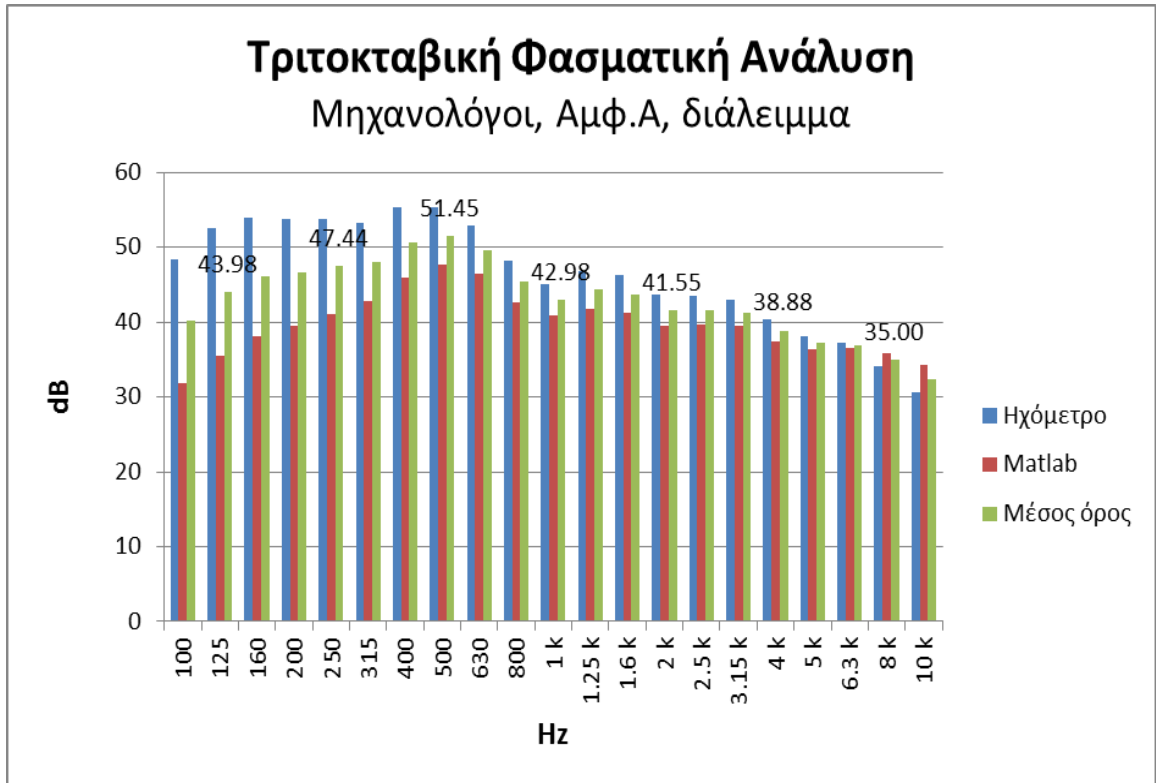
Από τη σχολή των Μηχανολόγων επιλέξαμε το Αμφιθέατρο Α για τη δειγματοληψία μας, το οποίο είναι το μεγαλύτερο της σχολής. Συγκεκριμένα τοποθετήσαμε τα όργανα στο κέντρο περίπου της αίθουσας.



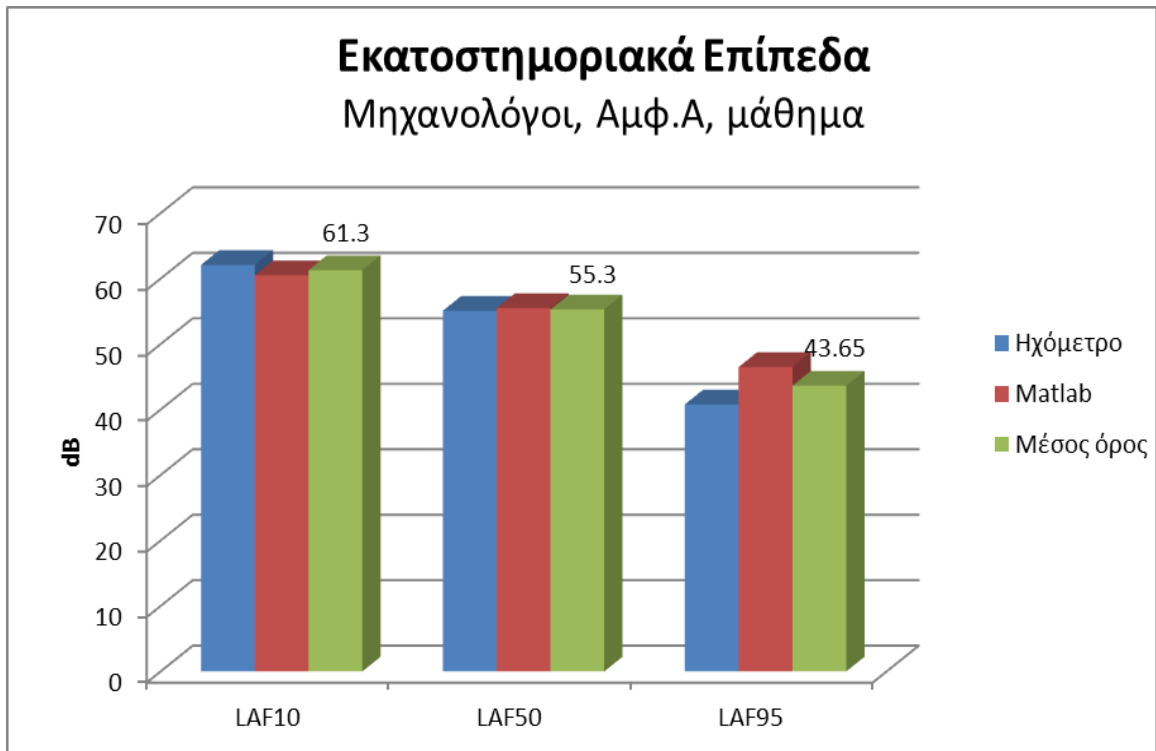
Γράφημα 4.4. 1



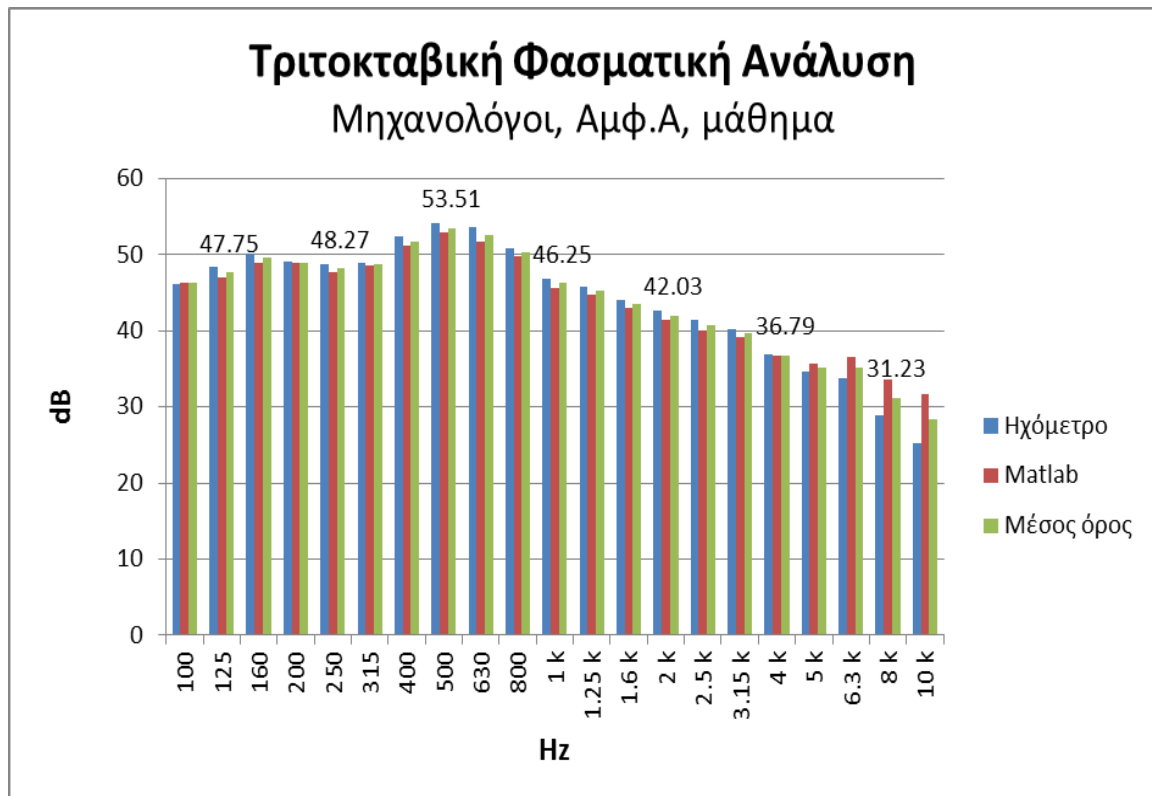
Γράφημα 4.4. 2



Γράφημα 4.4. 3



Γράφημα 4.4. 4



Γράφημα 4.4. 5

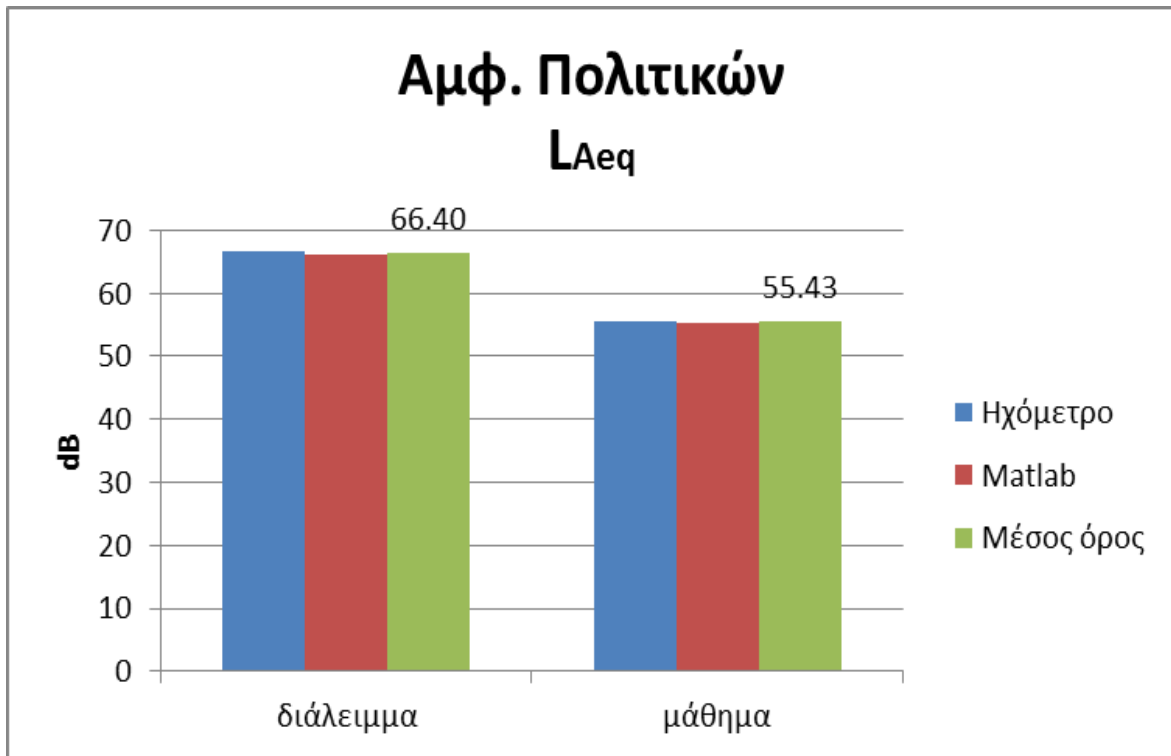
Η βασική παρατήρηση που αφορά το χώρο αυτό είναι ότι όλα τα ακουστικά μεγέθη που υπολογίσαμε έχουν σχεδόν ίσες τιμές τόσο στο διάλειμμα όσο και στο μάθημα (βλ. γραφήματα 4.4.1 έως 4.4.5). Ωστόσο, οι μικρές διαφοροποιήσεις οδηγούν σε διαφορετικό σηματοθορυβικό λόγο. Στο διάλειμμα υπολογίζεται στις 7 μονάδες, ενώ στο μάθημα αυξάνεται σχεδόν στις 12 μονάδες. Άρα έχουμε πολύ καλή αντιληπτότητα ομιλίας, γεγονός που προκαλεί εντύπωση, καθώς το αμφιθέατρο είναι παλιάς κατασκευής και υπήρχαν 65 φοιτητές την ώρα της παράδοσης, οι οποίοι ελαττώθηκαν σε μόλις 15 στο διάλειμμα.

Παρατηρούμε ότι το μέσο επίπεδο ακουστικής έντασης (52,6dB και 55,3dB στο διάλειμμα και στο μάθημα αντίστοιχα), συμπίπτει ακόμη μια φορά με την ακμή της φασματικής ανάλυσης (51,45dB και 53,51dB στο διάλειμμα και στο μάθημα αντίστοιχα) , η οποία βρίσκεται στα 500Hz. Ένας ενήλικας μπορεί να παράγει σε φυσιολογικά επίπεδα ομιλίας φωνή έντασης μεταξύ 50 και 55dB, επομένως ο κυρίαρχος ήχος είναι και πάλι η ομιλία.

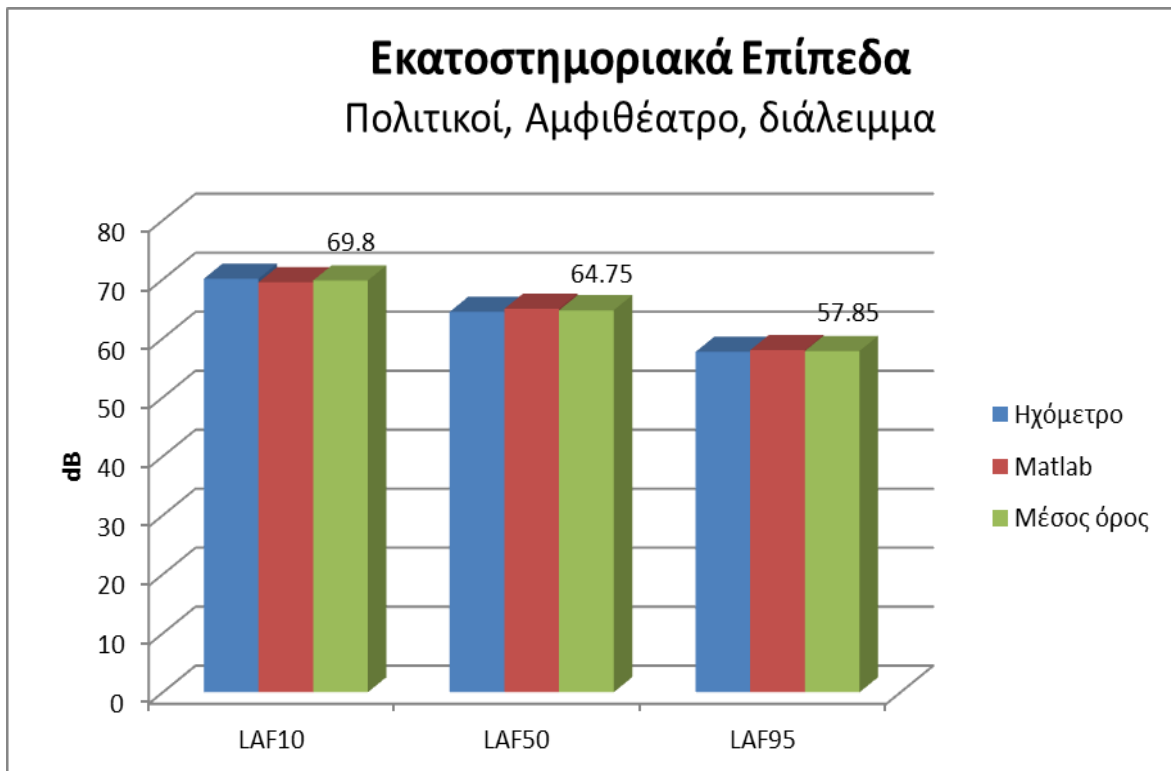
4.5 Αμφιθέατρο της σχολής των Πολιτικών



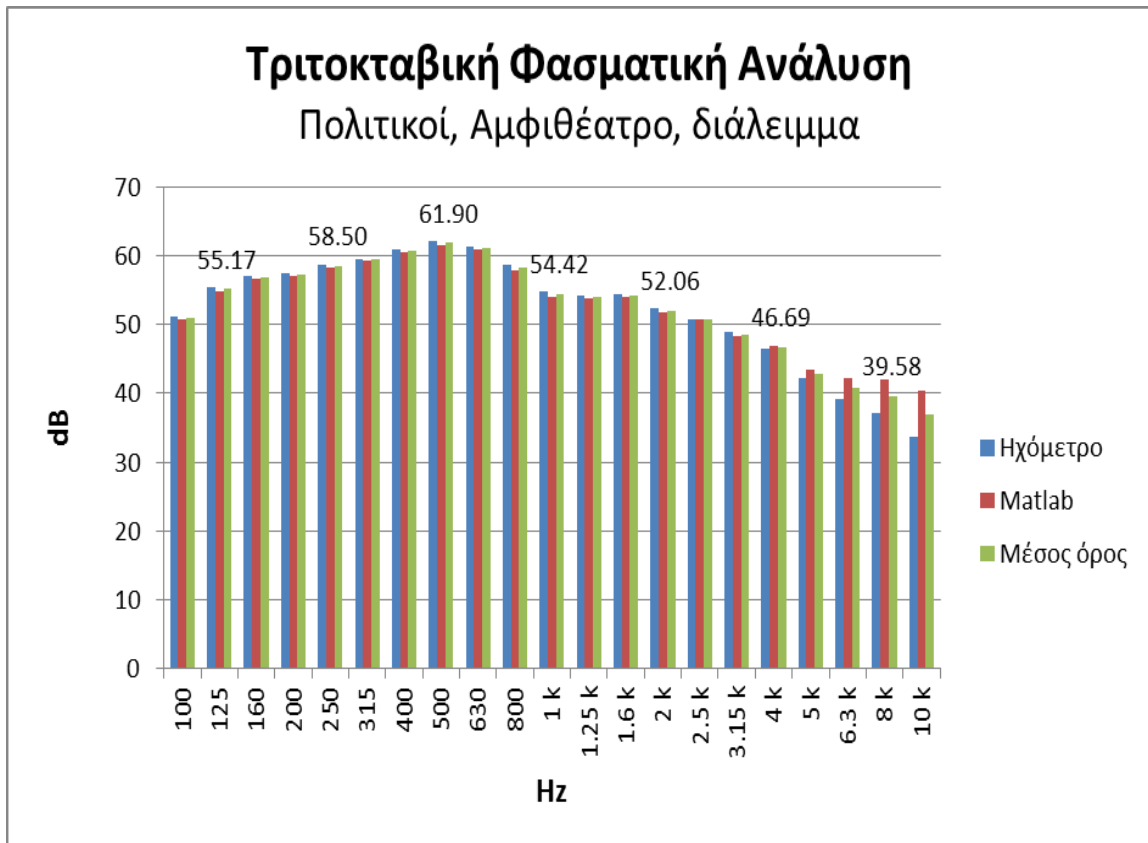
Η ιδιαιτερότητα του συγκεκριμένου αμφιθεάτρου είναι μια κεντρική κατακόρυφη επιφάνεια που διαχωρίζει ένα μεγάλο ενιαίο αμφιθέατρο σε 2 μικρότερα. Εμείς πήραμε τις μετρήσεις μας στα καθίσματα που βρίσκονται στο πίσω μέρος της δεξιάς αίθουσας.



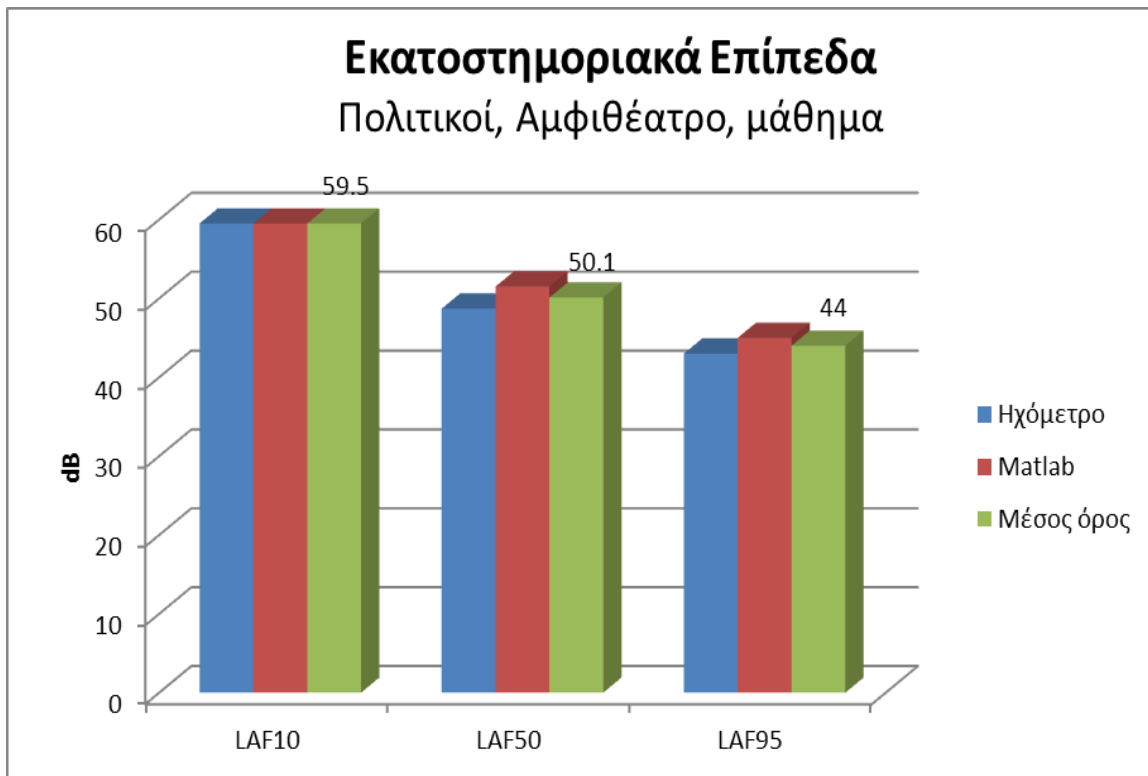
Γράφημα 4.5. 1



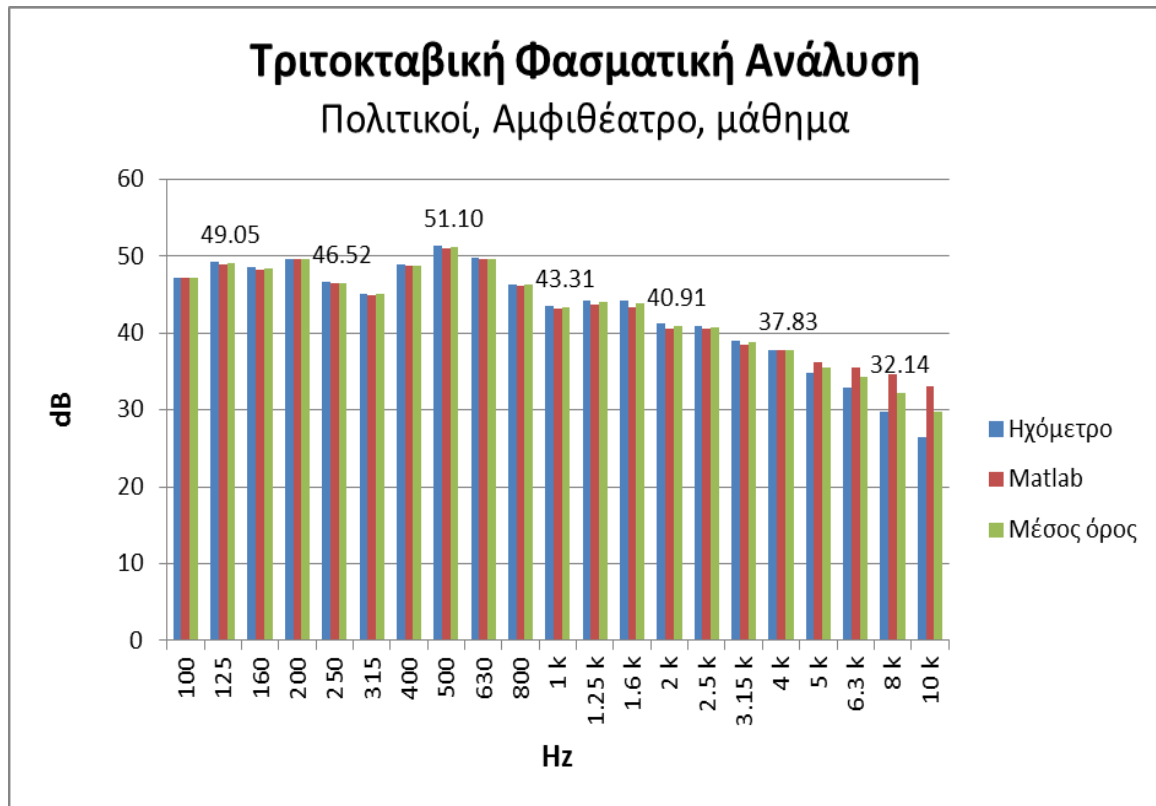
Γράφημα 4.5. 2



Γράφημα 4.5. 3



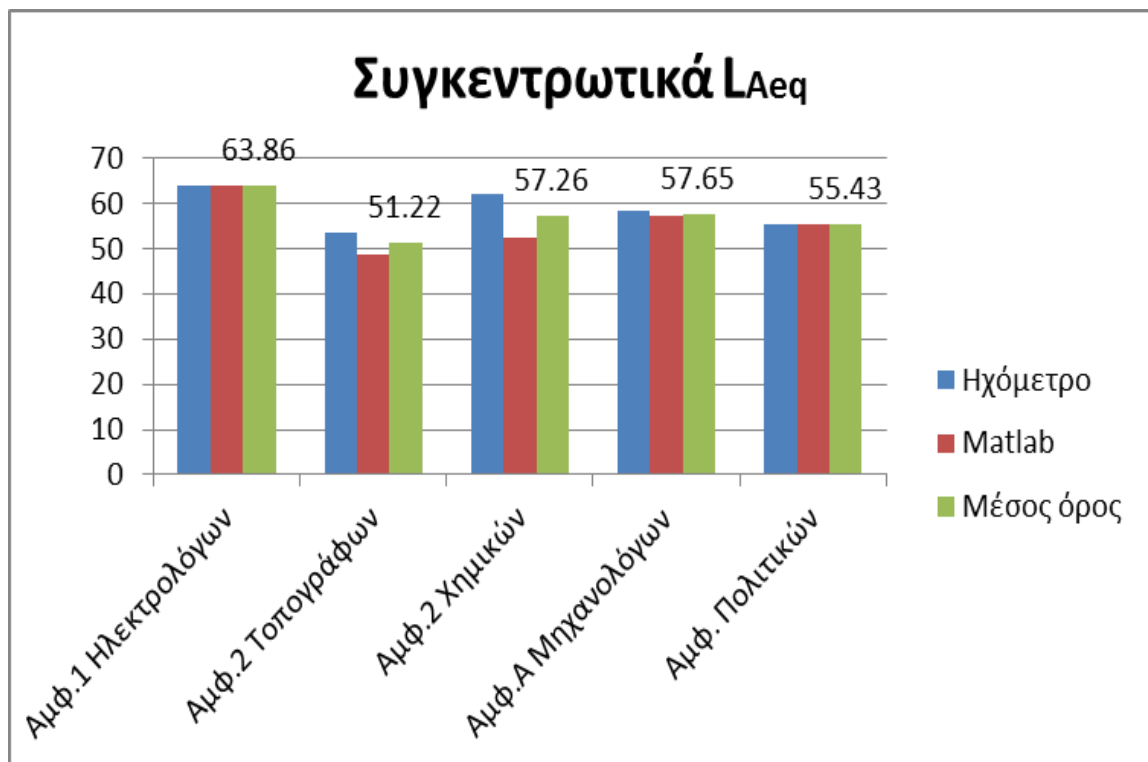
Γράφημα 4.5. 4



Γράφημα 4.5. 5

Παρατηρούμε εντυπωσιακές διαφορές μεταξύ μαθήματος και διαλείμματος. Σύμφωνα με το γράφημα 4.5.1 η ισοδύναμη ηχοστάθμη L_{Aeq} διαφέρει κατά 11dB. Από τα γραφήματα 4.5.2 και 4.5.4 οι ακραίες τιμές (L_{AF10}) διαφέρουν κατά 10dB, η μέση τιμή (L_{AF50}) που αποδίδει την ανθρώπινη ομιλία κατά 14dB και το βάθος θορύβου (L_{AF95}) επίσης κατά 18 dB. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός, ότι κατά τη διάρκεια της παράδοσης η πόρτα της εξόδου ήταν κλειστή και άνοιγε στο διάλειμμα. Γι'αυτό και αλλάζουν τόσο πολύ τα δεδομένα παρότι στο μάθημα υπήρχαν 60 φοιτητές, από τους οποίους οι 40 έφυγαν από την αίθουσα στο διάλειμμα. Αυτό σημαίνει ότι η πόρτα προστατεύει το αμφιθέατρο από τους εξωτερικούς θορύβους. Το SNR κατά τη διάρκεια της παράδοσης (πάνω από 6 μονάδες) μπορούμε να το χαρακτηρίσουμε απλά ικανοποιητικό.

Στο σημείο αυτό θα ήταν ενδιαφέρον ένας συγκεντρωτικός πίνακας για την ισοδύναμη ηχοστάθμη L_{Aeq} για τα αμφιθέατρα των πέντε σχολών κατά τη διάρκεια του μαθήματος. Για το αμφιθέατρο των Ηλεκτρολόγων χρησιμοποιήσαμε το μέσο όρο των δυο μετρήσεων που λάβαμε.



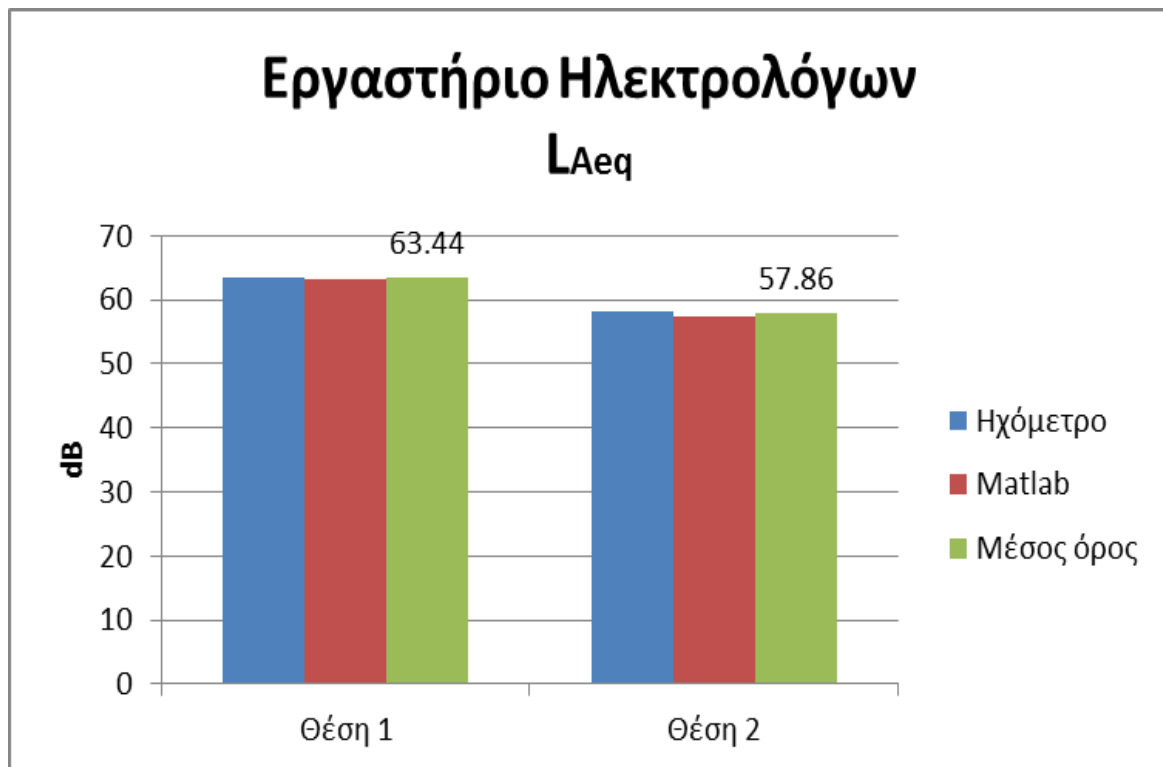
Γράφημα 4.5. 6

Σύμφωνα με το γράφημα 4.5.6 το Αμφιθέατρο 2 των Τοπογράφων παρουσιάζει την χαμηλότερη ισοδύναμη ηχοστάθμη. Αυτό πιθανόν να σχετίζεται με την κλίση του, καθότι η κύρια διαφοροποίηση του από τα άλλα αμφιθέατρα είναι η χαμηλή του κλίση. Ωστόσο, κανένα αμφιθέατρο δεν προσφέρει το επιθυμητό L_{Aeq} για αίθουσες συνεδρίων ή χώρους που απαιτούν συγκέντρωση, καθώς είχαμε αναφέρει στις προτεινόμενες τιμές ότι αυτό θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 35dB και 45dB. Μάλιστα τα L_{Aeq} όλων των σχολών εκτός των Τοπογράφων ξεπερνούν οριακά ακόμη και τη μέγιστη τιμή για καθημερινή δουλειά γραφείου που είναι τα 55dB.

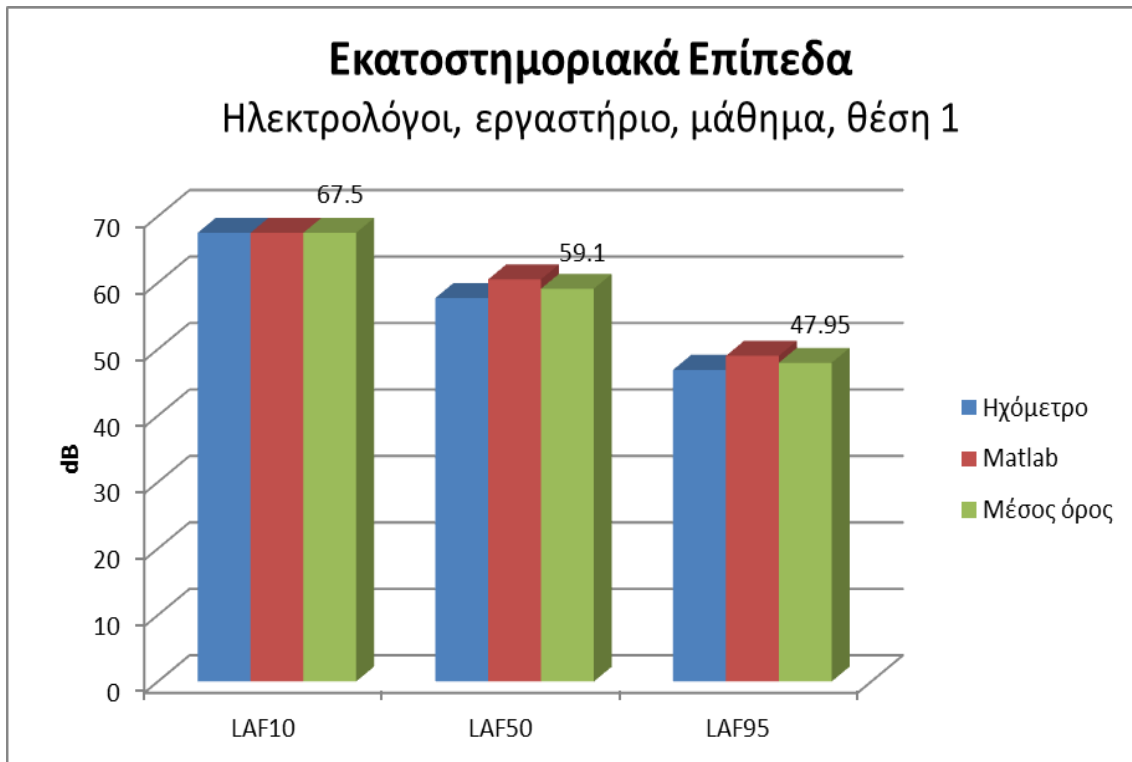
Συνοπτικά, ας θυμηθούμε ότι τον καλύτερο σηματοθορυβικό λόγο έχει το αμφιθέατρο των Μηχανολόγων, έπειτα των Χημικών, των Ηλεκτρολόγων, των Τοπογράφων και τέλος των Πολιτικών.

4.6 Εργαστήριο της σχολής των Ηλεκτρολόγων

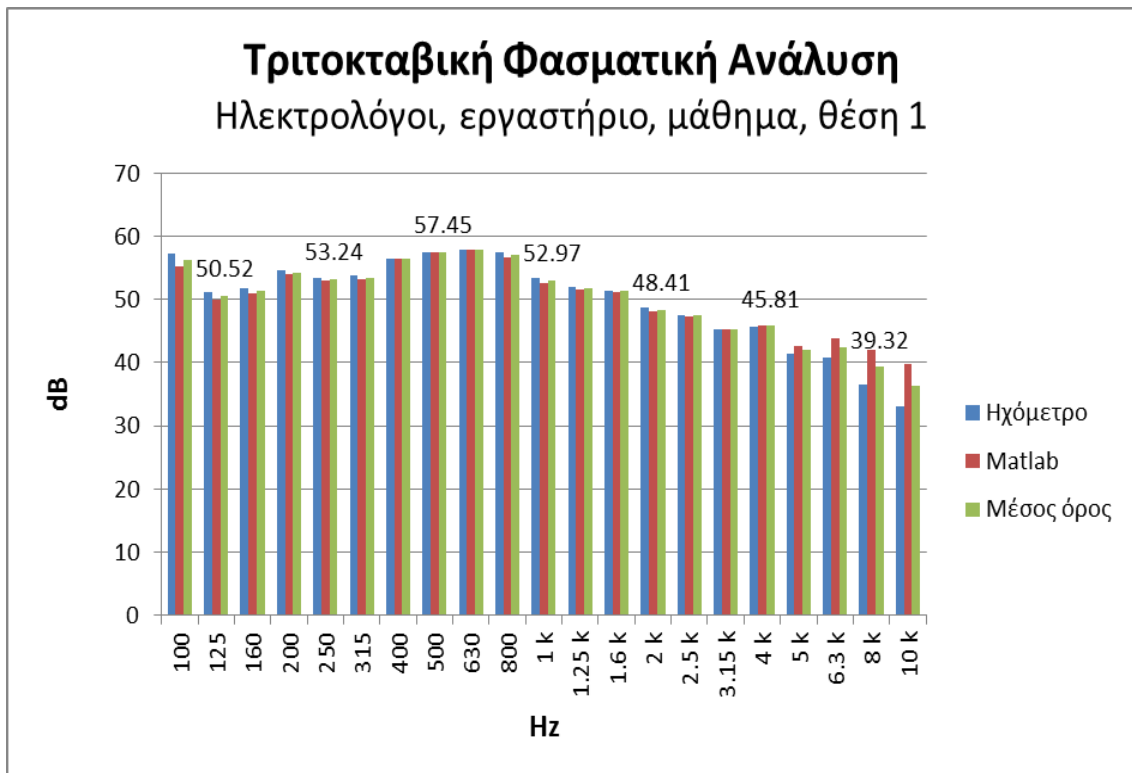
Ενδιαφέρον παρουσιάζει η ηχητική συμπεριφορά ενός εργαστηρίου της σχολής. Επιλέξαμε την αίθουσα 9, στο 2^ο όροφο των Νέων Κτιρίων Ηλεκτρολόγων, όπου υπάρχουν μηχανήματα, όπως γεννήτριες, παλμογράφοι και τροφοδοτικά, τα οποία ήταν σε λειτουργία κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, ενώ παράλληλα γινόταν παράδοση του μαθήματος στη μια άκρη της μακρόστενης αίθουσας. Υπήρχαν 50 άτομα στο εσωτερικό της και για την εξαγωγή περισσότερων συμπερασμάτων έγινε μέτρηση σε 2 σημεία. Το ένα βρισκόταν κοντά στον ομιλητή (θέση 1) και το άλλο στην απέναντι άκρη της αίθουσας, κάτω από τα παράθυρα (θέση 2).



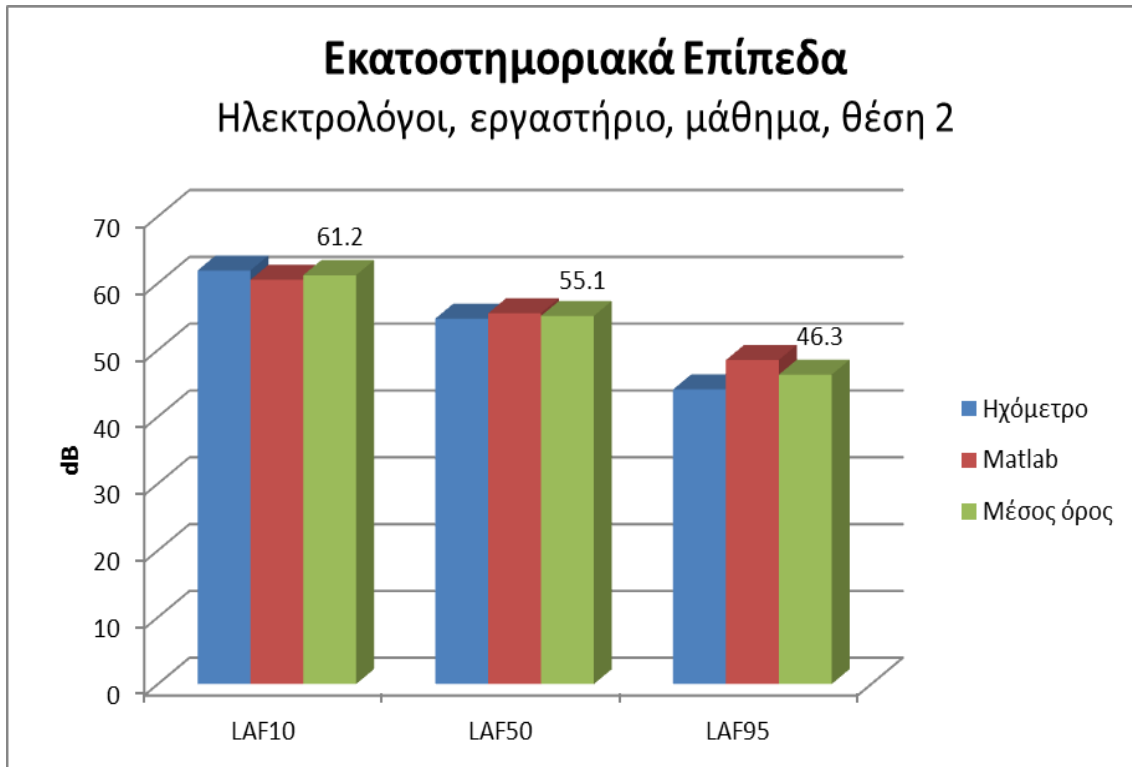
Γράφημα 4.6. 1



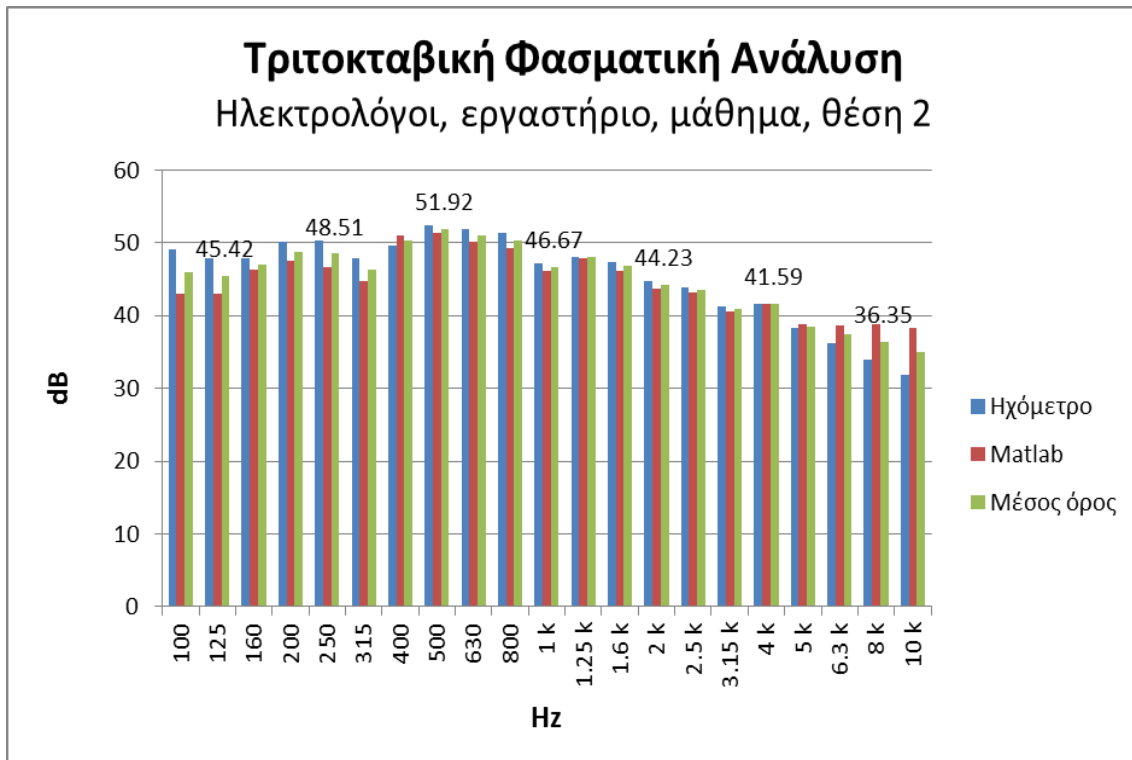
Γράφημα 4.6. 2



Γράφημα 4.6. 3



Γράφημα 4.6. 4

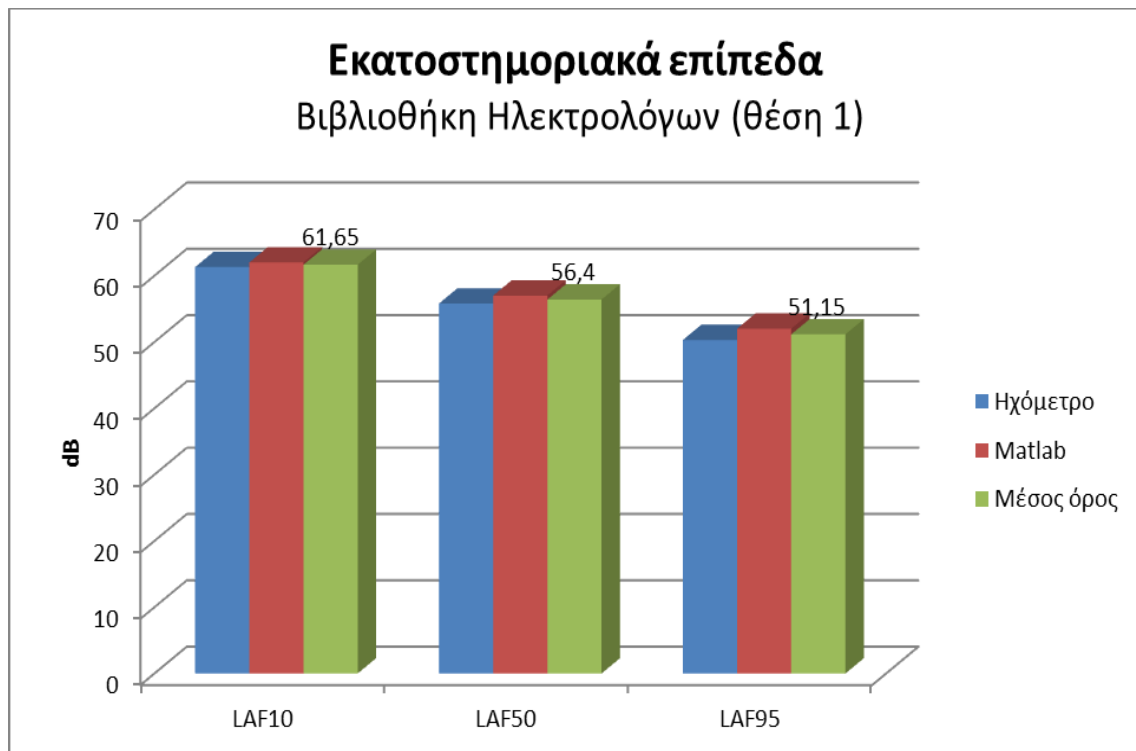


Γράφημα 4.6. 5

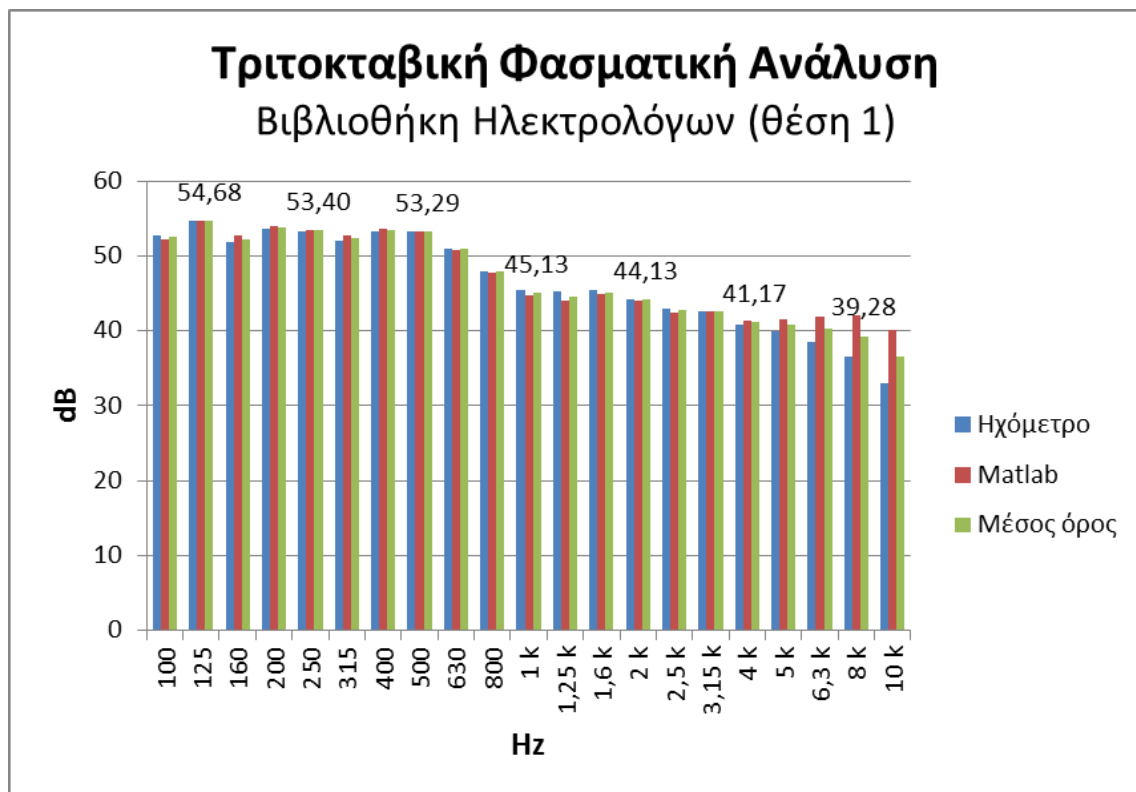
Η θέση 2 που είναι πιο απομακρυσμένη από τον ομιλητή αποδίδει μικρότερες τιμές σε όλα τα μετρούμενα μεγέθη (βλ. Γραφήματα 4.6.1 έως 4.6.5). Συγκεκριμένα, από το γράφημα 4.6.2 βλέπουμε ότι το LAF10 είναι 67,5dB, το LAF50 είναι 59,1dB και το LAF95 είναι 47,95dB. Άρα ο σηματοθορυβικός λόγος είναι γύρω στο 11. Από το 4.6.4 βλέπουμε ότι το LAF10 είναι 61,2dB, το LAF50 είναι 55,1dB και το LAF95 είναι 46,3dB. Άρα το SNR υπολογίζεται γύρω στο 9. Επομένως, ο σηματοθορυβικός λόγος στη θέση 1 είναι μεγαλύτερος κατά 2 μονάδες από τη θέση 2. Όλα τα παραπάνω συμπεράσματα είναι αναμενόμενα, καθώς η θέση 2 βρίσκεται μακρύτερα από τον ομιλητή. Η μόνη υπεροχή της δεύτερης θέσης είναι οι μικρότερες ακραίες τιμές θορύβου, που όμως δεν παίζουν ιδιαίτερο ρόλο στην επιβάρυνση των φοιτητών, καθώς κυμαίνονται ούτως ή άλλως σε ήπια όρια.

Σε αυτή την αίθουσα, δεν έχει προσεγγιστεί η επιθυμητή προτεινόμενη τιμή για το LAeq, ούτε για το υπόστρωμα θορύβου. Μπορούμε να θεωρήσουμε κάτι τέτοιο δικαιολογημένο, λόγω των μηχανημάτων που ήταν σε λειτουργία, αλλά και των πιο «χαλαρών» συνθηκών διδασκαλίας, που επιτρέπει στους φοιτητές να ψιθυρίζουν μεταξύ τους. Ωστόσο πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν, καθώς οι φοιτητές καλούνται να περάσουν αρκετές ώρες στον χώρο αυτό προκειμένου να φέρουν σε πέρας τις εργασίες που τους ζητούνται, γεγονός που απαιτεί συγκέντρωση και ιδιαίτερη προσπάθεια.

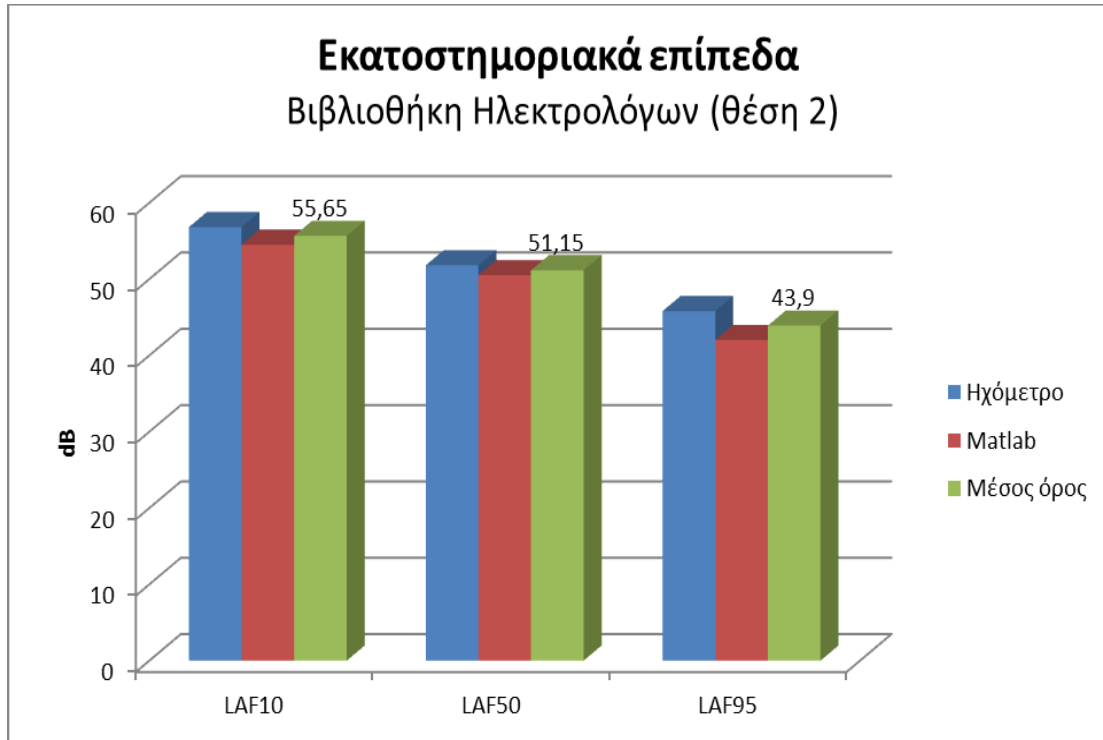
4.7 Βιβλιοθήκη της σχολής των Ηλεκτρολόγων



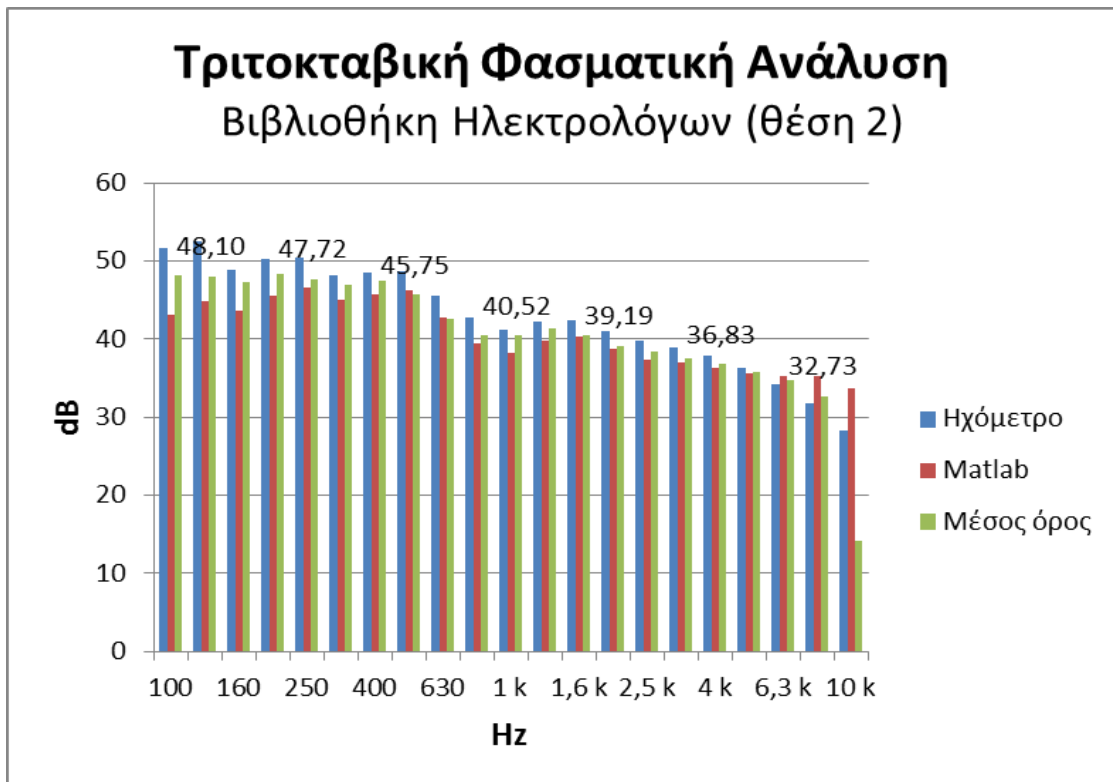
Γράφημα 4.7. 1



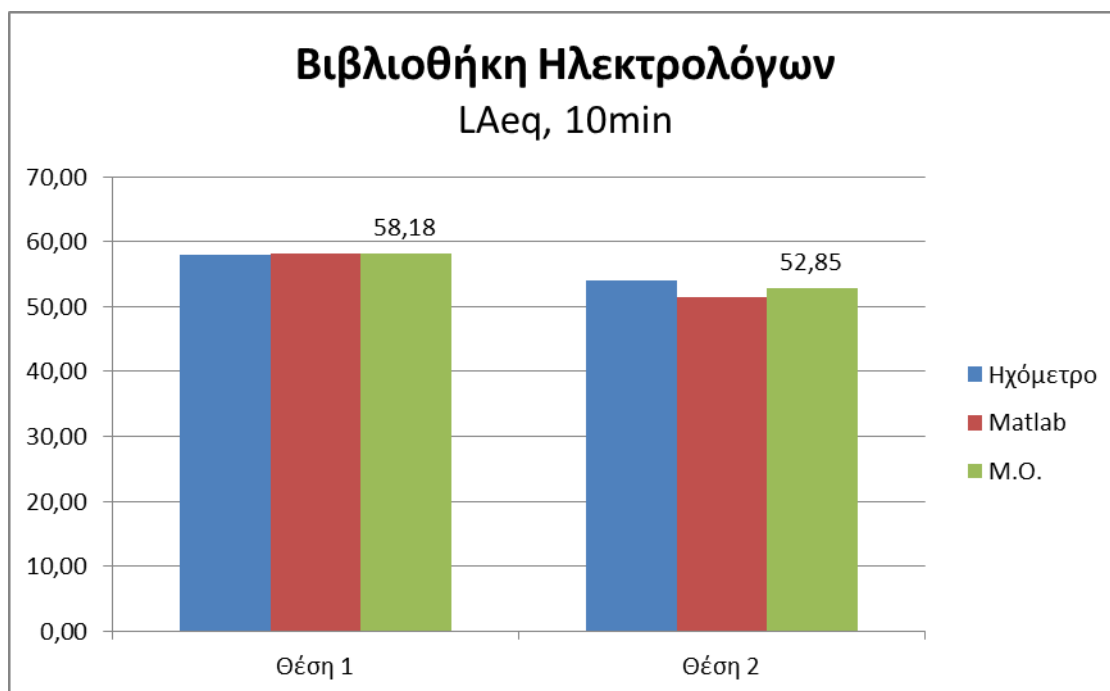
Γράφημα 4.7. 2



Γράφημα 4.7. 3



Γράφημα 4.7. 4



Γράφημα 4.7. 5

Κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων στη βιβλιοθήκη των Ηλεκτρολόγων υπήρχαν μέσα 20 άτομα ενώ γενικότερα χωράνε περίπου 45 με 50. Τα επίπεδα του θορύβου βάθους LAF95 στη θέση 1 είναι μεγαλύτερα από τη θέση 2 όπως προκύπτει από τα γραφήματα 4.7.1 και 4.7.3. Αυτό συμβαίνει διότι η θέση 1 βρίσκεται στο κέντρο της βιβλιοθήκης, άρα πιο κοντά στο φωτοτυπικό και στο χώρο που εργάζονται οι υπάλληλοι, όπου υπάρχουν υπολογιστές και διάφορα άλλα μηχανήματα. Επίσης από τη θέση αυτή λαμβάναμε και το θόρυβο που προερχόταν από τους προσωπικούς υπολογιστές των φοιτητών (ανεμιστηράκια) από όλες τις κατευθύνσεις. Η θέση 2 βρίσκεται στο βάθος του χώρου και πιο κοντά στα παράθυρα, επομένως ένα μέρος του θορύβου έφτανε πιο εξασθενημένο έχοντας ως αποτέλεσμα χαμηλότερο θόρυβο βάθους.

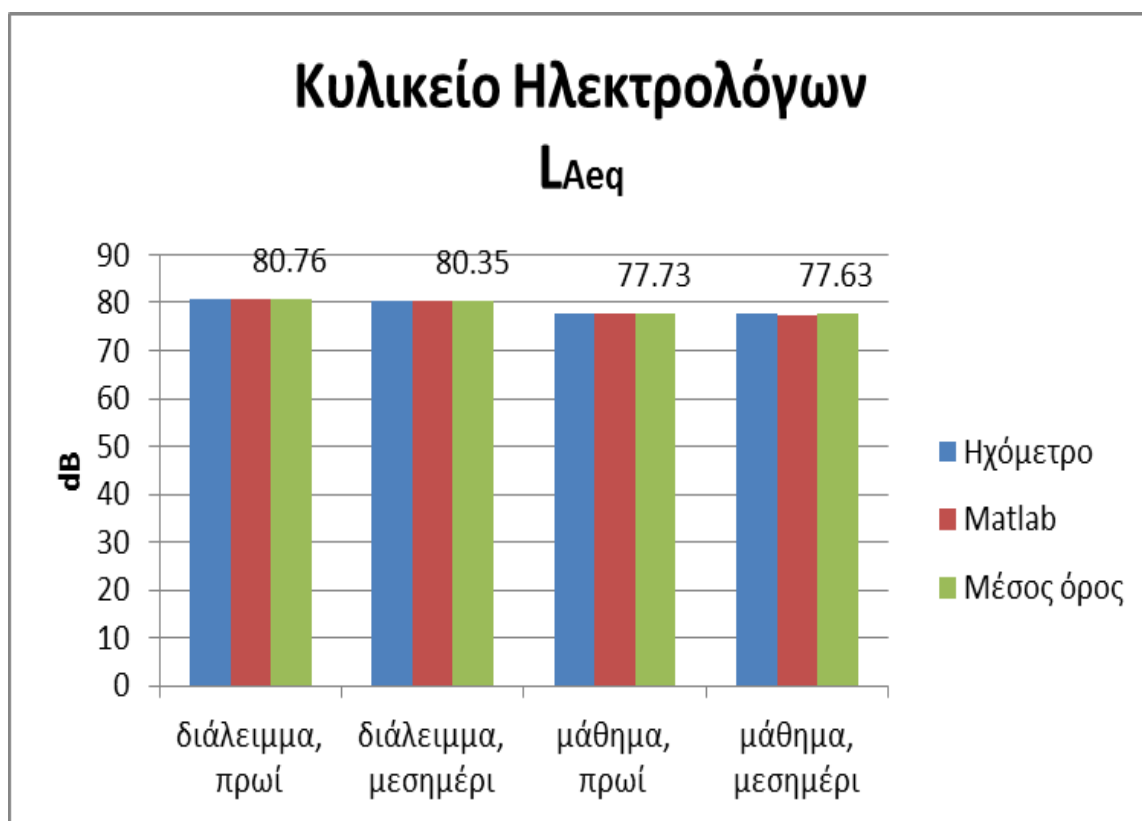
Παρατηρούμε πως το κύριο μέρος του θορύβου μας εκπέμπεται στις χαμηλότερες συχνότητες (γράφημα 4.7.2, 4.7.4), πράγμα λογικό αφού τον αποτελούν οι χαμηλές σε ένταση (λόγω του χώρου) συνομιλίες των φοιτητών. Η μέση τιμή του LAF50, είναι λίγο μεγαλύτερη στο πρώτο γράφημα 4.7.1 εξαιτίας της ιδιαιτερότητας της θέσης 1 έναντι της 2. Κυμαίνεται κοντά στα 55dB, ποσό απολύτως λογικό αν συμβουλευτούμε το διάγραμμα της σελίδας 14, που υποδεικνύει πως 50dB είναι το επίπεδο του θορύβου σε ένα ήσυχο γραφείο. Από τα γραφήματα παρατηρούμε μια φυσιολογική κατανομή της έντασης χωρίς την εμφάνιση ακραίων τιμών.

4.8 Κυλικείο της σχολής των Ηλεκτρολόγων

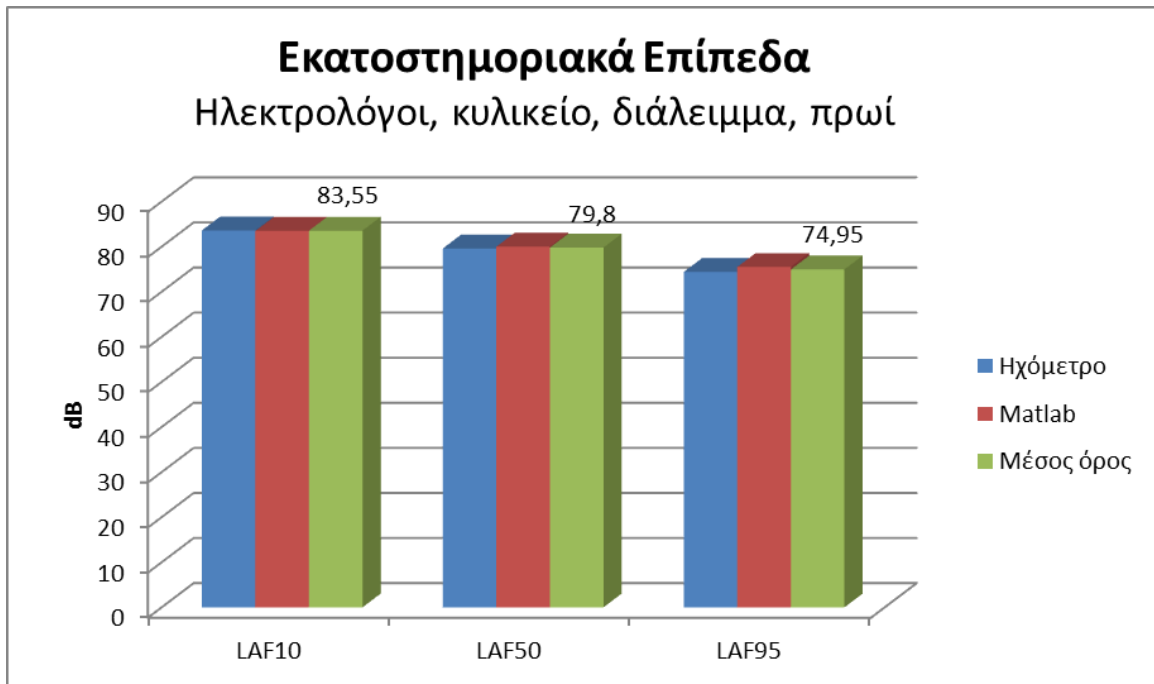
Το κυλικείο των Ηλεκτρολόγων συγκεντρώνει ένα μεγάλο αριθμό φοιτητών, στα διαλείμματα των παραδόσεων, ιδιαίτερα των πρωϊνών, οι οποίοι εισρέουν για να πάρουν ένα ρόφημα ή ένα πρόχειρο γεύμα. Μάλιστα αξιοποιούν αυτό το χρόνο για την κοινωνικοποίησή τους, συζητώντας μεταξύ τους.

Κατά την πρωϊνή μέτρηση στο διάλειμμα υπήρχαν κατά μέσο όρο 80 άτομα στο χώρο, ενώ στο μάθημα μόλις 25. Το μεσημέρι η κατάσταση μετριάστηκε με 22 άτομα εν ώρα μαθήματος και 35 άτομα στο διάλειμμα.

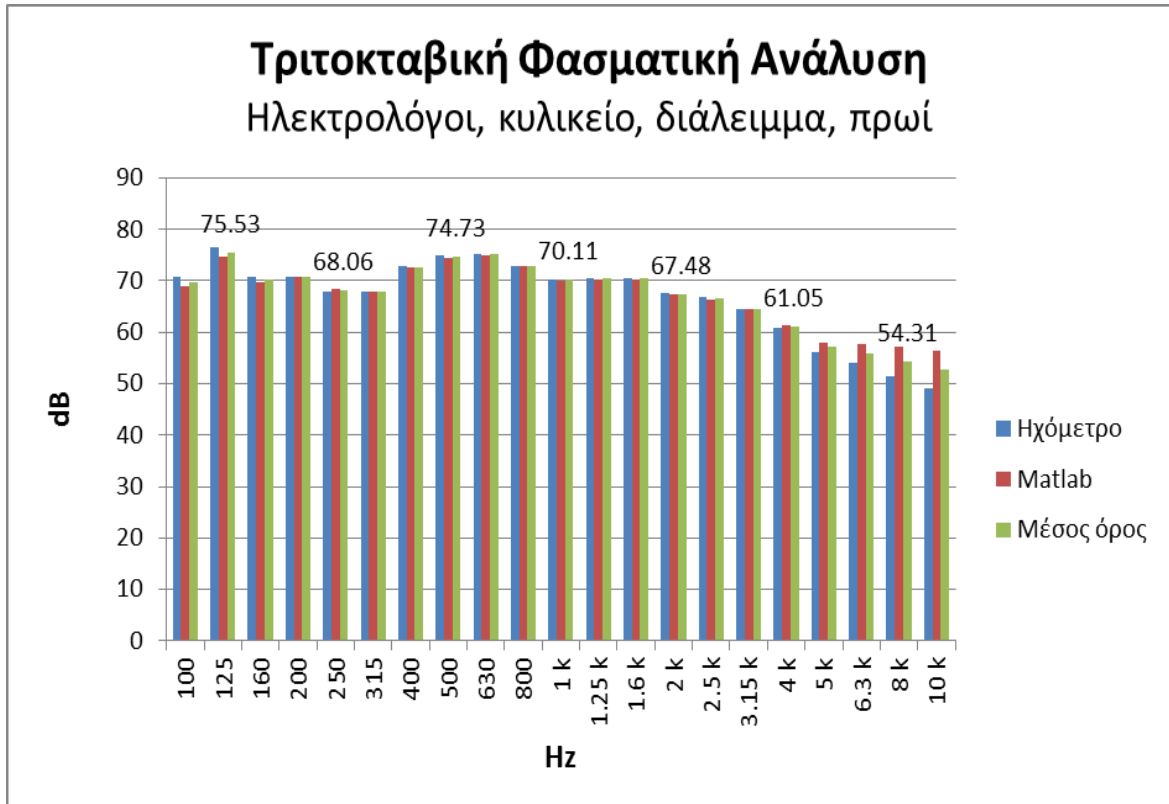
Αξίζει να σημειωθεί ότι σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων υπήρχε δυνατή μουσική στο χώρο.



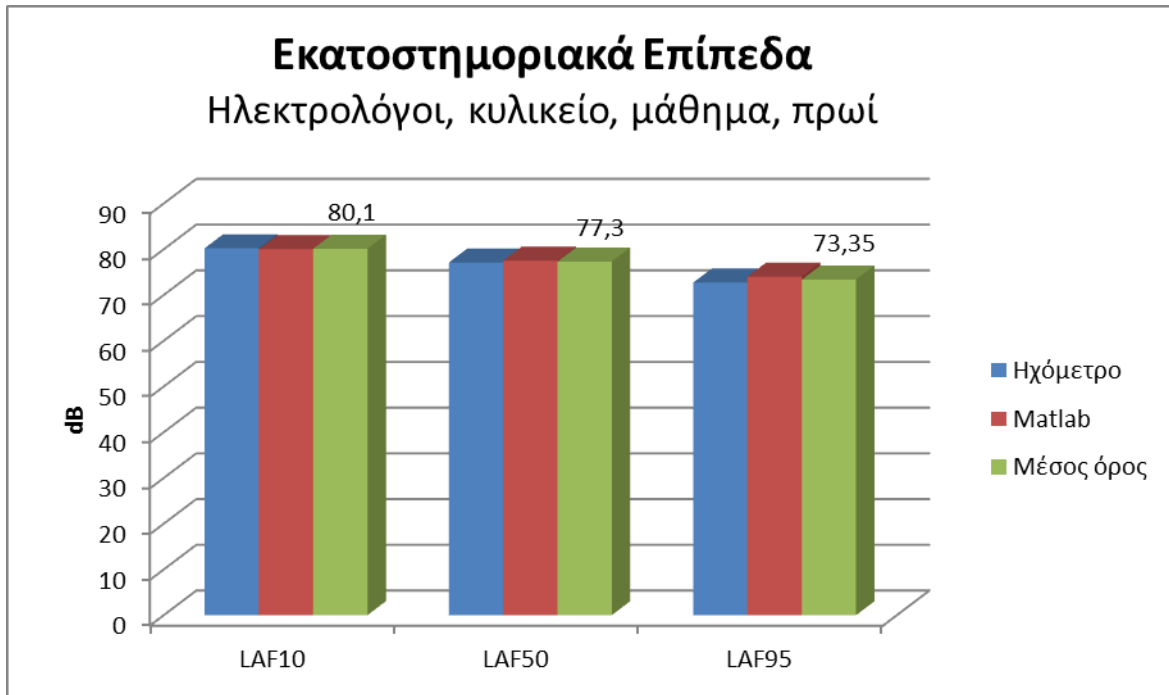
Γράφημα 4.8. 1



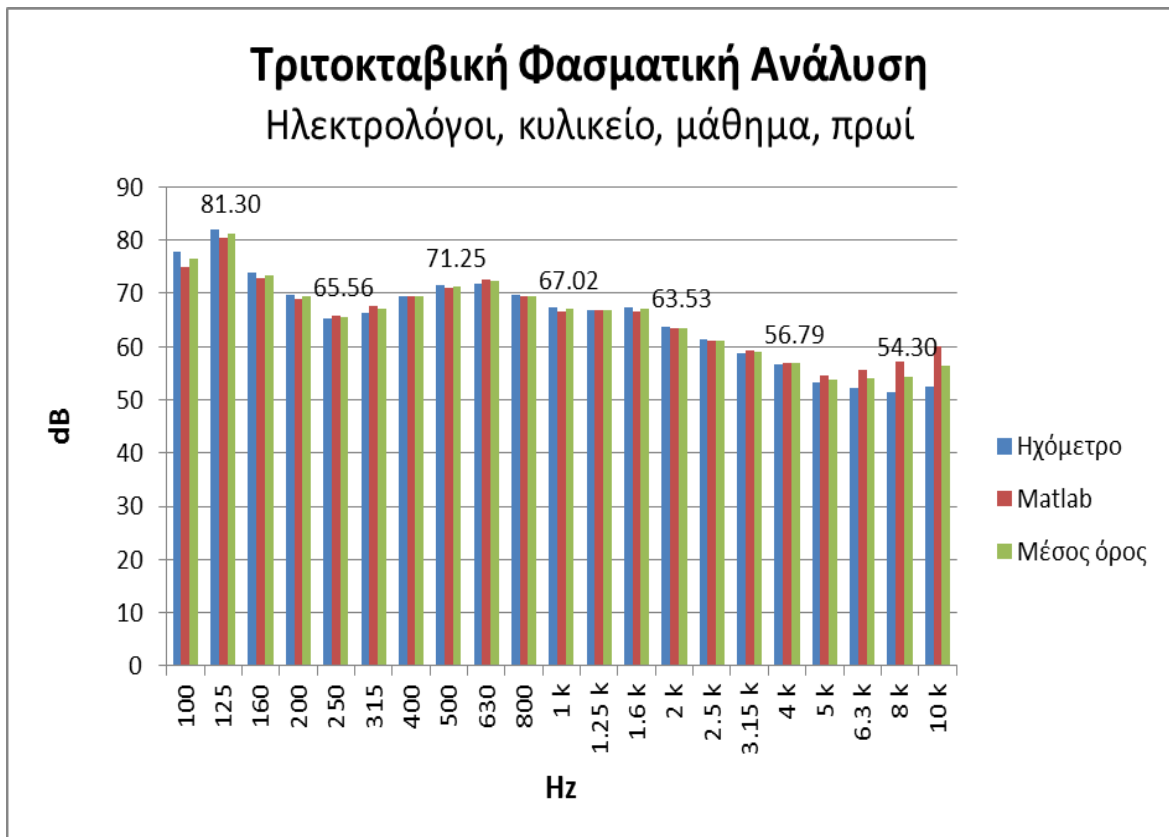
Γράφημα 4.8. 2



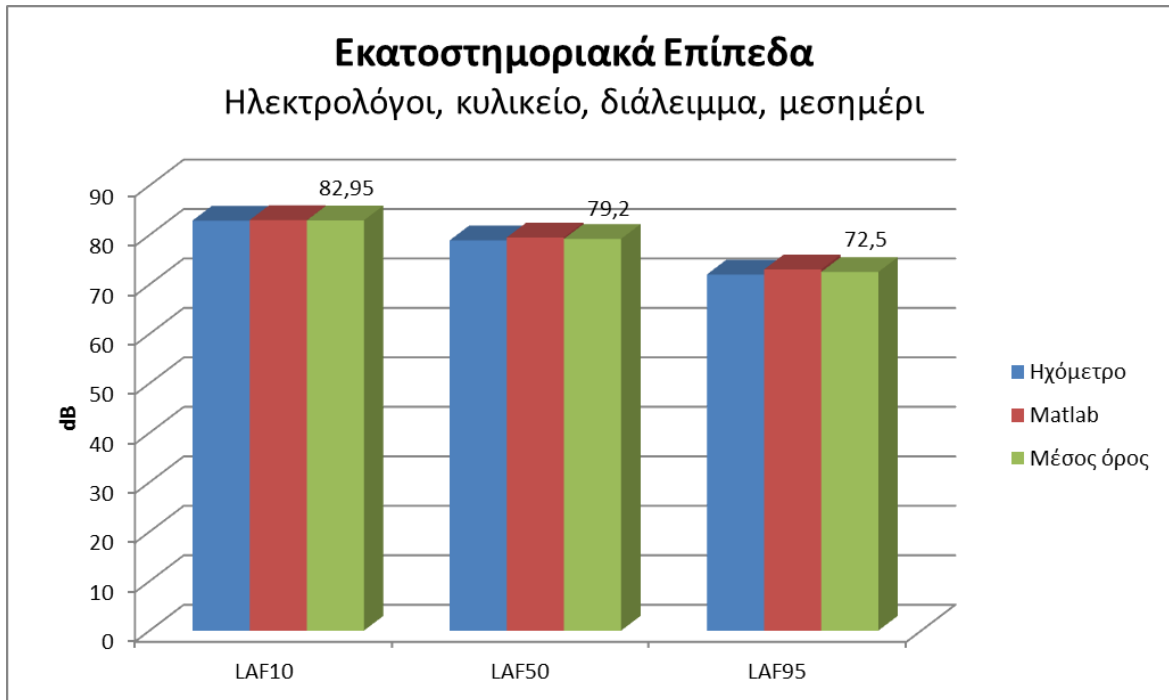
Γράφημα 4.8. 3



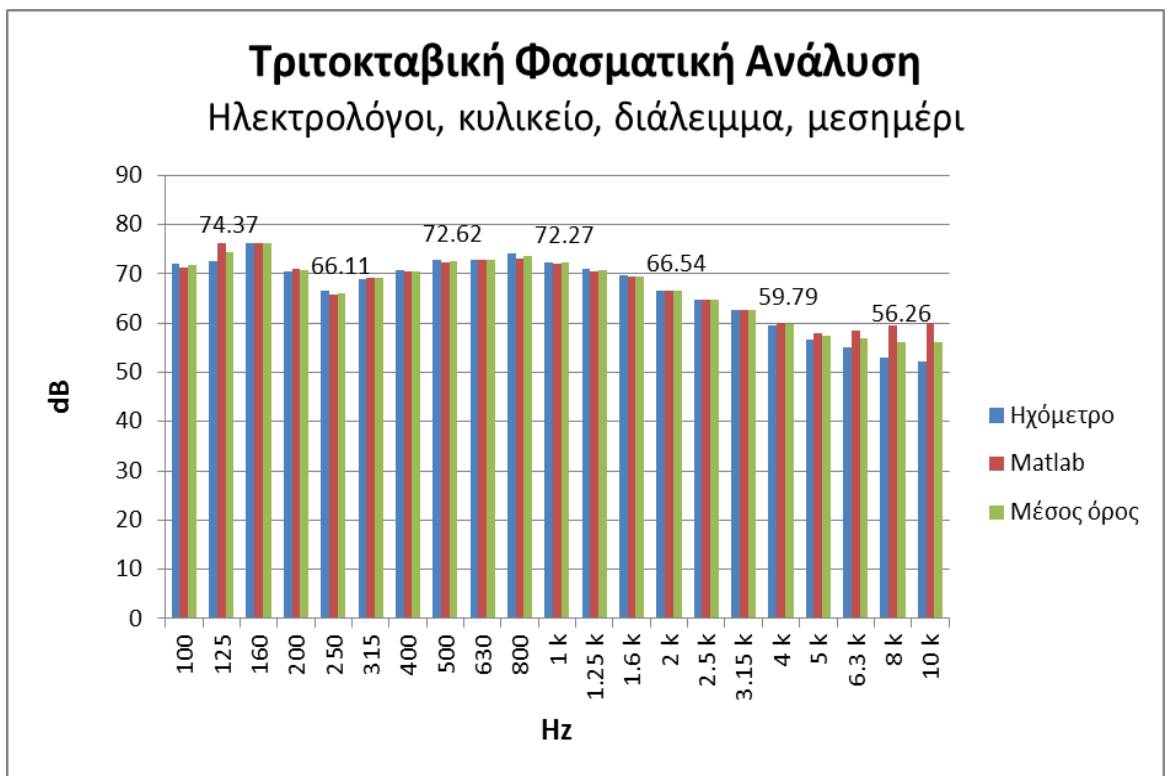
Γράφημα 4.8. 4



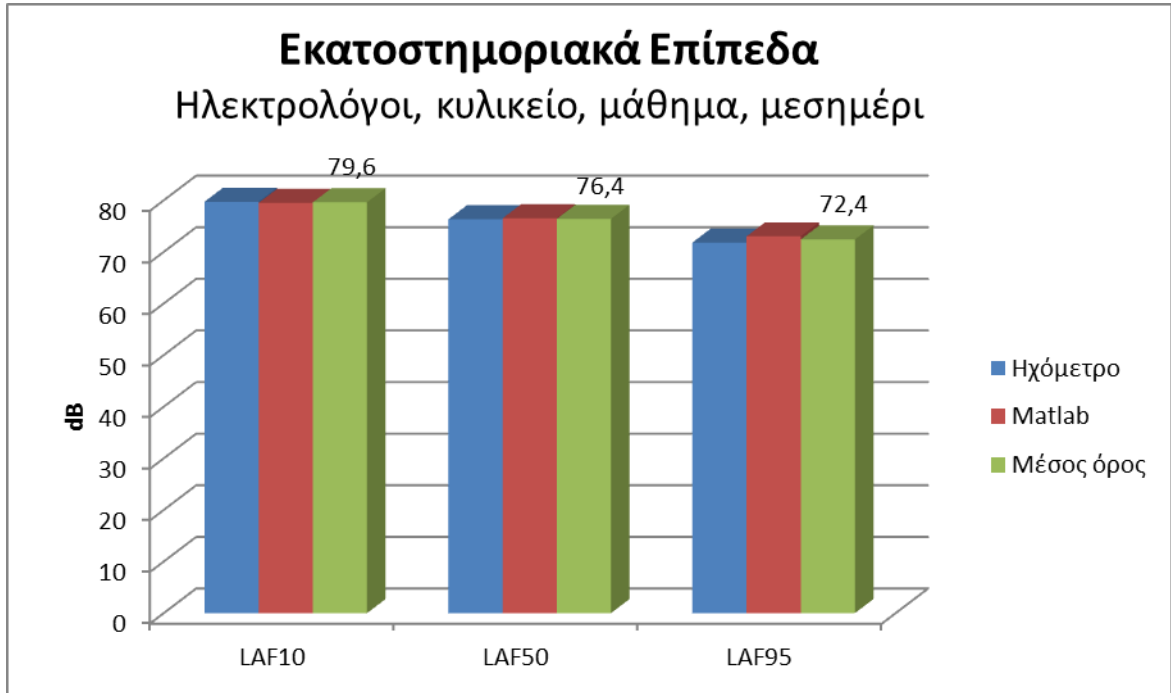
Γράφημα 4.8. 5



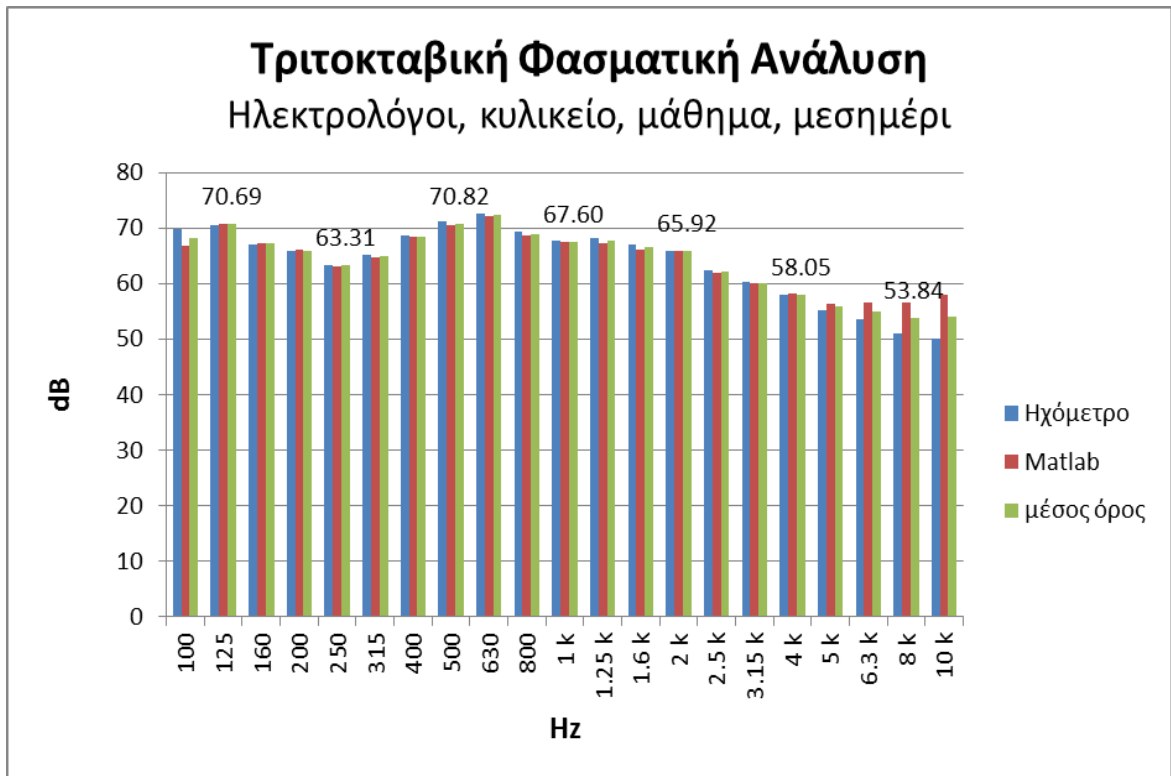
Γράφημα 4.8. 6



Γράφημα 4.8. 7



Γράφημα 4.8. 8



Γράφημα 4.8. 9

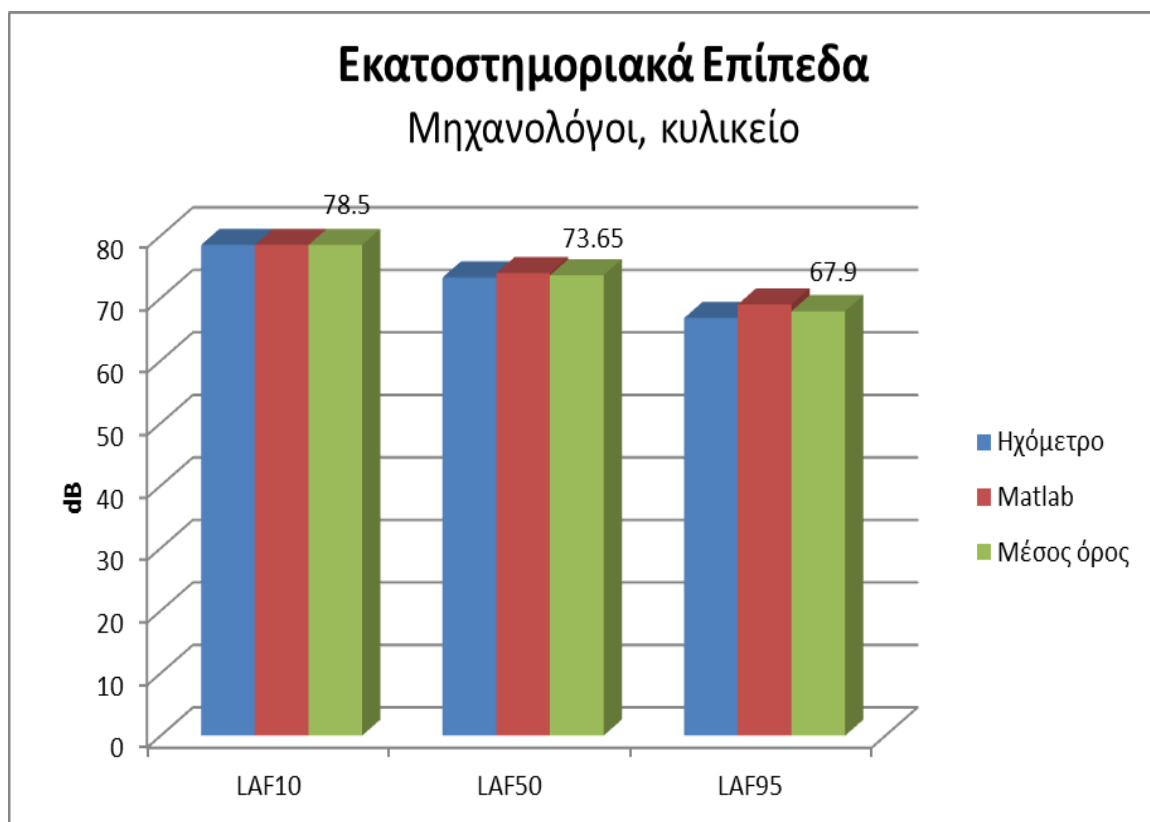
Τα συμπεράσματά μας για το χώρο του κυλικείου, βάσει των γραφημάτων 4.8.1 έως 4.8.9 είναι τα εξής:

Η αντιληπτότητα της ομιλίας είναι επαρκής για έναν τέτοιο χώρο, που δεν απαιτεί πνευματική εργασία και συγκέντρωση, ωστόσο ο θόρυβος αγγίζει πολύ υψηλές τιμές. Αυτό δε φαίνεται να επηρεάζεται από τη συγκέντρωση των ατόμων στο χώρο, διότι τότε θα ξεχώριζε στη φασματική ανάλυση (βλ. 4.8.3, 4.8.5, 4.8.7, 4.8.9) το πεδίο γύρω από τα 500Hz. Οι τιμές αυτού του πεδίου θα συνέπιπταν σε αυτήν την περίπτωση με τη μέση τιμή (LAF50) του θορύβου (βλ. γραφήματα 4.8.2, 4.8.4, 4.8.6, 4.8.8), ωστόσο δεν βλέπουμε κάτι τέτοιο να συμβαίνει. Κανένα μέγεθος δεν φαίνεται να αυξομειώνεται αναλογικά με την πυκνότητα των ατόμων.

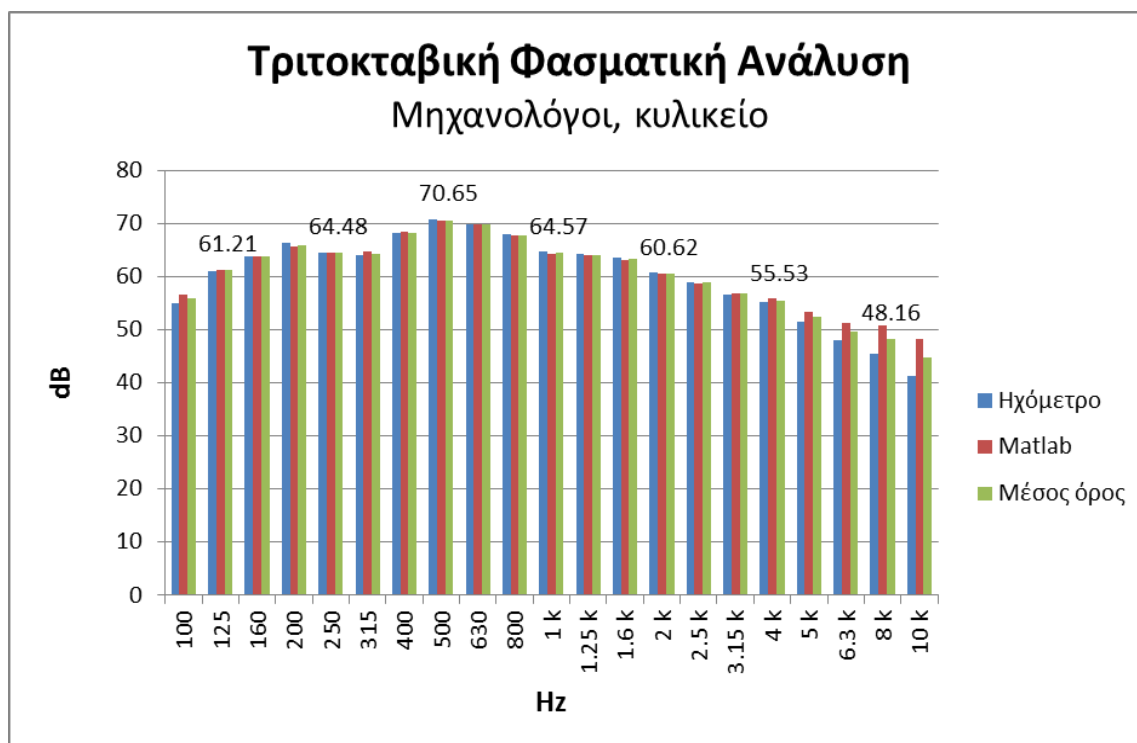
Άρα η κυρίαρχη και ενδεχομένως μοναδική συνιστώσα που καθορίζει τον όγκο του θορύβου είναι η μουσική υπόκρουση και τα μηχανήματα παρασκευής προϊόντων που βρίσκονται σε πλήρη λειτουργία. Αυτό το συμπέρασμα επιστεγάζεται και από την παρατήρηση ότι στα διαλείμματα υπάρχει μια μικρή αύξηση της ισοδύναμης στάθμης κατά 3dB (γράφημα 4.8.1). Αυτό οφείλεται στο ότι ο ιδιοκτήτης της επιχείρησης δυναμώνει την ένταση της μουσικής όταν προσέρχονται οι φοιτητές από το μάθημα. Τέλος παρατηρούμε ότι το πρώτο peak της φασματικής ανάλυσης που βρίσκεται στα 125Hz σχετίζεται με τα μπάσα της μουσικής.

4.9 Κυλικείο της σχολής των Μηχανολόγων

Ο χώρος αυτός αποτελείται από δύο ορόφους. Στον κάτω όροφο γίνονται οι παραγγελίες και υπάρχουν τα μηχανήματα του καταστήματος και στον επάνω όροφο είναι τα τραπεζοκαθίσματα. Επιλέξαμε τον επάνω όροφο για τη λήψη των μετρήσεών μας καθώς αυτός φιλοξενεί τους φοιτητές για περισσότερο χρονικό διάστημα. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης υπήρχαν 25 άτομα στο χώρο.



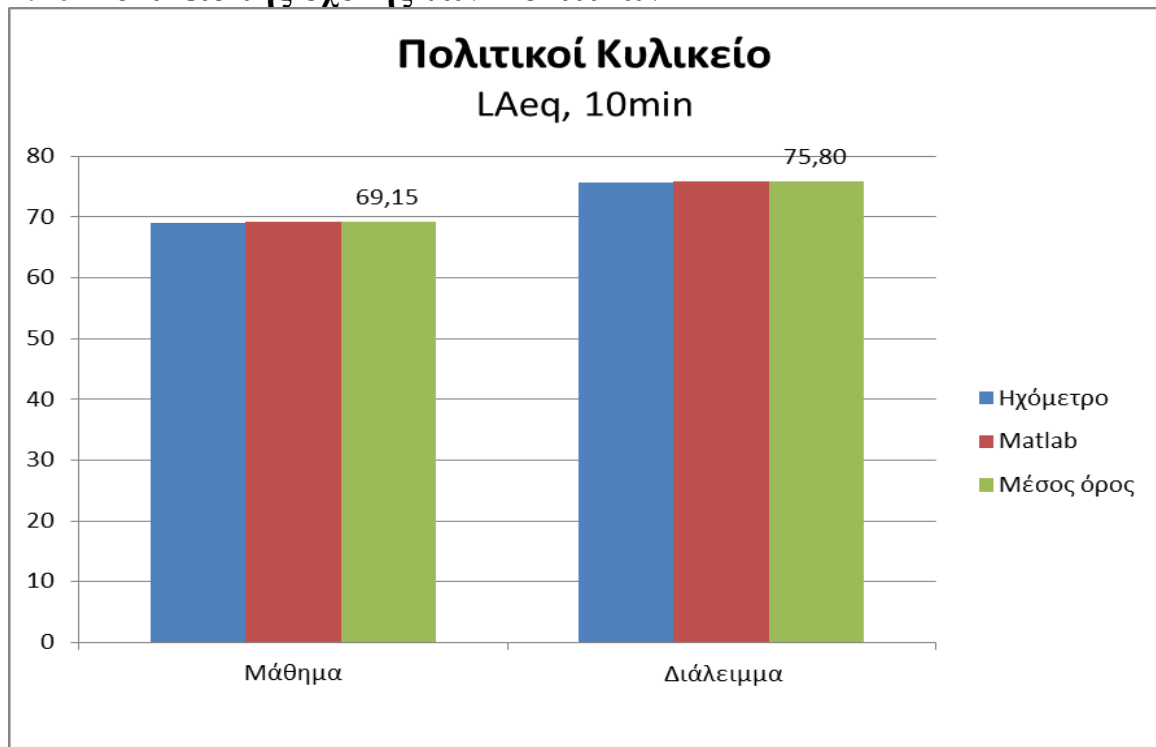
Γράφημα 4.9. 1



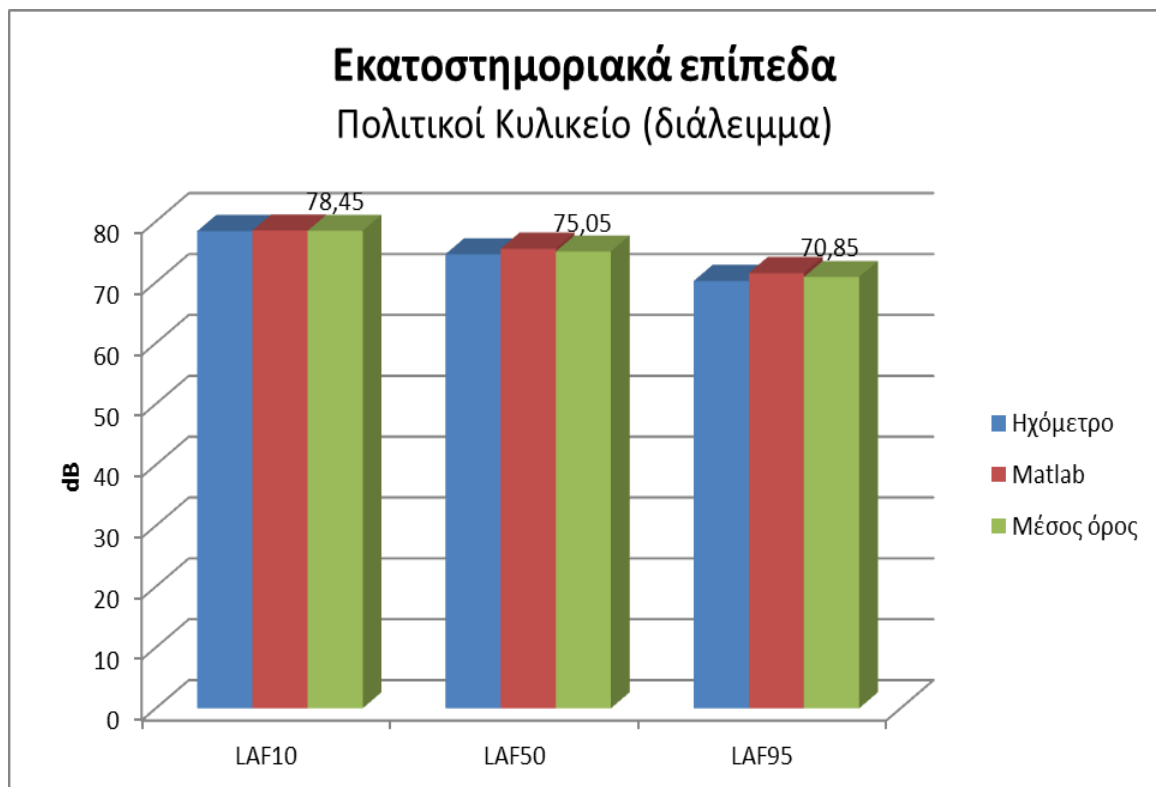
Γράφημα 4.9. 2

Οι ακραίες τιμές (LAF10) που αποτυπώνονται στο γράφημα 4.9.1 ξεκινούν από τα 78,5dB. Οι φοιτητές λόγω του θορύβου που καταφθάνει από τον κάτω όροφο συζητούν μεγαλόφωνα αλλά ακούγονται επαρκώς. Σε αυτό το συμπέρασμα μας οδηγεί ο υψηλός θόρυβος βάθους (LAF95) και η ταυτόχρονα υψηλή μέση τιμή του θορύβου (LAF50), σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το βασικό συχνοτικό περιεχόμενο εντοπίζεται στη ζώνη των 500 Hz, ζώνη κοντά στα επίπεδα της ανθρώπινης ομιλίας (γράφημα 4.9.2).

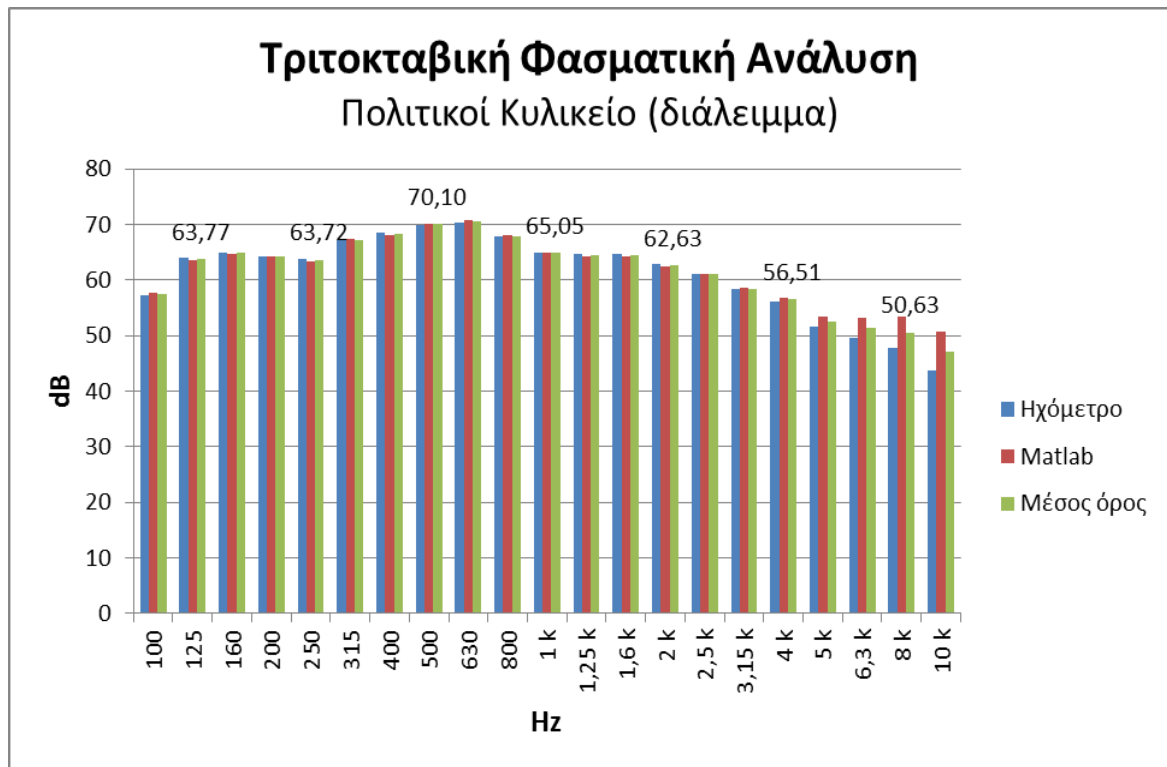
4.10 Κυλικείο της σχολής των Πολιτικών



Γράφημα 4.10. 1



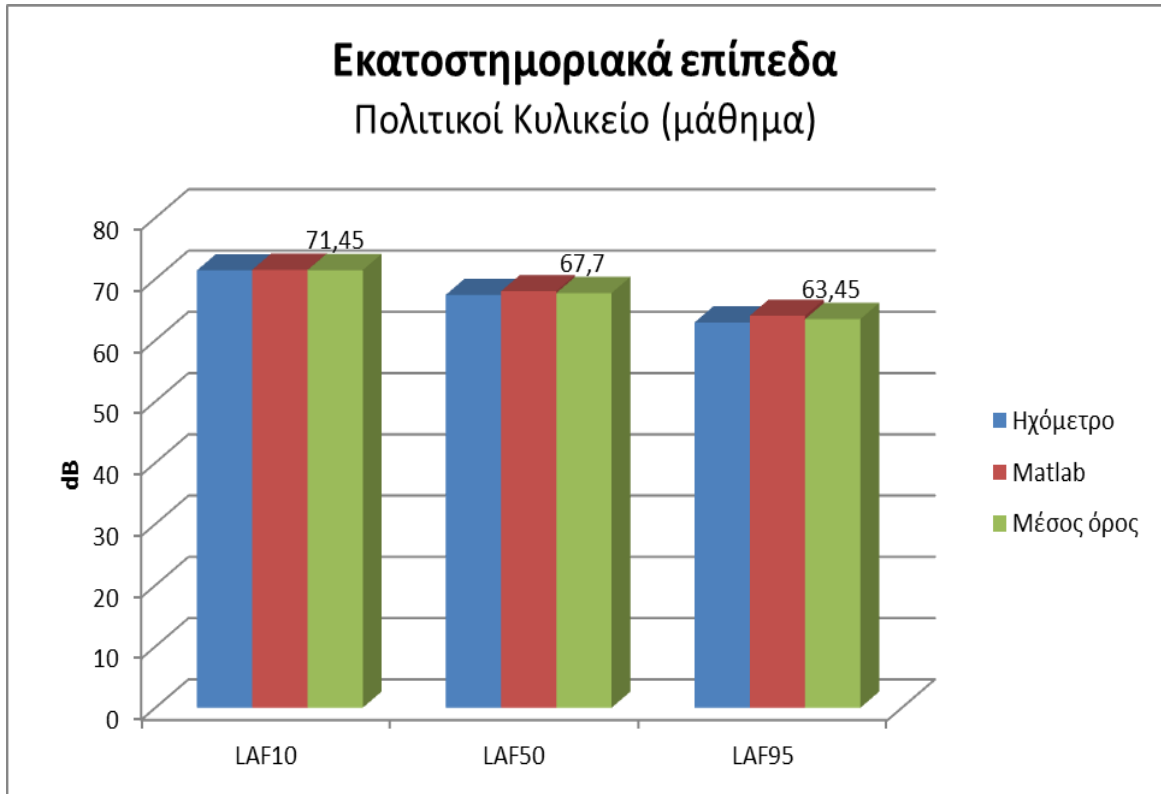
Γράφημα 4.10. 2



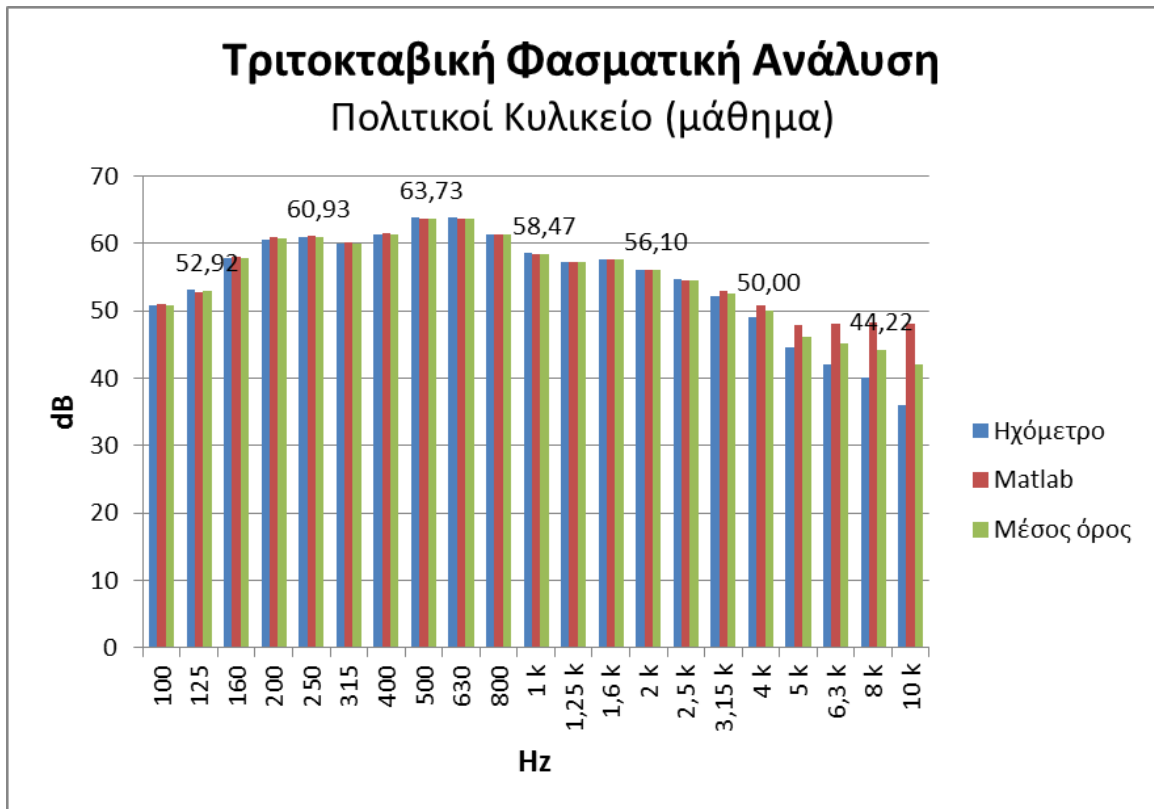
Γράφημα 4.10. 3

Το κυλικείο των Πολιτικών Μηχανικών είναι ίσως το μεγαλύτερο στο χώρο του Πολυτεχνείου και για αυτό παρατηρούμε πως το μέσο επίπεδο της ακουστικής έντασης LAF50 (γράφημα 4.10.2), είναι σχετικά υψηλό λόγω της μεγάλης προσέλευσης φοιτητών κατά τη διάρκεια του διαλείμματος.

Ο θόρυβος βάθους LAF95 είναι και αυτός αυξημένος εξαιτίας των διάφορων μηχανολογικών και ηλεκτρικών εγκαταστάσεων του κυλικείου, όπως το σύστημα εξαερισμού και κλιματισμού καθώς και τα διάφορα μηχανήματα όπως ψυγεία και μικροί φούρνοι. Σημαντικό ρόλο επίσης σε αυτήν την αύξηση παίζει και η μουσική που υπάρχει στο χώρο από το ηχοσύστημα του κυλικείου σε συνδυασμό με τον συνωστισμό των φοιτητών που παρατηρείται. Ιδιαίτερα ακραίες τιμές δεν παρατηρούνται για τη φύση του συγκεκριμένου χώρου και τα επίπεδα του LAF10 κυμαίνονται σε λογικά επίπεδα. Από το γράφημα της φασματικής ανάλυσης 4.10.3 παρατηρούμε τη συγκέντρωση του θορύβου στις χαμηλες συχνότητες διότι σε αυτές τις συχνότητες εκπέμπει η ανθρώπινη φωνή που αποτελεί και τον κυρίαρχο θόρυβο.



Γράφημα 4.10. 4

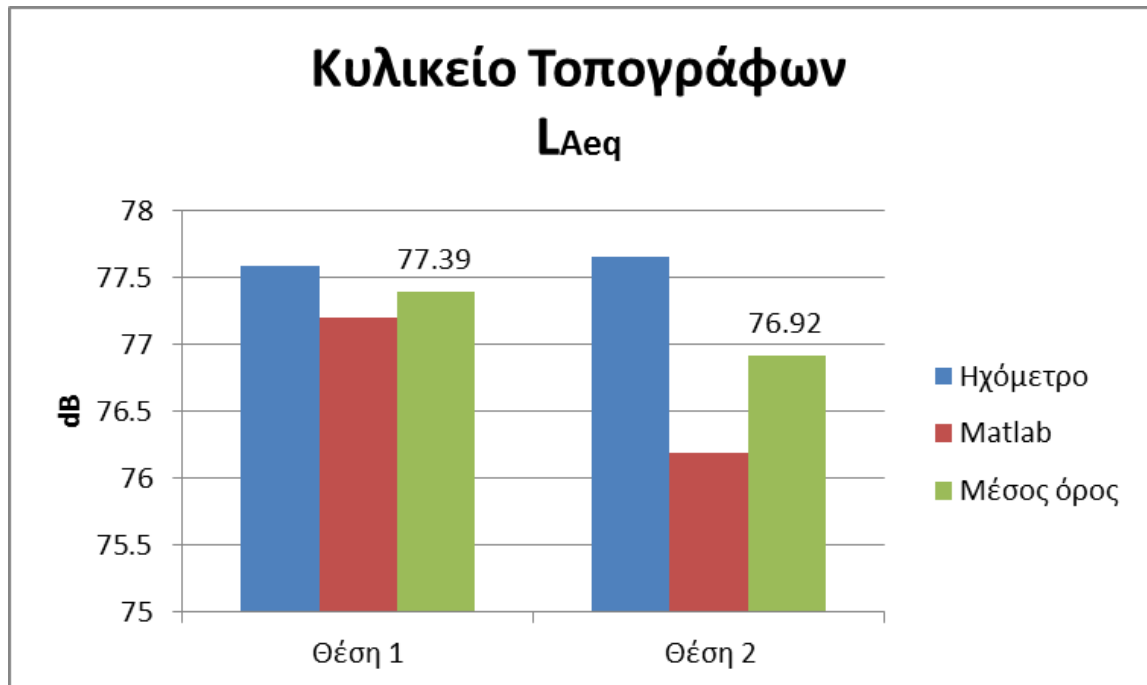


Γράφημα 4.10. 5

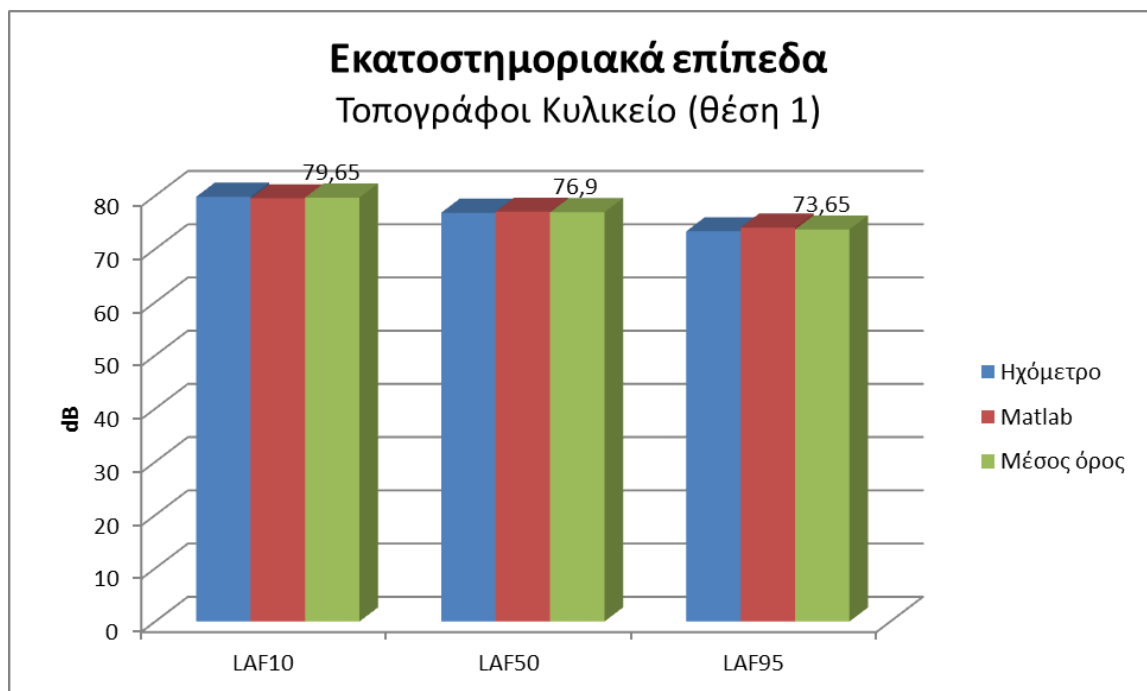
Όπως ακριβώς το αναμέναμε, τα επίπεδα του θορύβου στο κυλικείο κατά τη διάρκεια του μαθήματος είναι εμφανώς μειωμένα όπως φαίνεται από τη σύγκριση των γραφημάτων 4.10.2 και 4.10.4 καθώς επίσης και από τα συνολικά ενεργειακά επίπεδα του LAeq στο καθένα (βλ γραφήματα 4.10.3, 4.10.5).

Ο θόρυβος βάθους συνεχίζει να είναι σημαντικός χωρίς να αυξάνεται περαιτέρω λόγω απώλειας της οχλαγωγίας που υπήρχε κατά τη διάρκεια του διαλείμματος. Επομένως τώρα οφείλεται σχεδόν εξολοκλήρου στο θόρυβο των μηχανημάτων του χώρου. Παρατηρούμε επίσης πως η κυματομορφή της φασματικής ανάλυσης έχει τη ίδια μορφή και στις δύο περιπτώσεις, με μόνη διαφορά πως τα επίπεδα των dB στο μάθημα είναι χαμηλότερα εκείνων του διαλείμματος.

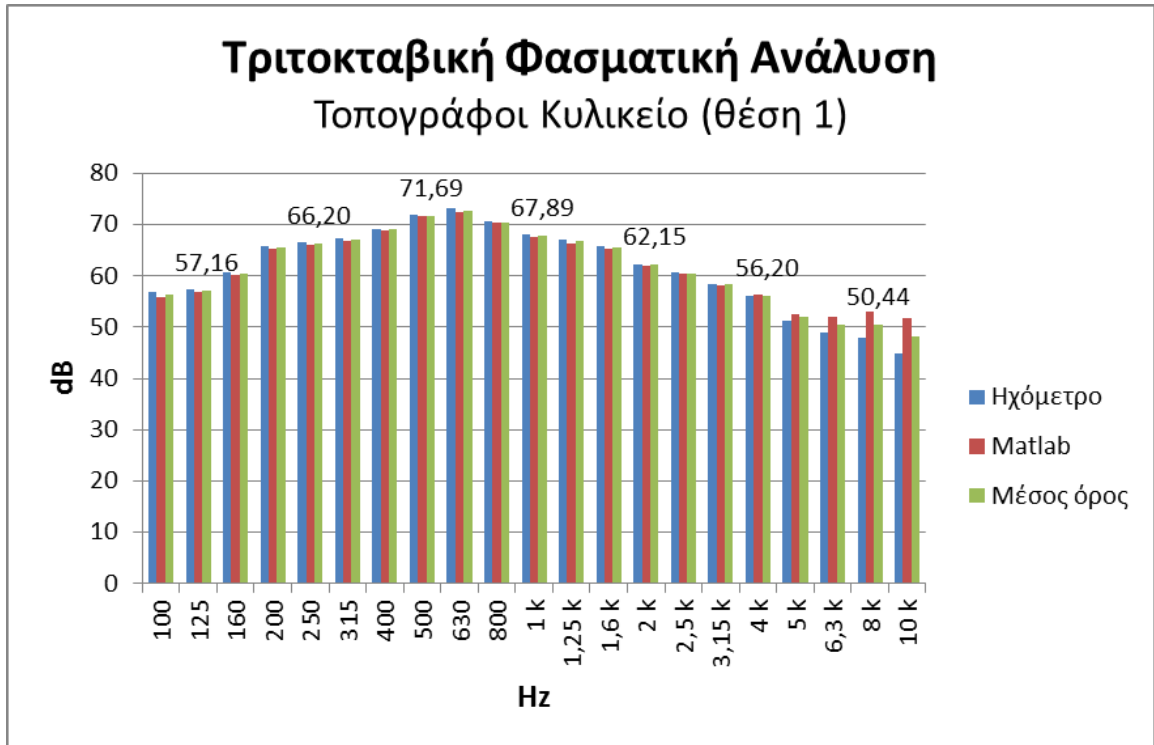
4.11 Κυκλείο της σχολής των Τοπογράφων



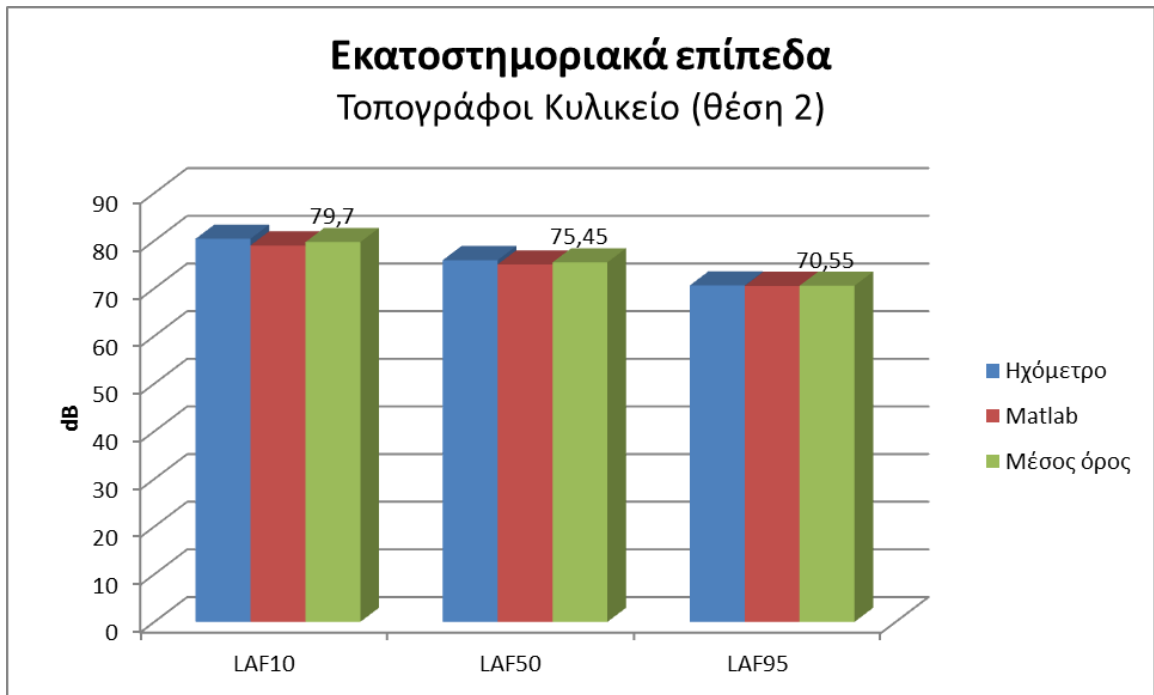
Γράφημα 4.11.1



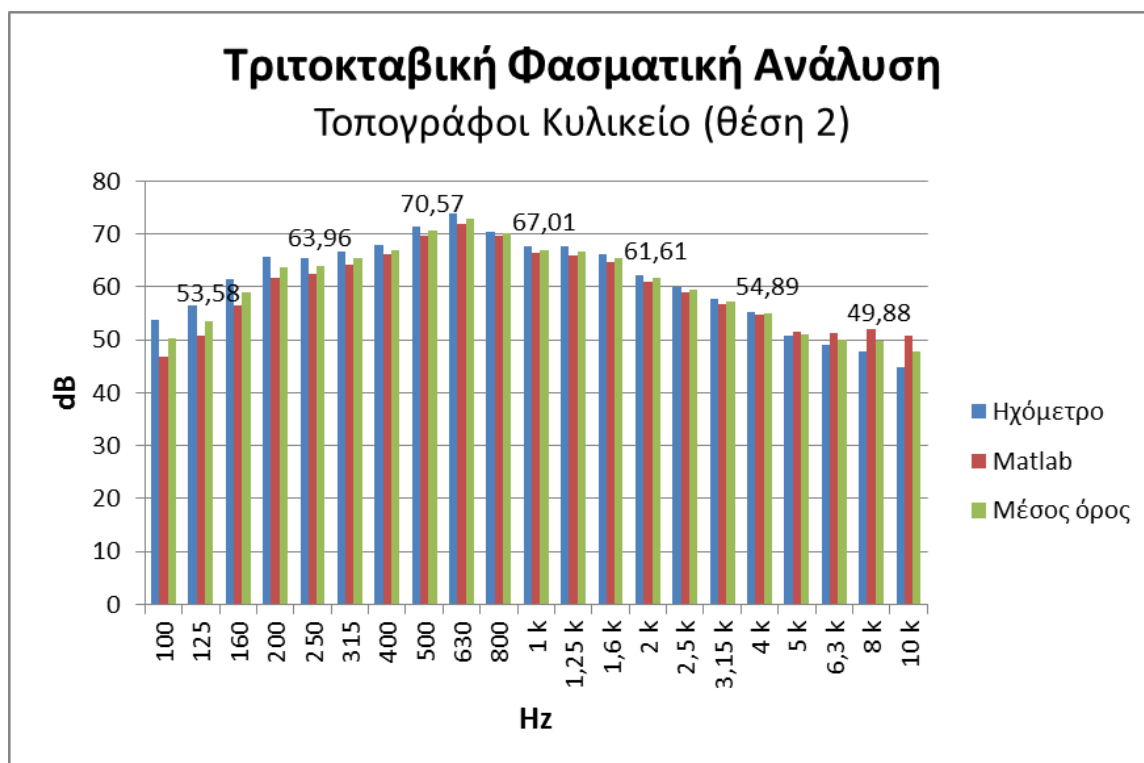
Γράφημα 4.11.2



Γράφημα 4.11.3



Γράφημα 4.11.4

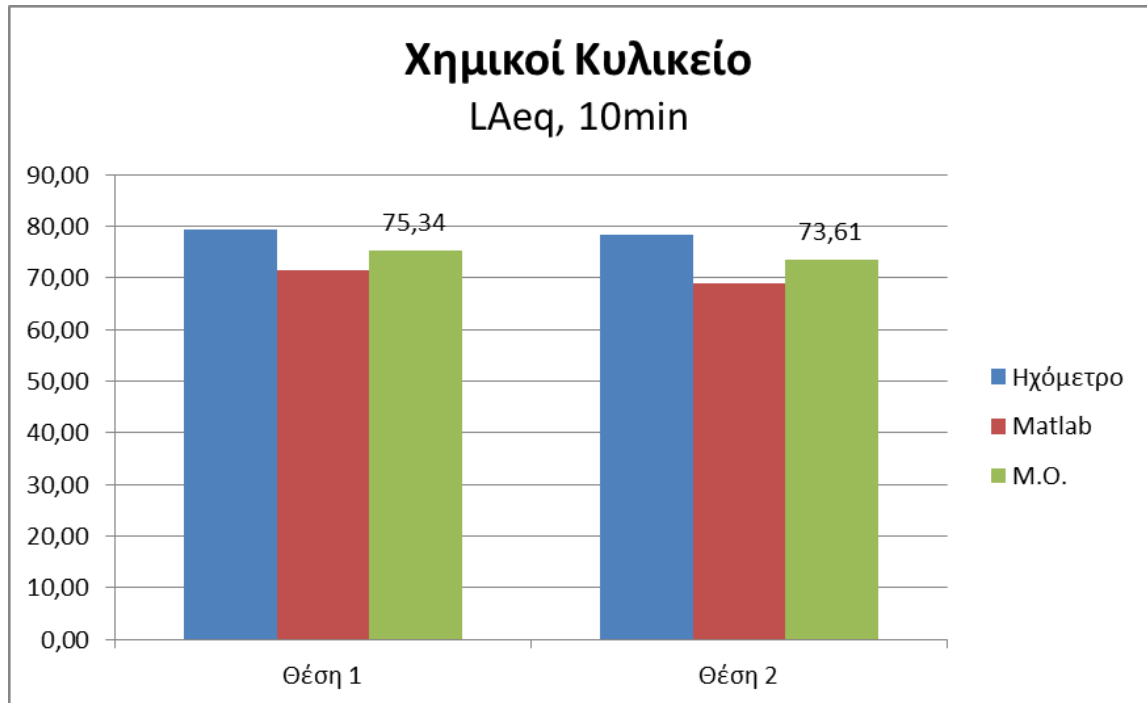


Γράφημα 4.11. 5

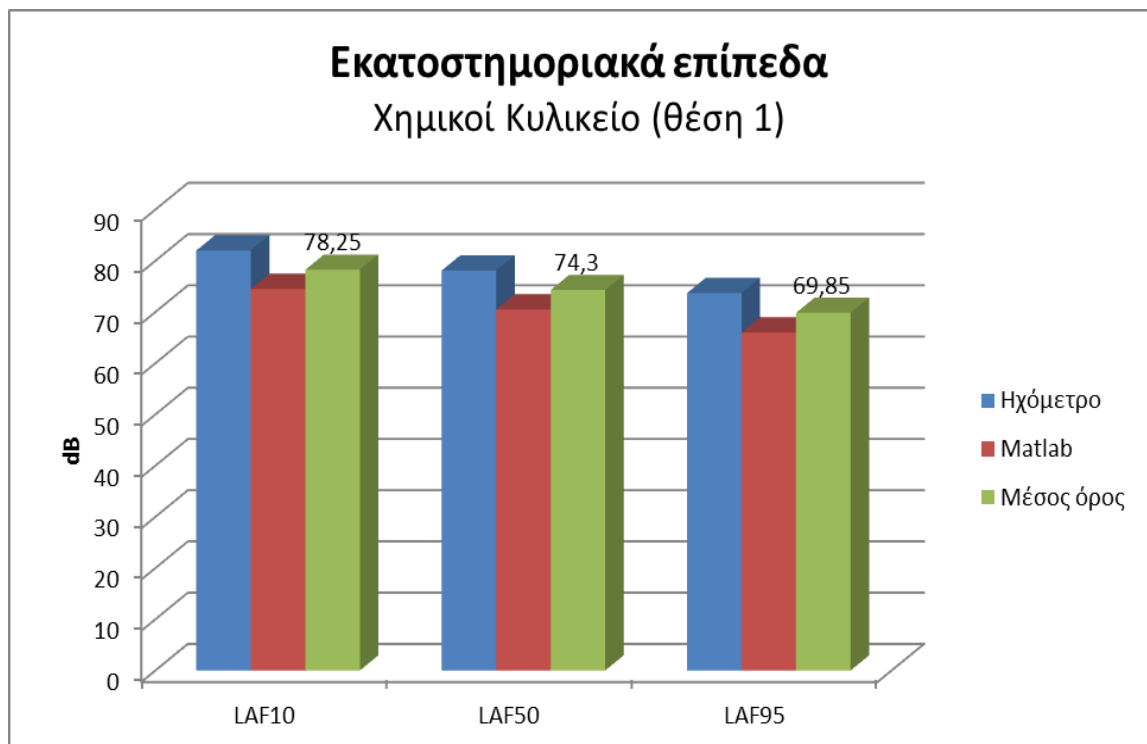
Το κυλικείο των Τοπογράφων είναι αρκετά μεγάλο και η θέση του, κοντά στην πύλη Ζωγράφου, το καθιστά ως ένα από τα πιο πολυσύχναστα κυλικεία για φοιτητές όλων των σχολών του Πολυτεχνείου. Δεν υπάρχει δηλαδή ουσιαστική διαφορά στα επίπεδα του θορύβου κατά τη διάρκεια μαθήματος και διαλείμματος αντίστοιχα, έτσι πραγματοποιήσαμε μετρήσεις σε δύο θέσεις του κυλικείου σε ώρα αιχμής. Τα αποτελέσματα, όπως φαίνονται και από τα γραφήματα (4.11.1 έως 4.11.5), είναι τυπικά για μεγάλο κυλικείο της Πολυτεχνειούπολης και είναι συγκρίσιμα με αυτά του κυλικείου των Πολιτικών κατά τη διάρκεια του διαλείμματος (σχεδόν ίσα).

Ο θόρυβος βάθους LA95 είναι και στις δύο θέσεις αποτέλεσμα των φωνών των φοιτητών καθώς επίσης και των διάφορων μηχανημάτων παρασκευής προϊόντων. Στη θέση 1 είναι λίγο μεγαλύτερος καθώς βρισκόμαστε πιο κόντα στο σημείο όπου βρίσκονται τα μηχανήματα αυτά και οι υπάλληλοι του κυλικείου. Εκεί επίσης βρίσκεται η ταμειακή μηχανή και συσσωρεύονται οι φοιτητές για να πληρώσουν. Ιδιαίτερα ακραίες τιμές δεν παρατηρούνται, ενώ και τα επίπεδα των LAeq είναι πανομοιότυπα και κυμαίνονται στα 77dB. Η συγκέντρωση του θορύβου βρίσκεται στις χαμηλές συχνότητες αφού και η κύρια πηγή του θορύβου, οι ανθρώπινες φωνές, εκπέμπει σε αυτές τις συχνότητες.

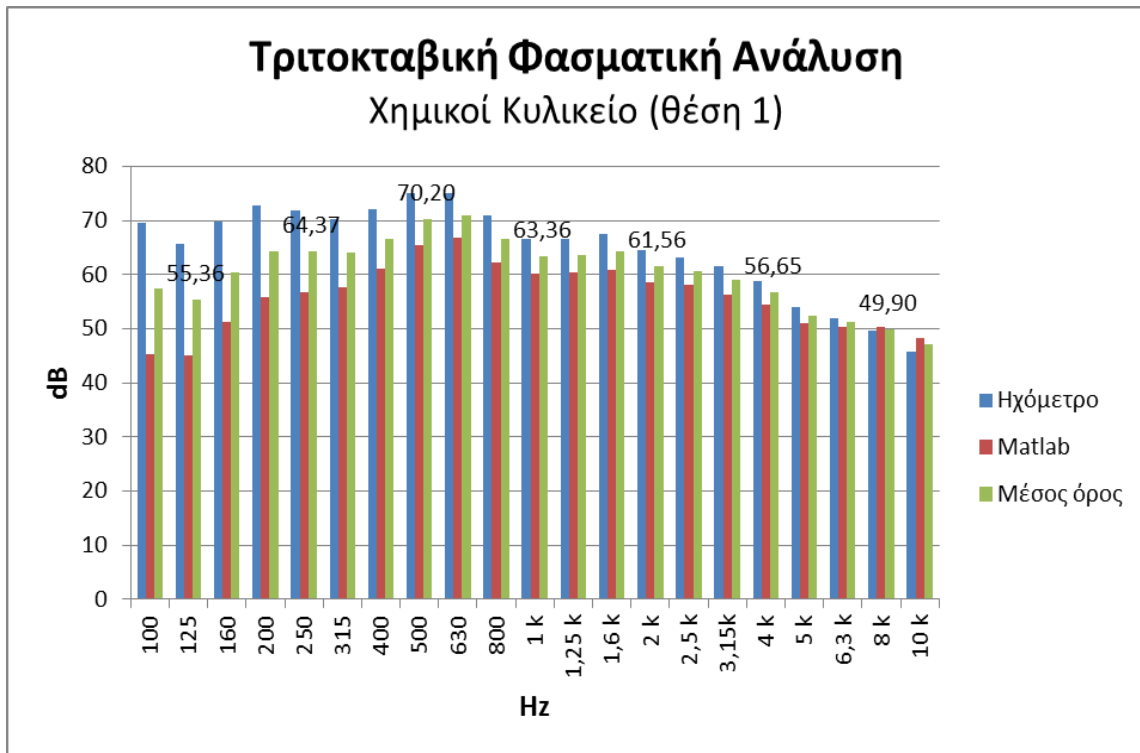
4.12 Κυλικείο της σχολής των Χημικών



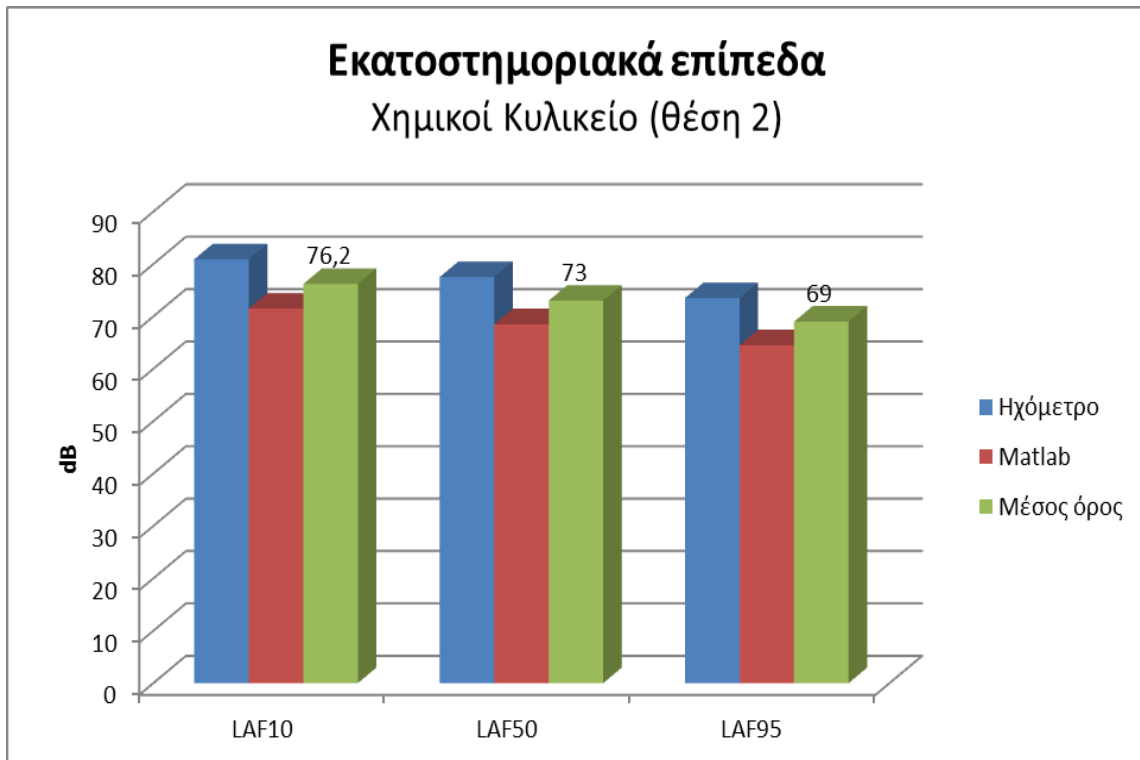
Γράφημα 4.12. 1



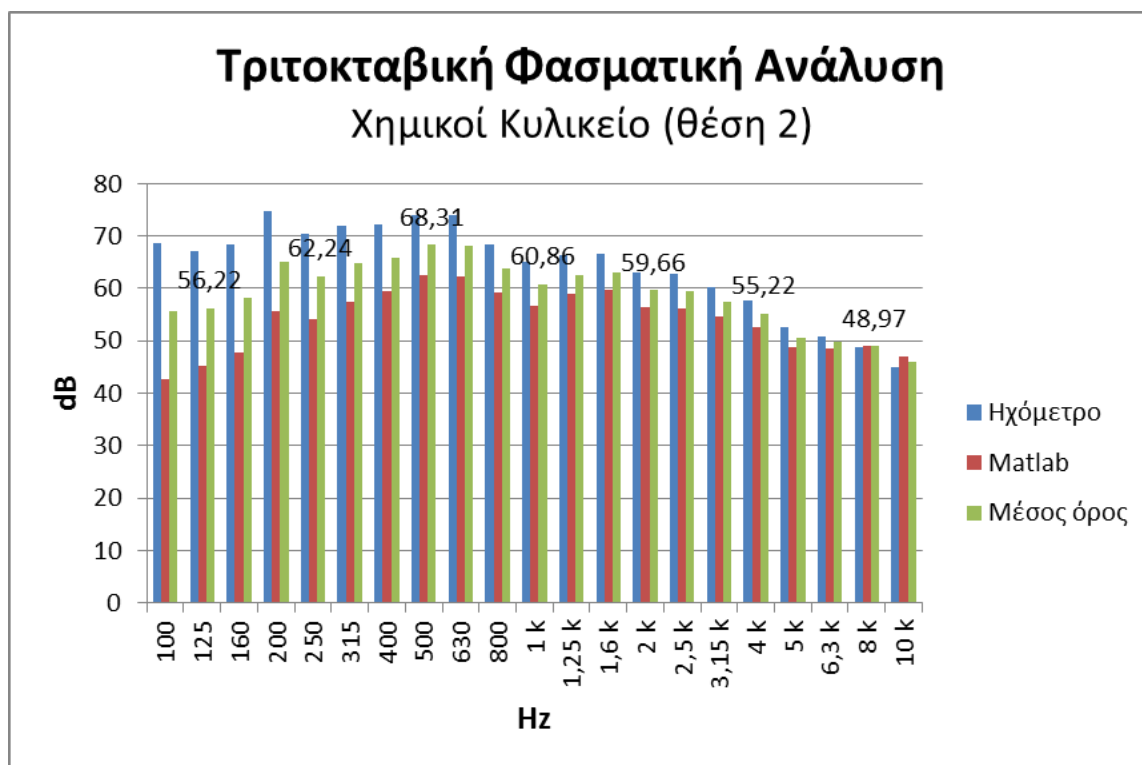
Γράφημα 4.12. 2



Γράφημα 4.12. 3



Γράφημα 4.12. 4



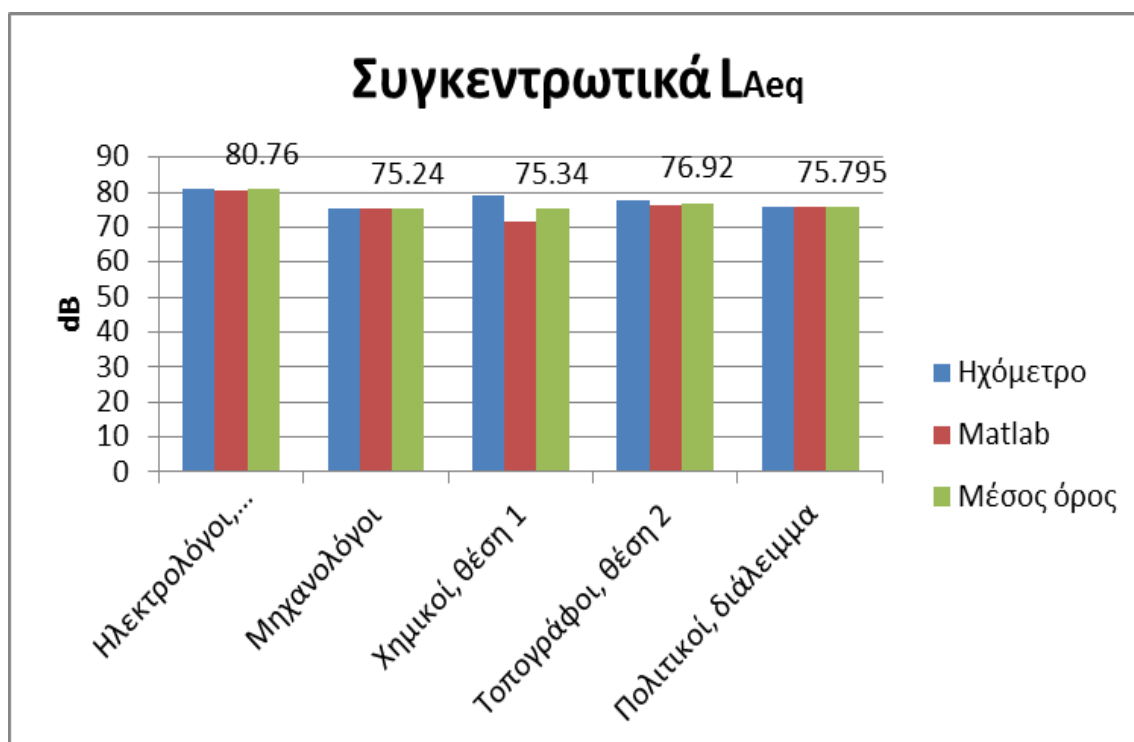
Γράφημα 4.12. 5

Το κυλικείο των Χημικών Μηχανικών είναι λίγο μικρότερο από αυτό των Ηλεκτρολόγων και βρίσκεται σε κεντρικό σημείο του χώρου της Πολυτεχνειούπολης. Παρατηρούμε πως τα επίπεδα του θορύβου βρίσκονται σε λογικά πλαίσια και είναι λίγο μειωμένα σε σχέση με άλλα μεγαλύτερα κυλικεία (γραφήματα 4.12.1 έως 4.12.5). Λόγω του μικρού μεγέθους του, ακόμη και η παρουσία ενός μικρού αριθμού φοιτητών είναι ικανός για να γεμίσει. Επομένως είναι σχεδόν πάντα γεμάτο ανεξαρτήτως αν πρόκειται για ώρα μαθήματος ή διαλείμματος. Αυτό μας οδήγησε στη λήψη δύο μετρήσεων σε διαφορετικές θέσεις στο χώρο του συγκεκριμένου κυλικείου σε ώρα αιχμής, για καλύτερη επαλήθευση των αποτελεσμάτων.

Μπορούμε να συμπεράνουμε από τα διαγράμματα πως τα αποτελέσματα όσον αφορά τα επίπεδα θορύβου και τις ποσοστομοριακές στάθμες είναι τα αναμενόμενα. Ο θόρυβος συσσωρεύεται στις συχνότητες της ανθρώπινης φωνής, δηλαδή τις χαμηλές συχνότητες, και ο θόρυβος βάθους προκαλείται από τις φωνές των φοιτητών και από τα μηχανήματα του κυλικείου. Ιδιαίτερα ακραίες τιμές των LAF10 δεν παρατηρούνται. Η μόνη διαφορά μεταξύ των δύο θέσεων είναι η αύξηση του θορύβου στη θέση 1 κατά 1,73dB (γράφημα 4.12.1), που οφείλεται στο γεγονός ότι η θέση αυτή βρίσκεται πιο κοντά στο ηχείο του στερεοφωνικού που έπαιζε μουσική καθόλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Ορισμένες ακραίες τιμές αυξάνουν τα επίπεδα του συνολικού LAeq.

Η διαφορά μερικών dB που παρατηρούμε στο διάγραμμα των LAeq μεταξύ του ηχομέτρου και του matlab οφείλεται σε τυχόν διαφορετικό προσανατολισμό του ηχομέτρου σε σχέση με το μικρόφωνο της κάρτας ήχου, καθώς επίσης και στο γεγονός πως οι μετρήσεις δεν είναι απόλυτα αντικειμενικές και ενδέχεται να υπεισέρχεται ένα μικρό σφάλμα στα όρια του επιτρεπτού.

Παρακάτω θα παραθέσουμε τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των LAeq για όλα τα κυλικεία ώστε να προχωρήσουμε στη μεταξύ τους σύγκριση. Στις περιπτώσεις που έχουμε περισσότερες μετρήσεις από μια, χρησιμοποιούμε την πιο θορυβώδη, ως τη χειρότερη περίπτωση.

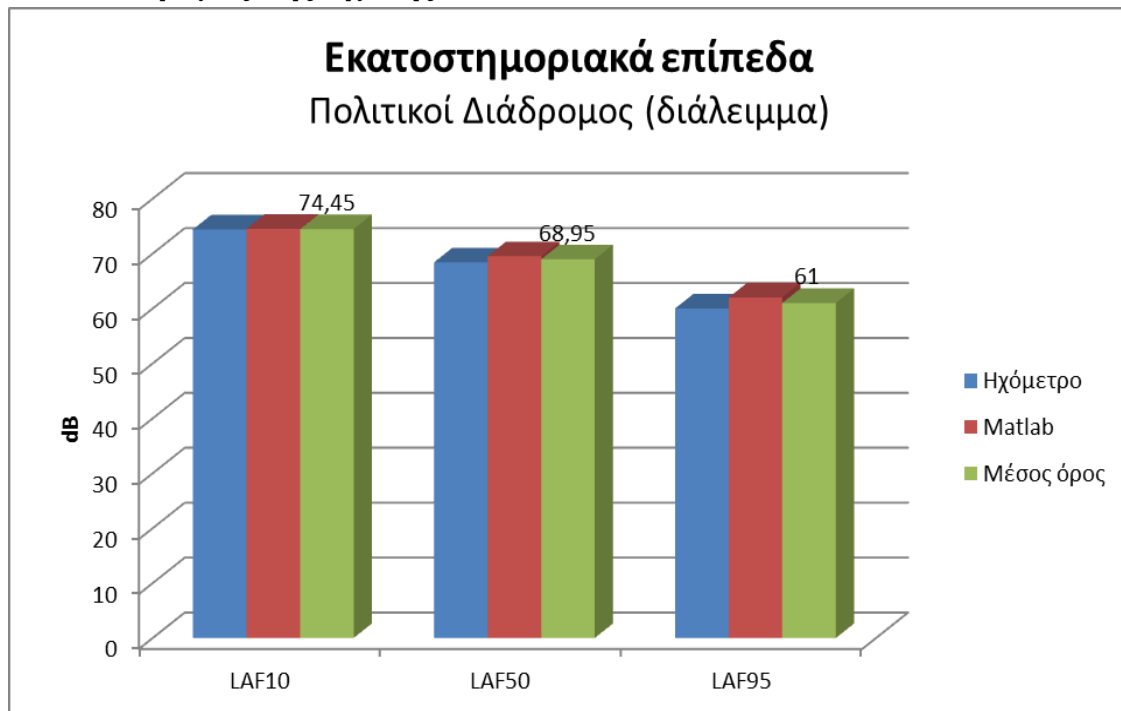


Γράφημα 4.12. 6

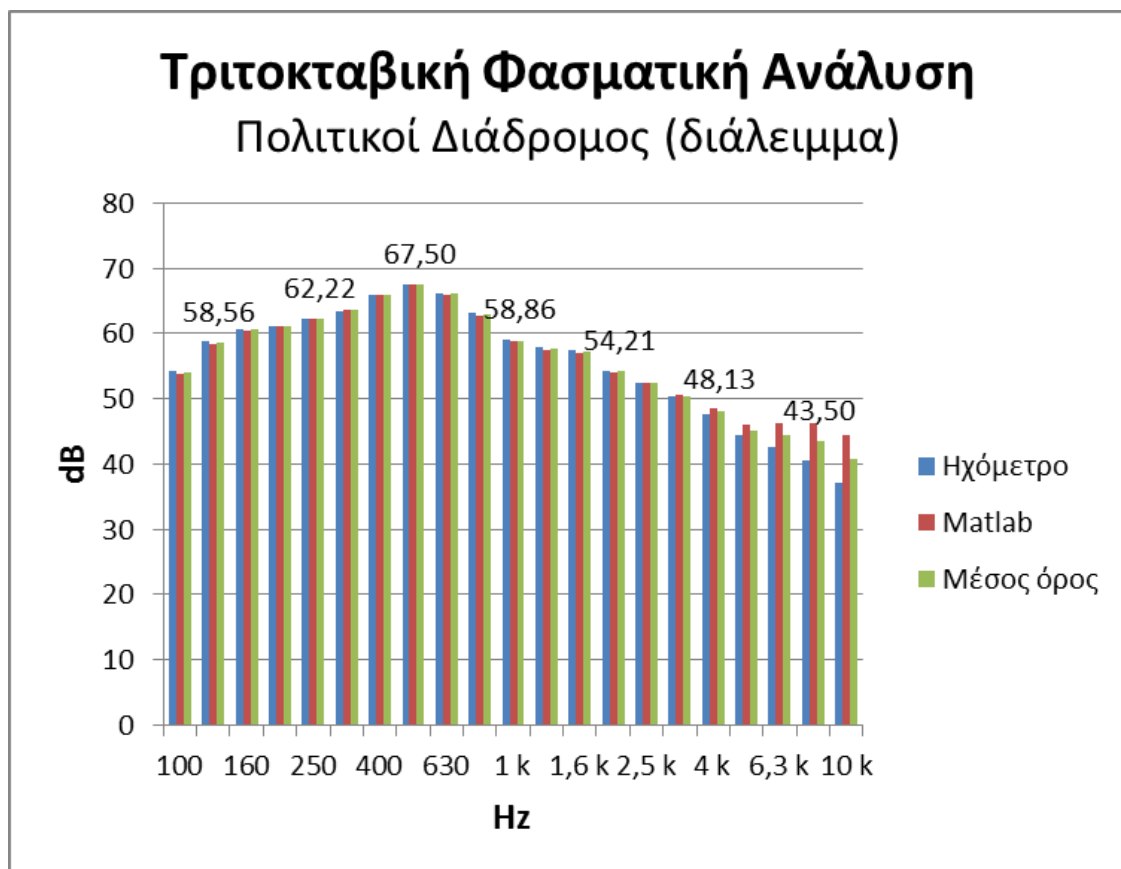
Παρατηρούμε στο γράφημα 4.12.6 ότι η μέση ποσότητα θορύβου που λαμβάνει το ανθρώπινο αυτί στον ίδιο χρόνο είναι σχεδόν ίση σε όλους τους χώρους, με εξαίρεση το κυλικείο των Ηλεκτρολόγων. Σε αυτό, υπάρχει μια αισθητή διαφορά των 5dB, η οποία οφείλεται στην πολύ δυνατή μουσική σε τόσο περιορισμένο χώρο.

Εδώ θα πρέπει να σχολιάσουμε ότι δε μας ενδιαφέρει τόσο η επιρροή που ασκεί αυτός ο θόρυβος στους φοιτητές, εφόσον το κυλικείο θεωρητικά είναι ένας χώρος που τους φιλοξενεί βραχυπρόθεσμα. Περισσότερο θα πρέπει να εστιάσουμε στο προσωπικό που εργάζεται εκεί και εκτίθεται για περισσότερες από 8 ώρες, 5 ημέρες την εβδομάδα σε θόρυβο ύψους 80dB. Σύμφωνα με το Π.Δ. (σελ.34) η κατώτερη τιμή έκθεσης για ανάληψη δράσης είναι $L_{EX,8h} = 80 \text{ dB(A)}$, δηλαδή η αντίστοιχη τιμή στο κυλικείο των Ηλεκτρολόγων την υπερβαίνει οριακά.

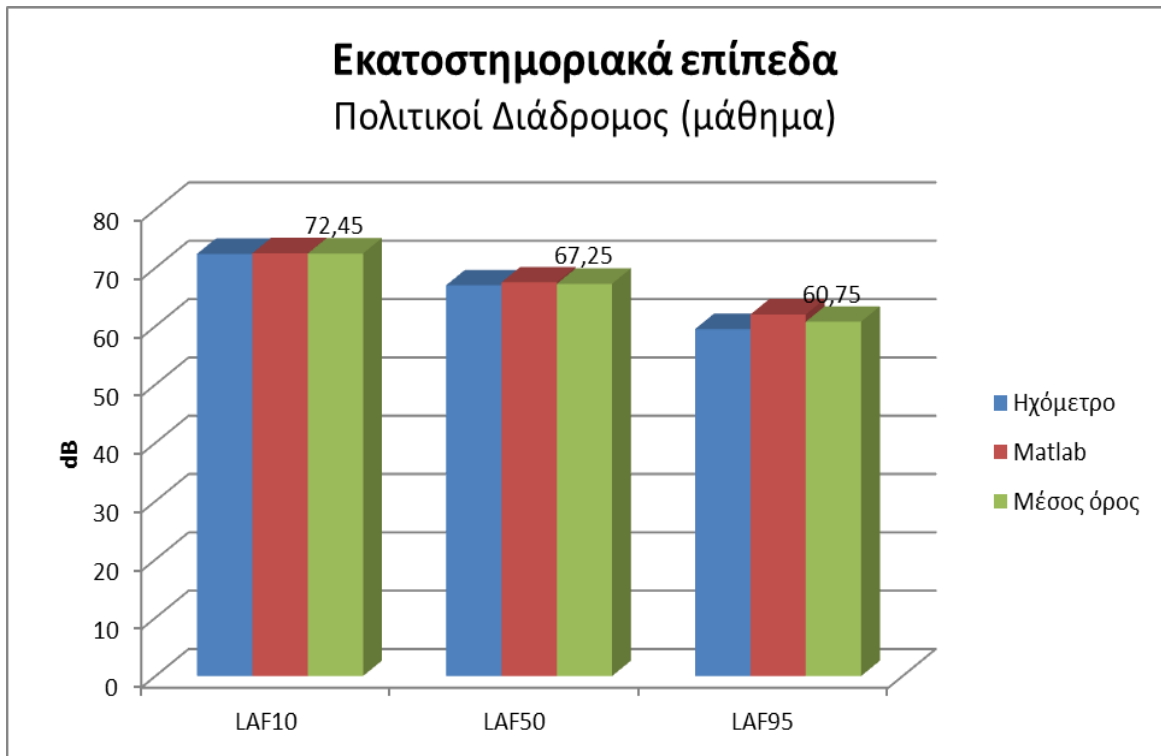
4.13 Διάδρομος της σχολής των Πολιτικών



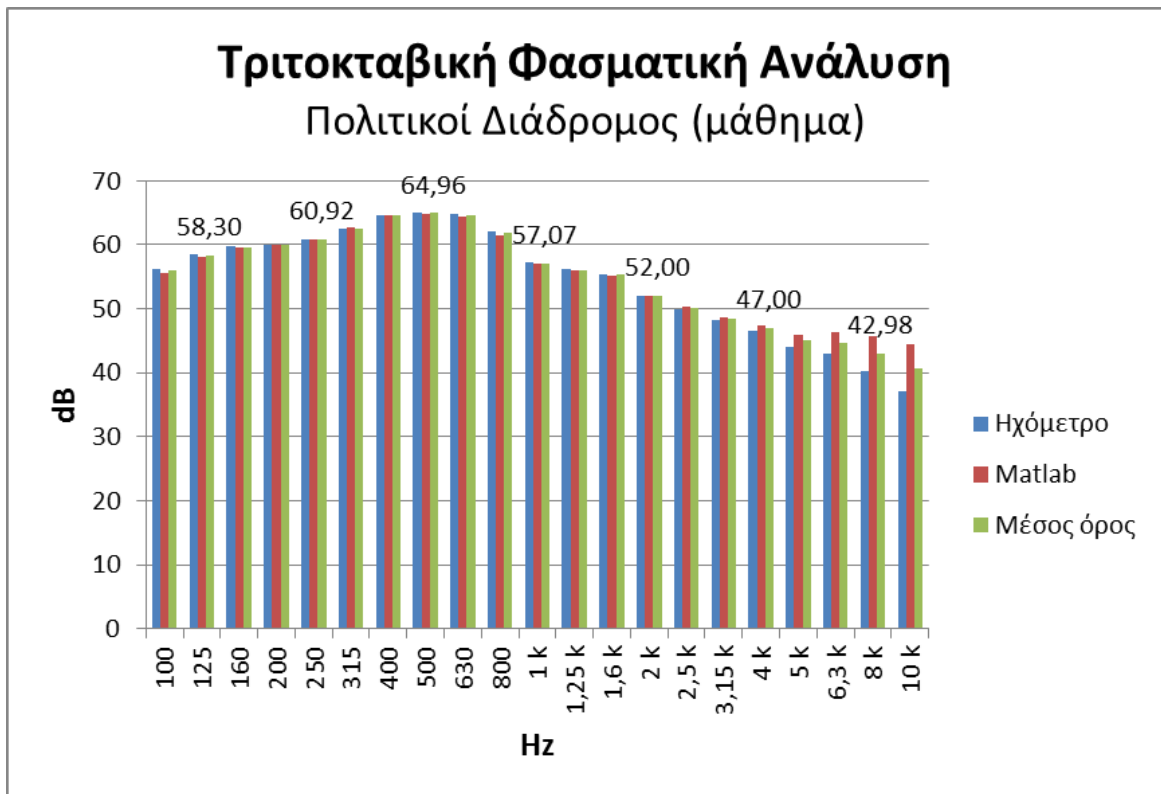
Γράφημα 4.13. 1



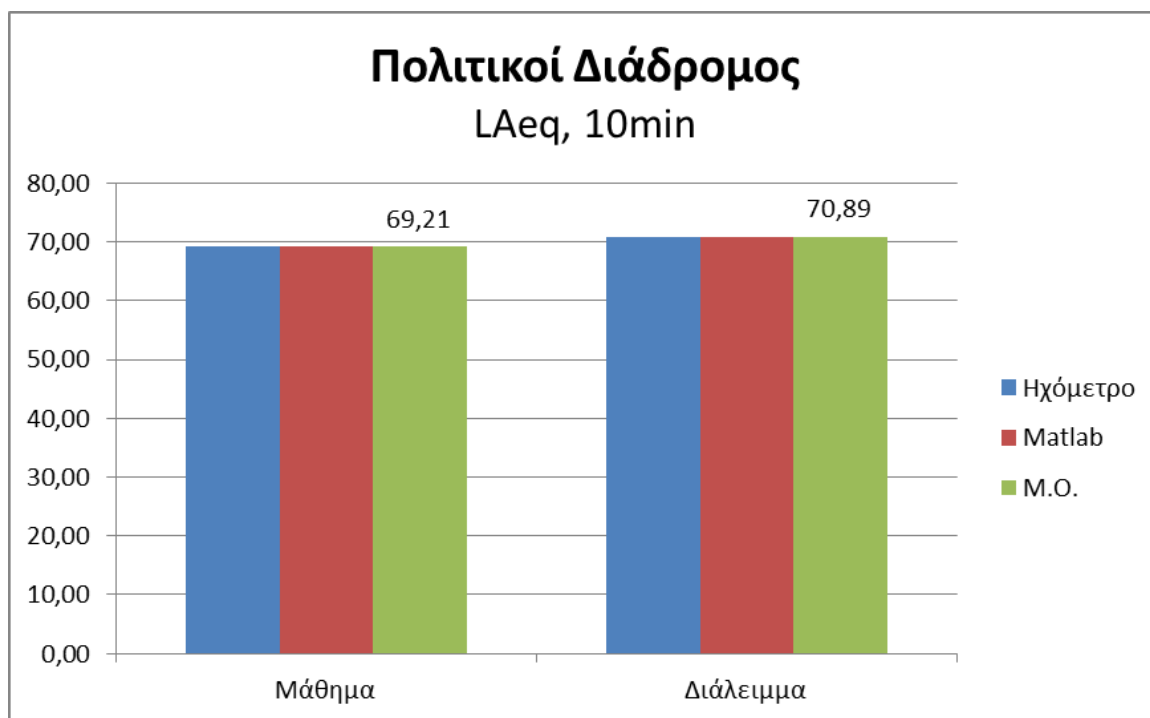
Γράφημα 4.13. 2



Γράφημα 4.13. 3



Γράφημα 4.13. 4



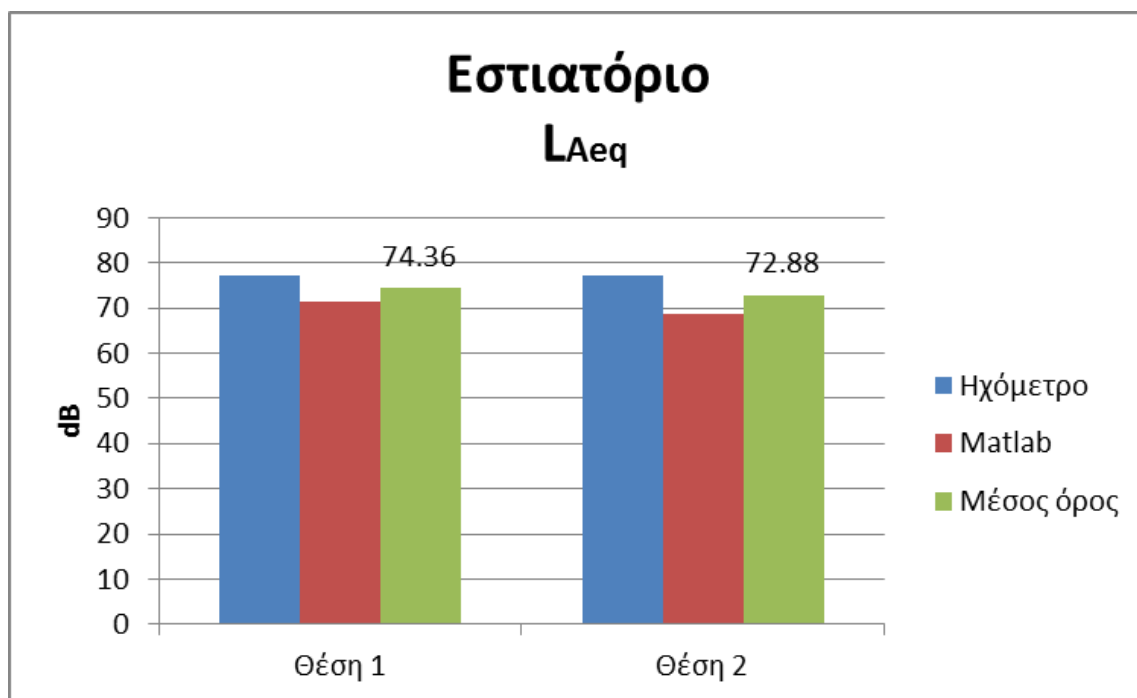
Γράφημα 4.13. 5

Ο διάδρομος των Πολιτικών μηχανικών όπου ελήφθησαν οι μετρήσεις αποτελεί τον κεντρικό διάδρομο μέσω του οποίου κατευθύνονται οι φοιτητές στις αίθουσες και τα αμφιθέατρα. Στον συγκεκριμένο διάδρομο στεγάζονται επίσης και τα τραπέζια των φοιτητικών παρατάξεων.

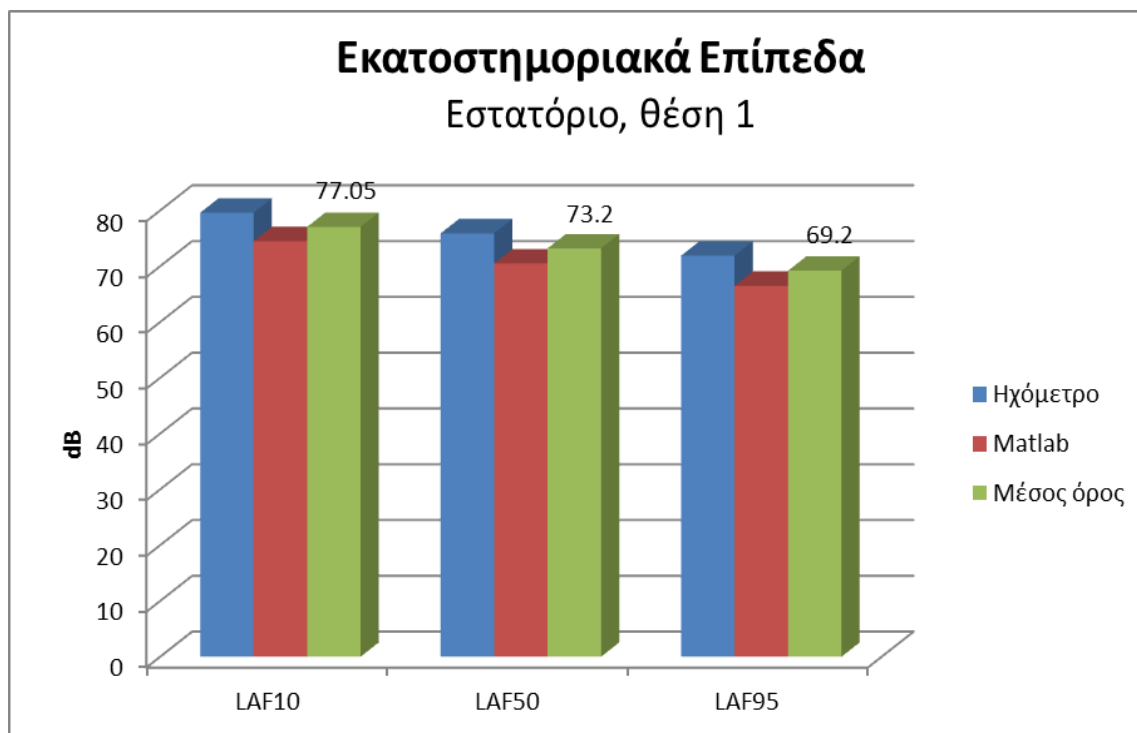
Παρατηρούμε από τα γραφήματα 4.13.1 έως 4.13.5 πως και στις δύο περιπτώσεις (διαλείματος – μαθήματος) δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των αντίστοιχων διαγραμμάτων. Όπως είναι λογικό τα επίπεδα θορύβου κατά τη διάρκεια του διαλείματος είναι λίγο αυξημένα καθώς οι φοιτητές εξέρχονται από τις αίθουσες προς τον διάδρομο συζητώντας. Ο θόρυβος βάθους LA95 είναι περίπου ο ίδιος τόσο κατά τη διάρκεια του μαθήματος όσο και στο διάλειμμα. Το ίδιο ισχύει και για το LAeq. Ουσιαστικά η μόνη διαφορά μεταξύ των δύο επιπέδων θορύβου είναι ο θόρυβος που προστίθεται κατά την έξοδο των φοιτητών στο διάλειμμα.

4.14 Εστιατόριο

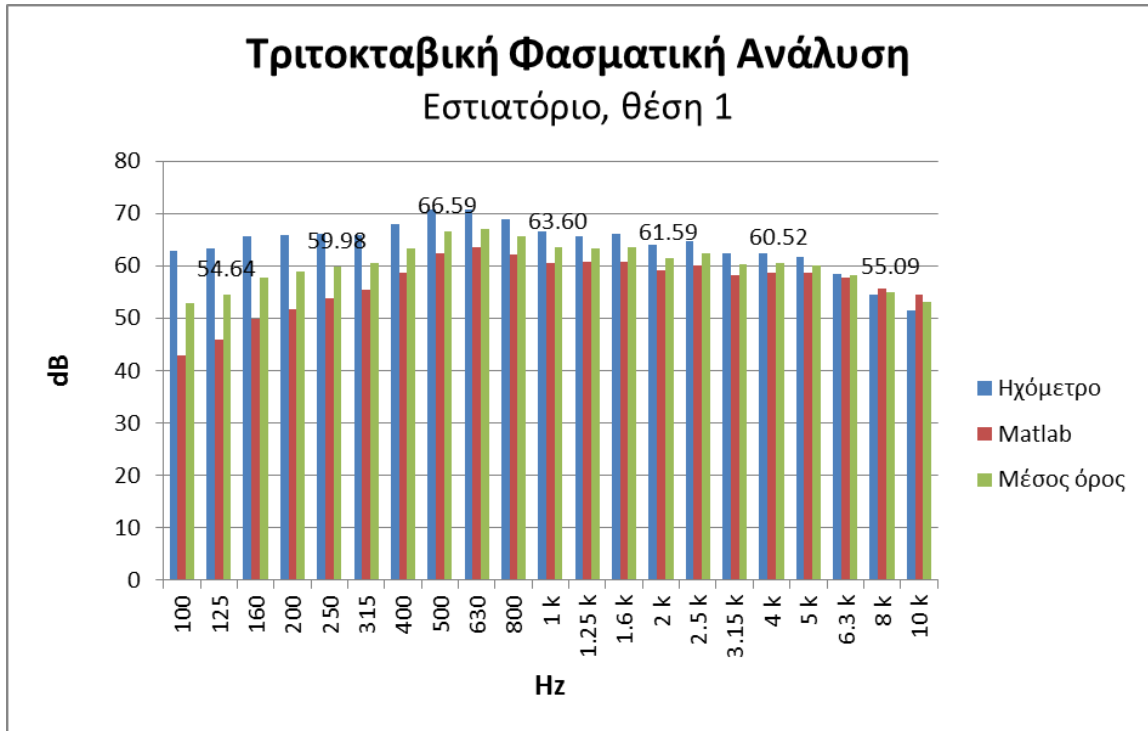
Στο εστιατόριο της Πολυτεχνειούπολης ελήφθησαν μετρήσεις από 2 διαφορετικά σημεία, μιας και είναι ένας αρκετά μεγάλος χώρος. Στην πρώτη μέτρηση υπήρχαν περίπου 75 άτομα στην αίθουσα και στη δεύτερη μέτρηση υπήρχαν 100.



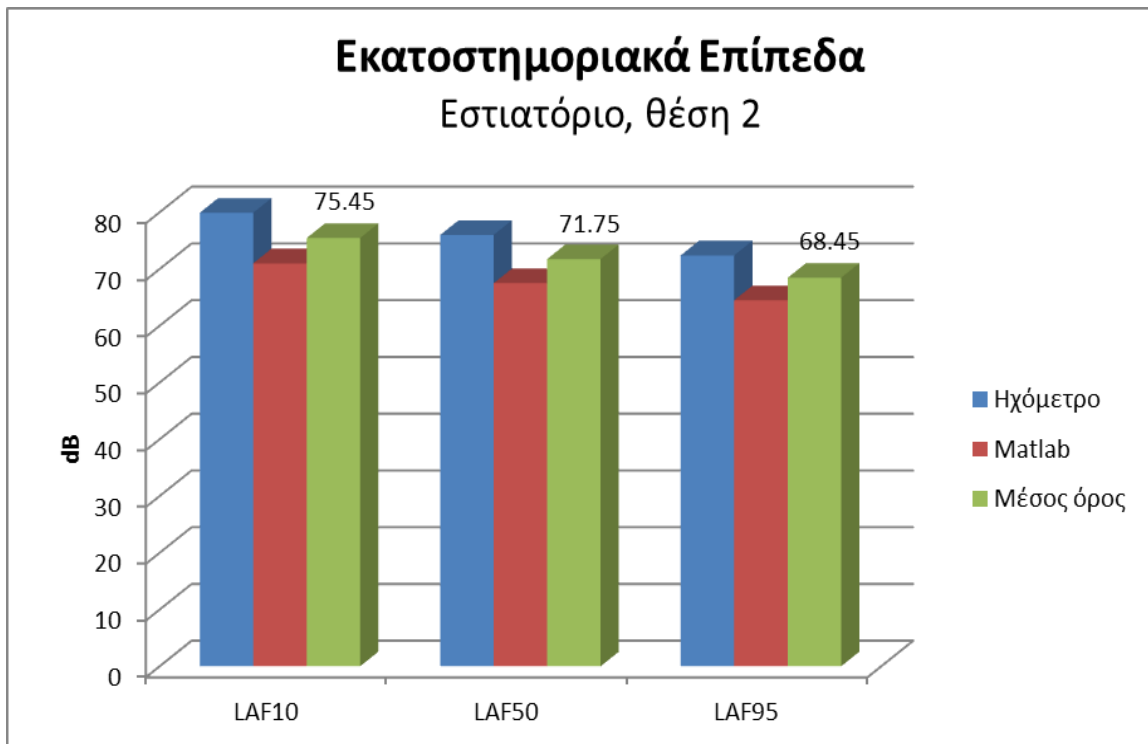
Γράφημα 4.14. 1



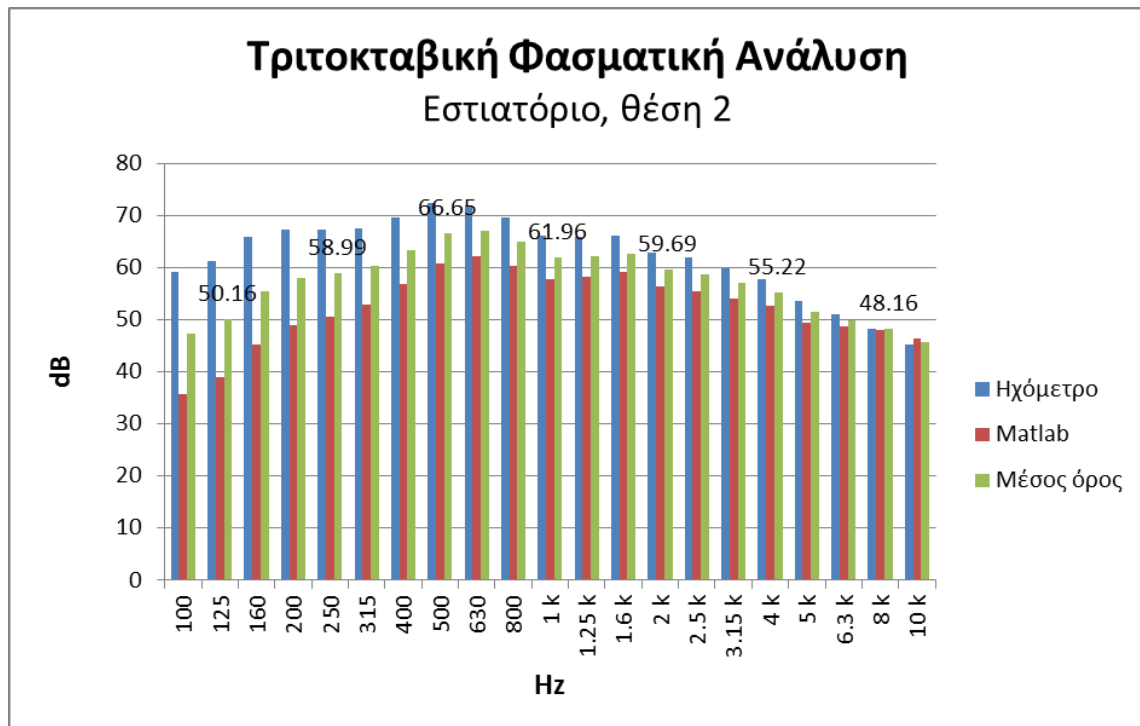
Γράφημα 4.14. 2



Γράφημα 4.14. 3



Γράφημα 4.14. 4



Γράφημα 4.14. 5

Ένα ιδιαίτερο στοιχείο αποτελεί το γεγονός πως τα αποτελέσματα των μετρήσεων και για τις δυο θέσεις είναι σχεδόν πανομοιότυπα (γραφήματα 4.14.1 έως 4.14.5). Όλα τα επίπεδα θορύβου είναι σχετικά υψηλά και μάλιστα είναι κοντινά μεταξύ τους. Όταν λοιπόν ο θόρυβος βάθους (LAF95), η μέση τιμή (LAF50) και οι ακραίες τιμές (LAF10) θορύβου συμπίπτουν, αυτό σημαίνει ότι ο θόρυβος είναι συνεχής και ‘συμπαγής’.

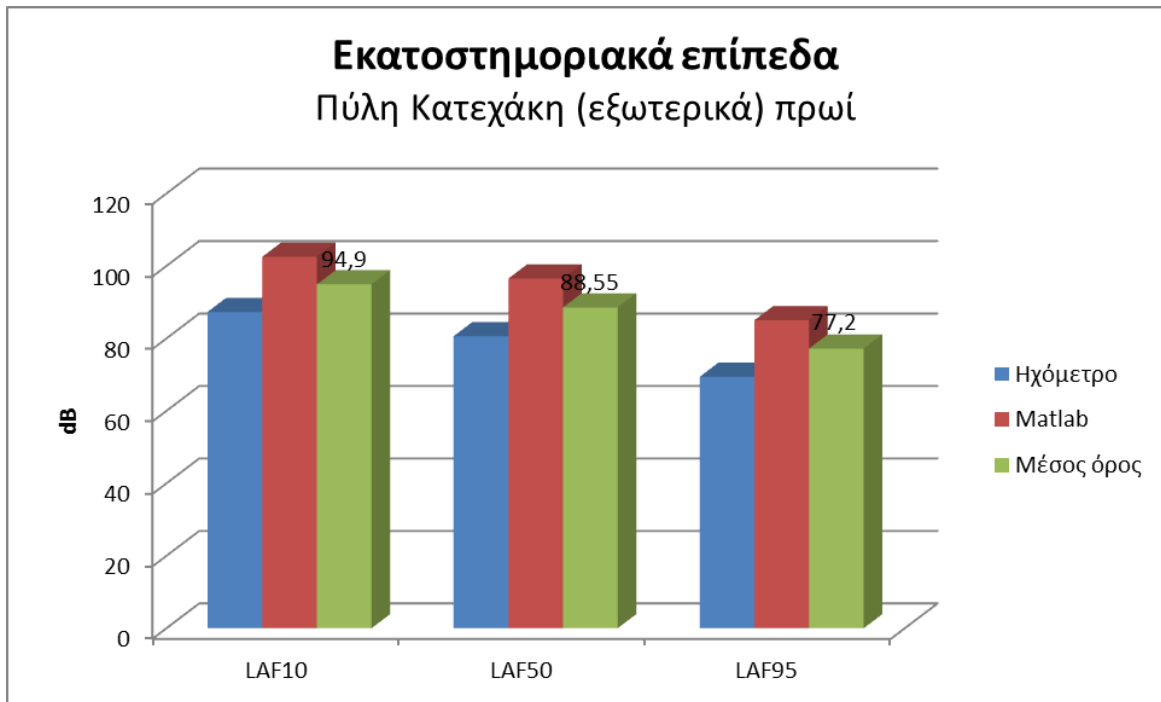
Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς η κύρια συνιστώσα του θορύβου προέρχεται από τα διάφορα σκεύη που χρησιμοποιούν οι φοιτητές (μαχαιροπήρουνα, δίσκοι κ.λ.π.) και από τις κουζίνες και τα ψυγεία που βρίσκονται σε λειτουργία. Δευτερευόντως συνεισφέρουν στην οχλαγωγία και οι παρευρισκόμενοι, οι οποίοι αναγκάζονται να υψώνουν τη φωνή τους για να γίνουν αντιληπτοί από τους συνδαιτημόνες τους. Έτσι, παρατηρείται στην φασματική ανάλυση μια μικρή ακμή στο πεδίο εκπομπής της ανθρώπινης ομιλίας, η οποία όμως δεν ξεχωρίζει ιδιαίτερα από πιο χαμηλές και πιο υψηλές συχνότητες.

4.15 Οδός Κατεχάκη

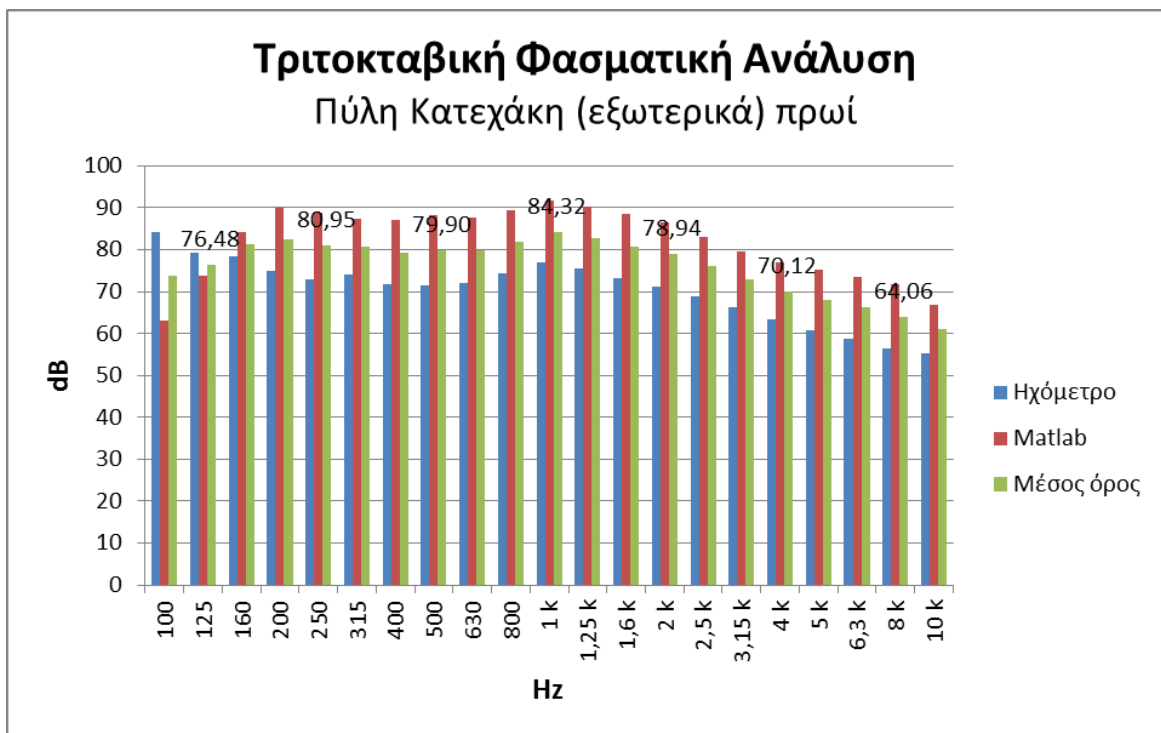
Οι μετρήσεις θορύβου των διαγραμμάτων που ακολουθούν πραγματοποιήθηκαν:

- Από την εξωτερική πλευρά της πύλης Κατεχάκη, στο σημείο όπου τελειώνει το πεζοδρόμιο δίπλα από το φανάρι που οδηγεί στην Κατεχάκη. (ΘΕΣΗ 1)
- Από την εσωτερική πλευρά της πύλης Κατεχάκη, σε απόσταση πέντε μέτρων από την κεντρική είσοδο της σχολής των Μηχανολόγων Μηχανικών. (ΘΕΣΗ 2)

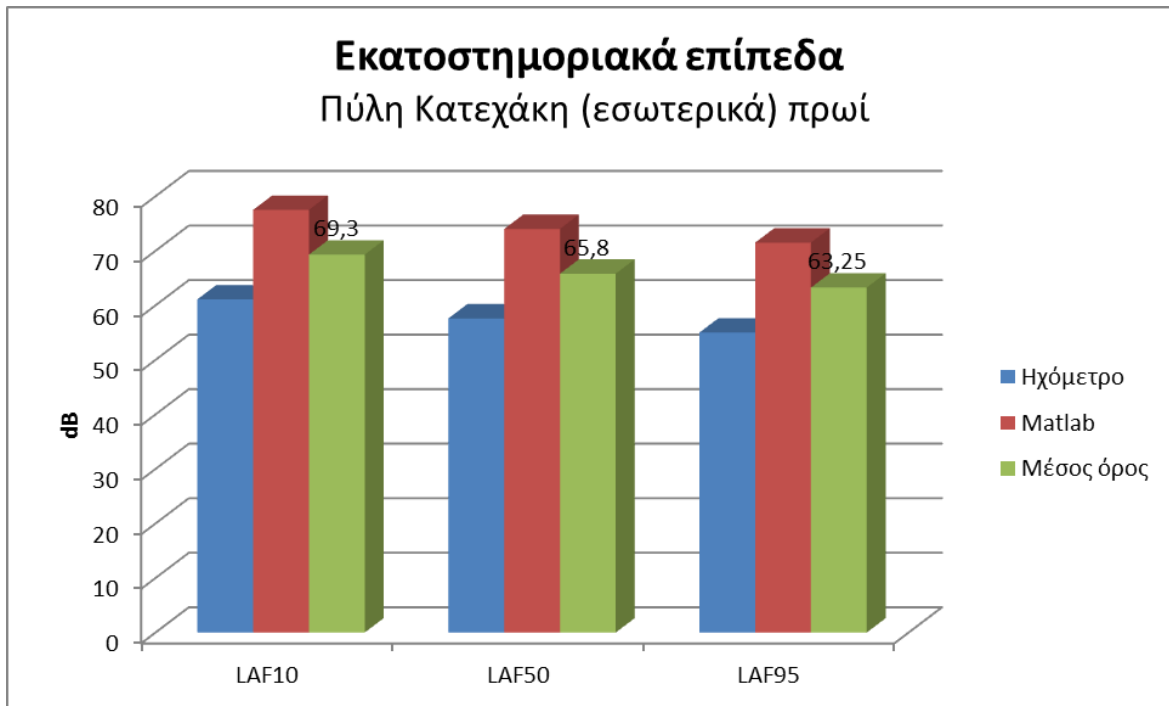




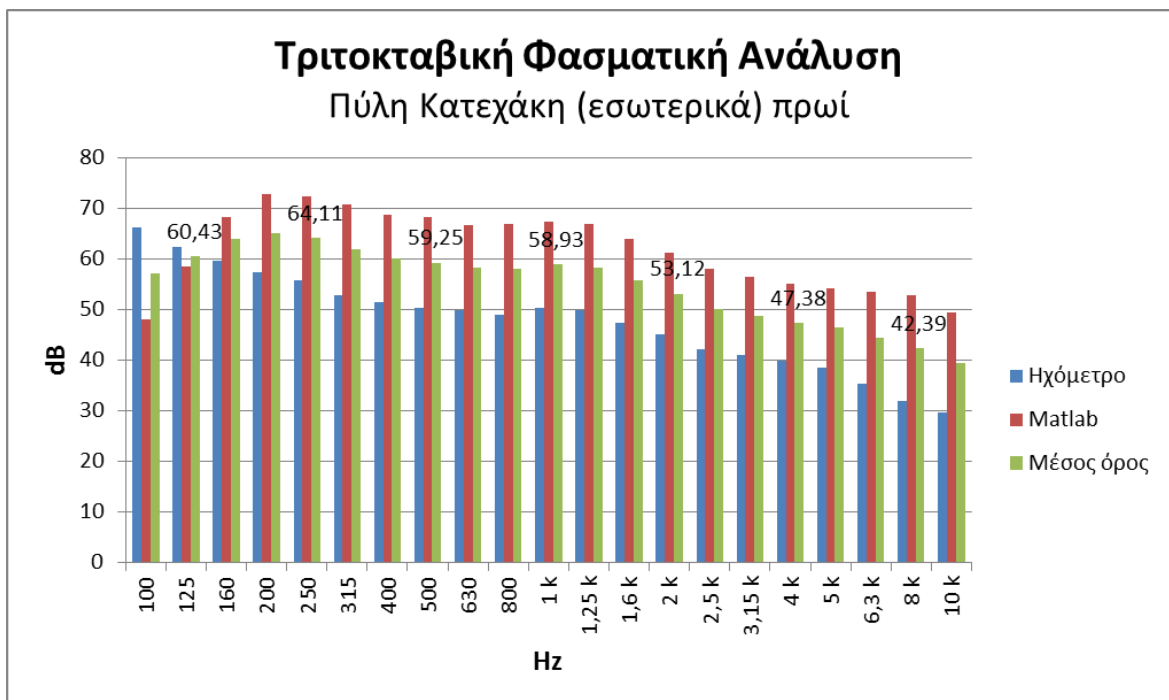
Γράφημα 4.15. 1



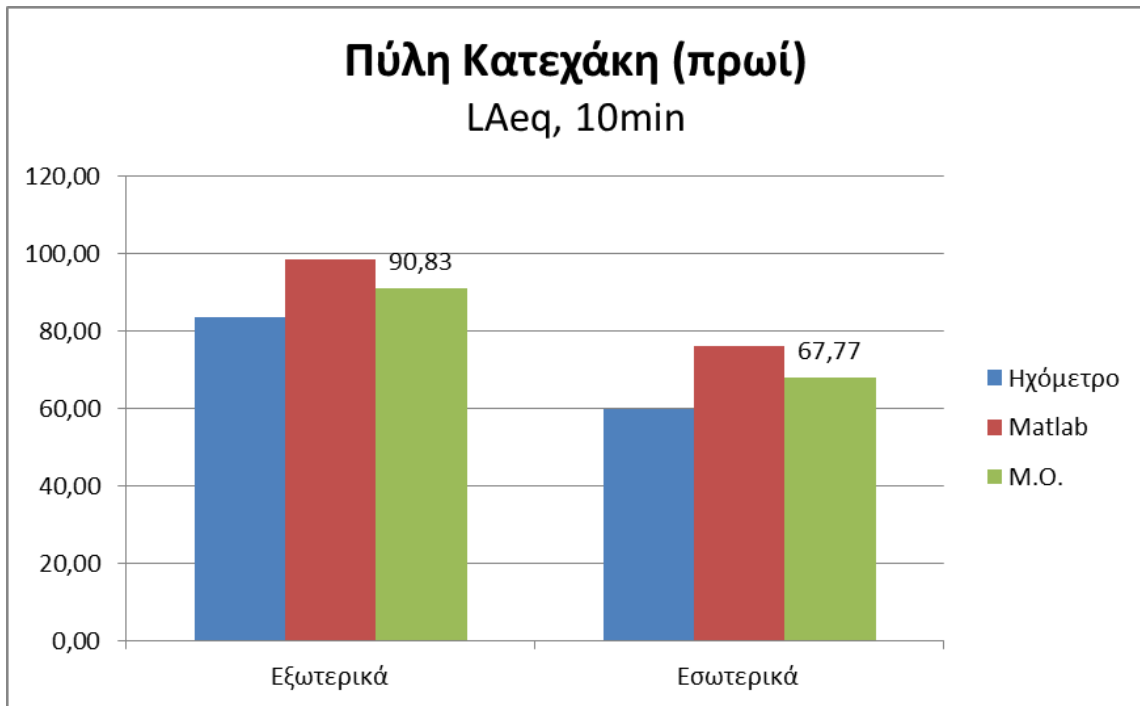
Γράφημα 4.15. 2



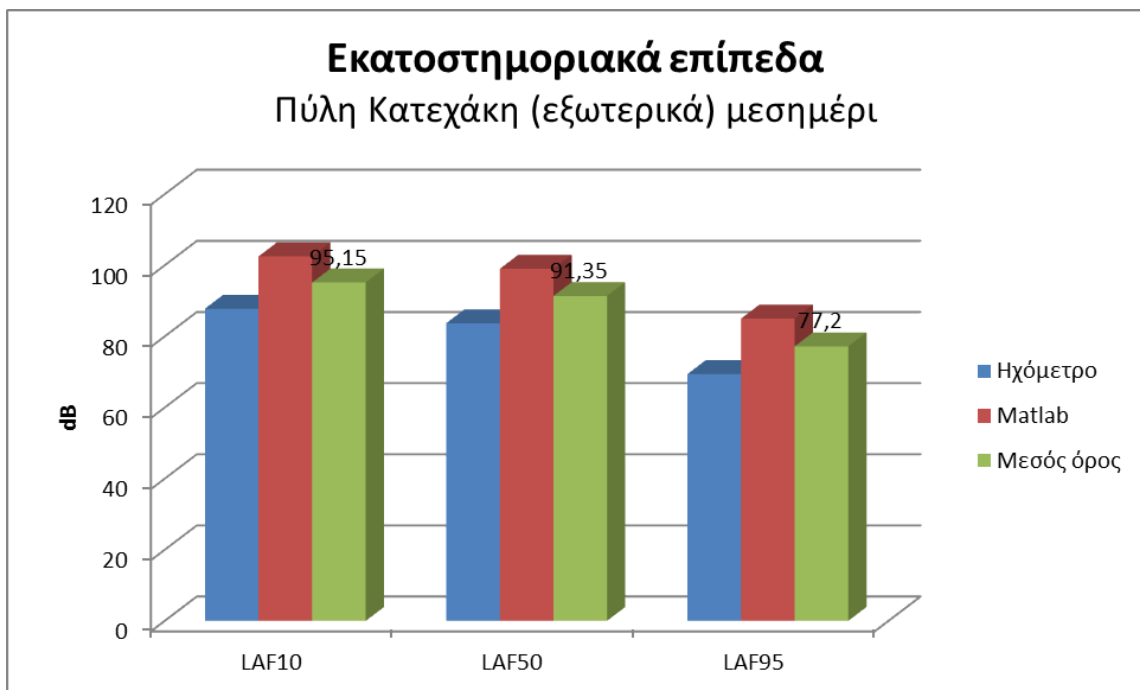
Γράφημα 4.15. 3



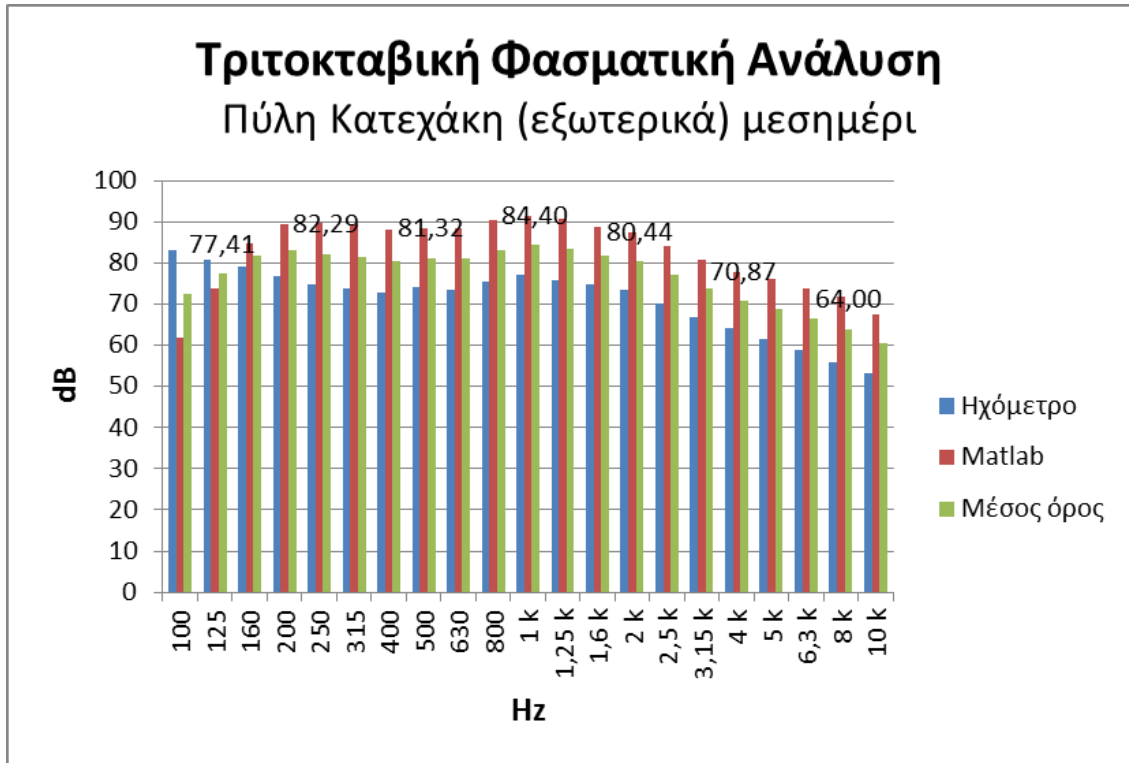
Γράφημα 4.15. 4



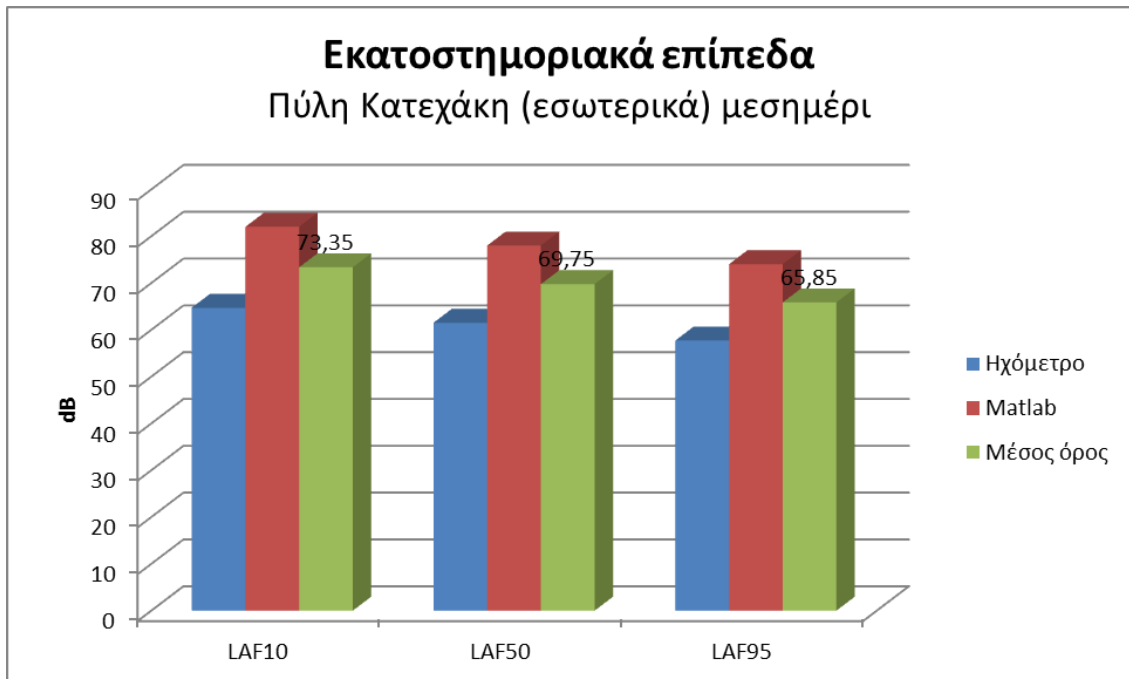
Γράφημα 4.15. 5



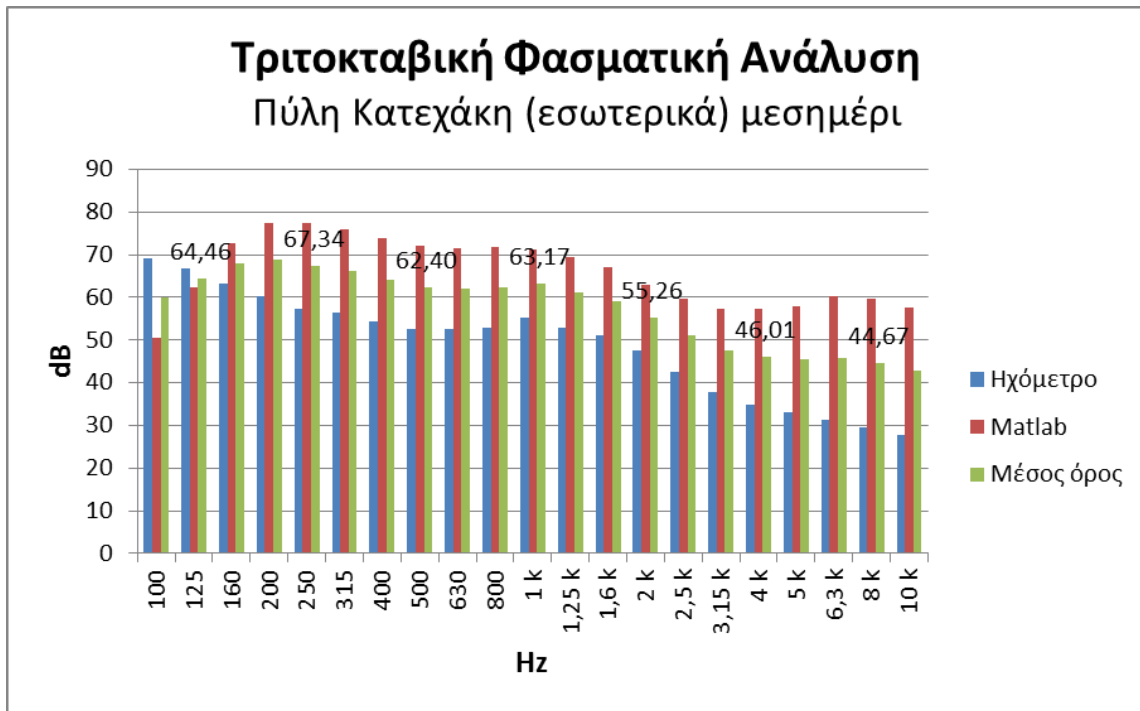
Γράφημα 4.15. 6



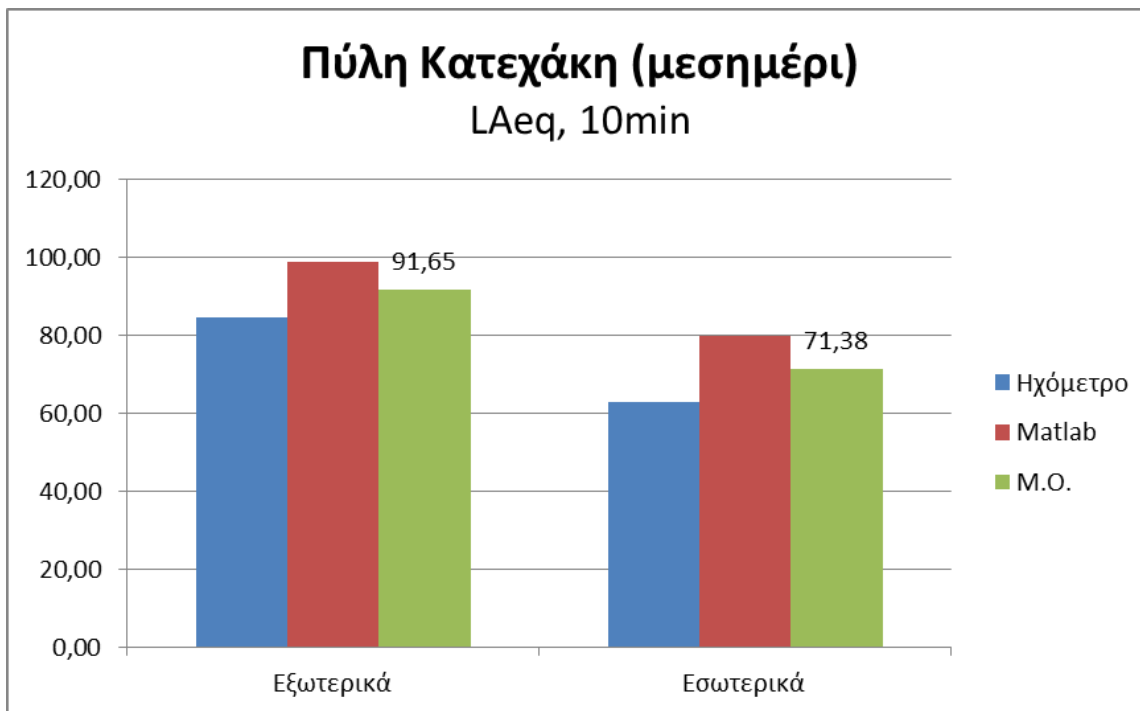
Γράφημα 4.15. 7



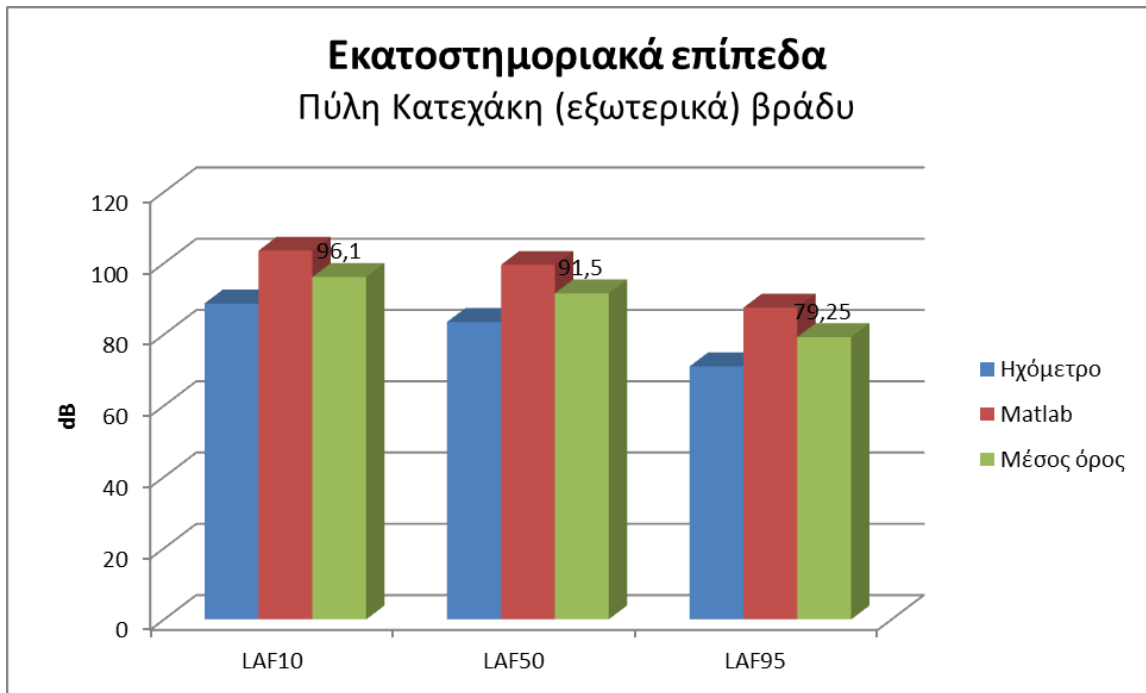
Γράφημα 4.15. 8



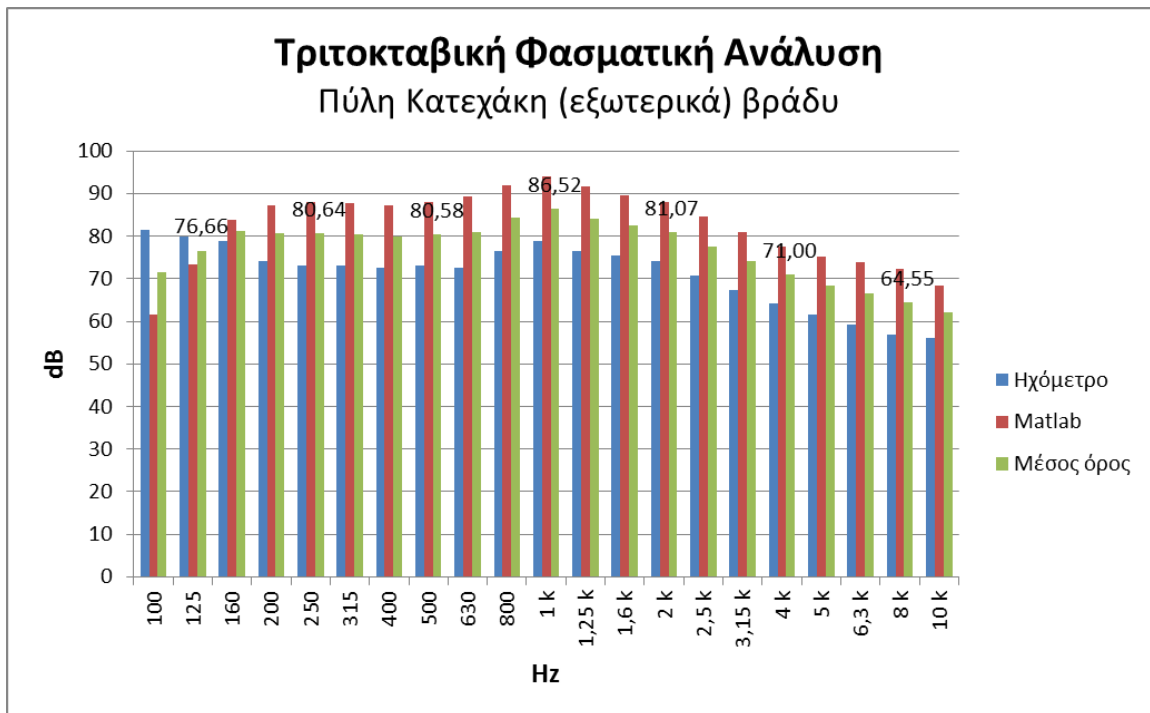
Γράφημα 4.15. 9



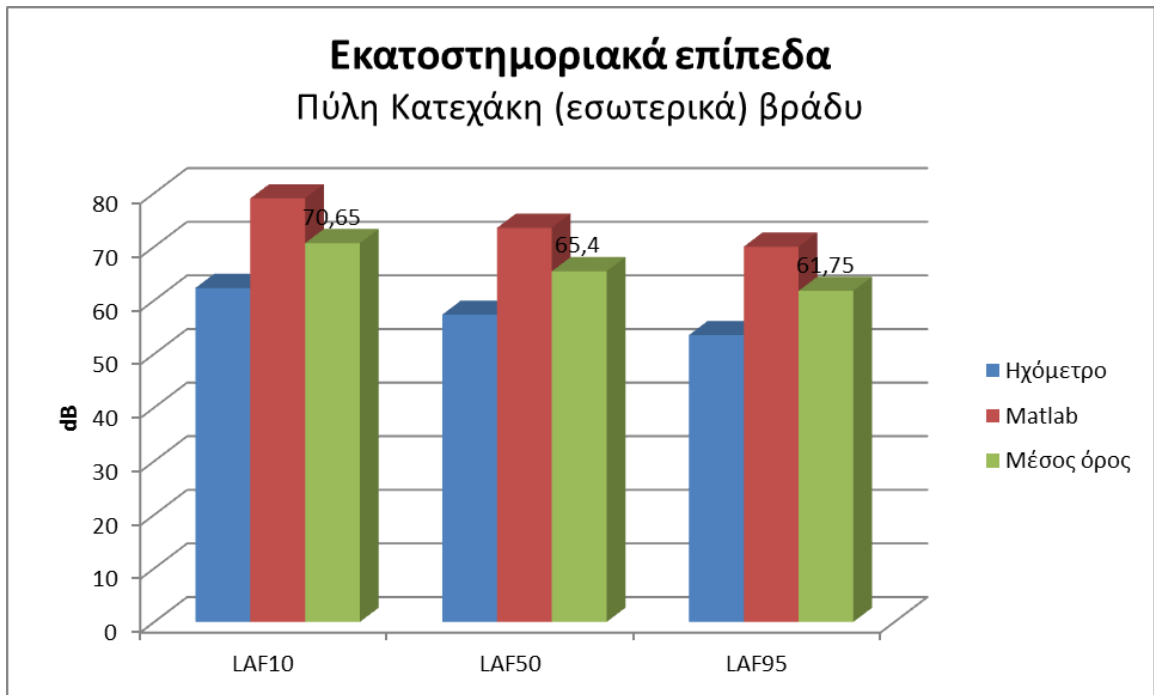
Γράφημα 4.15. 10



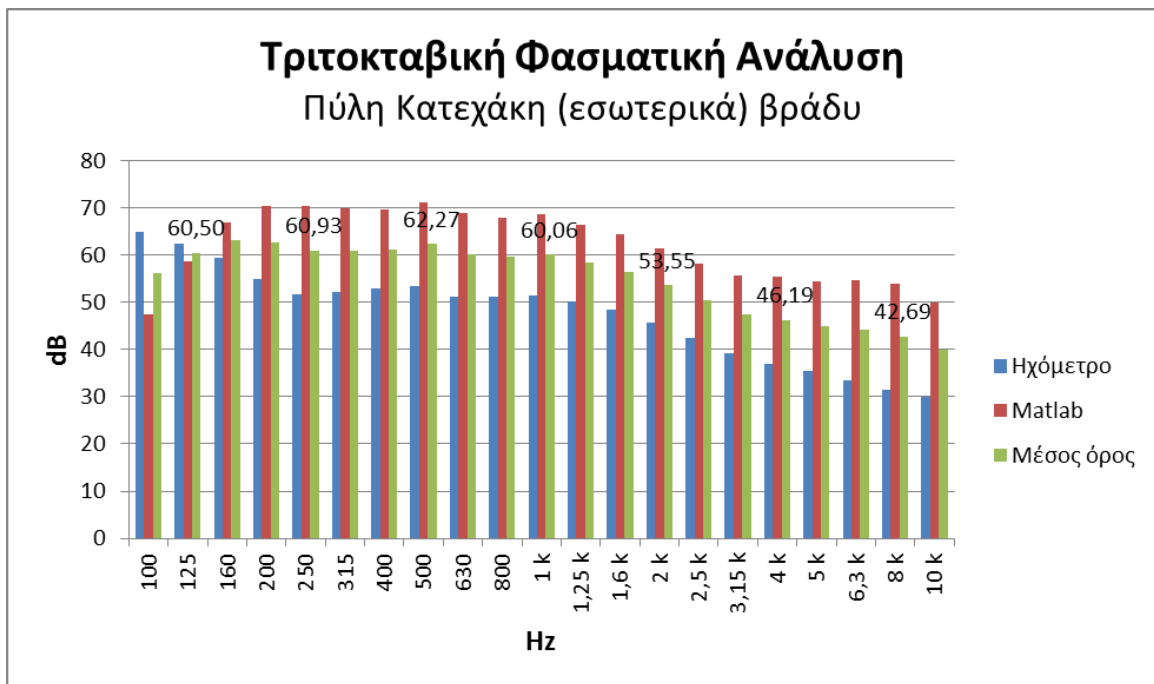
Γράφημα 4.15. 11



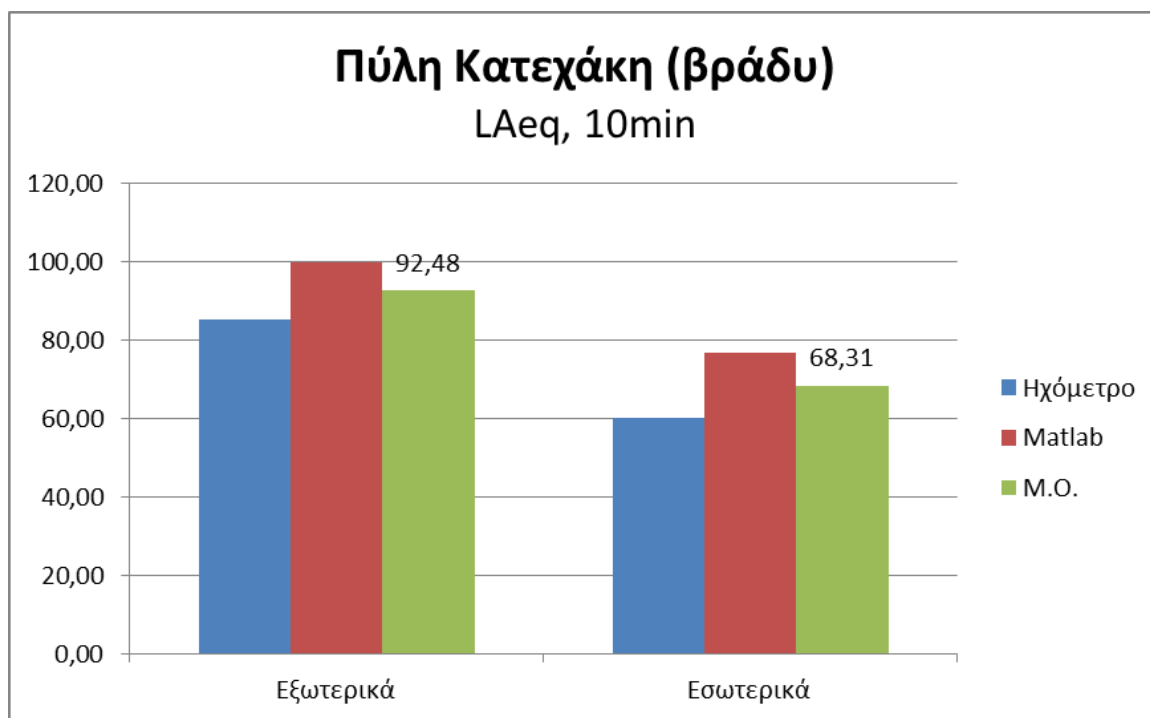
Γράφημα 4.15. 12



Γράφημα 4.15. 13



Γράφημα 4.15. 14



Γράφημα 4.15. 15

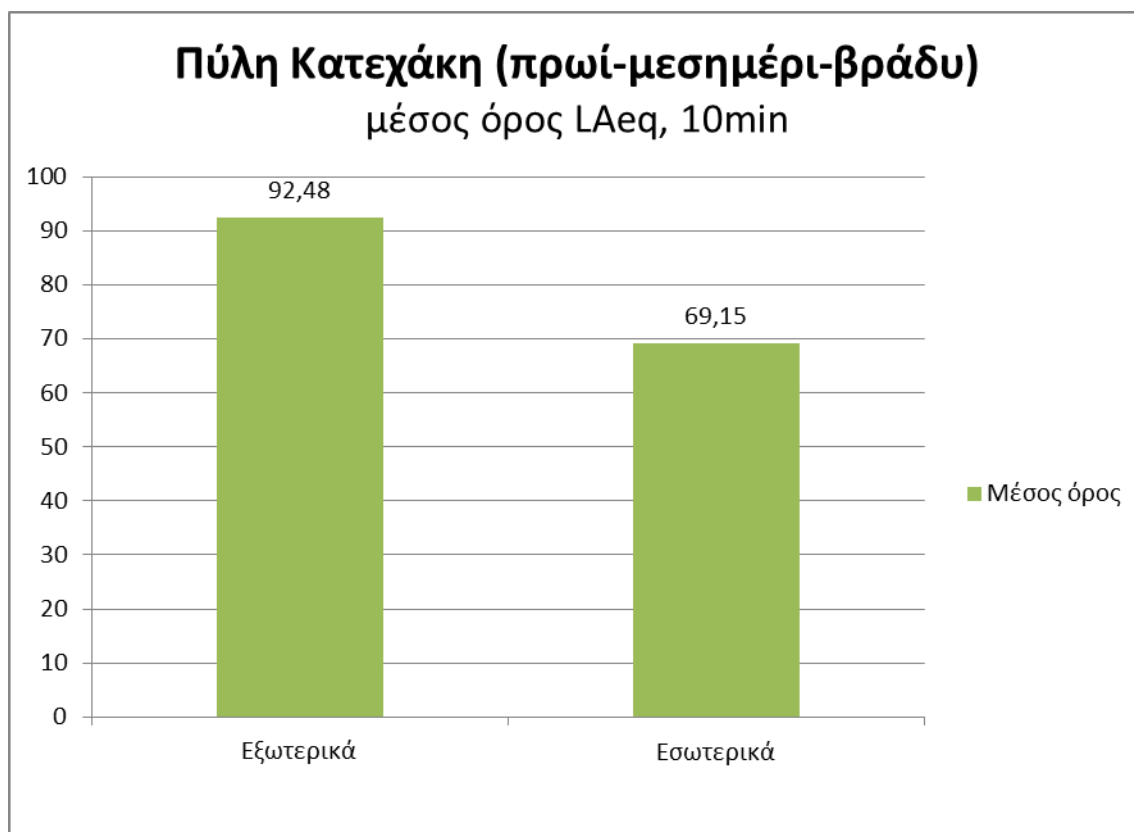
Με μια πρώτη ματιά στα γραφήματα της Πύλης Κατεχάκη εξωτερικά (4.15.1, 4.15.2, 4.15.6, 4.15.7, 4.15.11, 4.15.12), παρατηρούμε το αρκετά υψηλό επίπεδο του LAF10, το οποίο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του ανώτερου επιπέδου θορύβου. Για την ακρίβεια κυμαίνεται γύρω στα 95dB. Αυτό ήταν αναμενόμενο λόγω των ακραίων θορύβων που υφίστανται σε έναν τόσο πολυσύχναστο δρόμο όπως η λεωφόρος Κατεχάκη. Το πάτημα της κόρνας, ένα απότομο φρενάρισμα ή το έντονο μαρσάρισμα από ένα παλιό αυτοκίνητο ή μηχανάκι εκτοξεύουν την τιμή του LAF10, καθώς επίσης και την τιμή του συνολικού LAeq αφού επηρεάζεται αρκετά από τις υψηλές ακραίες τιμές. Η μέση τιμή του θορύβου LAF50 κοντά στα 90dB , βρίσκεται μέσα στα προβλεπόμενα όρια μιας λεωφόρου με αρκετή κίνηση. Συμβουλευόμενοι τον πίνακα της σελίδας 14 έχουμε θόρυβο για πολυσύχναστο δρόμο σε κατοικημένη περιοχή ~ 80dB, επομένως για μια λεωφόρο όπως η Κατεχάκη τον αναμένουμε υψηλότερο όπως και συμβαίνει. Ο θόρυβος βάθους είναι και αυτός υψηλός και οφείλεται στη γενικότερη φασαρία που επικρατεί στο δρόμο λόγω της κίνησης των οχημάτων.

Ένα ιδιαίτερος ενδιαφέρον στοιχείο προκύπτει από τα γραφήματα των φασματικών αναλύσεων όπου βλέπουμε την κατανομή του θορύβου σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων που περιλαμβάνει τις χαμηλές, τις μεσαίες καθώς και λίγο υψηλότερες συχνοτήτες. Έχουμε δηλαδή μια ποικιλία ήχων, διαφορετικών συχνοτήτων που προέρχονται από διάφορες αιτίες. Για παράδειγμα τόσο ο φωτεινός σηματοδότης στην πύλη που οδηγεί στην Κατεχάκη, όσο και εκείνος επί της Κατεχάκη στο ύψος της πύλης, προκαλούν κάποια ηχητικά φαινόμενα.

Όταν ο σηματοδότης είναι κόκκινος, τα οχήματα είναι σταματημένα και ο θόρυβος προέρχεται από τον ήχο που παράγει η μηχανή όταν βρίσκεται απλά σε λειτουργία. Αυτός είναι ένας ήχος που εκπέμπεται σε χαμηλές συχνότητες. Αντίστοιχα όταν ο σηματοδότης είναι πράσινος, τα διερχόμενα οχήματα αναπτύσσουν μεγάλες ταχύτητες και ο κινητήρας τους πολλές στροφές, με αποτέλεσμα ο ήχος που καταγράφεται να είναι υψηλότερων συχνοτήτων.

Όταν ο σηματοδότης γίνεται από κόκκινος σε πράσινος τα οχήματα ετοιμάζονται να ξεκινήσουν επομένως παράγονται ήχοι μαρσαρίσματος και ολίσθησης άλλοτε χαμηλότερης και άλλοτε υψηλότερης έντασης. Έτσι συμπληρώνεται το φάσμα του θορύβου στις μεσαίες και σε κάποιες υψηλές συχνότητες. Αντίστοιχα όταν ο σηματοδότης γίνεται από πράσινος σε κόκκινος τα οχήματα ελαττώνουν την ταχύτητά τους έως ότου ακινητοποιηθούν. Παράγεται και πάλι θόρυβος εξαιτίας των φρένων και της μηχανής καθώς και πιο ακραίοι ήχοι όπως βίαια φρεναρίσματα. Αυτοί οι ακραίοι ήχοι, μαζί με τις κόρνες και τα έντονα μαρσαρίσματα ευθύνονται για την υψηλή τιμή του LAF10 και την αύξηση του συνολικού LAeq. Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων εξωτερικά της πύλης κατά τη διάρκεια της ημέρας βλέπουμε πως τα επίπεδα θορύβου παραμένουν περίπου τα ίδια είτε είναι πρωί, είτε μεσημέρι, είτε βράδυ. Το βράδυ παρατηρούνται οι υψηλότερες τιμές, με τον μέσο όρο των LAeq (γραφήματα 4.15.5, 4.15.10, 4.15.15) να είναι 91,65dB γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως η λεωφόρος Κατεχάκη είναι ένας πολυσύχναστος δρόμος με αυξημένη κίνηση κατά τη διάρκεια της ημέρας και με σταθερά επίπεδα εκπομπής θορύβου τις καθημερινές.

Τα γραφήματα των μετρήσεων **εσωτερικά** της πύλης (4.15.3, 4.15.4, 4.15.8, 4.15.9, 4.15.13, 4.15.14) φανερώνουν σημαντικά μειωμένα επίπεδα θορύβου. Συγκεκριμένα το επίπεδο της μέσης ακουστικής έντασης LAF50 βρίσκεται στα 67dB, πηγή της οποίας είναι ο θόρυβος των οχημάτων που καταφθάνουν στο χώρο στάθμευσης μπροστά από την είσοδο των Μηχανολόγων και ο θόρυβος των φοιτητών που εισέρχονται στο κτίριο. Ο θόρυβος βάθους LAF95 είναι και στις τρεις μετρήσεις (πρωί-μεσημέρι-βράδυ) κοντά στα 63dB και οφείλεται στον θόρυβο του περιβάλλοντος της μέτρησης. Αυτός προέρχεται από τις μονάδες κλιματισμού που βρίσκονται εξωτερικά των κτιρίων καθώς επίσης από τον εξασθενημένο θόρυβο που φτάνει από την Κατεχάκη. Οι τιμές του LAF10 είναι ιδιαίτερα ήπιες σε όλες τις επιμέρους μετρήσεις. Ένα συμπέρασμα που μπορούμε να εξάγουμε για τις εσωτερικές μετρήσεις, είναι πως στη μεσημεριανή μέτρηση (LAeq=71.38) έχουμε μια μικρή αύξηση του επιπέδου του θορύβου σε σχέση με την πρωινή (LAeq=67.77) και τη βραδυνή (LAeq=68.31) οι οποίες είναι σχεδόν όμοιες. Αυτό συναπάγεται πως η προσέλευση των φοιτητών ή η αποχώρησή τους εκείνες τις ώρες είναι αυξημένη σε σχέση με τις υπόλοιπες. Τα διαγράμματα των τριτοκταβικών φασματικών αναλύσεων (εσωτερικές), διακρίνονται από μια ομαλότητα χωρίς να υπάρχουν αυξομειώσεις ή ακραίες τιμές. Η συγκέντρωση του θορύβου παρατηρείται στις χαμηλές και μεσαίες συχνότητες.



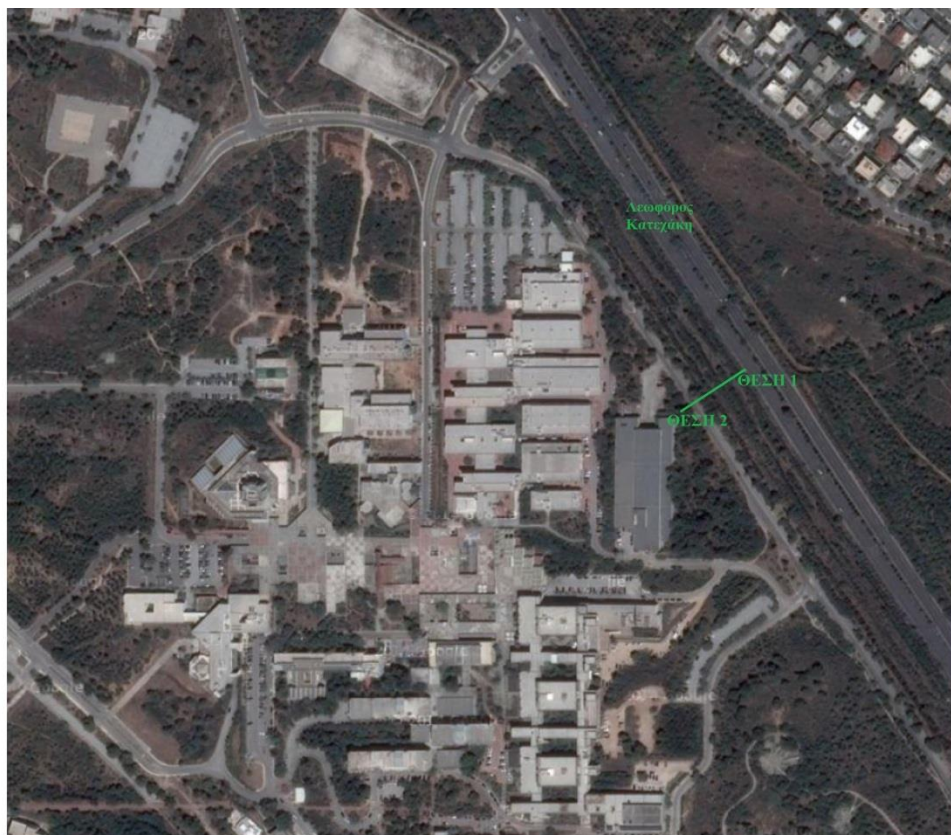
Γράφημα 4.15. 16

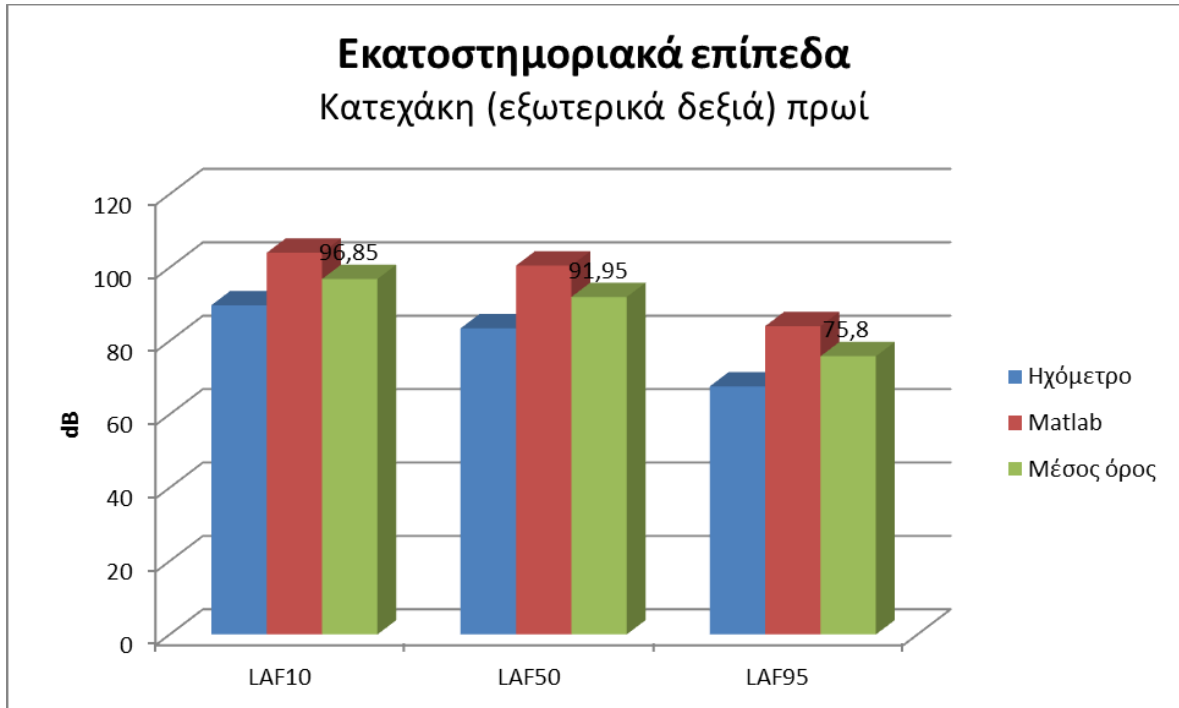
Το παραπάνω γράφημα 4.15.16, παρουσιάζει τον μέσο όρο του LAeq κατά τη διάρκεια της ημέρας (πρωί-μεσημέρι-βράδυ) συνολικά των εξωτερικών και εσωτερικών μετρήσεων αντίστοιχα. (ΘΕΣΗ 1 – ΘΕΣΗ 2)

Παρατηρούμε μία σημαντική πτώση των επιπέδων του θορύβου στον εσωτερικό χώρο του Πολυτεχνείου, λίγο έξω από τα κτίρια των Μηχανολόγων, που αποτελεί και το επιθυμητό αποτέλεσμα. Τα 69,15dB στην είσοδο του κτιρίου είναι ιδανικά θα μπορούσαμε να πούμε, ώστε να μην επηρεάζεται καμία από τις εκπαιδευτικές διαδικασίες και δραστηριότητες της κοινότητας εξαιτίας του θορύβου. Από τα 91,65dB που έχουμε στον εξωτερικό χώρο της πύλης Κατεχάκη μειώνεται ο θόρυβος κατά 22,5dB. Αποφασιστικό ρόλο στην ηχομείωση αυτή παίζει η σημαντική απόσταση της ΘΕΣΗΣ 2 από την Κατεχάκη, καθώς και η φυσική ηχομόνωση που υπάρχει μεταξύ των δύο αυτών σημείων, δηλαδή η βλάστηση. Τα δέντρα, οι θάμνοι και γενικά η χλωρίδα του περιβάλλοντος χώρου, δεν επιτρέπει στα αυξημένα επίπεδα θορύβου της λεωφόρου Κατεχάκη να εισέλθουν ανεπηρέαστα στο εσωτερικό της Πολυτεχνειούπολης, καθώς παρεμποδίζουν την πορεία των ηχητικών κυμάτων ανακλώντας τα και απορροφώντας σημαντικά ποσά της ενέργειάς τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να φθάνουν στα κτίρια ιδιαίτερα εξασθενημένα και να μην επηρεάζουν σημαντικά τα επίπεδα του θορύβου στον εσωτερικό χώρο του Πολυτεχνείου.

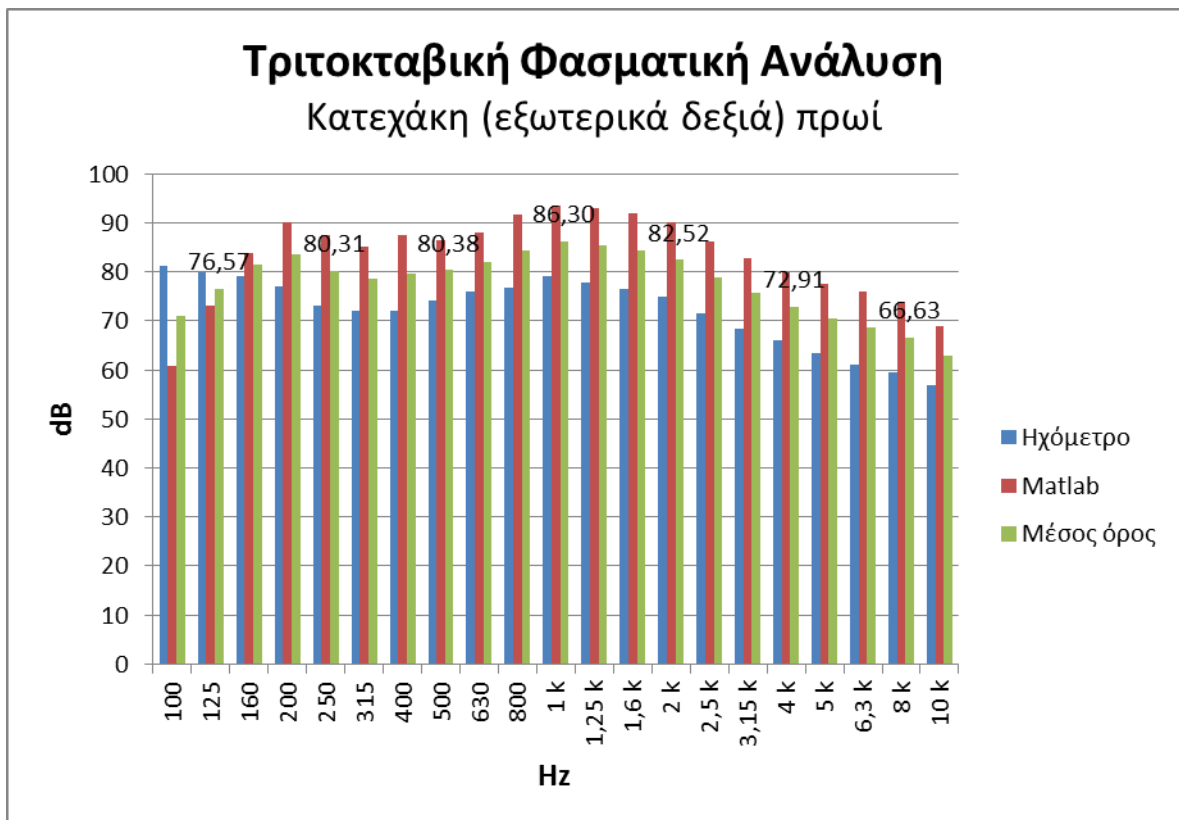
Οι μετρήσεις θορύβου των διαγραμμάτων που ακολουθούν πραγματοποιήθηκαν:

- Παράλληλα της λεωφόρου Κατεχάκη, από την εξωτερική πλευρά της Πολυτεχνειούπολης. (ΘΕΣΗ 1)
- Από την εσωτερική πλευρά της Πολυτεχνειούπολης, σε απόσταση πέντε μέτρων από το πρώτο κτίριο που συναντά η νοητή κάθετη (στην Κατεχάκη) ευθεία από τη θέση 1. (ΘΕΣΗ 2)

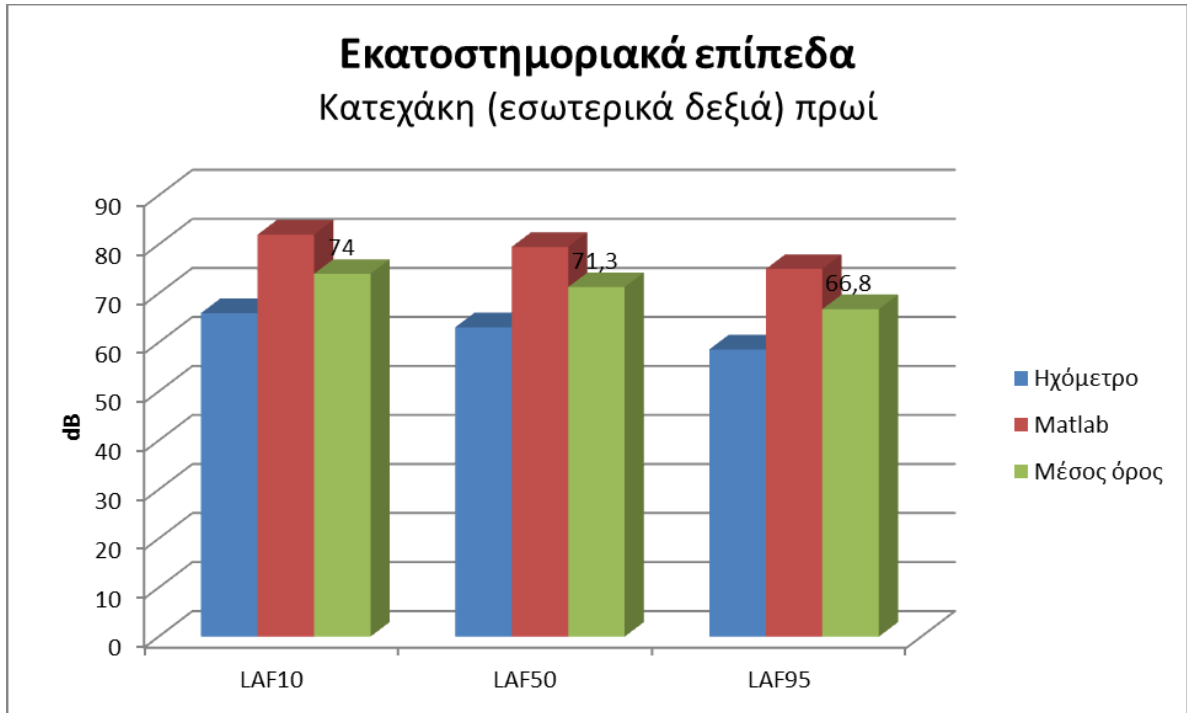




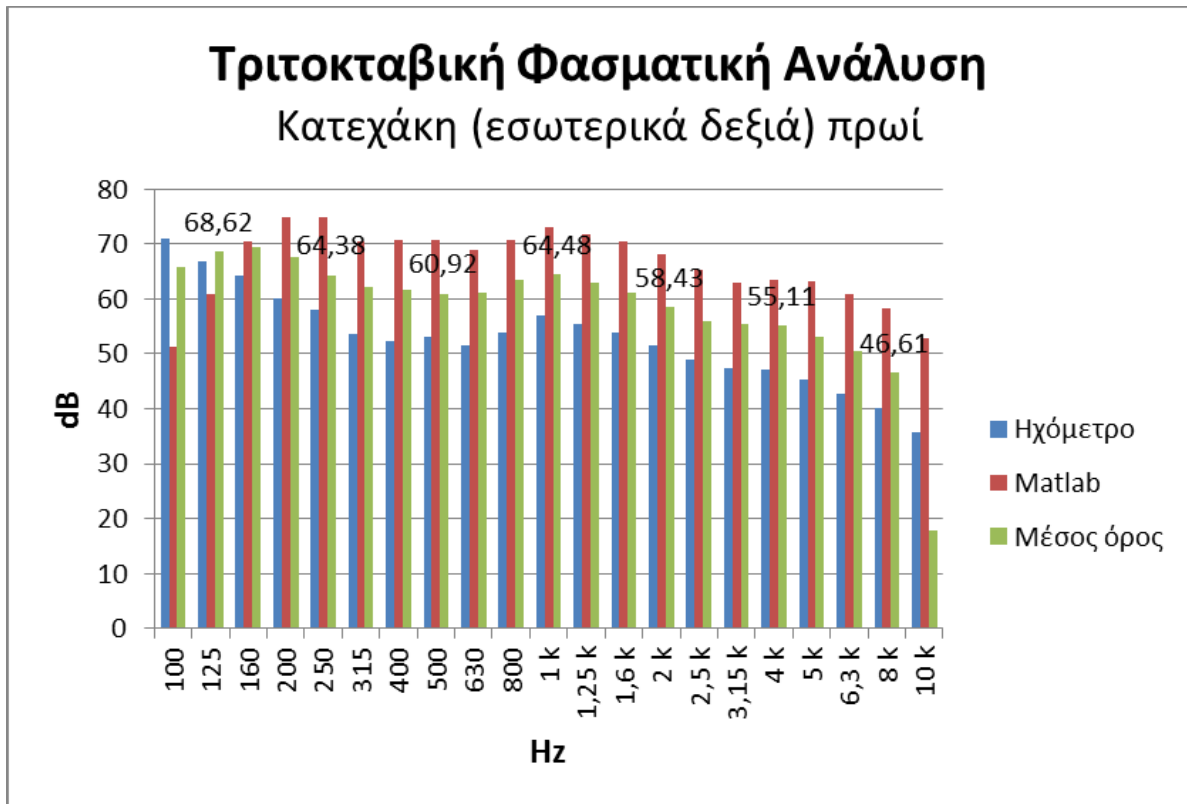
Γράφημα 4.15. 17



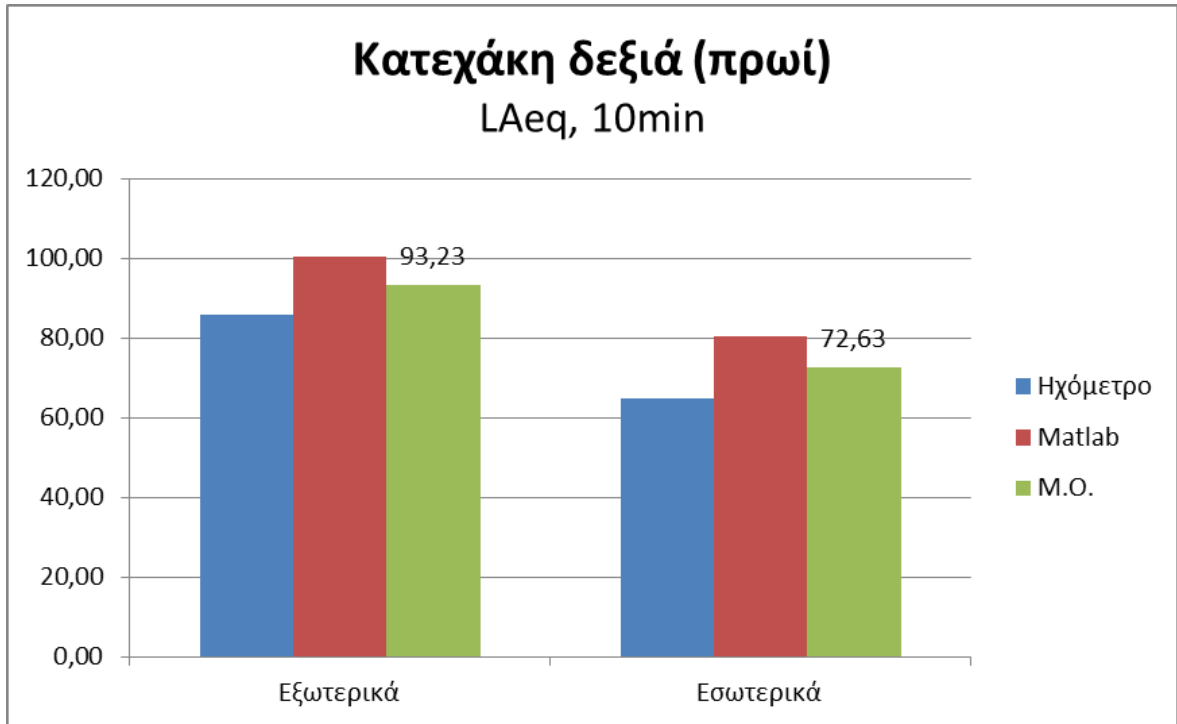
Γράφημα 4.15. 18



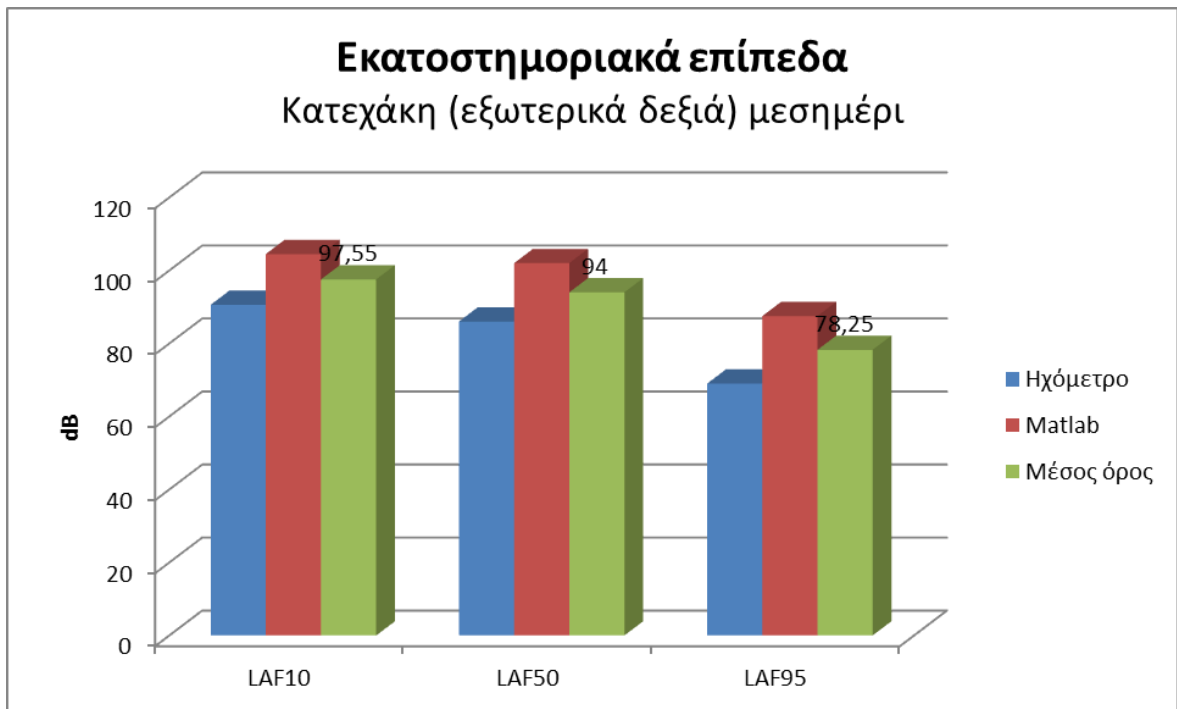
Γράφημα 4.15. 19



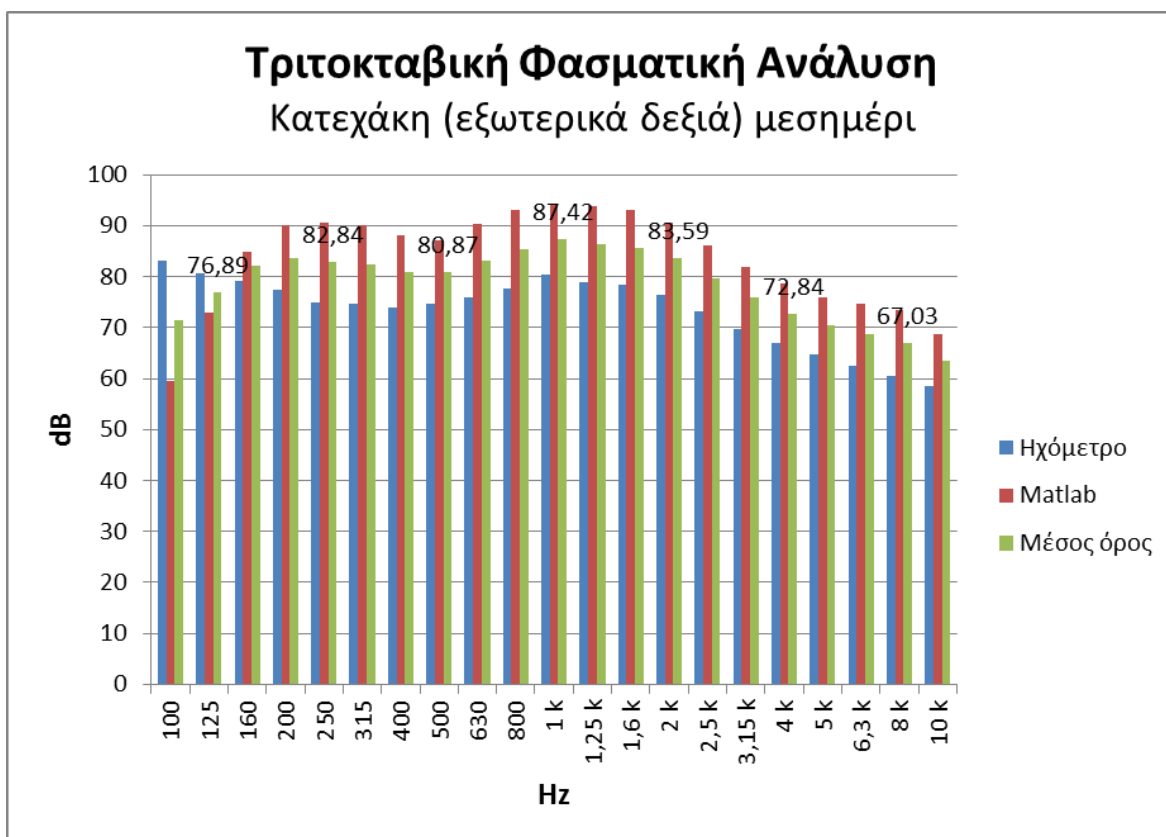
Γράφημα 4.15. 20



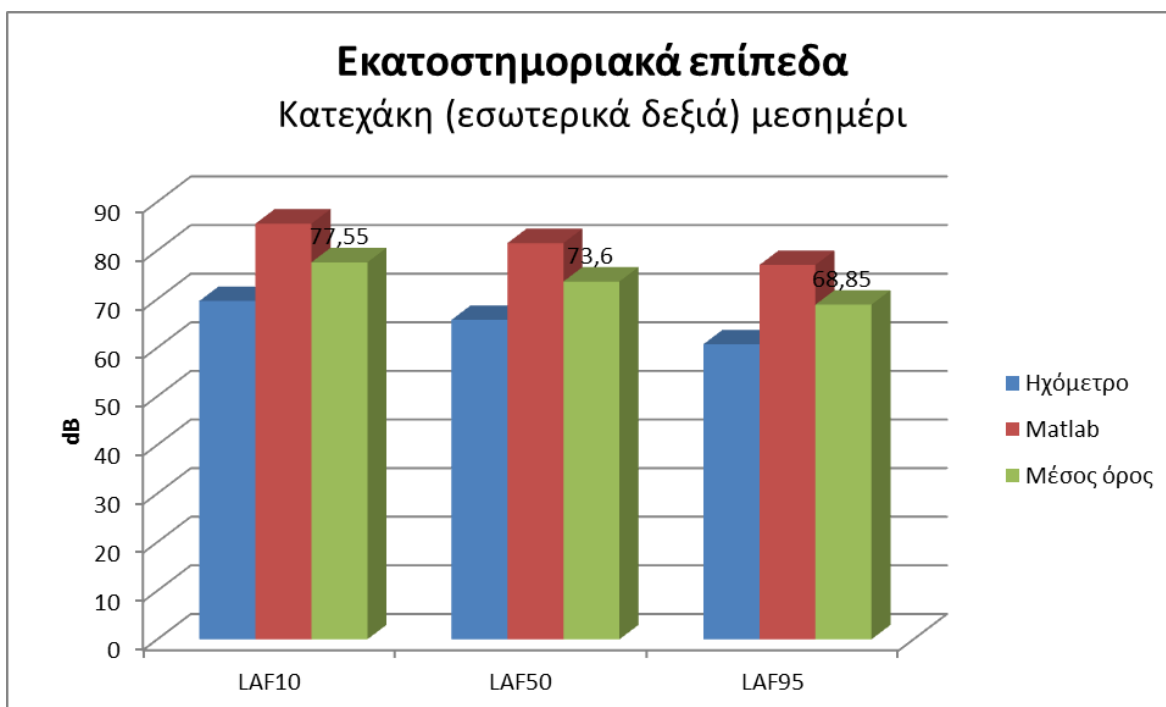
Γράφημα 4.15. 21



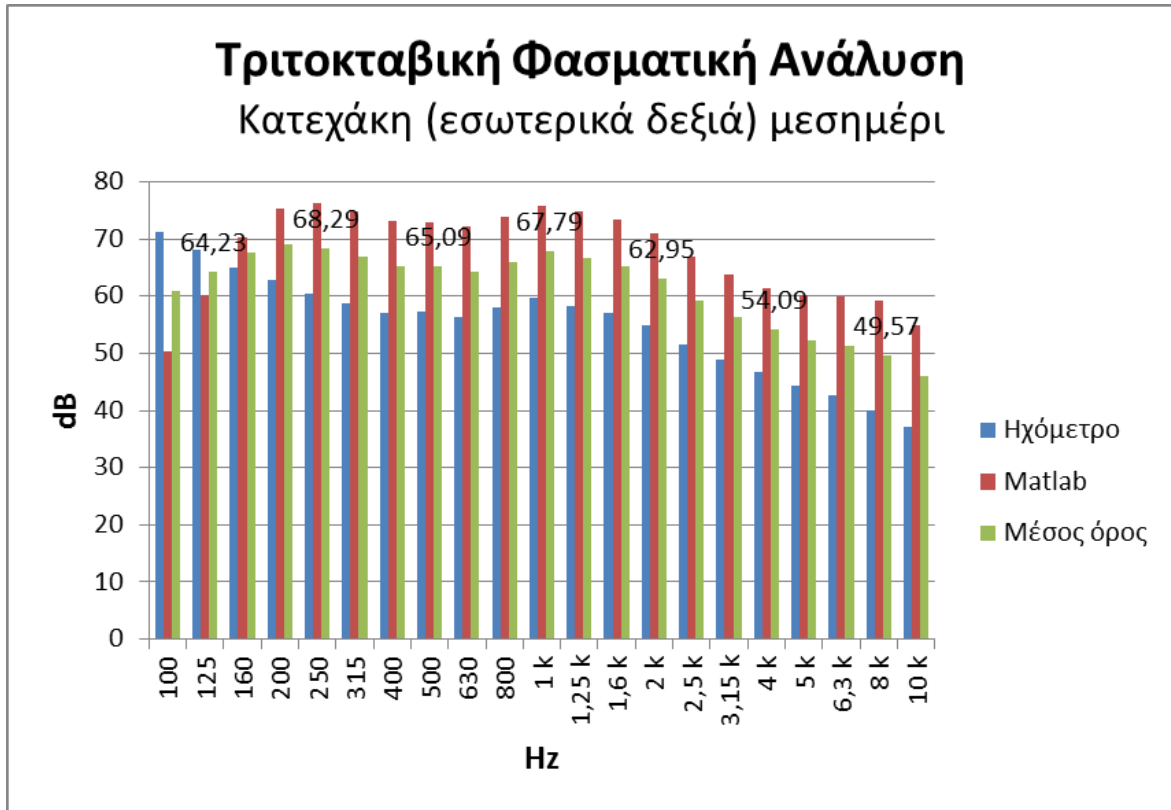
Γράφημα 4.15. 22



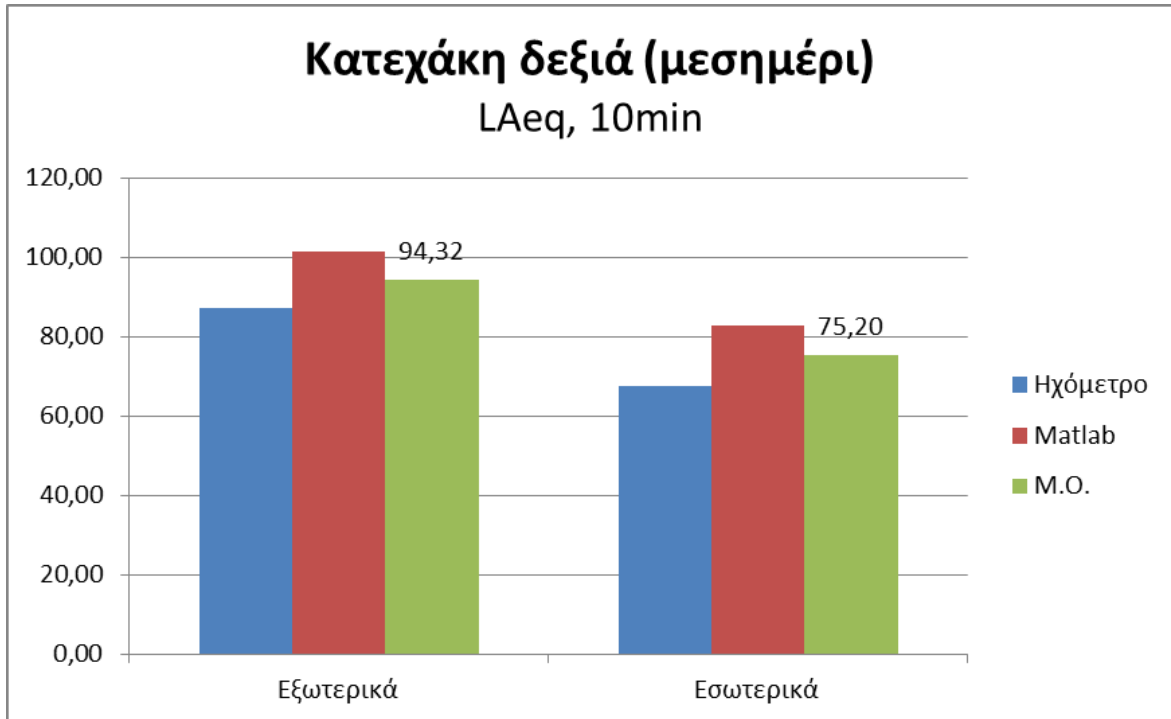
Γράφημα 4.15. 23



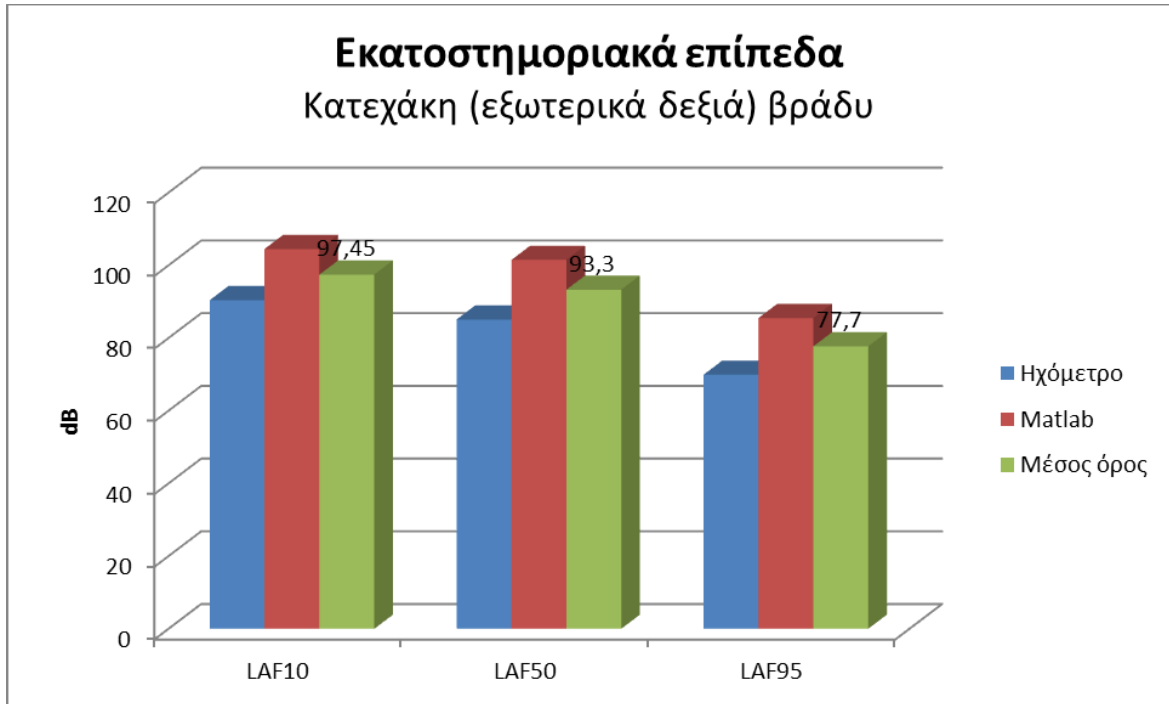
Γράφημα 4.15. 24



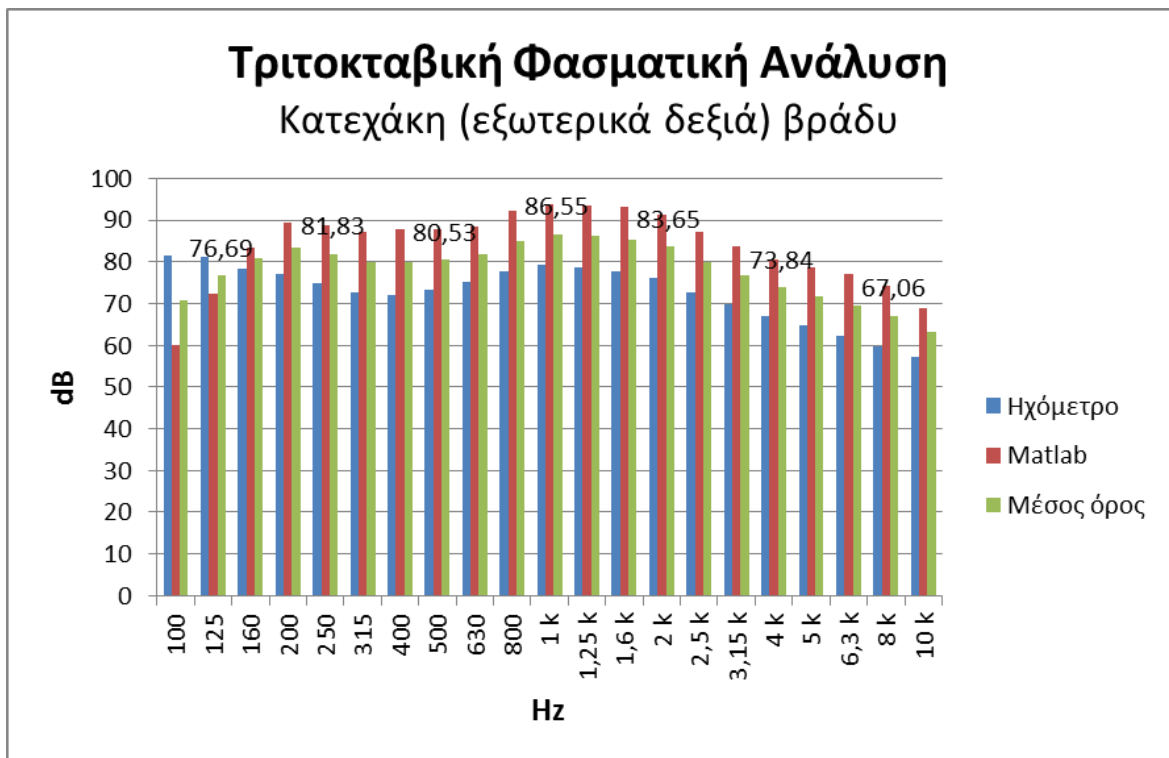
Γράφημα 4.15. 25



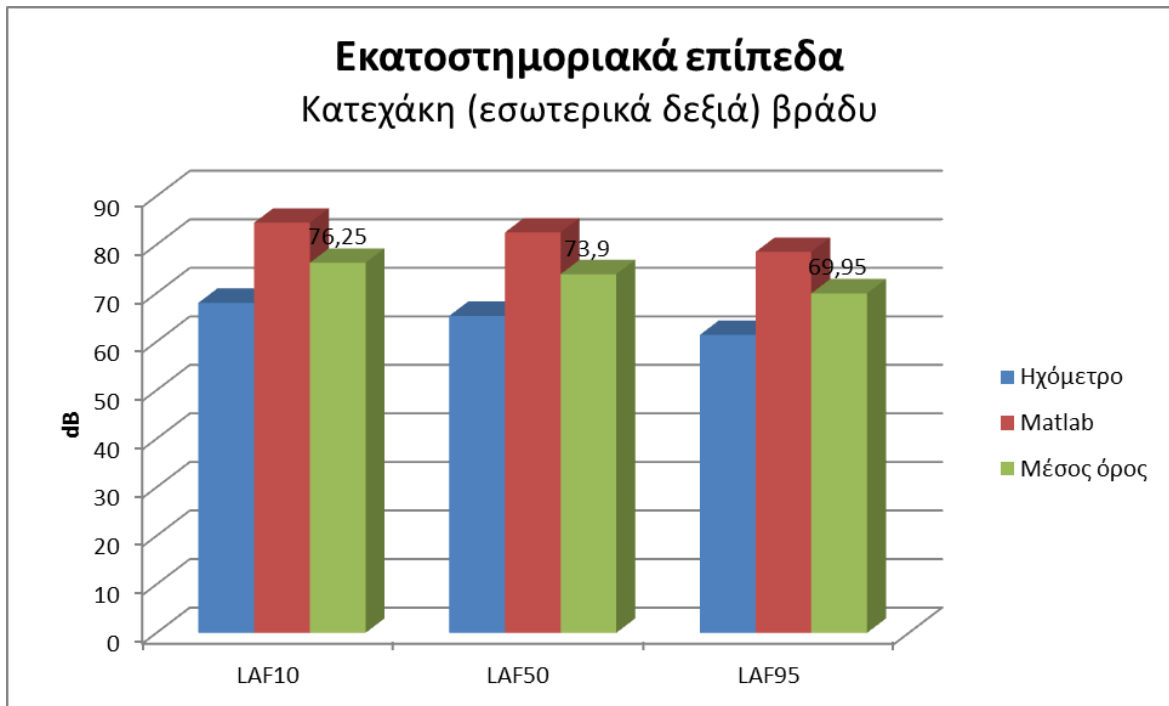
Γράφημα 4.15. 26



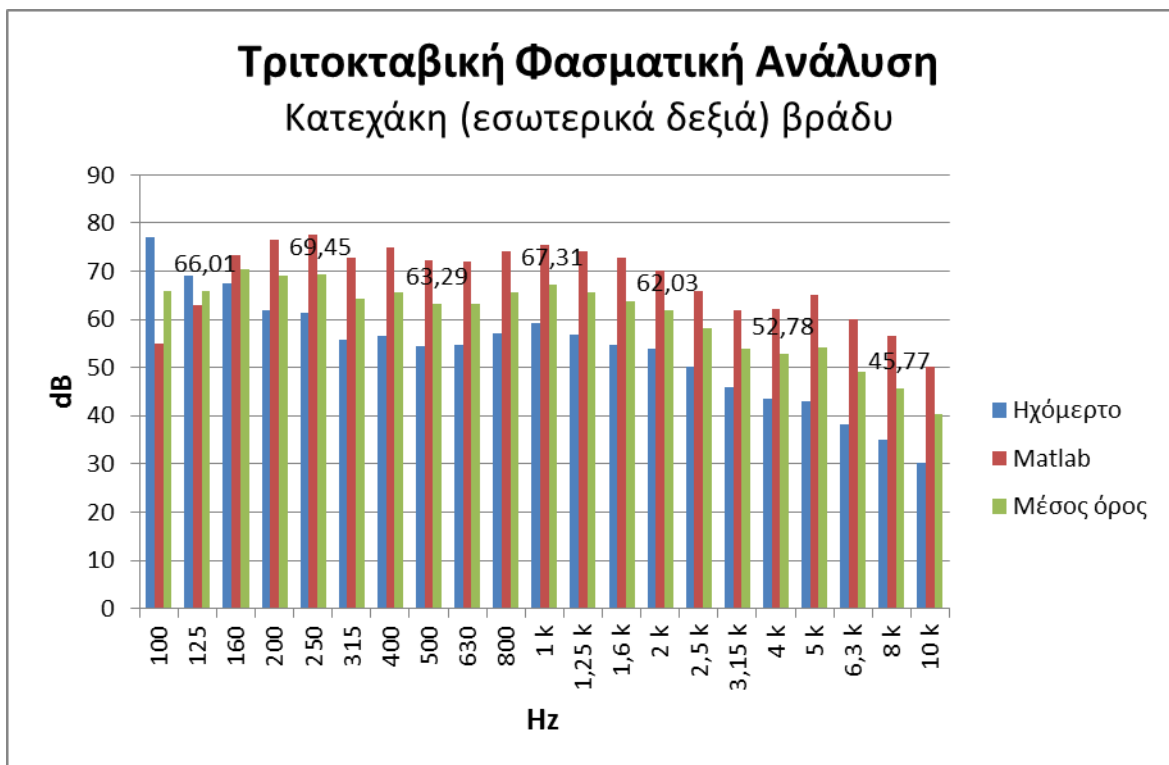
Γράφημα 4.15. 27



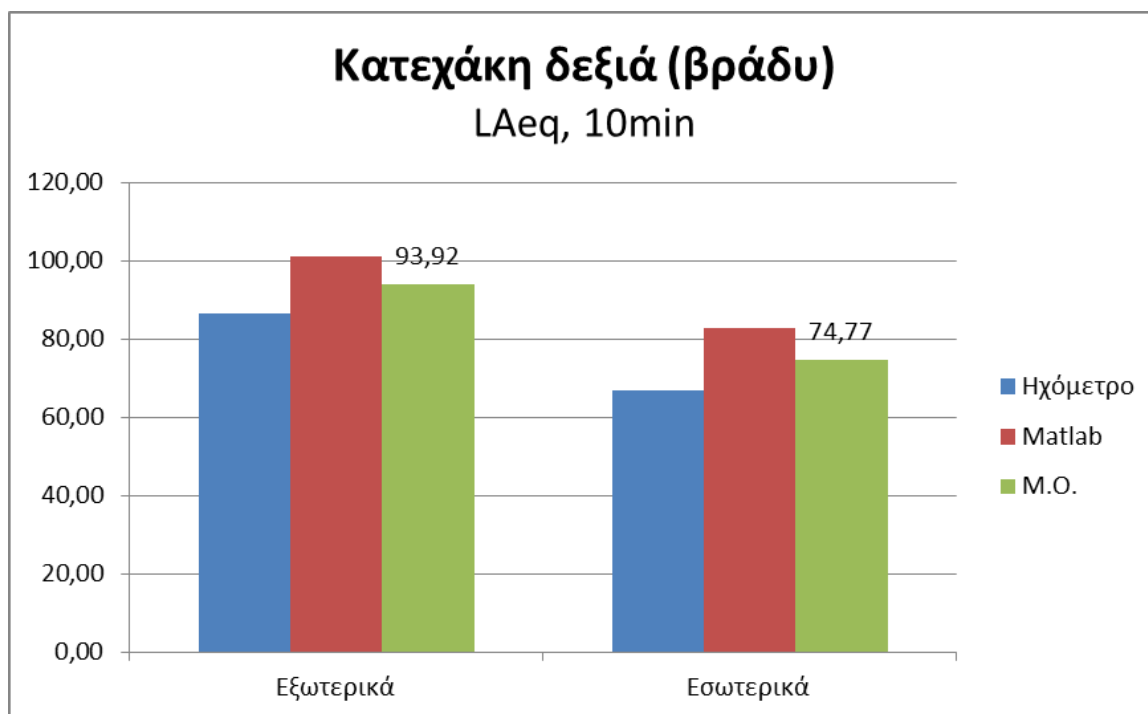
Γράφημα 4.15. 28



Γράφημα 4.15. 29



Γράφημα 4.15. 30



Γράφημα 4.15. 31

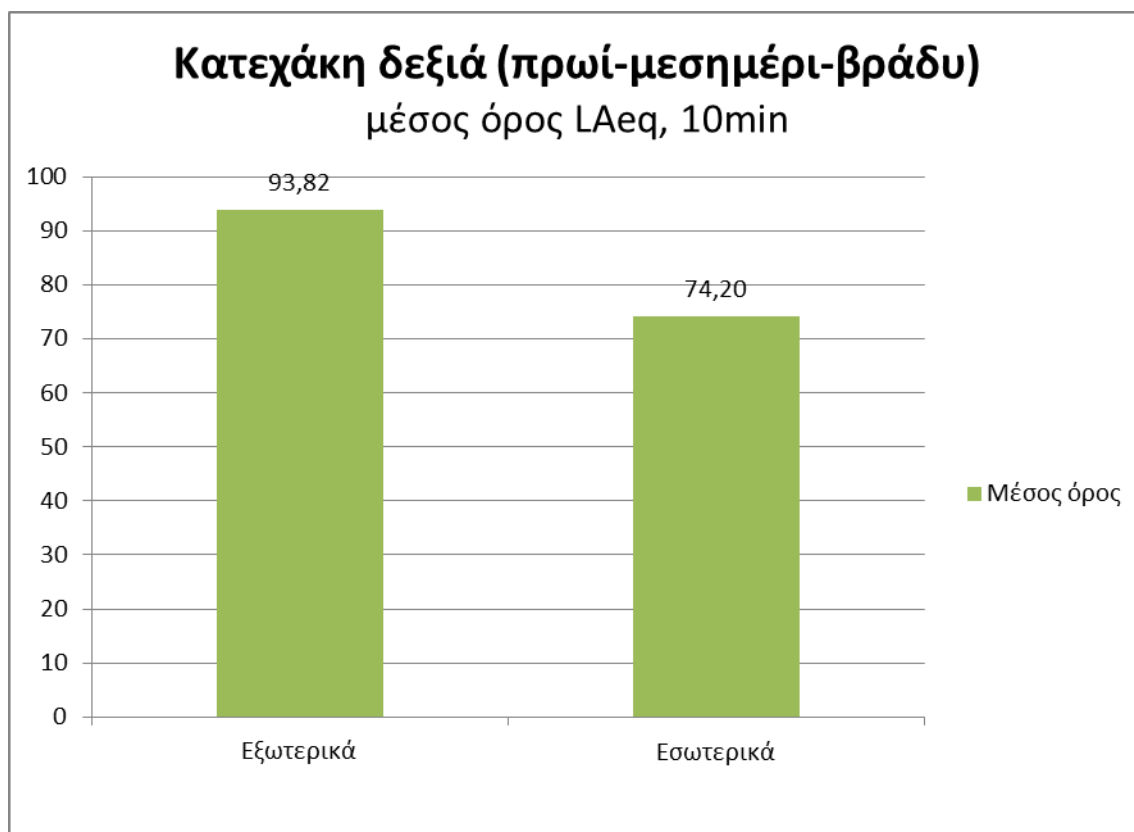
Παρατηρώντας προσεκτικά τα γραφήματα των εξωτερικών μετρήσεων (4.15.17-18, 4.15.22-23, 4.15.27-28), αμέσως παρατηρούμε τις πολλές και μεγάλες ακραίες τιμές στο φάσμα των συχνοτήτων που έχουν σαν αποτέλεσμα έναν μέσο όρο (πρωί-μεσημέρι-βράδυ) του LAF10 = 97.28dB και του LAeq = 93,82dB. Ιδιαίτερα μεγάλες τιμές θορύβου οι οποίες ωστόσο συμβαδίζουν με τα πρότυπα του πίνακα στη σελίδα 14. Ο μέσος όρος του θορύβου βάθους LAF95 = 77,25dB κυμαίνεται σε ικανοποιητικά επίπεδα, με το μέσο επίπεδο της ακουστικής έντασης LAF50 να βρίσκεται στα 93,08dB.

Ο λόγος που παρουσιάζονται τόσο αυξημένα τα επίπεδα του θορύβου στην συγκεκριμένη θέση όλες τις ώρες είναι πως ο προηγούμενος φωτεινός σηματοδότης επί της Κατεχάκη βρίσκεται στο ύψος της πύλης όπου διεξήχθησαν οι προηγούμενες μετρήσεις. Αυτό δίνει τη δυνατότητα σε όλα τα οχήματα που κινούνται πάνω στο δρόμο να αναπτύξουν μεγάλες ταχύτητες, επομένως περνώντας από το σημείο όπου γίνεται η μέτρηση ο θόρυβος που προκαλούν να πολλαπλασιάζεται. Ιδιαίτερα τα οχήματα παλαιότερης τεχνολογίας και περισσότερο τα φορτηγά και τα μηχανάκια, που αποτελούν μεγάλο μέρος των οχημάτων που διασχίζουν τη συγκεκριμένη λεωφόρο, όσο αυξάνουν την ταχύτητά τους ο θόρυβος που παράγουν αυξάνεται επίσης ραγδαία. Επομένως πολλές τέτοιες ακραίες τιμές έχουν την ιδιότητα να αυξάνουν και το συνολικό LAeq όπως γνωρίζουμε, γεγονός που όντως συμβαίνει αν κρίνουμε από τα διαγράμματα των τριτοκταβικών φασματικών αναλύσεων. Από τα ίδια διαγράμματα βλέπουμε πως έχουμε μια γκάμα ήχων σχεδόν όλων των συχνοτήτων.

Κοιτώντας τα εκατοστημοριακά επίπεδα των εξωτερικών μετρήσεων καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως ανεξάρτητα από την ώρα λήψης της κάθε εξωτερικής μέτρησης, τα επίπεδα του θορύβου είναι σχεδόν τα ίδια. Αναφέρουμε πως στη μεσημεριανή μέτρηση παρατηρήθηκαν τα μεγαλύτερα επίπεδα θορύβου, με τη διαφορά ωστόσο από τις άλλες δύο μετρήσεις να είναι πολύ μικρή (λιγότερο από 2dB). Στο συγκεκριμένο σημείο της Κατεχάκη η ηχορύπανση κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα καθόλη τη διάρκεια της ημέρας τις καθημερινές.

Από τα διαγράμματα των εκατοστημοριακών επιπέδων των **εσωτερικών μετρήσεων** (4.15.19-20, 4.15.24-25, 4.15.29-30), παρατηρούμε μια σαφή μείωση στα επίπεδα του θορύβου. Συγκεκριμένα οι ακραίες τιμές έχουν σχεδόν εξαλειφθεί, με τον μέσο όρο του LAF10 (πρωί-μεσημέρι-βράδυ) να βρίσκεται στα 75,9dB όταν η μέση τιμή του θορύβου είναι LAF50 = 72,9dB (διαφορά 3 dB). Την κύρια πηγή θορύβου αποτελούν τα οχήματα που κινούνται στο δρόμο του εσωτερικού οδικού δικτύου της Πολυτεχνειούπολης με σχετικά μικρή συχνότητα, καθώς και τα εξασθενημένα ηχητικά κύματα που προέρχονται από την κίνηση επί της λεωφόρου Κατεχάκη. Ο θόρυβος βάθους LAF95 είναι ακόμα χαμηλότερος, όπως και αναμενόταν, στα 68.53dB . Από τα διαγράμματα των φασματικών αναλύσεων εξάλλου βλέπουμε την ομαλότητα της καμπύλης στο εύρος των συχνοτήτων, με κύριο εκφραστή των εκπεμπόμενων ήχων τις χαμηλές και μεσαίες συχνότητες. Ο μέσος όρος του συνολικού LAeq, γραφήματα 4.15.21, 4.15.26, 4.15.31, (πρωί-μεσημέρι-βράδυ) είναι 74,2dB καθώς όπως προαναφέραμε δεν υπήρξαν ακραίες τιμές που να προκαλέσουν την αύξησή του. Βρίσκεται δηλαδή χαμηλότερα από τα επίπεδα του θορύβου ενός πολυσύχναστου δρόμου σε κατοικημένη περιοχή, σύμφωνα με τον πίνακα της σελίδας 14. Γεγονός ιδιαίτερα ικανοποιητικό.

Τον περισσότερο θόρυβο στις εσωτερικές μετρήσεις τον παρατηρήσαμε κατά τη διάρκεια της μεσημεριανής μέτρησης LAeq = 75.2dB, με τη διαφορά ωστόσο από τις υπόλοιπες να είναι πολύ μικρή. Αυτό συμβαίνει αφενός διότι το μεσημέρι κινούνται περισσότερα οχήματα στον εσωτερικό περιφερειακό δρόμο του Πολυτεχνείου, και αφετέρου γιατί ο θόρυβος στην Κατεχάκη είναι ο μέγιστος εκείνη τη χρονική στιγμή όπως προκύπτει από τα ανωτέρω συμπεράσματα των εξωτερικών μετρήσεων. Επομένως και ο εξασθενημένος θόρυβος που φθάνει στο εσωτερικό είναι ο μέγιστος κατά τις μεσημεριανές ώρες.



Γράφημα 4.15. 32

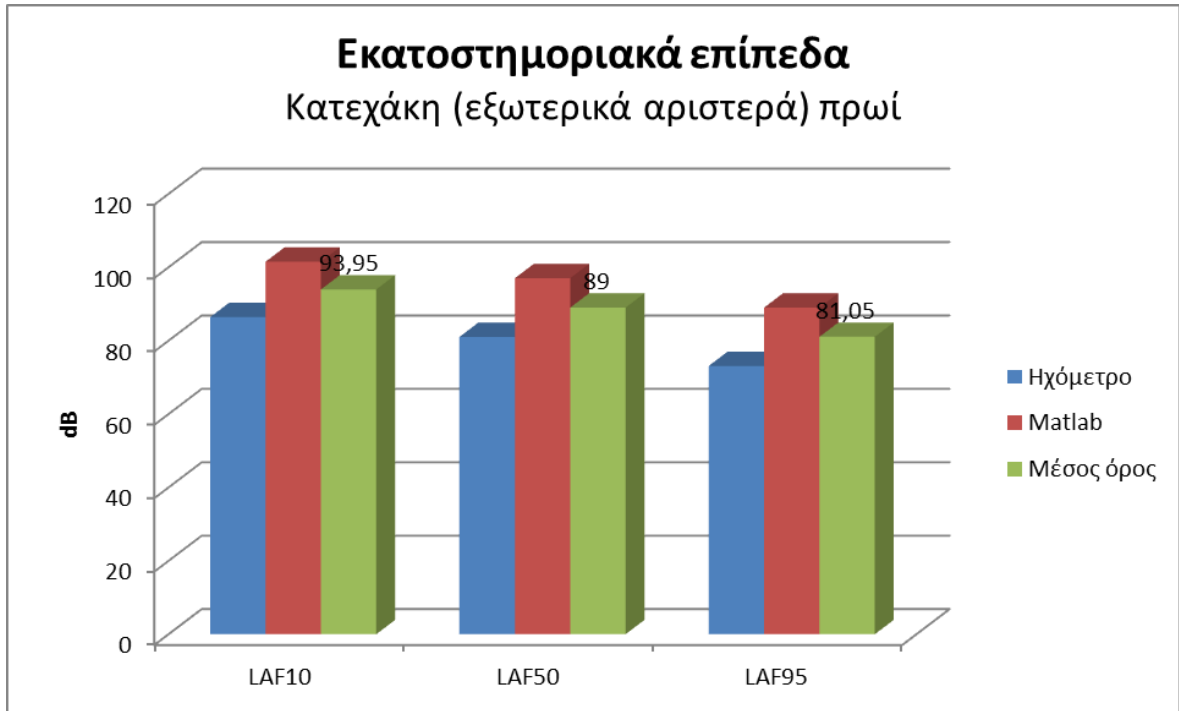
Στο γράφημα αυτό 4.15.32 απεικονίζεται ο μέσος όρος του LAeq για τις μετρήσεις συνολικά καθόλη τη διάρκεια της ημέρας (πρωί-μεσημέρι-βράδυ), τόσο εξωτερικά του χώρου του Πολυτεχνείου, όσο και στο εσωτερικό. (ΘΕΣΗ 1 – ΘΕΣΗ 2)

Παρατηρούμε μειωμένα τα επίπεδα του θορύβου στον εσωτερικό χώρο στα 74,2dB που ήταν και εξαρχής ο στόχος μας. Δηλαδή να καταφέρουμε να εξασθενήσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο το θόρυβο που φτάνει ως τα κτίρια έτσι ώστε να παραμένει ανεπηρέαστη από αυτόν τον παράγοντα η λειτουργία του ιδρύματος. Το επίπεδο θορύβου που τελικά μετρήσαμε εσωτερικά μας αφήνει ικανοποιημένους, διότι τα συγκεκριμένα κτίρια βρίσκονται πιο κοντά στην Κατεχάκη από οποιοδήποτε άλλο. Τα κτίρια αυτά, έξω από τα οποία ελήφθησαν οι μετρήσεις, δεν χρησιμοποιούνται ως αμφιθέατρα ή αίθουσες διεξαγωγής μαθημάτων. Μπορούμε επομένως να είμαστε λίγο περισσότερο ελαστικοί σε σχέση με τις αντίστοιχες μετρήσεις εσωτερικά της πύλης Κατεχάκη μπροστά από την είσοδο των Μηχανολόγων. Εξωτερικά στην Κατεχάκη μετρήσαμε το συνολικό LAeq = 93,82dB επομένως η ηχομείωση που μας προσφέρει η πυκνή βλάστηση είναι 19,62dB. Συνυπολογίζοντας τη μικρή απόσταση των κτηρίων από τη λεωφόρο καθώς επίσης και τον εσωτερικό περιφερειακό δρόμο τα 19,62dB λιγότερα είναι αρκετά καλά, ωστόσο σε ορισμένα σημεία αυξάνοντας περισσότερο τη βλάστηση με τα ενδεικνυόμενα φυτά μπορούμε να επιτύχουμε ακόμη καλύτερα αποτελέσματα.

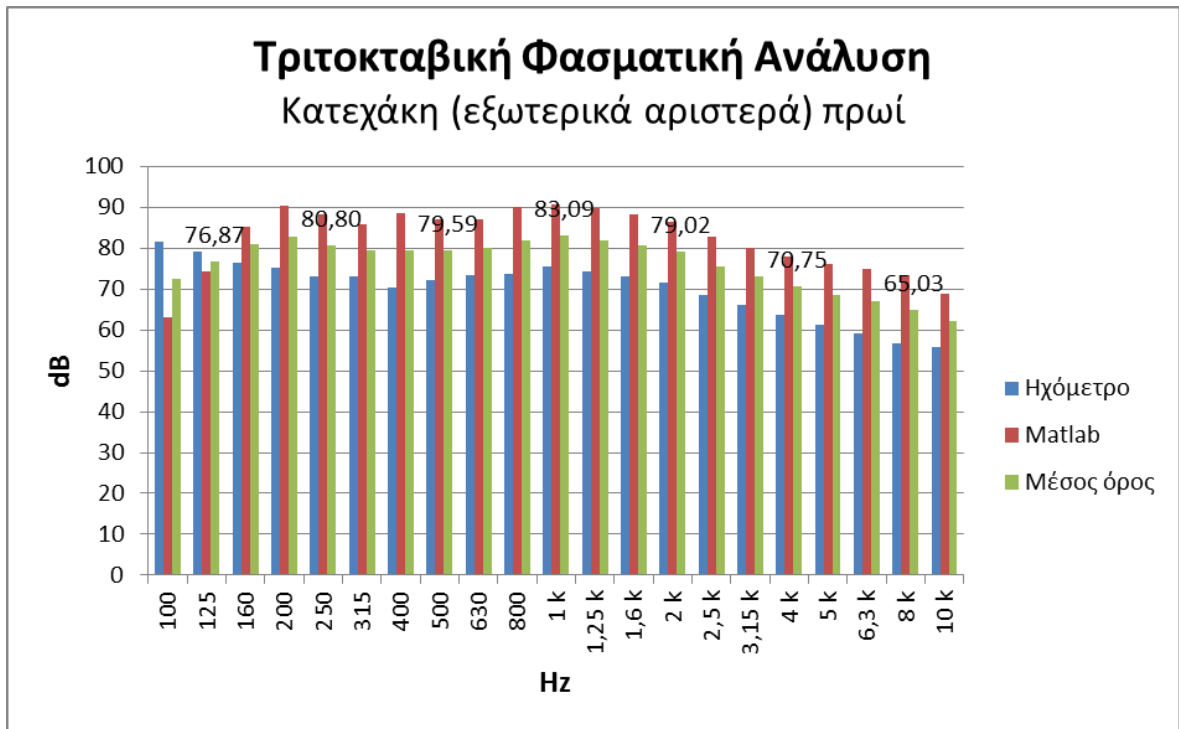
Οι μετρήσεις θορύβου των διαγραμμάτων που ακολουθούν πραγματοποιήθηκαν:

- Από την εξωτερική πλευρά της Πολυτεχνειούπολης στη γωνία όπου συναντώνται η λεωφόρος Κατεχάκη με την Κοκκινοπούλου επάνω στο πεζοδρόμιο. (ΘΕΣΗ 1)
- Στον εσωτερικό χώρο του Πολυτεχνείου σε απόσταση πέντε μέτρων από τα πρώτα κτίρια των Ηλεκτρολόγων που συναντούμε. (ΘΕΣΗ 2)

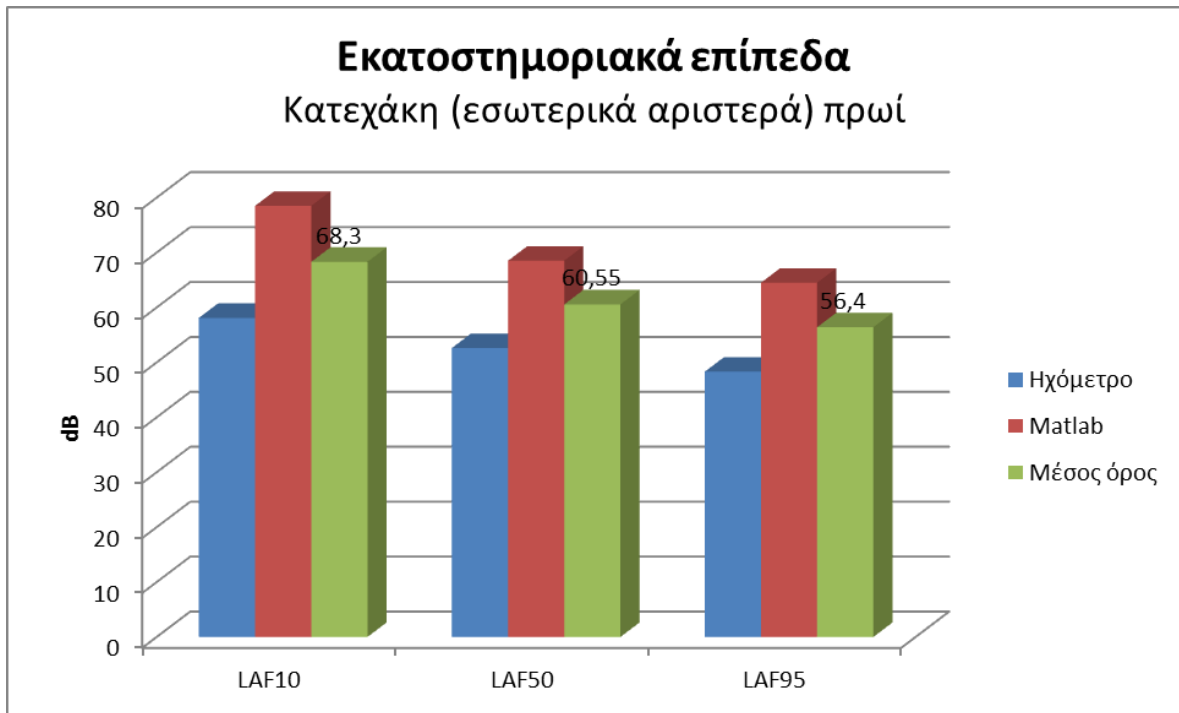




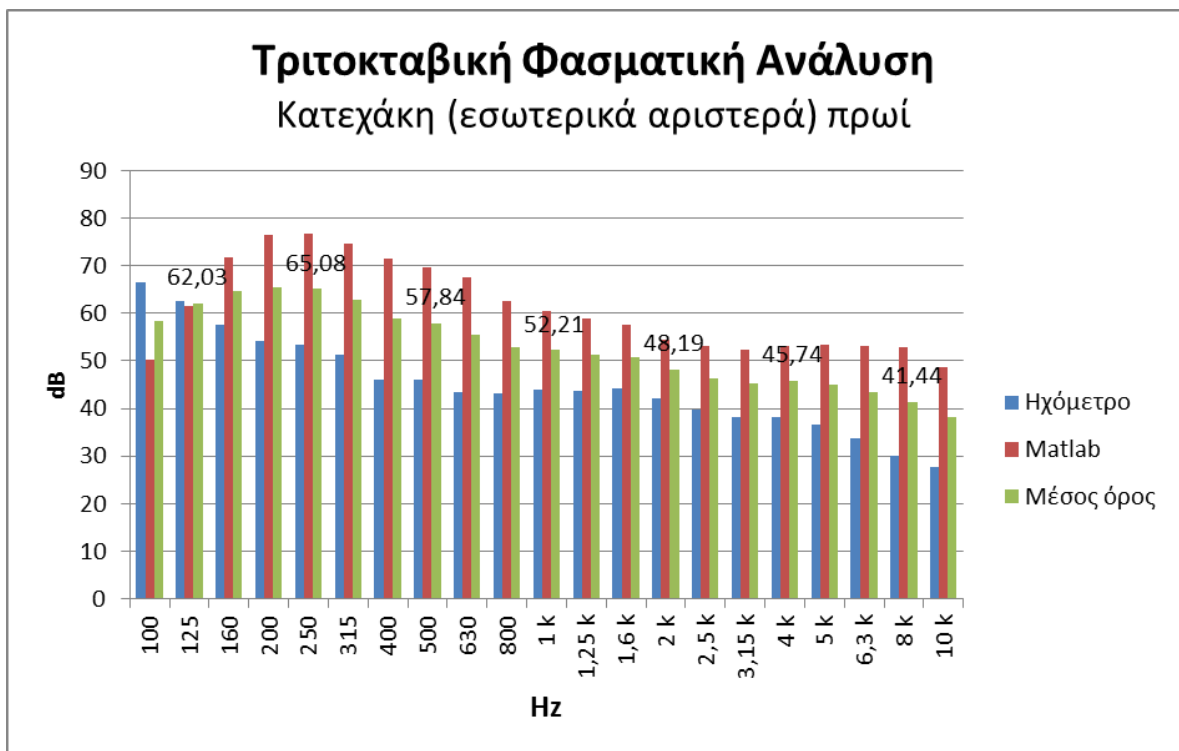
Γράφημα 4.15. 33



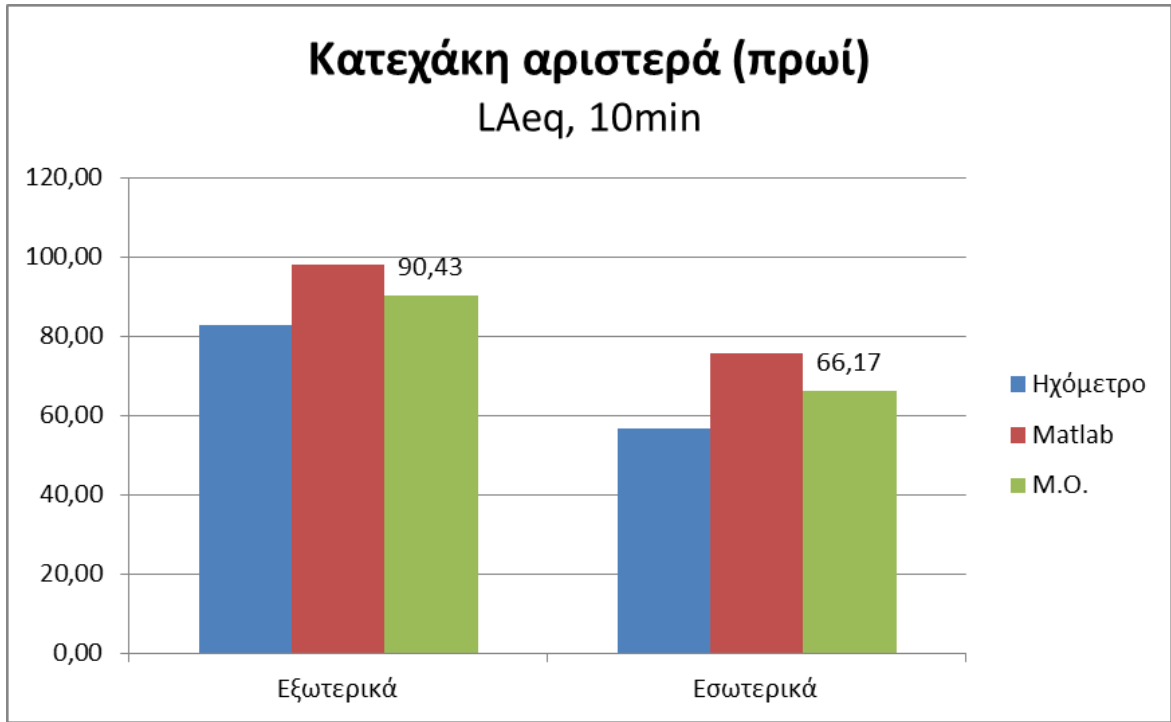
Γράφημα 4.15. 34



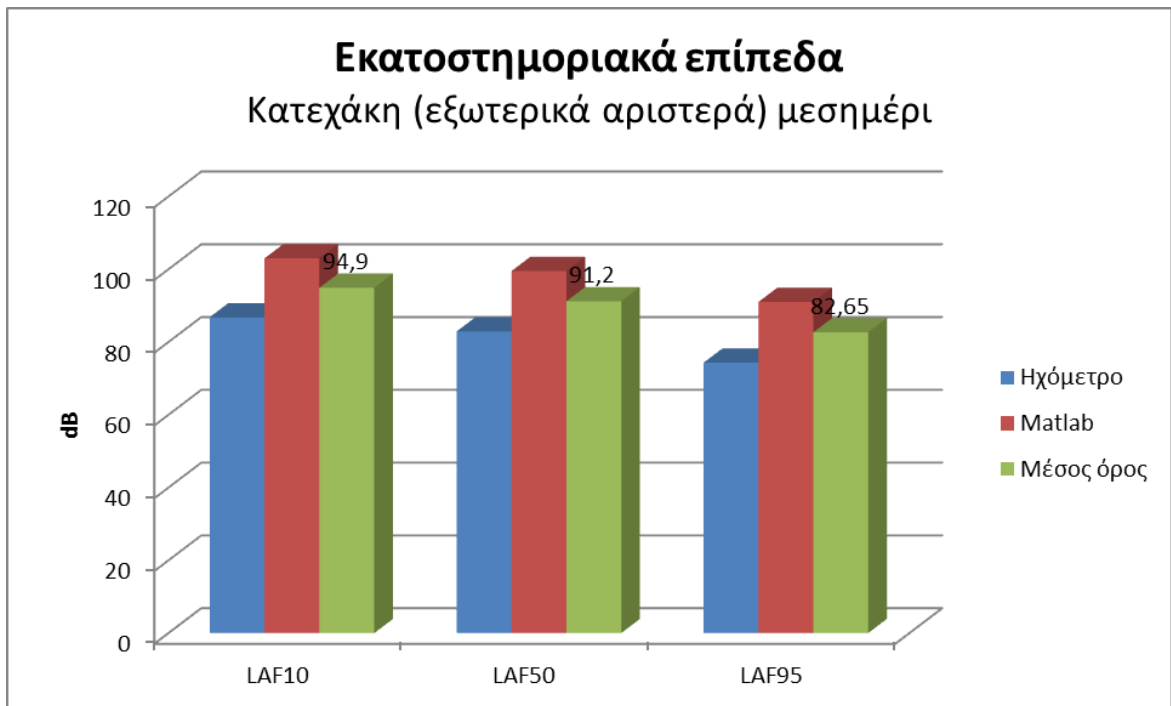
Γράφημα 4.15. 35



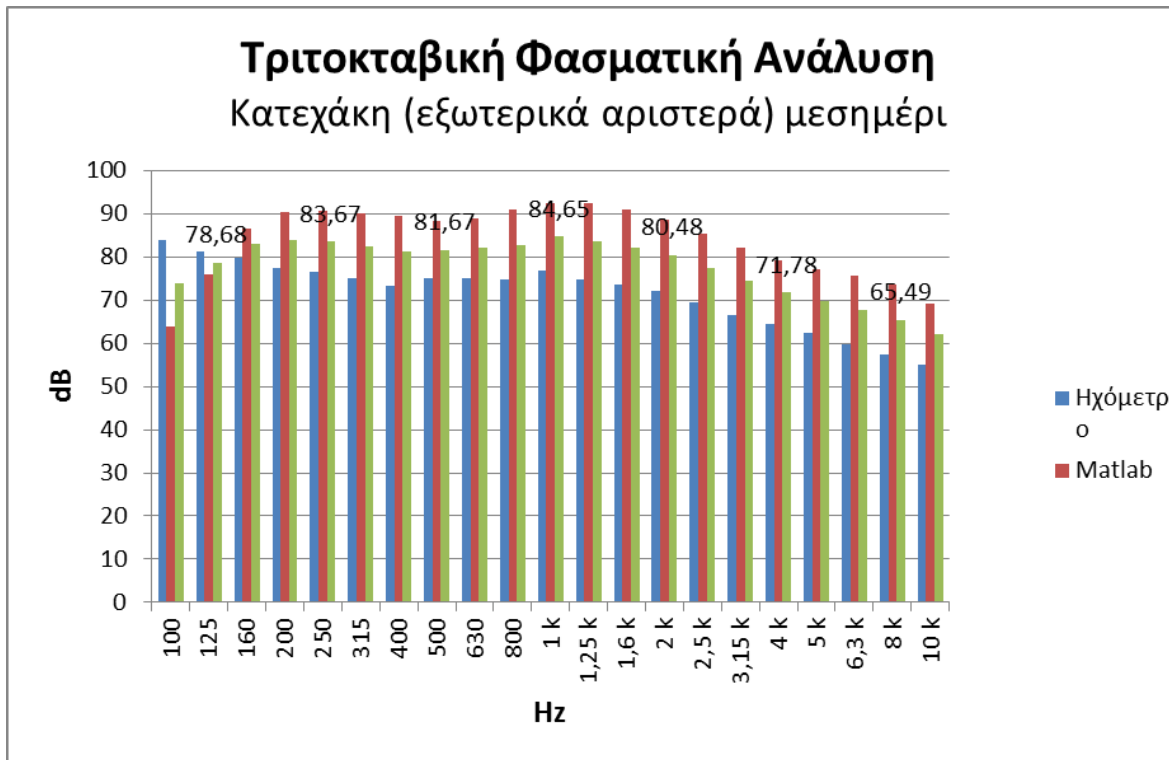
Γράφημα 4.15. 36



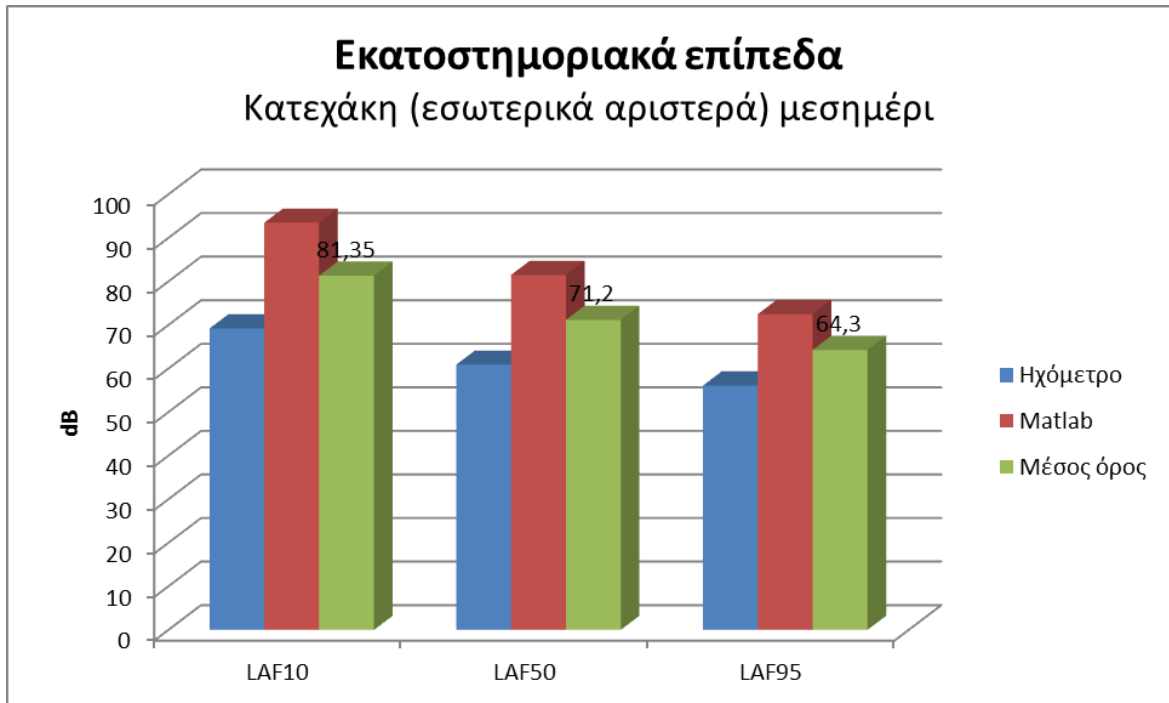
Γράφημα 4.15. 37



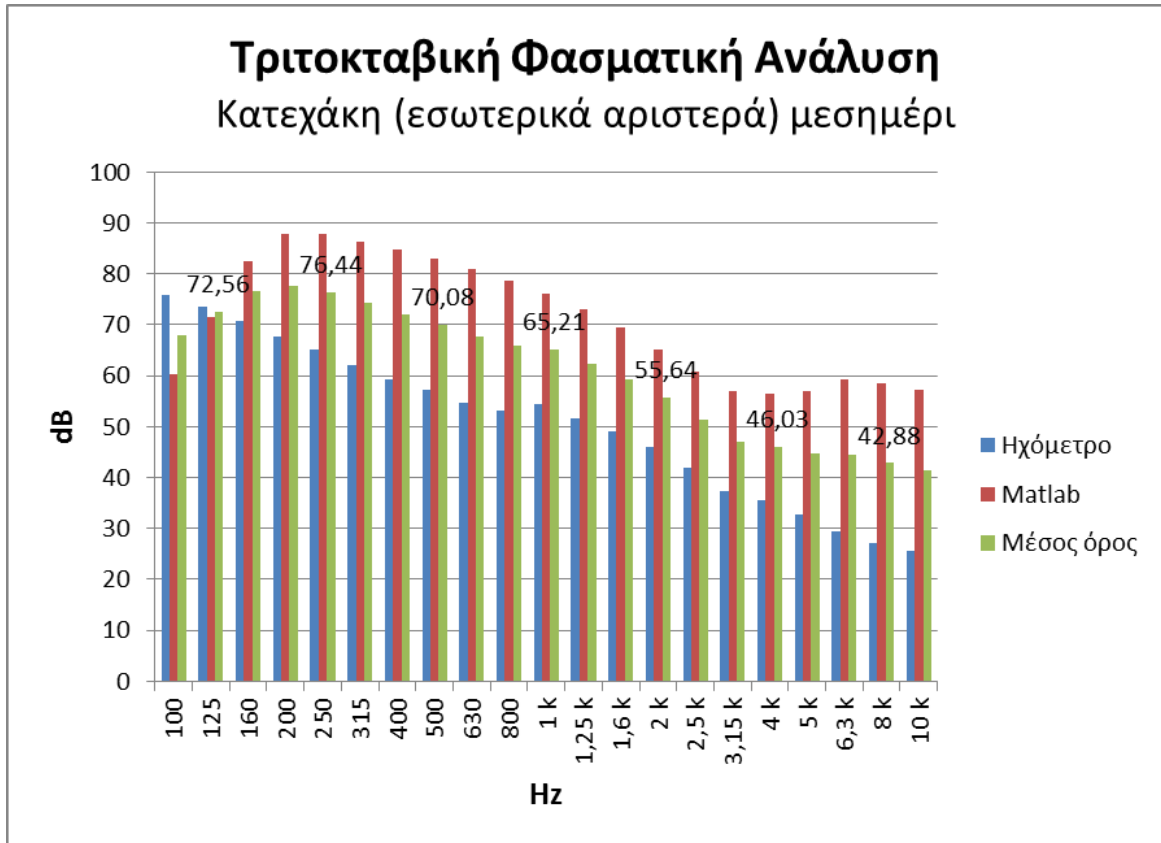
Γράφημα 4.15. 38



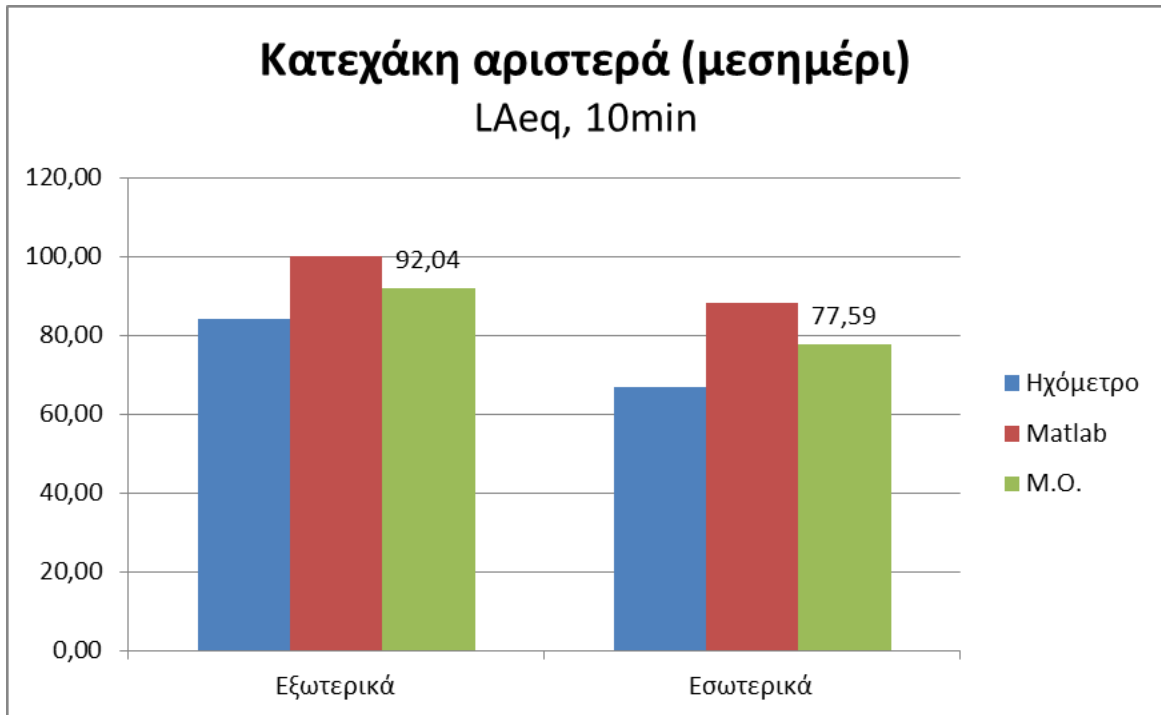
Γράφημα 4.15. 39



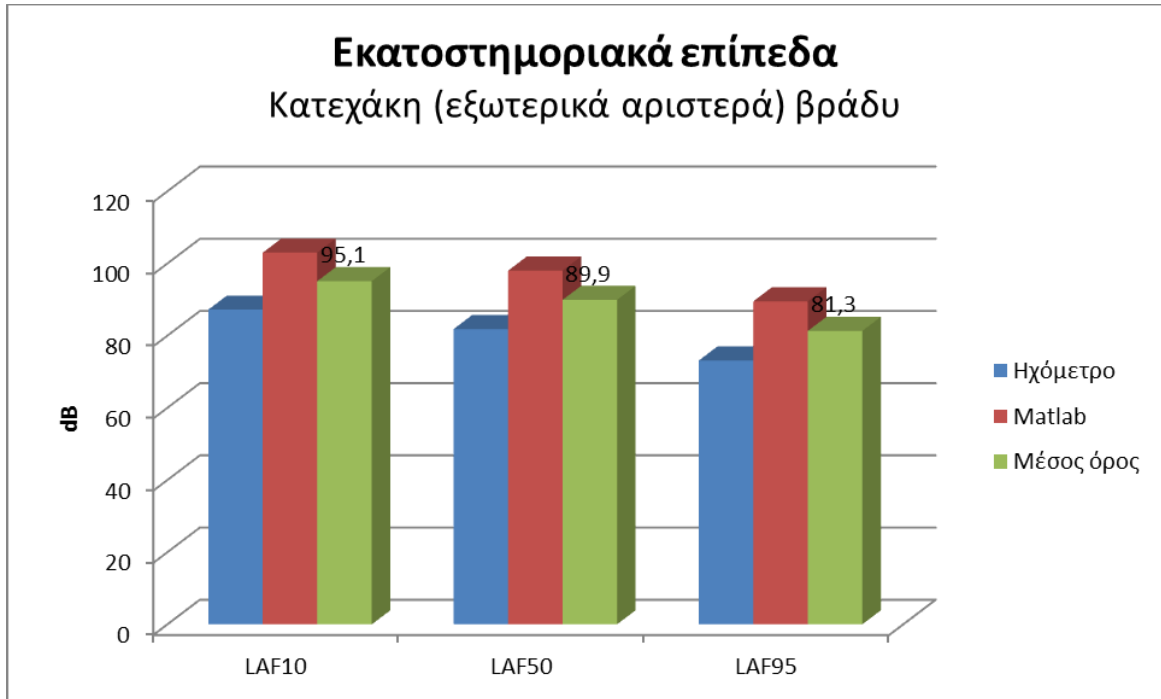
Γράφημα 4.15. 40



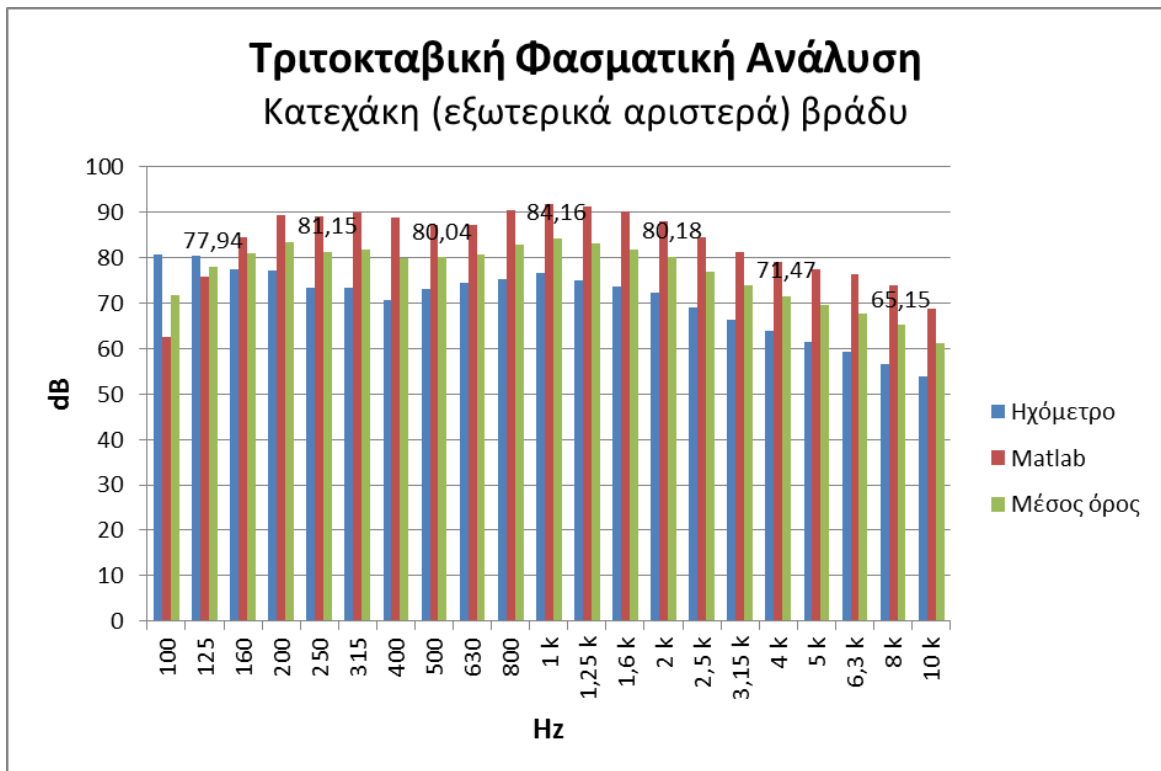
Γράφημα 4.15. 41



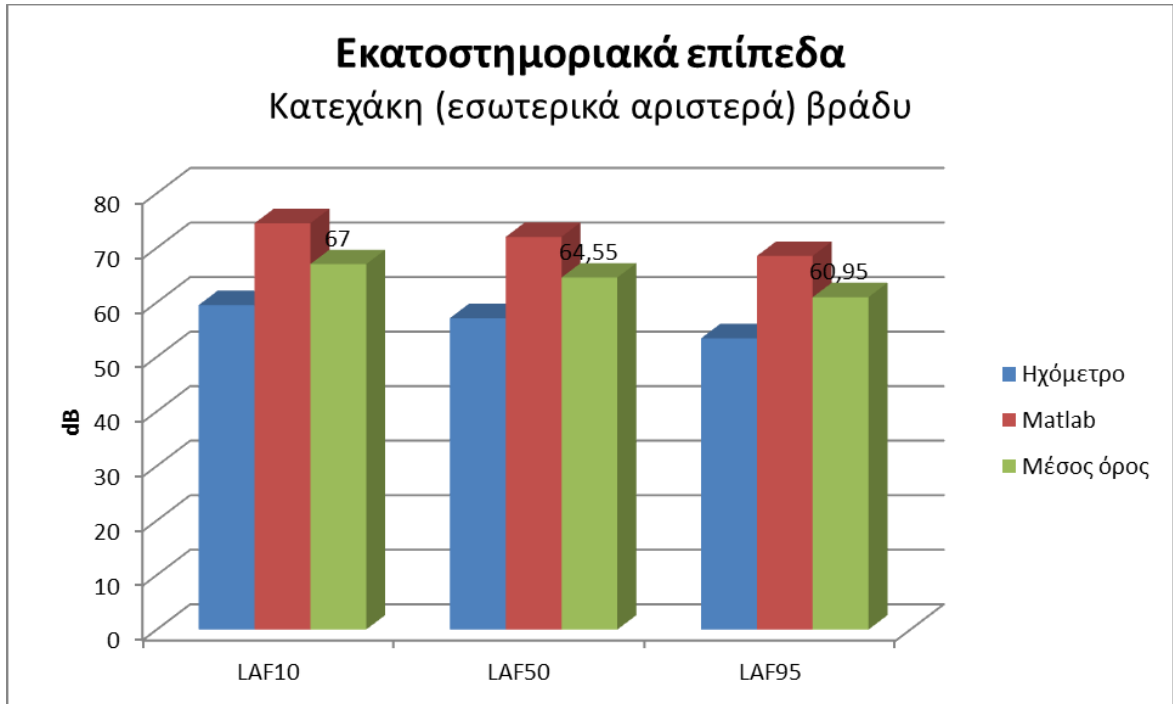
Γράφημα 4.15. 42



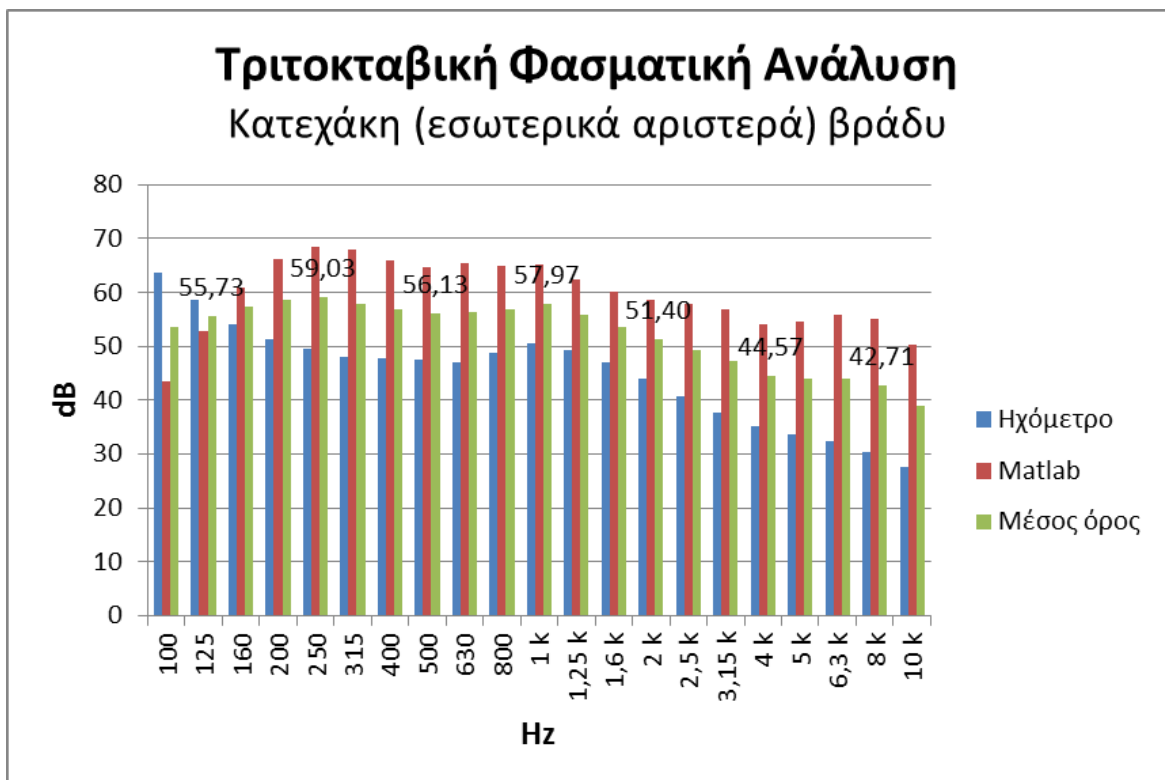
Γράφημα 4.15. 43



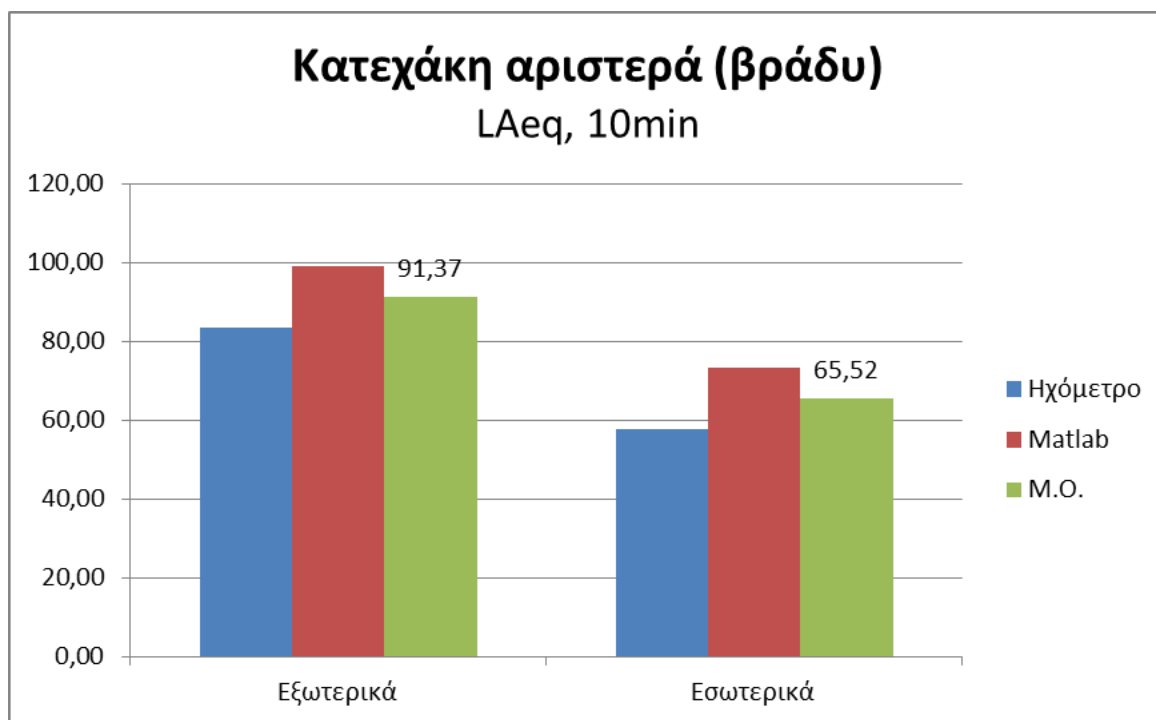
Γράφημα 4.15. 44



Γράφημα 4.15. 45



Γράφημα 4.15. 46



Γράφημα 4.15. 47

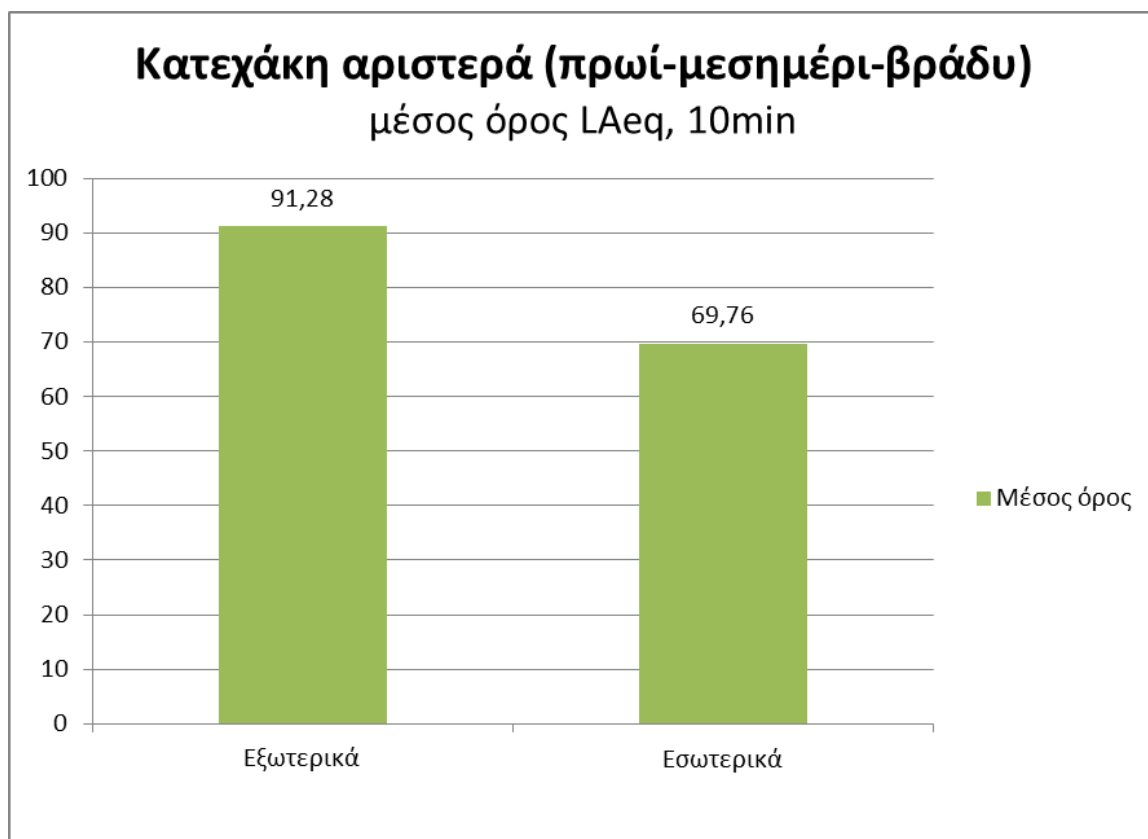
Από τα γραφήματα των **εξωτερικών μετρήσεων** (4.15.33-34, 4.15.38-39, 4.15.43-44), παρατηρούμε για ακόμη μία φορά, όπως συνέβη και σε όλες τις προηγούμενες εξωτερικές μετρήσεις, ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα θορύβου. Χαρακτηριστικά οι ακραίες υψηλές τιμές, LAF10 = 93.95dB για το πρωί, LAF10 = 94.9dB για το μεσημέρι και LAF10 = 95.1dB για το βράδυ αποδεικνύουν του λόγου το αληθές. Αυτές οι τιμές προέρχονται από τους έντονους ήχους που παράγουν τα οχήματα τόσο επί της λεωφόρου Κατεχάκη όσο και από την Κοκκινοπούλου καθώς λόγω της θέσης της μετρήσεως (ΘΕΣΗ 1), λαμβάνουμε και αυτούς τους ήχους. Η μέση τιμή της ακουστικής έντασης LAF50 βρίσκεται στα 90dB (μέσος όρος μετρήσεων πρωί-μεσημέρι-βράδυ), τιμή αναμενόμενη για ένα τέτοιο σημείο με ιδιαίτερα αυξημένη κίνηση αν αναλογιστούμε πως 90dB είναι ο θόρυβος που ιφύσταται στο εσωτερικό ενός λεωφορείου (πίνακας σελίδα 14). Ο θόρυβος βάθους LAF95 κυμαίνεται και αυτός σε υψηλά επίπεδα με τον μέσο όρο των εξωτερικών μετρήσεων (πρωί-μεσημέρι-βράδυ) να είναι 81,66dB.

Από τα διαγράμματα των τριτοκταβικών φασματικών αναλύσεων προκύπτει πως οι υπάρχουσες συχνότητες που διαμορφώνουν τον ήχο είναι οι χαμηλές, οι μεσαίες καθώς και ορισμένες υψηλότερες, βρίσκονται δηλαδή σε ολόκληρο σχεδόν το φάσμα. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει έναν πλουραλισμό ήχων διαφορετικών συνοτήτων και υψηλών εντάσεων, που έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση του συνολικού επιπέδου του L_{Aeq} στα 90,43dB το πρωί, 92,04dB το μεσημέρι και 91,37dB το βράδυ (γραφήματα 4.15.37, 4.15.42, 4.15.47).

Οι μέγιστες εντάσεις καταγράφονται κατά τη διάρκεια του μεσημεριού, με την απόκλιση ωστόσο από τις υπόλοιπες μετρήσεις να μην ξεπερνά τα 2 με 3dB. Γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως στο συγκεκριμένο σημείο επικρατούν υψηλά επίπεδα θορύβου καθόλη τη διάρκεια της ημέρας. Μία ιδιαιτερότητα που παρουσιάζουν οι συγκεκριμένες εξωτερικές μετρήσεις και δικαιολογεί εν μέρει τους ήχους διαφορετικών συχνοτήτων, οφείλεται στην ύπαρξη τριών φωτεινών σηματοδοτών εντός της εμβέλειας των μετρήσεων μας. Την περίπτωση αυτή την έχουμε ξανασυναντήσει και στις εξωτερικές μετρήσεις στην πύλη της Κατεχάκης με την ύπαρξη δύο φωτεινών σηματοδοτών. Όπως και σε εκείνη την περίπτωση, έτσι και τώρα ανάλογα με τη σήμανση του σηματοδότη (πράσινο – κόκκινο) επιβάλλεται προς τους οδηγούς των οχημάτων μία συγκεκριμένη οδηγική συμπεριφορά. Τα αποτελέσματα της συμπεριφοράς αυτής ποικίλουν ανάλογα με τον κάθε οδηγό ως προς την ένταση και την ακρίβειά τους, επομένως οδηγούμαστε σε μία πληθώρα ήχων διαφορετικής συχνότητας.

Από τα γραφήματα των εσωτερικών μετρήσεων (4.15.35-36, 4.15.40-41, 4.15.45-46), που ελήφθησαν στο χώρο της Πολυτεχνειούπολης (ΘΕΣΗ 2), το πρώτο συμπέρασμα που προκύπτει είναι πως το επίπεδο του θορύβου είναι αισθητά μειωμένο. Πιο συγκεκριμένα η μέση τιμή του θορύβου LAF50 για όλες τις μετρήσεις (μέσος όρος μετρήσεων πρωί-μεσημέρι-βράδυ) είναι 65,4dB που αποτελεί ένα άκρως ικανοποιητικό επίπεδο για τον περιβάλλοντα χώρο έξω από τα κτίρια, καθώς είναι αρκετά χαμηλός και εξασφαλίζει μια ευχάριστη ησυχία. Προκαλείται κυρίως από τις δραστηριότητες των φοιτητών στο χώρο (άνοιγμα/κλείσιμο θυρών, φωνές, γέλια κ.λ.π.), καθώς και από τα εξασθενημένα ηχητικά κύματα που φτάνουν τόσο από τον περιφερειακό δρόμο του Πολυτεχνείου, όσο και από τις δύο μεγάλες οδικές αρτηρίες Κοκκινοπούλου και Κατεχάκη. Ο μέσος όρος του θορύβου βάθους (πρωί –μεσημέρι-βράδυ) LAF95 = 60,55dB κυμαίνεται και αυτός σε χαμηλά επίπεδα και προέρχεται από τους διάφορους ήχους του περιβάλλοντος της μέτρησης που συνυπάρχουν. Οι τιμές των ποσοστομοριακών σταθμών LAF10, που προσδιορίζουν τα ανώτερα επίπεδα θορύβου είναι σχετικά ήπιες και αναμενόμενες LAF10 = 68,3dB (πρωί), LAF10 = 67dB (βράδυ). Να αναφέρουμε σε αυτό το σημείο πως η αυξημένη τιμή του LAF10 = 81,35dB το μεσημέρι, σε σχέση με τις υπόλοιπες οφείλεται στην παρουσία μιας θορυβώδους ομάδας φοιτητών κοντά στα όργανα καταγραφής για κάτι λιγότερο από δύο λεπτά και στο θόρυβο που προκάλεσαν οι ήχοι κλήσης των κινητών τους τηλεφώνων.

Από τα διαγράμματα των τριτοκταβικών φασματικών αναλύσεων παρατηρούμε πως οι συχνότητες που διαμορφώνουν κυρίως τον ήχο είναι οι χαμηλές και οι μεσαίες, διότι σε αυτές τις συχνότητες εκπέμπουν οι θόρυβοι που υφίστανται στο χώρο. Το συνολικό LAeq για την κάθε εσωτερική μέτρηση είναι 66,17dB (γράφημα 4.15.37 πρωί), 77,59dB (γράφημα 4.15.42 μεσημέρι), 65,52dB (γράφημα 4.15.47 βράδυ). Συμπεραίνουμε πως τα υψηλότερα επίπεδα θορύβου για τη ΘΕΣΗ 2 παρατηρούνται κατά τις μεσημεριανές ώρες, όταν οι φοιτητές εξέρχονται από τα κτήρια για να πάνε είτε στο εστιατόριο είτε να αποχωρήσουν γενικότερα από την Πολυτεχνειούπολη.



Γράφημα 4.15. 48

Το ανωτέρω γράφημα 4.15.48 μας δείχνει τον μέσο όρο του LAeq λαμβάνοντας υπόψιν συνολικά τα επιμέρους ποσά των LAeq που υπολογίστηκαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ολόκληρης της ημέρας (πρωί-μεσημέρι-βράδυ) εξωτερικά και εσωτερικά. (ΘΕΣΗ1 – ΘΕΣΗ 2)

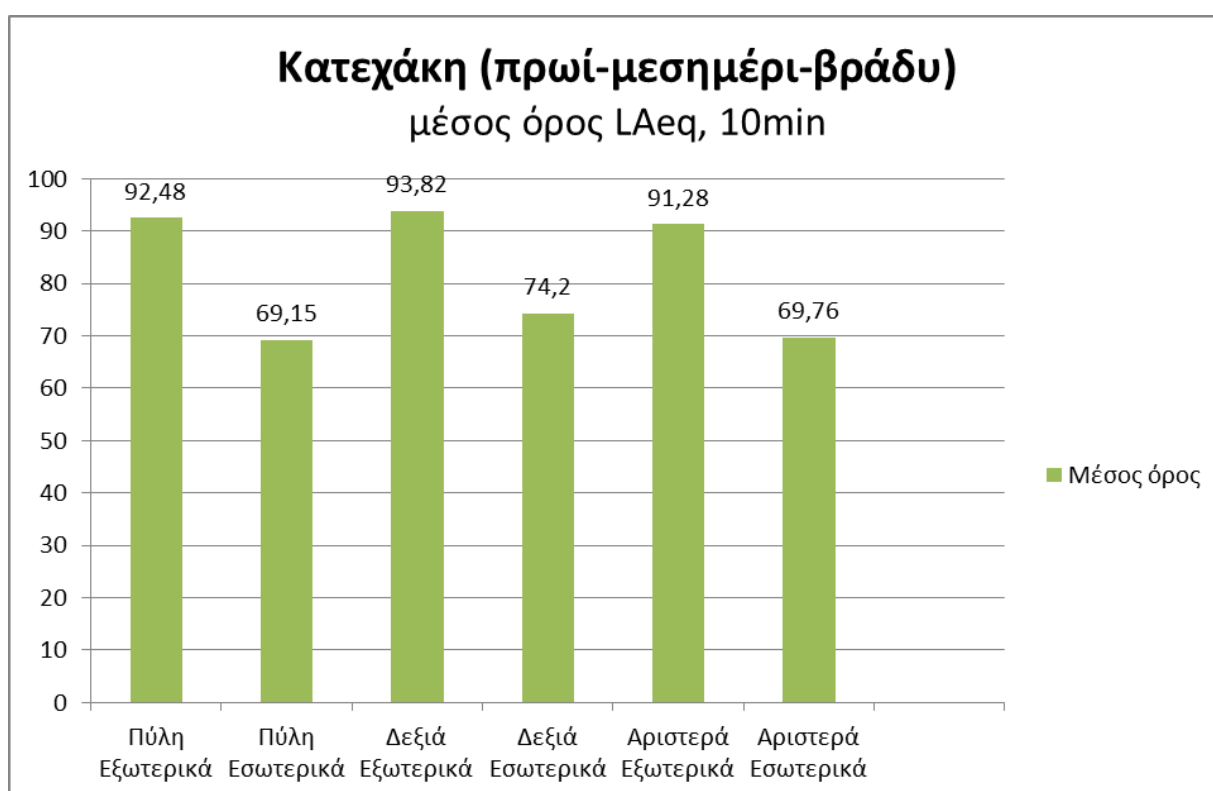
Παρατηρούμε πως τα επίπεδα του θορύβου στις εσωτερικές μετρήσεις βρίσκονται στα 69,76dB δηλαδή είναι μειωμένα κατά 21,52dB σε σχέση με εκείνα των εξωτερικών μετρήσεων που είναι 91.28dB. Τα περίπου 70dB επομένως που επικρατούν στον εσωτερικό χώρο αποτελούν μια πολύ καλή τιμή, αντιπροσωπευτική των ήπιων ήχων που επικρατούν στο χώρο και συμβάλλουν στην ομαλή διεξαγωγή των δραστηριοτήτων των φοιτητών. Ο συνδυασμός της μεγάλης απόστασης της ΘΕΣΗΣ 2 από τις δύο κεντρικές οδικές αρτηρίες Κοκκινοπούλου και Κατεχάκη, καθώς και της βλάστησης που παρεμβάλλεται μεταξύ αυτών, οδηγούν σε αυτή τη μεγάλη ηχομείωση καθώς ο θόρυβος των εξωτερικών μετρήσεων φθάνει στον εσωτερικό χώρο εξασθενημένος χωρίς ουσιαστικά να επηρεάζει τα υπάρχοντα επίπεδα θορύβου. Επίσης και η απόσταση από το περιφεριακό οδικό δίκτυο είναι σημαντική. Έτσι, τα ηχητικά κύματα που παράγουν τα οχήματα που κινούνται εκεί, χρειάζεται να διανύσουν μία απόσταση που σε συνδυασμό με τα φυσικά εμπόδια του χώρου προκαλούν τη σταδιακή απόσβεσή τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν κεφάλαιο, θα κάνουμε μια ανασκόπηση στα αποτελέσματα της επεξεργασίας των μετρήσεών μας για να οδηγηθούμε σε γενικά συμπεράσματα για τα επίπεδα θορύβου στην Πολυτεχνειούπολη.

Κατεχάκη



Το ανωτέρω γράφημα μας δείχνει τον μέσο όρο του LAeq, λαμβάνοντας υπόψιν συνολικά τα επιμέρους ποσά των LAeq που υπολογίστηκαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ολόκληρης της ημέρας (πρωί-μεσημέρι-βράδυ) εξωτερικά και εσωτερικά για όλες τις θέσεις των μετρήσεων που αφορούν την Κατεχάκη.

Παρατηρούμε πως τα επίπεδα του θορύβου στους εσωτερικούς χώρους μέτρησης, (εντός του χώρου του Πολυτεχνείου), είναι μειωμένα σε σχέση με τις εξωτερικές μετρήσεις, (κατά μήκος της λεωφόρου), γεγονός που αποτελούσε και εξαρχής τον στόχο μας. Δηλαδή να καταφέρουμε να εξασθενήσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο το θόρυβο που φτάνει ως τα κτίρια έτσι ώστε να παραμένει ανεπηρέαστη από αυτόν τον παράγοντα η λειτουργία του ιδρύματος.

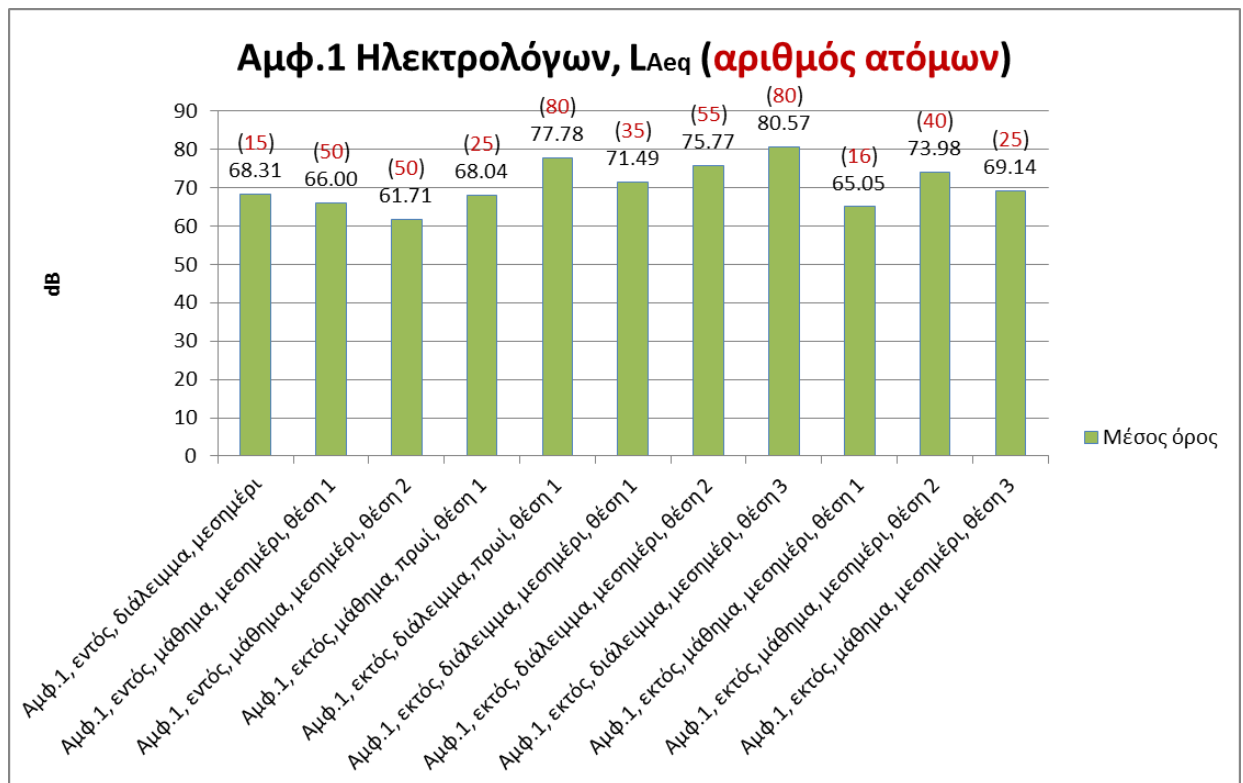
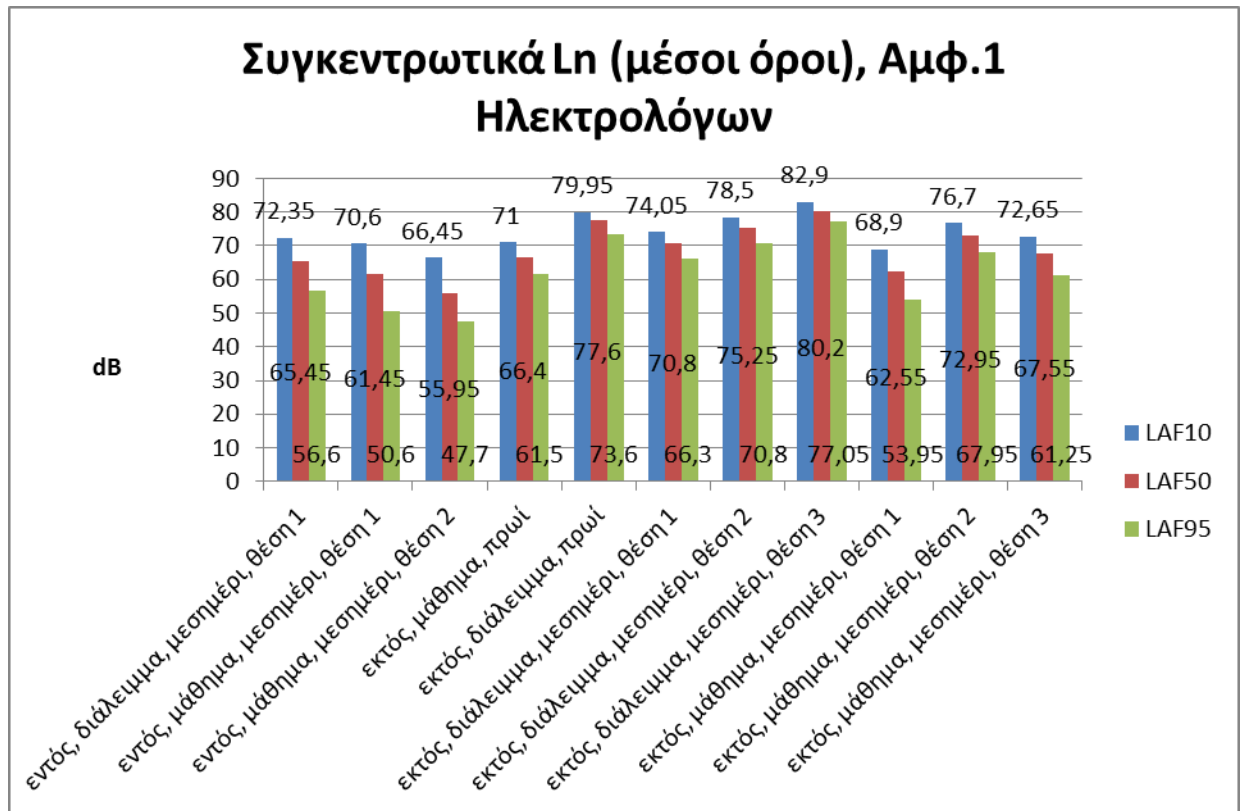
Τα περίπου 71dB, (κατά μέσο όρο), επομένως που επικρατούν στον περιβάλλοντα χώρο του Πολυτεχνείου αποτελούν μια πολύ καλή τιμή, αντιπροσωπευτική των ήπιων ήχων που επικρατούν και συμβάλλουν στην ομαλή διεξαγωγή των δραστηριοτήτων των φοιτητών. Ο μέσος όρος του LAeq των εξωτερικών μετρήσεων όλων των θέσεων που ελήφθησαν επί της οδού Κατεχάκη κυμαίνεται στα 92,5 dB επομένως έχουμε μια αξιόλογη ηχομείωση της τάξης των 21,5 dB.

Η σεβαστή απόσταση που χωρίζει τα κτίρια του Πολυτεχνείου από την Κατεχάκη, σε συνδυασμό με τη βλάστηση που παρεμβάλλεται μεταξύ τους, οδηγεί σε αυτή τη μεγάλη μείωση καθώς ο θόρυβος των εξωτερικών μετρήσεων φθάνει στον εσωτερικό χώρο εξασθενημένος χωρίς ουσιαστικά να επηρεάζει τα υπάρχοντα επίπεδα θορύβου. Τα δέντρα, οι θάμνοι και γενικά η χλωρίδα του περιβάλλοντος χώρου, δεν επιτρέπει στα αυξημένα επίπεδα θορύβου της λεωφόρου Κατεχάκη να εισέλθουν ανεπηρέαστα στο εσωτερικό της Πολυτεχνειούπολης, καθώς παρεμποδίζουν την πορεία των ηχητικών κυμάτων ανακλώντας τα και απορροφώντας κάποια ποσά της ενέργειάς τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να φθάνουν στα κτίρια εξασθενημένα.

Επομένως η κατάσταση που επικρατεί στον εσωτερικό περιβάλλοντα χώρο του Πολυτεχνείου χαρακτηρίζεται επαρκής, καθώς καμία από τις εκπαιδευτικές διαδικασίες και δραστηριότητες της κοινότητας δεν επηρεάζεται εξαιτίας του θορύβου.

Ωστόσο το υψηλό επίπεδο του θορύβου που καταγράφεται στην πύλη εξωτερικά LAeq = 92,48dB, είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο για την υγεία των φυλάκων που βρίσκονται στο χώρο για αρκετές ώρες την ημέρα, καθώς υπερβαίνει τις οριακές τιμές έκθεσης σε θόρυβο για οκτάωρη ημέρα εργασίας.

Αμφιθέατρο 1 Ηλεκτρολόγων και χώρος συνάθροισης έξω από αυτό



Συνολικά, τα υψηλότερα επίπεδα θορύβου που συναντά ένας Ηλεκτρολόγος, παρατηρούνται σε ένα μεσημεριανό διάλειμμα στο σημείο πλησίον του διαδρόμου που οδηγεί στις αίθουσες της Α φάσης των Νέων Κτιρίων (θέση 3). Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς είναι έντονη η πηγή θορύβου (φωνές φοιτητών) χωρίς κάποια ιδιαίτερη ακουστική πρόβλεψη.

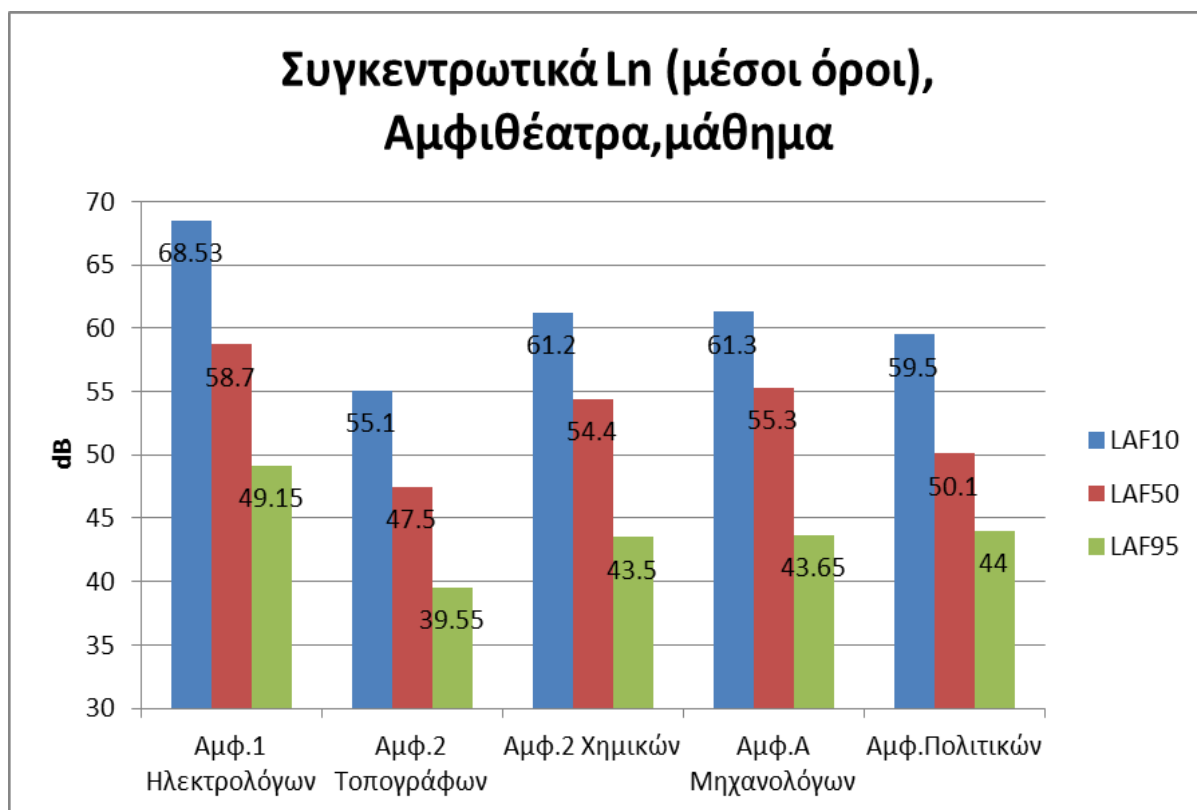
Ωστόσο, από τις μετρήσεις που έγιναν σε διαφορετικές θέσεις με τον ίδιο αριθμό φοιτητών, παρατηρούμε ότι η διαφορά της θέσης 3 από τις υπόλοιπες είναι 1 με 3 dB. Γενικότερα, όσο αυξάνεται ο αριθμός των φοιτητών αυξάνεται και ο θόρυβος. Αυτό σημαίνει ότι πρωταγωνιστικό ρόλο στη διαμόρφωση του θορύβου διαδραματίζει η πυκνότητα των φοιτητών.

Γενικά οι τιμές του θορύβου είναι υψηλές, με ανώτερο επίπεδο θορύβου $LAF10=82.9\text{dB}$, μέση τιμή $LAF50=80.2\text{dB}$, θόρυβο βάθους $LAF95=77.05\text{dB}$ και ισοδύναμη ηχητική ηχοστάθμη $L_{eq}=80.57\text{dB}$, αν σκεφτεί κανείς ότι τέτοια επίπεδα συναντάμε κοντά σε μεγάλους αυτοκινητόδρομους, ενώ τα 80dB(A) έχουν θεωρηθεί βάσει της ελληνικής νομοθεσίας, ως η κατώτερη τιμή της ημερήσιας έκθεσης στο θόρυβο ($L_{EX,8h}$) για ανάληψη δράσης.

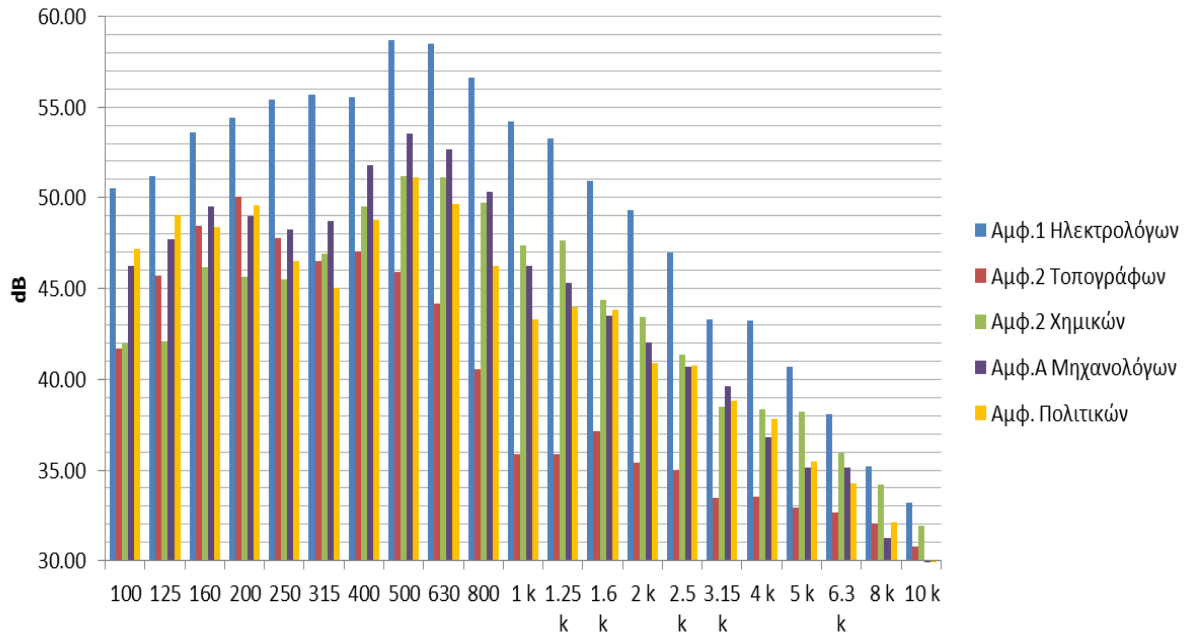
Ο χώρος συγκέντρωσης βρίσκεται ακριβώς έξω από το μεγαλύτερο αμφιθέατρο της σχολής, γεγονός που θα μπορούσε να θέσει σε κίνδυνο τις συνθήκες ησυχίας που πρέπει ιδανικά να επικρατούν στο εσωτερικό του αμφιθεάτρου. Ωστόσο, παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια του μαθήματος η πυκνότητα των φοιτητών μειώνεται σημαντικά στο χώρο προαύλισης. Οι λιγοστοί φοιτητές σέβονται την εκπαιδευτική διαδικασία μιλώντας χαμηλόφωνα, οπότε με κλειστές πόρτες το μάθημα διεξάγεται σε ικανοποιητικές συνθήκες, αν κρίνουμε και από την «καλή» καταληπτότητα.

Αμφιθέατρα

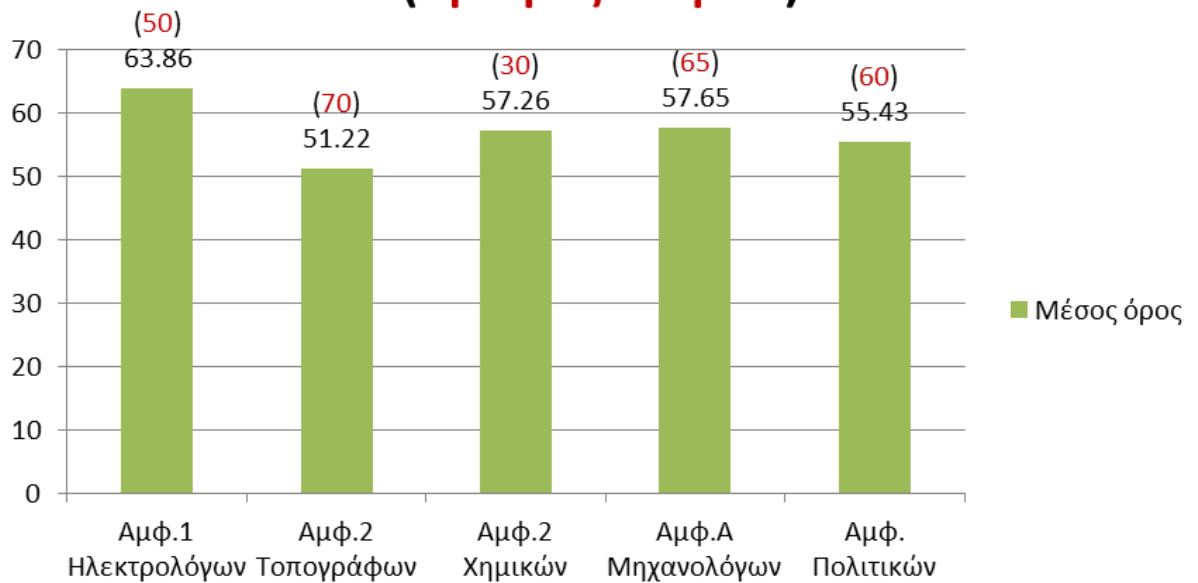
Παρακάτω παραθέτουμε συγκεντρωμένες τις ποσοστομοριακές και ισοδύναμες ηχοστάθμες και τη φασματική ανάλυση για τα αμφιθέατρα των πέντε σχολών κατά τη διάρκεια του μαθήματος. Για το αμφιθέατρο των Ηλεκτρολόγων χρησιμοποιήσαμε το μέσο όρο των δυο μετρήσεων που λάβαμε.



Συγκεντρωτικά, Τριτοκταβικής Φασματικής Ανάλυσης, Αμφιθέατρα, μάθημα



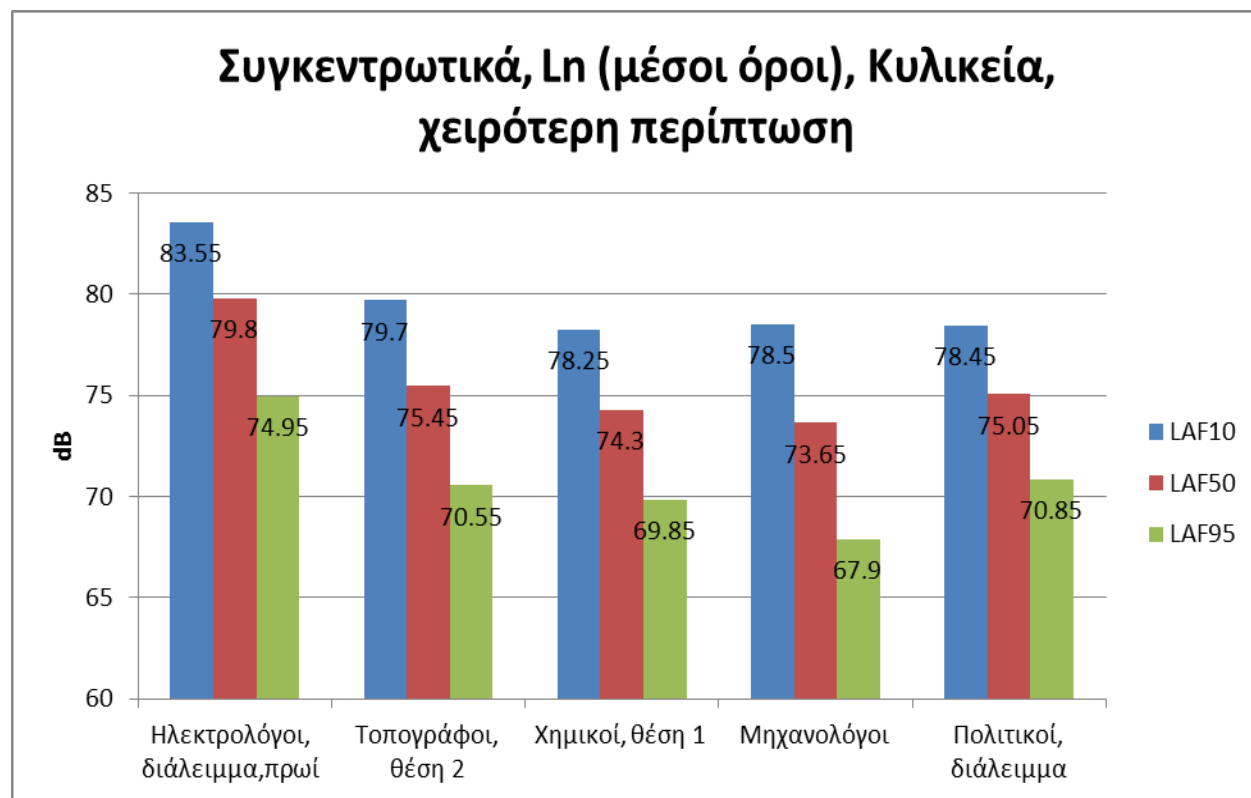
Συγκεντρωτικά L_{Aeq} , Αμφιθέατρα, μάθημα (αριθμός ατόμων)



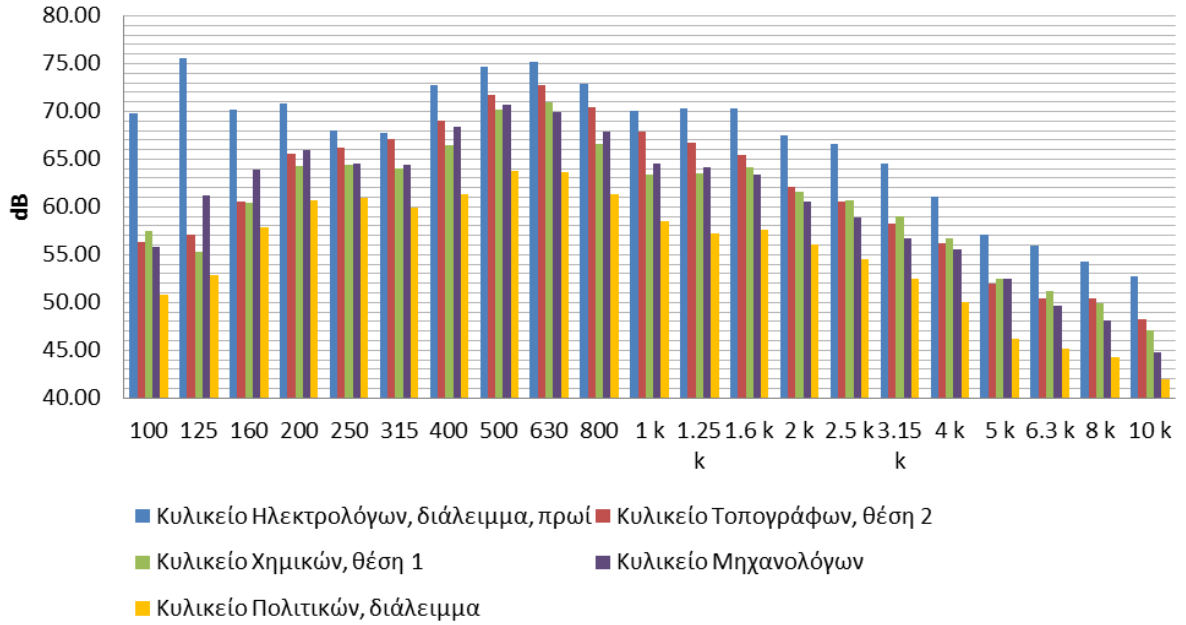
Σύμφωνα με τα γραφήματα το αμφιθέατρο 2 των Τοπογράφων παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές θορύβου, παρά το γεγονός ότι οι φοιτητές ήταν περισσότεροι (70) κατά τη διάρκεια της μέτρησης συγκριτικά με τα άλλα αμφιθέατρα. Ωστόσο, κανένα αμφιθέατρο δεν προσφέρει το επιθυμητό L_{Aeq} για αίθουσες συνεδρίων ή χώρους που απαιτούν συγκέντρωση. Είχαμε αναφέρει στις προτεινόμενες τιμές ότι αυτό θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 35dB και 45dB. Μάλιστα τα L_{Aeq} όλων των σχολών εκτός των Τοπογράφων ξεπερνούν οριακά ακόμη και τη μέγιστη τιμή για καθημερινή δουλειά γραφείου που είναι τα 55dB.

Συνοπτικά, ας θυμηθούμε ότι τον καλύτερο σηματοθορυβικό λόγο έχει το αμφιθέατρο των Μηχανολόγων, έπειτα των Χημικών, των Ηλεκτρολόγων, των Τοπογράφων και τέλος των Πολιτικών.

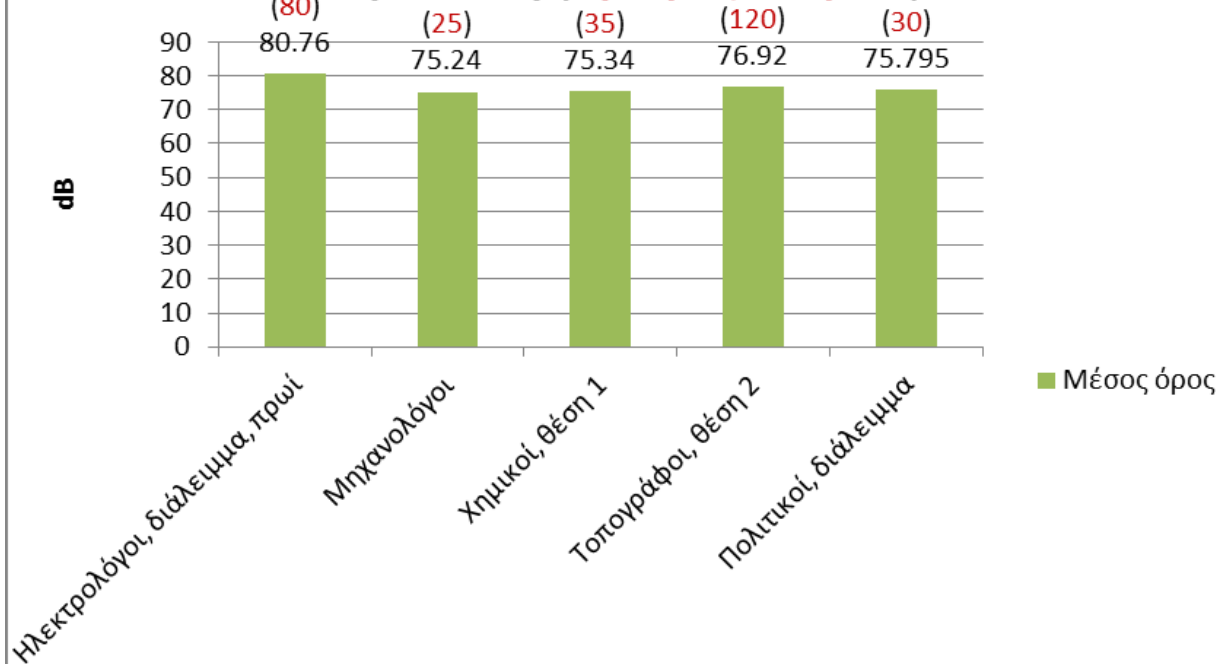
Κυλικεία



Συγκεντρωτικά, Τριτοκταβικής Φασματικής Ανάλυσης, Κυλικεία, χειρότερη περίπτωση



Συγκεντρωτικά L_{Aeq} , Κυλικεία, χειρότερη περίπτωση (αριθμός ατόμων)

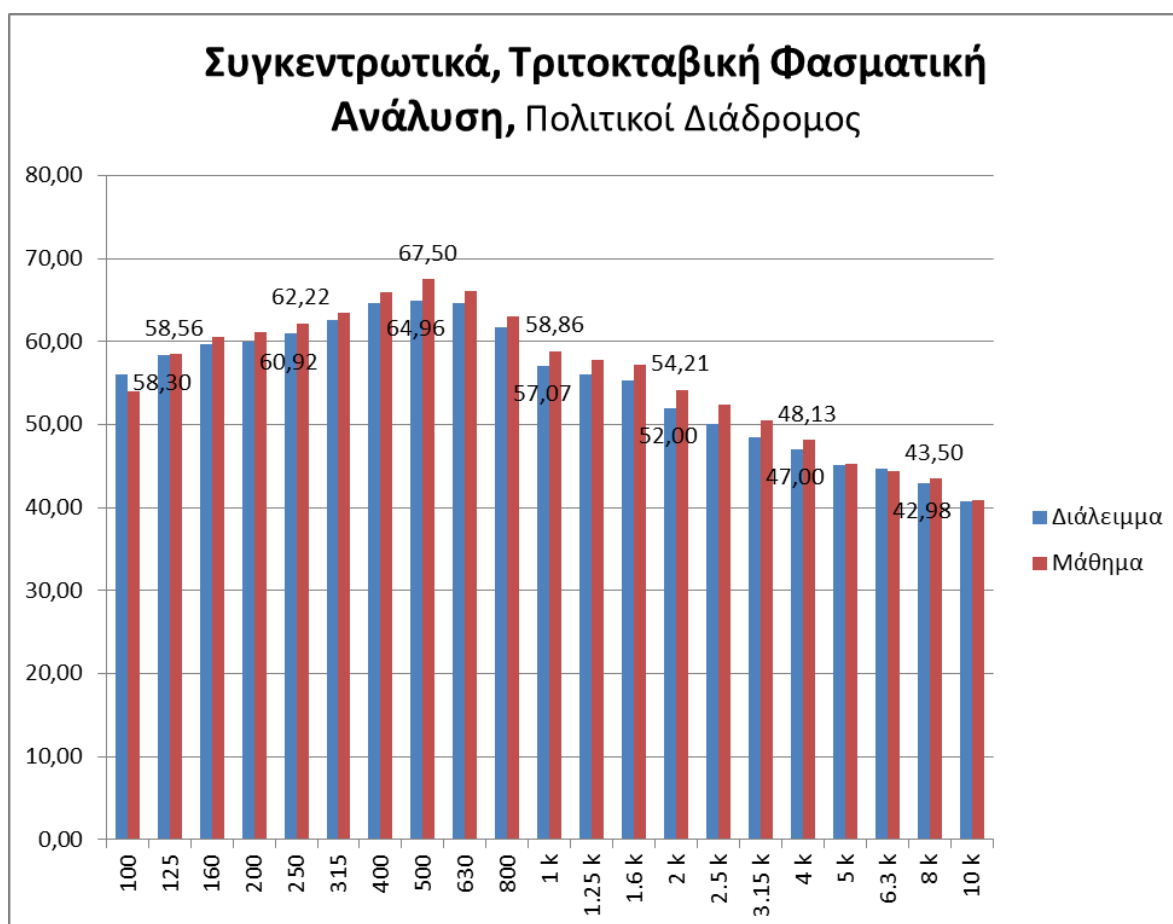
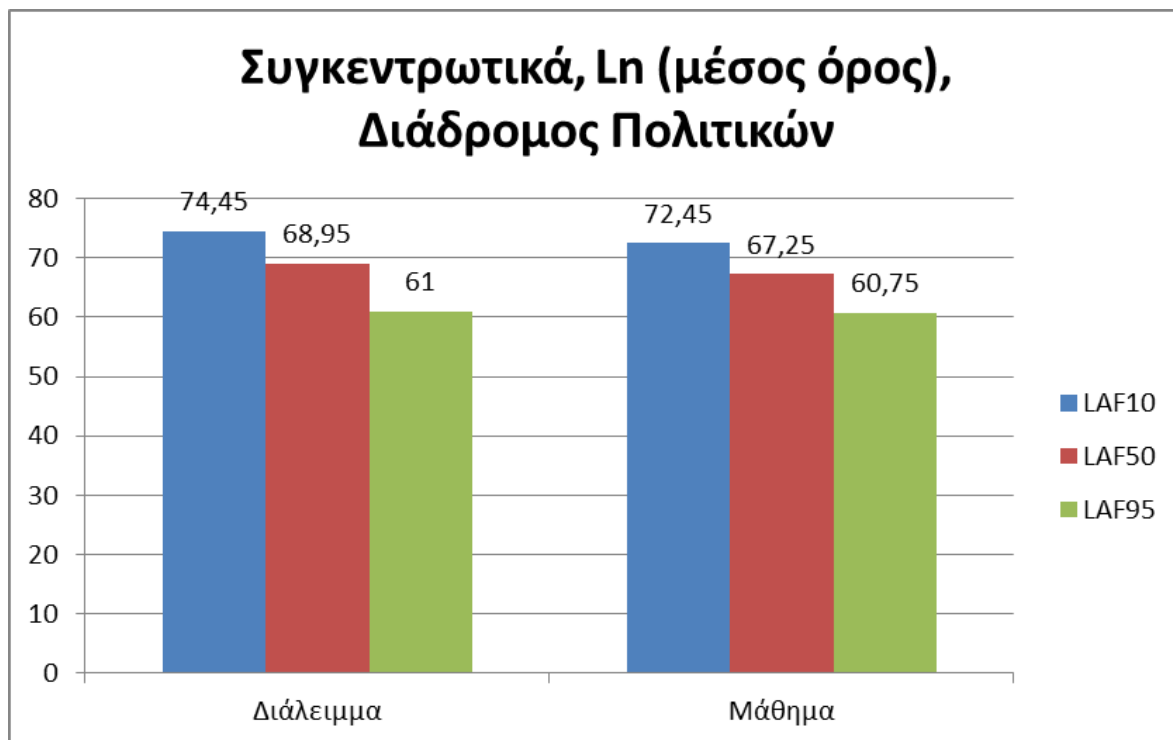


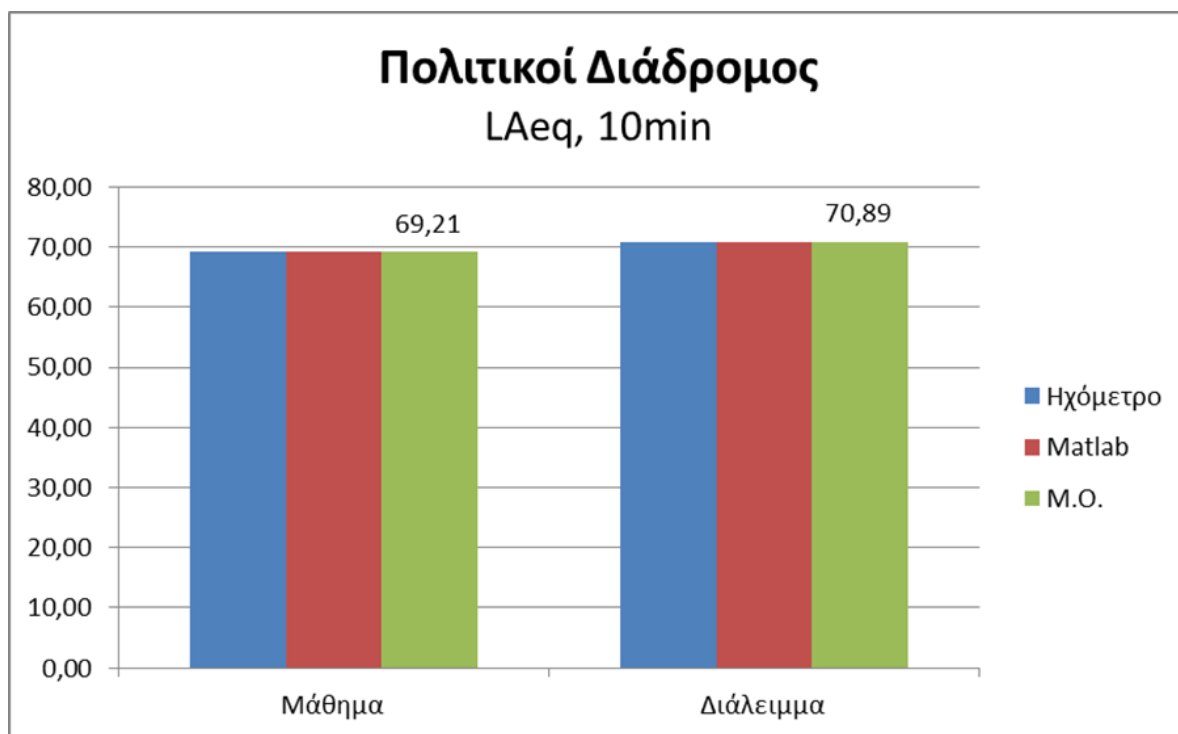
Ο όγκος του θορύβου βρίσκεται σε όλα τα κυλικεία σε υψηλά επίπεδα. Το πλήθος των φοιτητών, το σχήμα και η διαμόρφωση των χώρων δε φαίνεται να επηρεάζουν το θόρυβο, καθώς παρατηρούμε ότι για όλα τα κυλικεία οι αντίστοιχες ηχοστάθμες κυμαίνονται σε παρόμοιες τιμές. Η κύρια συνιστώσα του θορύβου είναι η μουσική υπόκρουση και τα μηχανήματα παρασκευής προϊόντων που βρίσκονται σε πλήρη λειτουργία. Μια διαφοροποίηση παρατηρείται στο κυλικείο των Ηλεκτρολόγων. Σε αυτό, υπάρχει μια αισθητή διαφορά σε όλα τα μεγέθη η οποία οφείλεται στην πολύ δυνατή μουσική σε τόσο περιορισμένο χώρο, όπως έχουμε αναλύσει στο υποκεφάλαιο 4.8.

Εδώ θα πρέπει να σχολιάσουμε ότι δε μας ενδιαφέρει τόσο η επιρροή που ασκεί αυτός ο θόρυβος στους φοιτητές, εφόσον το κυλικείο θεωρητικά είναι ένας χώρος που τους φιλοξενεί βραχυπρόθεσμα. Περισσότερο θα πρέπει να εστιάσουμε στο προσωπικό που εργάζεται εκεί και εκτίθεται για περισσότερες από 8 ώρες, 5 ημέρες την εβδομάδα σε θόρυβο ύψους 80dB. Σύμφωνα με το Π.Δ. (σελ.34) η κατώτερη τιμή έκθεσης για ανάληψη δράσης είναι $L_{EX,8h} = 80 \text{ dB(A)}$, δηλαδή η αντίστοιχη τιμή στο κυλικείο των Ηλεκτρολόγων την υπερβαίνει οριακά.

Μια άλλη σημαντική παρατήρηση είναι η εξής: το κυλικείο των Ηλεκτρολόγων και η μεγάλη σάλα των Νέων Κτιρίων αποτελούν τους χώρους που επιλέγουν οι Ηλεκτρολόγοι να περνούν τα δεκάλεπτα διαλείμματα από τις παραδόσεις. Κανένας από τους χώρους αυτούς ωστόσο δεν προσφέρει ένα ήσυχο περιβάλλον για να ανασυγκροτήσει το μυαλό του ο φοιτητής προτού επανέλθει στο αμφιθέατρο. Αυτό είναι παράδοξο και λειτουργεί επιβαρυντικά στην εκπαιδευτική διαδικασία. Το διάλειμμα παρέχεται ακριβώς για την ξεκούραση του φοιτητή. Μάλιστα στις ακαδημαϊκές εγκαταστάσεις άλλων χωρών υπάρχουν ειδικά διαμορφωμένοι χώροι μικρής χωρητικότητας με αναπαυτικά καθίσματα που προσφέρονται ακριβώς για την ολιγόλεπτη παραμονή των φοιτητών με στόχο την πνευματική ανάπαυλα. Αντ'αυτού οι Έλληνες φοιτητές κατευθύνονται σε χώρους είτε με δυνατή μουσική, είτε με συνωστισμό.

Διάδρομος της σχολής των Πολιτικών

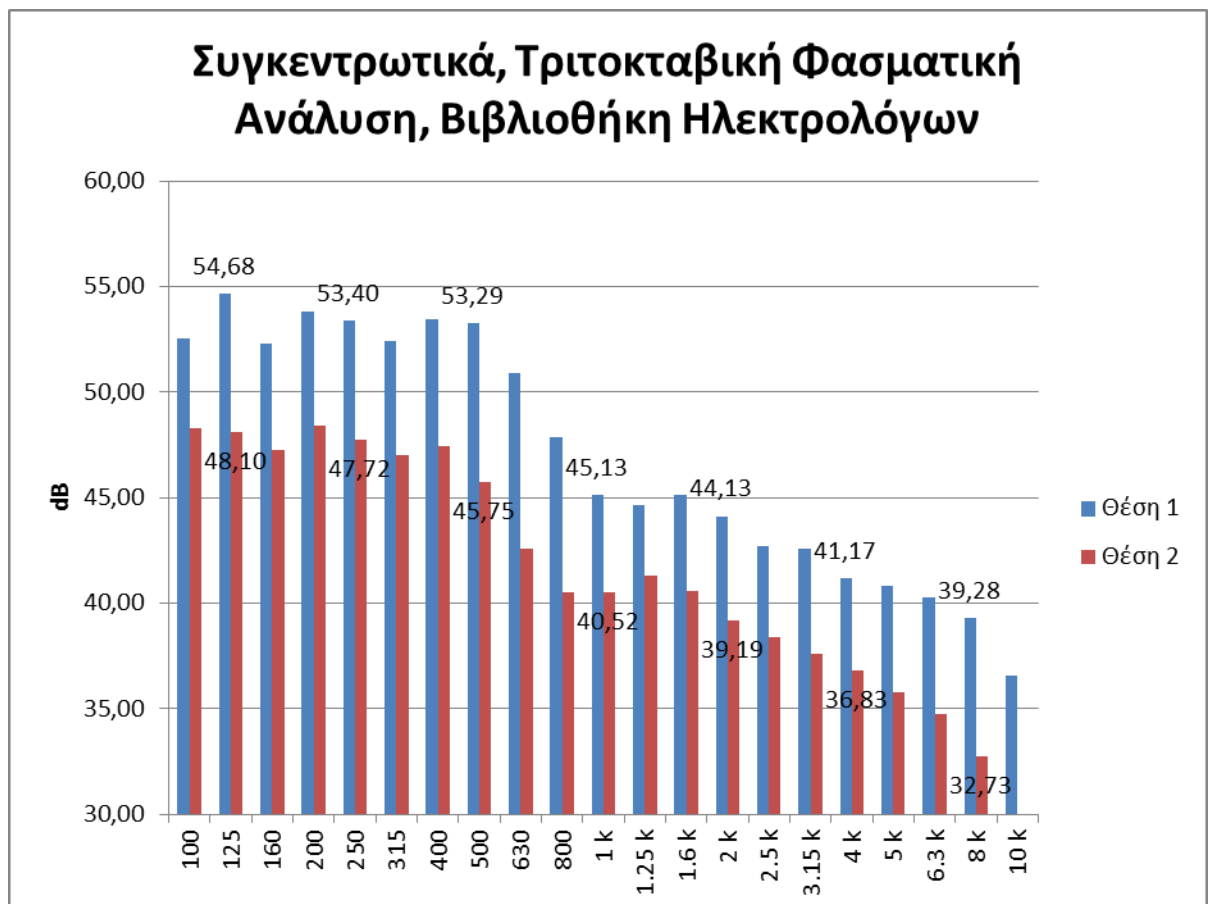
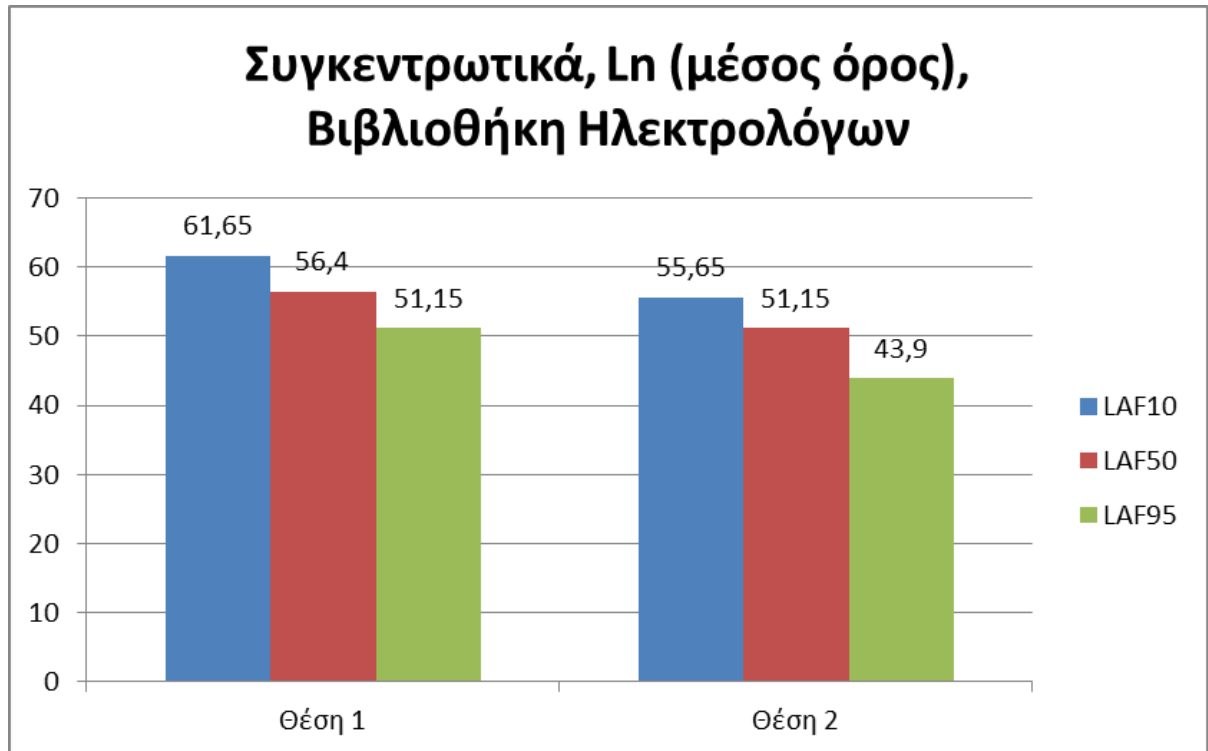


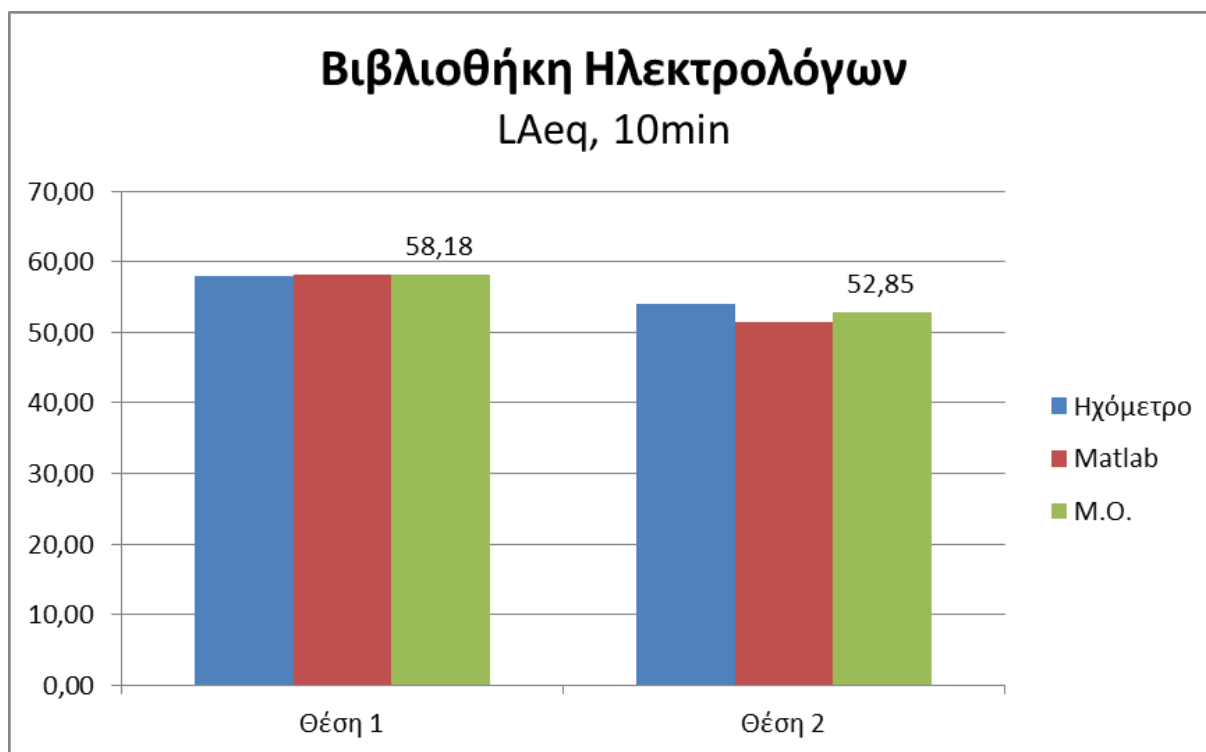


Ο διάδρομος των Πολιτικών μηχανικών όπου ελήφθησαν οι μετρήσεις αποτελεί τον κεντρικό διάδρομο μέσω του οποίου κατευθύνονται οι φοιτητές στις αίθουσες και τα αμφιθέατρα. Στον συγκεκριμένο διάδρομο στεγάζονται επίσης και τα τραπέζια των φοιτητικών παρατάξεων.

Παρατηρούμε από τα γραφήματα πως και στις δύο περιπτώσεις (διαλείματος – μαθήματος) δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των αντίστοιχων διαγραμμάτων. Όπως είναι λογικό τα επίπεδα θορύβου κατά τη διάρκεια του διαλείματος είναι λίγο αυξημένα καθώς οι φοιτητές εξέρχονται από τις αίθουσες προς τον διάδρομο συζητώντας. Ο θόρυβος βάθους LA95 είναι περίπου ο ίδιος τόσο κατά τη διάρκεια του μαθήματος όσο και στο διάλειμμα. Το ίδιο ισχύει και για το LAeq. Ουσιαστικά η μόνη διαφορά μεταξύ των δύο επιπέδων θορύβου είναι ο θόρυβος που προστίθεται κατά την έξοδο των φοιτητών στο διάλειμμα.

Βιβλιοθήκη Ηλεκτρολόγων



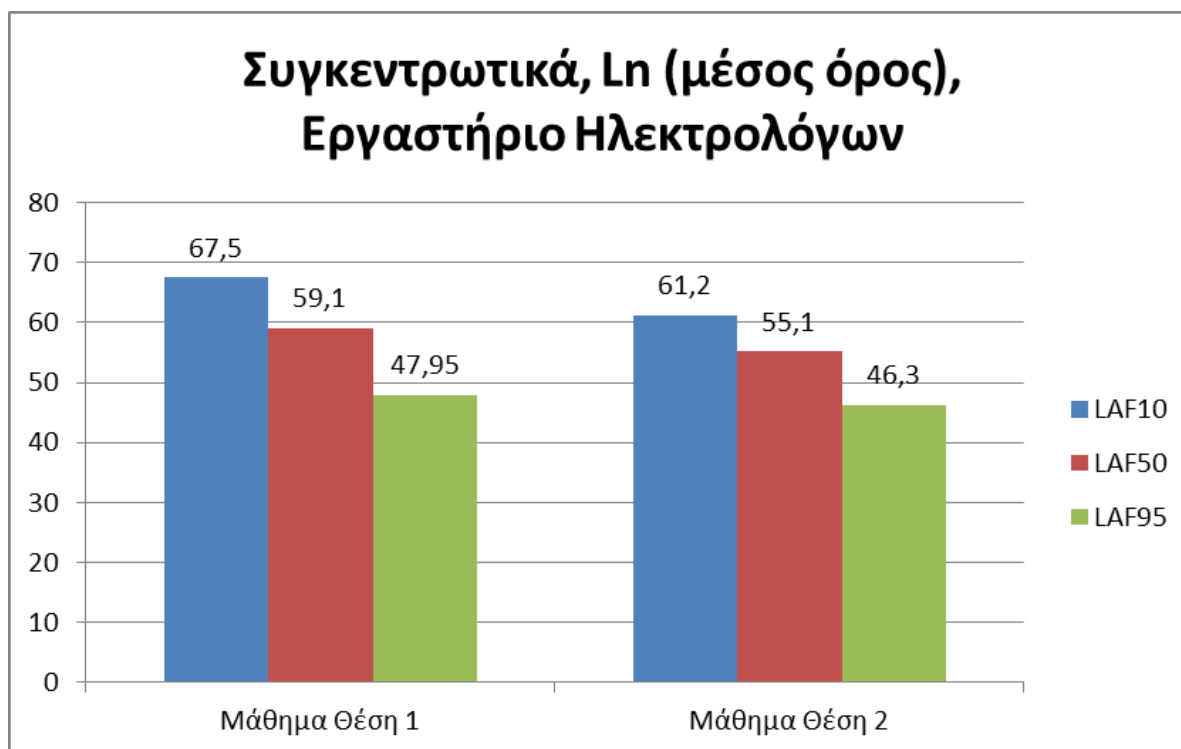
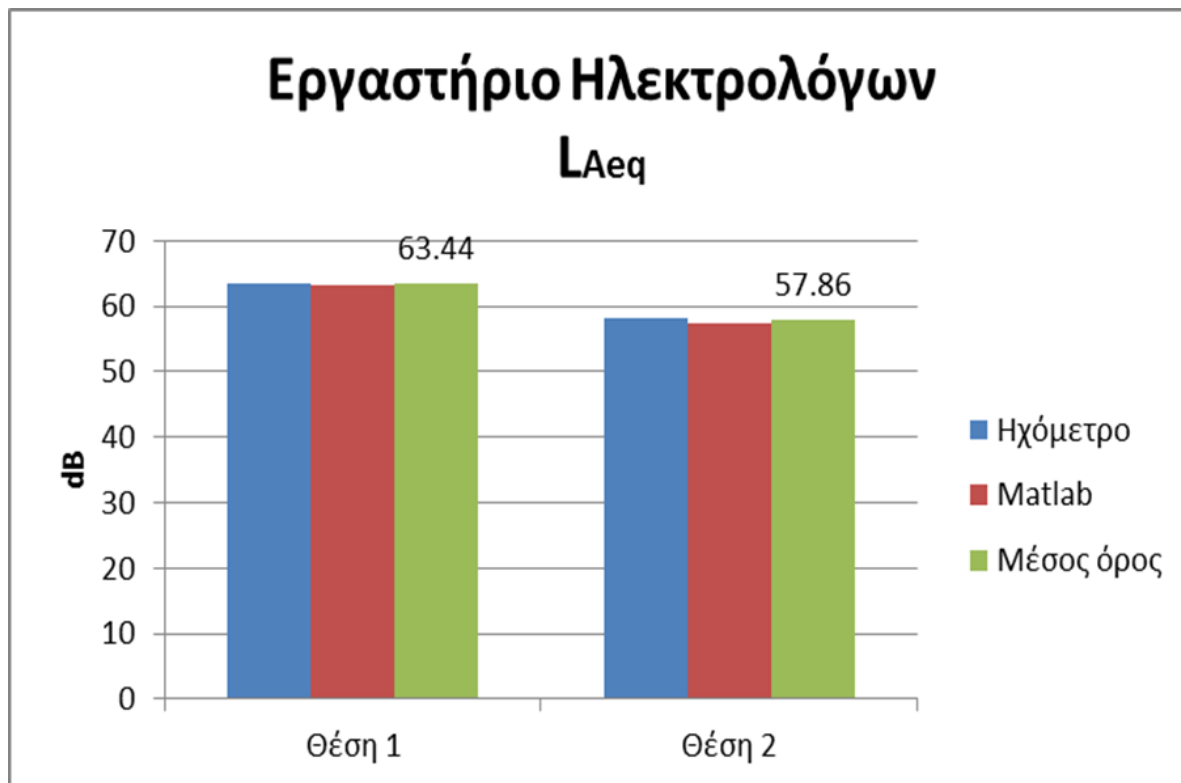


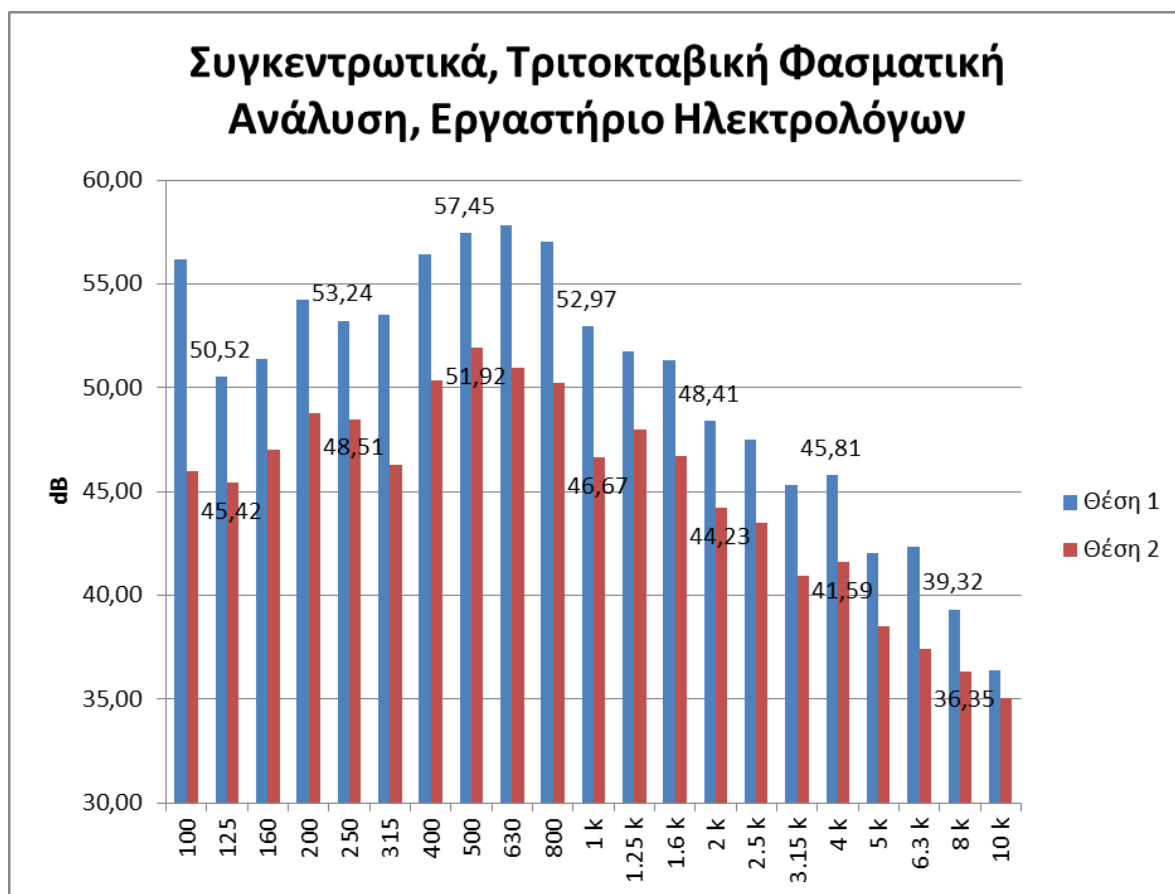
Παρατηρούμε πως το κύριο μέρος του θορύβου μας εκπέμπεται στις χαμηλότερες συχνότητες, πράγμα λογικό αφού οι πηγές μεσαίων συχνοτητών (πχ ομιλίες) είναι περιορισμένες, ενώ υψηλών απουσιάζουν τελείως.

Η μέση τιμή του LAF50, είναι λίγο μεγαλύτερη στην θέση 1 εξαιτίας της ιδιαιτερότητάς της έναντι της 2 (βρίσκεται στο κέντρο της βιβλιοθήκης πιο κοντά σε περισσότερες πηγές θορύβου). Κυμαίνεται κοντά στα 55dB, ποσό απολύτως λογικό αν συμβουλευτούμε το διάγραμμα της σελίδας 14, που υποδεικνύει πως 50dB είναι το επίπεδο του θορύβου σε ένα ήσυχο γραφείο. Από τα γραφήματα παρατηρούμε μια φυσιολογική κατανομή της έντασης χωρίς την εμφάνιση ακραίων τιμών.

Επίσης, στον εξωτερικό χώρο των κτιρίων όπου στεγάζεται η βιβλιοθήκη, καταγράφηκε και η εσωτερική μέτρηση της πύλης Κατεχάκη. Καταλήγουμε επομένως στο συμπέρασμα πως οι υψηλές τιμές θορύβου που υπάρχουν στη λεωφόρο, δεν καταφέρνουν να φτάσουν έως το εσωτερικό του συγκεκριμένου κτιρίου. Έτσι, οι φοιτητές παραμένουν απερίσπαστοι από τις εξωτερικές πηγές θορύβου, και μπορούν να επικεντρωθούν στη μελέτη, με τις ιδανικές ακουστικές συνθήκες που επικρατούν εντός του χώρου.

Εργαστήριο Ηλεκτρολόγων

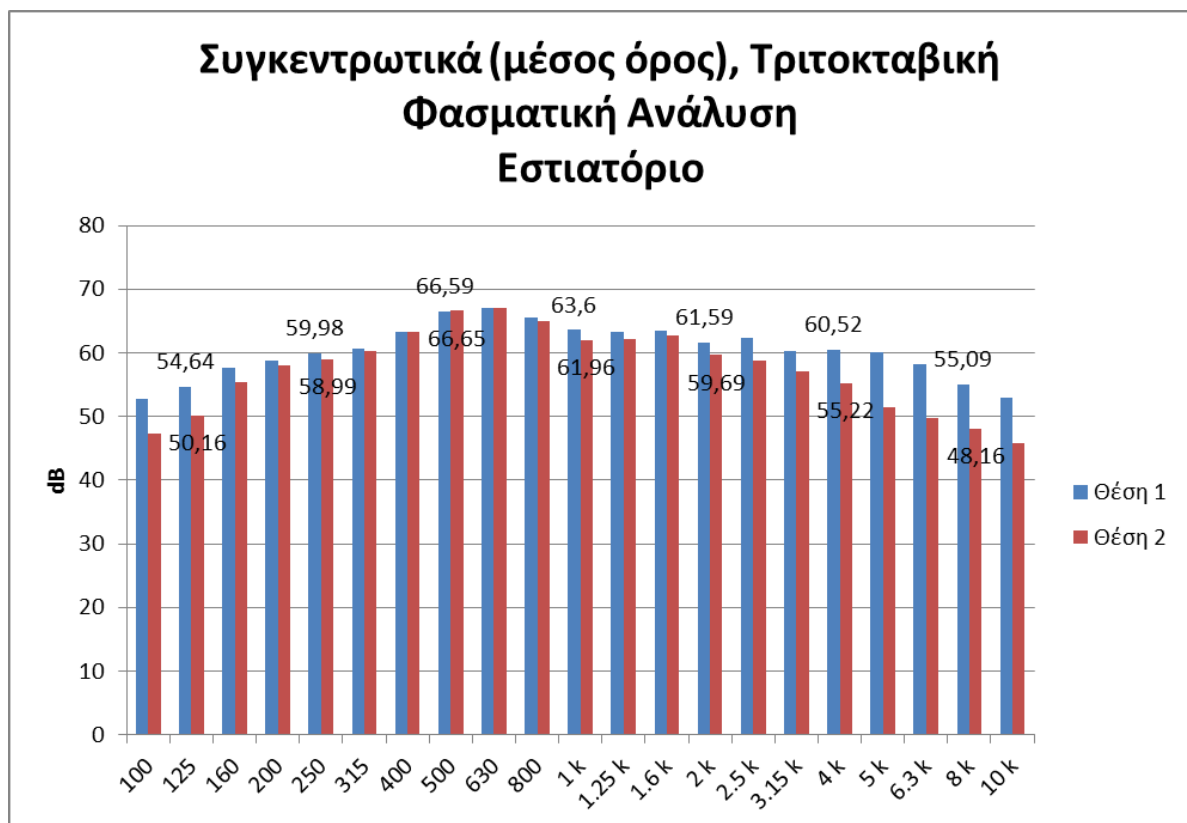
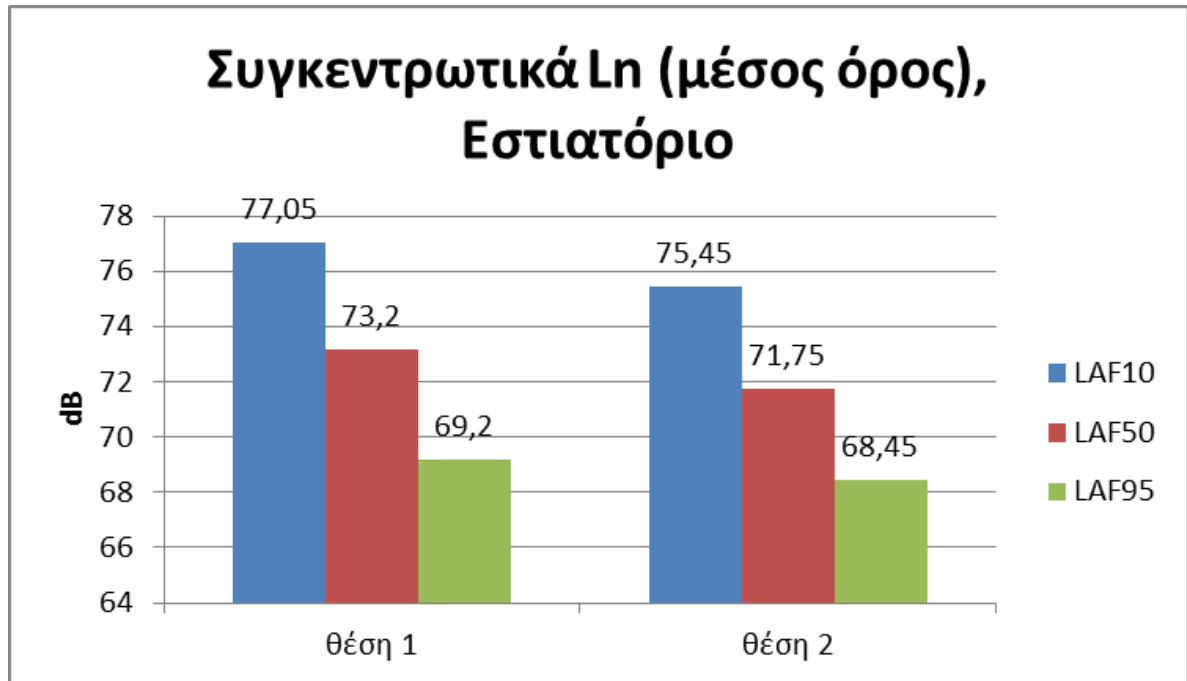


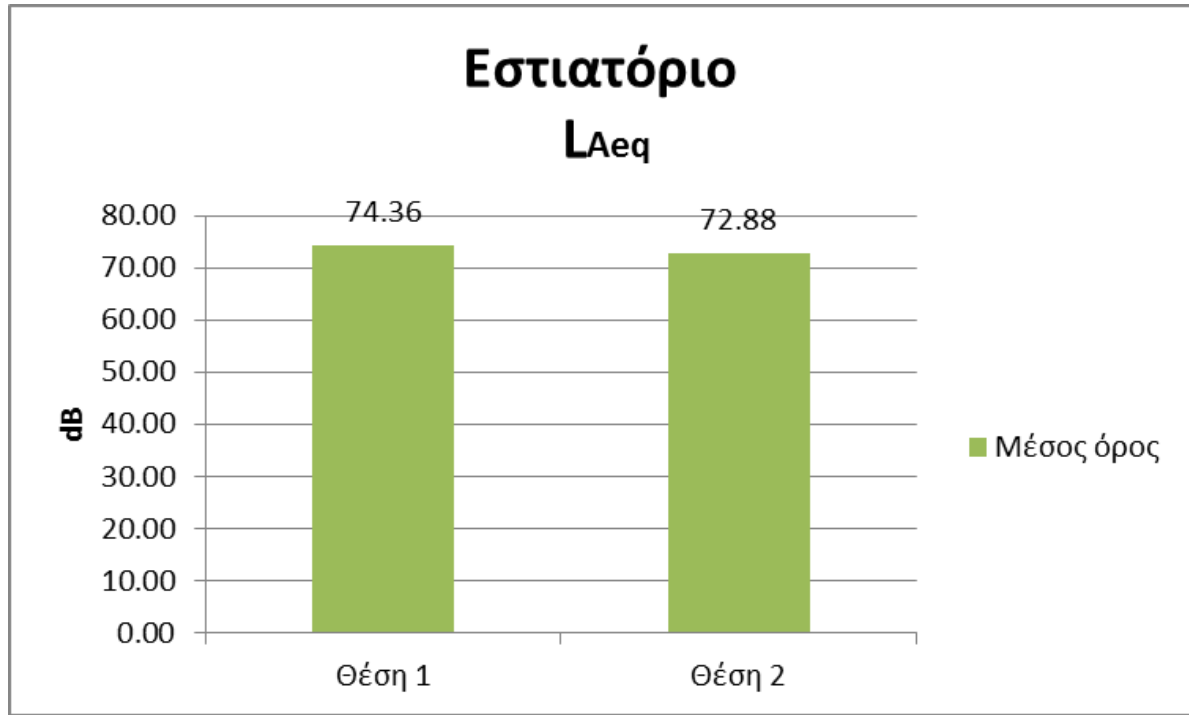


Στο ανωτέρω διάγραμμα παρουσιάζεται η ηχητική συμπεριφορά ενός εργαστηρίου της σχολής των Ηλεκτρολόγων (αίθουσα 9, 2^{ος} όροφος, νέα κτίρια Ηλεκτρολόγων).

Σην αίθουσα αυτή, όπου υπάρχουν μηχανήματα, όπως γεννήτριες, παλμογράφοι και τροφοδοτικά, τα οποία ήταν σε λειτουργία κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, δεν έχει προσεγγιστεί η επιθυμητή προτεινόμενη τιμή για το LAeq, ούτε για το υπόστρωμα θορύβου. Μπορούμε να θεωρήσουμε κάτι τέτοιο δικαιολογημένο, λόγω των μηχανημάτων που ήταν σε λειτουργία, αλλά και των πιο «χαλαρών» συνθηκών διδασκαλίας, που επιτρέπει στους φοιτητές να ψιθυρίζουν μεταξύ τους. Ωστόσο πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν, καθότι οι φοιτητές καλούνται να περάσουν αρκετές ώρες στον χώρο αυτό προκειμένου να φέρουν σε πέρας τις εργασίες που τους ζητούνται, γεγονός που απαιτεί συγκέντρωση και ιδιαίτερη προσπάθεια.

Εστιατόριο





Τα αποτελέσματα των μετρήσεων και για τις δυο θέσεις είναι σχεδόν πανομοιότυπα. Όλα τα επίπεδα θορύβου είναι σχετικά υψηλά και μάλιστα είναι κοντινά μεταξύ τους. Όταν λοιπόν ο θόρυβος βάθους (LAF95), η μέση τιμή (LAF50) και οι ακραίες τιμές (LAF10) θορύβου συμπίπτουν, αυτό σημαίνει ότι ο θόρυβος είναι συνεχής.

Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς η κύρια συνιστώσα του θορύβου προέρχεται από τα διάφορα σκεύη που χρησιμοποιούν οι φοιτητές (μαχαιροπήρουνα, δίσκοι κ.λ.π.) και από τις κουζίνες, τους απορροφητήρες και τα ψυγεία που βρίσκονται σε λειτουργία. Δευτερευόντως συνεισφέρουν στην οχλαγωγία και οι παρευρισκόμενοι, οι οποίοι αναγκάζονται να υψώνουν τη φωνή τους για να γίνουν αντιληπτοί από τους συνδαιτημόνες τους. Έτσι, παρατηρείται στην φασματική ανάλυση μια μικρή ακμή στο πεδίο εκπομπής της ανθρώπινης ομιλίας, η οποία όμως δεν ξεχωρίζει ιδιαίτερα από πιο χαμηλές και πιο υψηλές συχνότητες.

Όσον αφορά το προσωπικό του εστιατορίου, εκτίθεται σε μεγαλύτερο θόρυβο από τον καταγραφόμενο, εφόσον οι εργαζόμενοι βρίσκονται πολύ πιο κοντά στις κύριες πηγές θορύβου. Άρα πιθανόν να πλησιάζουν ή ακόμη και να ξεπερνούν τα επιτρεπόμενα ημερήσια όρια έκθεσης στο θόρυβο.

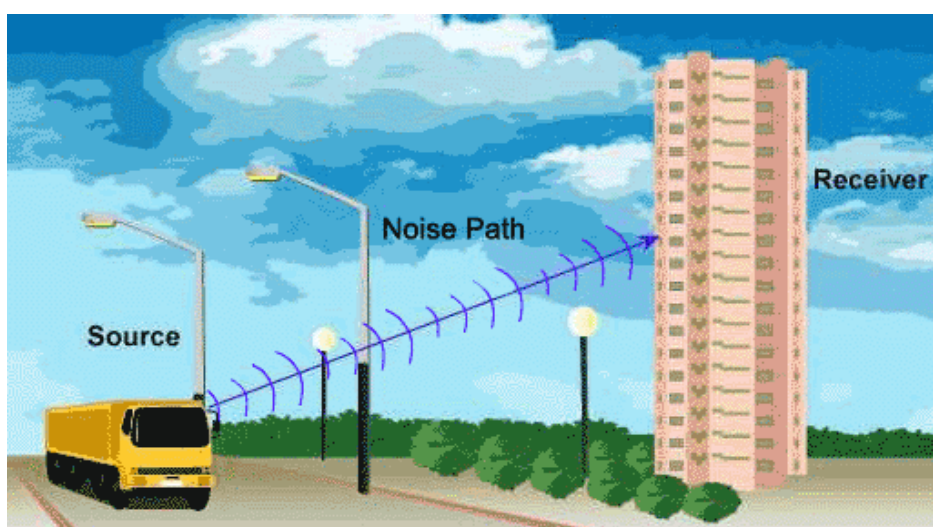
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

Οι πιο σημαντικές πηγές θορύβου, που ευθύνονται για την υποβάθμιση του ακουστικού περιβάλλοντος, είναι οι ακόλουθες :

- Η κυκλοφορία των μέσων μεταφοράς κάθε είδους
- Οι βιομηχανικές και βιοτεχνικές εγκαταστάσεις
- Οι εγκαταστάσεις αναψυχής και διασκέδασης
- Οι οικιακές συσκευές

Ο περιοχές με ιδιαίτερο πρόβλημα υποβάθμισης του ακουστικού περιβάλλοντος, όπως προκύπτει από τα στοιχεία του Υπουργείου Περιβάλλοντος, είναι σχεδόν όλες οι αστικές περιοχές της χώρας. Βεβαίως το πρόβλημα είναι σαφώς εντονότερο στα μεγάλα αστικά κέντρα όπως στην Αθήνα, (που συγκεντρώνει το 40% του πληθυσμού, το 50% της βιομηχανικής και βιοτεχνικής δραστηριότητας, το 55 % των οχημάτων και το 70 % των Υπηρεσιών).



Συγκεκριμένα, όσον αφορά στην ακουστική του χώρου του Πολυτεχνείου, που αποτελεί και το θέμα μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρατηρούμε πως οι σημαντικότερες πηγές θορύβου που αναφέρονται πιο πάνω, συμπίπτουν με τις αντίστοιχες πηγές θορύβου που υφίστανται στο χώρο του ενδιαφέροντός μας. Επομένως μπορούμε να τις κατηγοριοποιήσουμε ως εξής :

Σημαντικότερες πηγές θορύβου στο χώρο του Πολυτεχνείου

- Η κυκλοφορία των οχημάτων κάθε είδους στους εσωτερικούς δρόμους του Πολυτεχνείου και στους δρόμους εξωτερικά.
- Οι μηχανολογικές και ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις του χώρου (συμπεριλαμβανομένων των διάφορων συσκευών και μηχανημάτων μικρής κλίμακας, όπως για παράδειγμα τροφοδοτικά, φωτοτυπικά, ψύκτες, κ.λ.π. όσο και εκείνων μεγαλύτερης όπως γεννήτριες, κινητήρες, ψυγεία κ.λ.π.).
- Οι χώροι συγκέντρωσης παντός είδους, των παρευρισκόμενων στο χώρο (κυλικεία, αμφιθέατρα, βιβλιοθήκες, εστιατόριο κ.λ.π.).

Στα πλαίσια της αναβάθμισης του ακουστικού περιβάλλοντος οι ενέργειες που πρέπει να πραγματοποιούνται οφείλουν να ακολουθούν το κλασσικό μοντέλο ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΠΡΟΛΗΨΗΣ :

- έλεγχος στην πηγή
- έλεγχος κατά τη διάδοση
- έλεγχος στον αποδέκτη

Αναλυτικά η ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΡΟΛΗΨΗ περιλαμβάνει :

Έλεγχος στην πηγή του θορύβου

Όταν δεν είναι δυνατόν να αντικατασταθεί η παλαιά θορυβώδης μηχανή με μια καινούργια λιγότερο θορυβώδη, θα πρέπει να εντοπιστούν και να αλλαχθούν εκείνα τα εξαρτήματα που προκαλούν υψηλές στάθμες θορύβου. Η τακτική προληπτική συντήρηση μιας μηχανής βοηθά στην αποφυγή θορύβου υψηλής στάθμης. Θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την βελτίωση του σχεδιασμού των μηχανών και των κατασκευαστικών τους χαρακτηριστικών για τη μείωση του εκπεμπόμενου θορύβου, καθώς επίσης και μέτρα βελτίωσης του σχεδιασμού συνολικά της παραγωγικής διαδικασίας σε κάθε συγκεκριμένο χώρο, ώστε να εξασφαλίζεται η ελαχιστοποίηση της ηχορύπανσης.

Έλεγχος κατά τη διάδοση του θορύβου

Μπορεί να πραγματοποιηθεί με την κατασκευή καμπίνων χειρισμού, όπου είναι τεχνικά δυνατό, ηχομονωμένων, για την προστασία του εργαζομένου χειριστή. Καθώς επίσης με τη λήψη μέτρων που εξασφαλίζουν πλήρη ηχομόνωση της πηγής του θορύβου και στοχεύουν στην αύξηση της απόστασης ανάμεσα σε αυτήν και τον εργαζόμενο δέκτη. Η εφαρμογή κατάλληλων ηχοαπορροφητικών υλικών στα τοιχώματα, τις οροφές και τα δάπεδα των χώρων, με αυξημένο θόρυβο αποτελούν ακόμη έναν σημαντικό παράγοντα ηχομείωσης.

Έλεγχος στον αποδέκτη του θορύβου

Με την χορήγηση ανάλογα την περίπτωση ατομικών μέσων προστασίας όπως για παράδειγμα ωτοασπίδες (έσχατο μέτρο). Την κυκλική εναλλαγή των εργαζομένων στις θέσεις εργασίας που είναι περισσότερο επιβαρυνμένες από τον θόρυβο. Τη θέσπιση διακοπών ή διαλειμμάτων ανάπαυσης σε ήσυχους χώρους κατά την εργασία.

Έκτος της Τεχνικής Πρόληψης πρέπει να γίνονται ενέργειες και στο επίπεδο του ανθρώπου, γεγονός που αφορά την ΙΑΤΡΙΚΗ ΠΡΟΛΗΨΗ.

Αυτή περιλαμβάνει :

- Την ενημέρωση από τον Γιατρό Εργασίας των εργαζομένων που εκτίθενται σε ψηλά επίπεδα θορύβου άνω των 85 dB(A) για τους κινδύνους που διατρέχει, η ακοή τους και η υγεία τους γενικότερα.
- Την προληπτική ιατρική εξέταση του εργαζομένου πριν την οριστική τοποθέτηση του, σε θέση εργασίας που συνεπάγεται, έκθεση σε ισχυρό θόρυβο, μετά από χαρτογράφηση του χώρου και ακριβή προσδιορισμό της ηχοέκθεσης με τις απαραίτητες για τον σκοπό αυτό μετρήσεις. Αυτή η ιατρική εξέταση περιλαμβάνει:
 - Λήψη Ιστορικού
 - Πλήρη κλινική εξέταση και ωτοσκόπηση
 - Ακοομετρικό έλεγχο, με τονικό ακοογράφημα στον εργαζόμενο.
- Τον υπολογισμό της δόσης του θορύβου που δέχεται ο συγκεκριμένος εργαζόμενος, στη συγκεκριμένη θέση εργασίας προκειμένου να διαπιστωθεί, τυχόν υπέρβαση των θεσπισμένων οριακών τιμών έκθεσης στο θόρυβο.
- Την υποβολή των εργαζομένων σε περιοδικό έλεγχο, με την διενέργεια επανειλημμένων ακοογραφημάτων. Η συχνότητα αυτών των εξετάσεων μπορεί να είναι κάθε 12 μήνες ή 5 χρόνια εφ'όσον η ημερήσια ατομική ηχοέκθεση του εργαζομένου είναι μικρότερη από 90 dB(A).
- Την τήρηση σχετικών αρχείων από τον Γιατρό εργασίας για την διαχρονική εκτίμηση των αποτελεσμάτων.

Παρότι οι ενδείξεις των μετρήσεων δεν είναι ιδιαίτερα ανησυχητικές για τη σωματική υγεία των φοιτητών και των εργαζομένων στον ευρύτερο χώρο της Πολυτεχνειούπολης (καθηγητές, γραμματείς, υπάλληλοι στο χώρο σίτισης κ.λ.π.), εντούτοις δεν πρέπει να αδιαφορούμε για τις επιπτώσεις στην παραγωγική διαδικασία και την ψυχική κατάσταση των μελών της πολυτεχνειακής κοινότητας.

Πρωταρχικά, αν εστιάσουμε στους χώρους όπου πραγματοποιείται η εκπαιδευτική διαδικασία, οφείλουμε να αναφέρουμε ότι προς το παρόν στην Ελλάδα δεν έχει δοθεί η δέουσα σημασία στην ακουστική μελέτη των αιθουσών διδασκαλίας. Αυτό οφείλεται στην ελλιπή ενημέρωση όλων των εμπλεκόμενων φορέων, σχετικά με τον σημαντικό ρόλο που επιτελεί η ακουστική στην εκπαιδευτική διαδικασία. Αίθουσες με χαμηλή ποιότητα ακουστικής οδηγούν στη μείωση της απόδοσης της διδασκαλίας, στη δημιουργία αγχώδους συμπεριφοράς εκ μέρους φοιτητών και καθηγητών, ακόμη και στην επιβάρυνσή τους με προβλήματα υγείας. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι οι καθηγητές αναγκάζονται να μιλούν σε επίπεδα που φθείρουν το λαιμό τους και προκαλούν βλάβες.

Σύμφωνα με έρευνες, ένας χώρος με καλή ακουστική μπορεί να μειώσει τα επίπεδα άγχους ενός καθηγητή.[15]. Ο θόρυβος βάθους είναι μια παράμετρος που δημιουργεί προβλήματα στη συγκέντρωση, στην αντιληπτότητα της ομιλίας και στην επικοινωνία μαθητών και καθηγητή.

Επομένως για την επίτευξη καλής ακουστικής σε μια υπάρχουσα αίθουσα διδασκαλίας θα πρέπει να μελετώνται ταυτόχρονα οι εξής παράγοντες :

- Ο περιβαλλοντικός θόρυβος που γεννάται έξω από το χώρο του Πολυτεχνείου (campus), κυρίως λόγω του οδικού δικτύου.
- Ο αερόφερτος ή κτυπογενής θόρυβος που παράγεται εντός της ακαδημαϊκής εγκατάστασης, σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους που γειτνιάζουν με την αίθουσα διδασκαλίας.
- Ο θόρυβος βάθους που παράγεται από τον τεχνικό εξοπλισμό του κτηρίου (κυρίως τα συστήματα εξαερισμού και κλιματισμού).
- Ο εσωτερικός θόρυβος βάθους που οφείλεται στους ψιθύρους, τις συνομιλίες, τους υπολογιστές, τα μηχανήματα προβολής και την επίπλωση του χώρου (πόρτες, παράθυρα, καθίσματα, έδρανα, πίνακες, κλπ.).

Ο περιορισμός των παραγόντων αυτών οδηγεί στην ικανοποιητική αντιληπτότητα της ομιλίας στα αμφιθέατρα.

Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες για τους τρόπους βελτίωσης της ακουστικής σε μια αίθουσα διαλέξεων, που περιλαμβάνουν προτάσεις περισσότερο ή λιγότερο δαπανηρές.

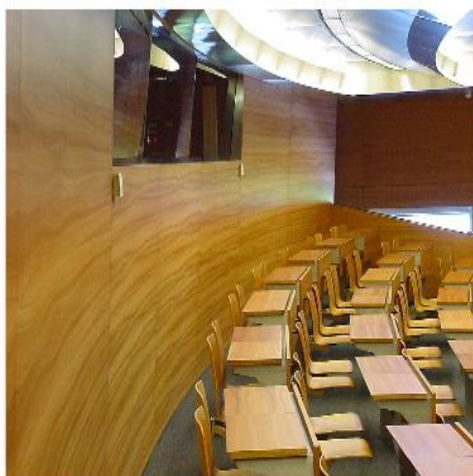
Σύμφωνα με έναν ειδικό στη συμβουλευτική περί ακουστικής χώρου, υπάρχουν τρεις ζωτικής σημασίας παράμετροι που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την ακουστική μελέτη μιας αίθουσας :

- η απορρόφηση
- η αντήχηση
- η ηχομόνωση

Ουσιαστικά είναι οι νόμοι της φυσικής που υπαγορεύουν ότι ο ήχος, ως ενεργειακό σήμα κατά ένα μέρος απορροφάται από τους τοίχους, κατά ένα άλλο ανακλάται και κατά ένα άλλο τους διαπερνά. Η αντήχηση που συνίσταται στην μερική απορρόφηση και στις διαδοχικές ανακλάσεις αυξάνει την πυκνότητα της ηχητικής ενέργειας στην αίθουσα και δημιουργεί επικαλύψεις στην ομιλία δυσχεραίνοντας την αντιληπτότητα. Το μέρος της ενέργειας που διαπερνά τους τοίχους επιβαρύνει με ανεπιθύμητο θόρυβο τις γειτονικές αίθουσες, γι' αυτό είναι απαραίτητη η ηχομόνωση. [16]

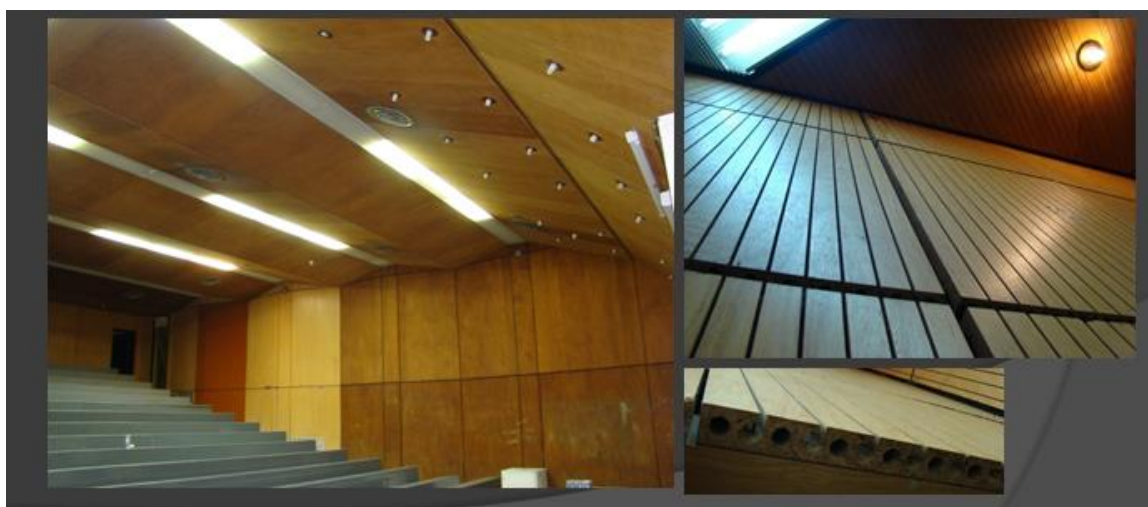
Στις αίθουσες διαλέξεων γενικά, θεωρείται απαραίτητη η τοποθέτηση μοκέτας στο δάπεδο για καλύτερη ηχοαπορρόφηση. Σε αυτή την περίπτωση όμως ανακύπτει το πρόβλημα της συντήρησης και του καθαρισμού αυτής, λόγω του μεγάλου ημερίσιου αριθμού των διερχομένων. [17], [18], [19]

Το σχήμα μιας αίθουσας διαλέξεων πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να αντανakλά κατάλληλα τον ήχο προς το ακροατήριο. Πρέπει να αποφεύγονται τα πλατιά και σε σχήμα βεντάλιας δωμάτια, στα οποία οι οπίσθιοι τοίχοι είναι κοίλοι και η ακτίνα τους καταλήγει στη σκηνή. Ένας τέτοιος τοίχος επιστρέφει τα ανακλώμενα σήματα του θορύβου στον ομιλητή, και αν οι πλευρικοί τοίχοι είναι πολύ μακριά ο ένας από τον άλλον, δε θα προλάβουν να προκαλέσουν τις απαραίτητες ανακλάσεις προς το ακροατήριο. [17], [18], [19]



Εικόνα 1: Κοίλος τοίχος σε αίθουσα διαλέξεων

Οι τοίχοι μπορούν να καλυφθούν με βαριά συρόμενα υφάσματα που υψώνονται καθέτως για να συνεισφέρουν στην απορρόφηση όποτε χρειάζεται. Συγκεκριμένα ο εμπρόσθιος τοίχος πρέπει να είναι επενδεδυμένος με ανακλαστικό υλικό, για να διασπείρεται ο ήχος προς το ακροατήριο. Ο πίσω και οι πλαϊνοί τοίχοι πρέπει να είναι επενδεδυμένοι με απορροφητικό υλικό ώστε να περιορίζεται η αντήχηση και οι ανεπιθύμητες ανακλάσεις. Αν είναι εφικτό, αποφεύγονται παράλληλες επιφάνειες, διότι προκαλούν πολλαπλή ηχώ. Άρα προτείνεται οι πλαϊνοί τοίχοι να έχουν μεγάλο πλάτος και διαφορετική κλίση. [17], [18], [19]



Εικόνα 2: Οι τοίχοι και το ταβάνι δεν είναι επίπεδες (παράλληλες) επιφάνειες και είναι καλυμμένες με πορώδες υλικό

Σε περιοχές με ιδιαίτερο θόρυβο συνίσταται η χρήση ηχοπαγίδων οι οποίες προσαρμόζονται στα κουφώματα, σύμφωνα με τον οδηγό μελετών του Οργανισμού Σχολικών Κτιρίων, που αφορά ωστόσο μόνο την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Επίσης, προτείνεται η τοποθέτηση διπλών τζαμιών όπου υπάρχουν παράθυρα. [20]

Παρότι μια αίθουσα μπορεί να διαθέτει τη βέλτιστη κατασκευή και εγκατάσταση, δεν πρέπει να ξεχνάμε τον ανθρώπινο παράγοντα. Γι' αυτό τονίζουμε ότι πρέπει να γίνεται σωστή χρήση των αιθουσών διδασκαλίας. Πρέπει να αποφεύγονται οι άσκοπες μετακινήσεις και συνομιλίες κατά τη διάρκεια του μαθήματος.

Μια πρόκληση που αντιμετωπίζει η αρχιτεκτονική ακουστική στην εκπαίδευση είναι η ομοιόμορφη κατανομή της ομιλίας του διδάσκοντα σε όλα τα έδρανα, ώστε να καταρριφθεί πια ο παλιός κανόνας της εспеυσμένης προσέλευσης για την κράτηση των μπροστινών εδράνων, που προς το παρόν εξασφαλίζουν την καλύτερη ακουστική.

Εάν το ταβάνι είναι επίπεδο, στέλνει όλες τις ανακλάσεις στο πίσω μέρος της αίθουσας, γι' αυτό προτείνεται τμήματα του ταβανιού να είναι υπό γωνία, ώστε να διαχέεται ο ήχος σε όλο το ακροατήριο. Κυρτά πάνελ διάχυσης σε σχήμα πυραμίδας ή κυλίνδρου, ή ειδικών QRD diffusers βοηθούν στη διάχυση του ήχου σε όλο το ακροατήριο και στη μείωση της ηχούς. [17], [18], [19]



Εικόνα 3: Οι διαχύτες αντιμετωπίζουν την επαναλαμβανόμενη ηχώ (flutter echo) χωρίς να κάνουν το χώρο ακουστικά νεκρό

Πολλές φορές κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη ηχοσυστήματος για την ενίσχυση του ήχου στην αίθουσα και τη διόρθωση του σηματοθορυβικού λόγου. Ένα κατάλληλα τοποθετημένο ηχοσύστημα βοηθά στην ομοιόμορφη κατανομή της ομιλίας σε όλο το ακροατήριο. Ο ειδικός M. Rettinge περιγράφει τις αίθουσες διαλέξεων ως οπτικοακουστικές εγκαταστάσεις, υπονοώντας την εφαρμογή τεχνολογικού εξοπλισμού για τον έλεγχο της οπτικοακουστικής του χώρου. Έτσι, για την πραγματοποίηση ερωτήσεων και απαντήσεων, προτείνεται η χρήση μικροφώνων από καθηγητές και φοιτητές.

Μάλιστα επειδή είναι πολύ σπάνιο να καταφέρνει ο καθηγητής (πόσο μάλλον ο φοιτητής) να ανυψώνει τη φωνή σε ένταση πάνω από 60 dB, θα πρέπει να λαμβάνονται ειδικά μέτρα ενίσχυσης σε χώρους όγκου άνω των 1416 m³. Αλλά και σε χώρους μικρότερου όγκου, όπως τα 283 m³, λόγω του θορύβου που προκαλούν ο κλιματισμός, οι ανεμιστήρες και άλλες συσκευές, ο ομιλητής είναι δύσκολο να ακουστεί χωρίς ενίσχυση. Επίσης τα μεγάφωνα θα ήταν προτιμότερο να τοποθετούνται πάνω και ελαφρώς μπροστά από τη συνήθη θέση του βασικού ομιλητή. [21]

Το ηχοσύστημα θα πρέπει να αναπαράγει τον ήχο σαν αυτός να προερχόταν απευθείας από τη θέση της ηχητικής πηγής και με τη φυσική τονική ποιότητα, ώστε να συνεισφέρει στην συγκέντρωση των ακροατών και επομένως στην αντιληπτότητα της ομιλίας. Γι' αυτό το λόγο, πρέπει τα μεγάφωνα να διαθέτουν την κατάλληλη χρονική καθυστέρηση. Παρότι αυτό αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος, το αποτέλεσμα ανταμοίβει. Επιπλέον, η απόκριση συχνότητας του συστήματος πρέπει να βελτιστοποιείται για τη μετάδοση της ομιλίας. Αναφέρουμε ενδεικτικά ότι για τη μετάδοση της ομιλίας είναι επιθυμητή η ελάττωση των χαμηλών συχνοτήτων.

Η κατάλληλη επιλογή μικροφώνου μπορεί να βελτιώσει ουσιαστικά την αντιληπτότητα της ομιλίας. Ένα ασύρματο χειλόφωνο είναι ιδανικό, καθώς έτσι η απόσταση μεταξύ μικροφώνου και στόματος παραμένει σταθερή, εξασφαλίζοντας την ίδια ενίσχυση του ήχου ανεξάρτητα από τις κινήσεις του ομιλητή. Ταυτόχρονα, οποιοδήποτε ηχοσύστημα εγκατασταθεί σε ένα αμφιθέατρο θα πρέπει να είναι εύχρηστο από μη πεπειραμένους χρήστες, όπως είναι οι καθηγητές και οι φοιτητές.

Σημειώνουμε ότι στις υπάρχουσες αίθουσες είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθούν οι στόχοι ενός ηχοσυστήματος και το ίδιο συμβαίνει όταν η αίθουσα που βρίσκεται ακόμα στη φάση της σχεδίασης είναι πάρα πολύ μεγάλη με χαμηλό ταβάνι. Άλλες δυσκολίες που συναντά η μέθοδος αυτή είναι αισθητικοί ή χωροταξικοί λόγοι που δεν επιτρέπουν την κατάλληλη τοποθέτηση του εξοπλισμού. Επίσης η αναγκαιότητα συνδυασμού της μεθόδου με άλλες μεθόδους ηχοαπορρόφησης, που αυξάνουν το κόστος καθώς και η έλλειψη ανταλλακτικών αποτελούν επιπλέον δυσκολίες. [22], [23]

Στις αίθουσες διαλέξεων, το κύριο αντικείμενο της ακουστικής μελέτης είναι η ενίσχυση του ήχου που προέρχεται από μια και μόνο τοποθεσία, ενώ στα κυλικεία και στους εσωτερικούς χώρους συγκέντρωσης ο στόχος είναι ο περιορισμός του θορύβου από πολλές διαφορετικές πηγές. Επειδή τα επιθυμητά αποτελέσματα στις δυο αυτές περιπτώσεις είναι αντικρουόμενα, συνίσταται να αποφεύγεται η γειτνίαση αυτών των χώρων.

Ένας παράγοντας υποβάθμισης της ακουστικής πραγματικότητας που βιώνουν οι φοιτητές είναι οι δυσχερείς ακουστικές συνθήκες στους χώρους που χρησιμοποιούν κατά τη διάρκεια των διαλειμμάτων (όπως χώροι συγκέντρωσης, κυλικεία, εστιατόριο). Κι αυτό γιατί δεν τους επιτρέπουν να ξεκουραστούν επαρκώς από τον πνευματικό τους κόπο. Για παράδειγμα, τα επίπεδα θορύβου σε ένα κυλικείο ή ένα διάδρομο ξεπερνούν συχνά τα 80dB, τιμή που συναντά κανείς σε πολυσύχναστες λεωφόρους.

Για τη βελτίωση της ακουστικής στους ελεύθερους χώρους συγκέντρωσης, στα κυλικεία και στο εστιατόριο συνίσταται η επένδυση των τοίχων και του ταβανιού με κατάλληλα ηχοαπορροφητικά υλικά.

Αναφορικά με τη βιβλιοθήκη και τα εργαστήρια, η χρήση αθόρυβων ανεμιστήρων για την ψύξη των υπολογιστών στο χώρο θα βελτιώνει σημαντικά το πρόβλημα του αυξημένου θορύβου. Επίσης, η τοποθέτηση μίας ακουστικής οροφής θα συνέβαλε στη περαιτέρω αύξηση της καταληπτότητας.

Η τεχνολογία διαρκώς εξελίσσεται, προσφέροντας πλήθος εφαρμογών που εξυπηρετούν τον περιορισμό της έκθεσης των ατόμων στο θόρυβο. Ωστόσο, το κόστος τοποθέτησής και συντήρησής μερικών από αυτές είναι απαγορευτικό, καθώς δίνεται προτεραιότητα σε άλλες υποχρεώσεις του Ιδρύματος. Παρολαυτά οφείλουμε να υπενθυμίζουμε τη σοβαρότητα του ζητήματος και να φροντίζουμε τουλάχιστον για την ενημέρωση των κινδύνων που εγκυμονεί η διαρκής έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου, τόσο για τους φοιτητές και τους καθηγητές, όσο και για τους εργαζόμενους στα κυλικεία και το εστιατόριο. Αυτή την προσπάθεια μπορεί να ενισχύσει και το Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας, που μεριμνά ακριβώς για τέτοια θέματα.

Ο χώρος στον οποίο εκτείνεται η Πολυτεχνειούπολη της Ζωγράφου, διακρίνεται τόσο για τις ευνοϊκές ακουστικές συνθήκες που επικρατούν, όσο και για το ιδιαίτερο φυσικό κάλλος της ευρύτερης περιοχής που συνορεύει με το άλσος του Υμηττού. Το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο έχει συμβάλει επί σειρά ετών στην ανάπτυξη του πάρκου της Πολυτεχνειούπολης, με φυτεύσεις δεκάδων χιλιάδων δέντρων και θάμνων και διαμορφώσεις περιπάτων. Τα περισσότερα είδη φυτών που έχουν χρησιμοποιηθεί, αποτελούν χαρακτηριστικά είδη φυτών που συναντώνται στον Υμηττό.

Συνολικά σε ολόκληρο το χώρο της Πολυτεχνειούπολης, η ύπαρξη μεγάλων εκτάσεων πράσινου ανάμεσα σε αυτόν και το εξωτερικό οδικό δίκτυο μειώνει δραστικά τον εξωγενή θόρυβο καθώς αποτελούν φυσικά ηχητικά φράγματα. Συνεπώς, η εντατικοποίηση των ρυθμών της δενδροφύτευσης θα αποτελέσει τροχοπέδη στα αυξημένα επίπεδα του θορύβου που προέρχεται από τις μεγάλες οδικές αρτηρίες περιμετρικά του χώρου.

Τέλος, η ακουστική μελέτη των χώρων εκπαίδευσης και του περιβάλλοντός τους αποτελεί ένα θέμα ευρέος φάσματος που προς το παρόν κινείται σε «αχαρτογράφητα νερά», παρά την καθοριστική συμβολή του στην εκπαιδευτική διαδικασία.

Αποτελεί επομένως χρέος όλων των εμπλεκόμενων φορέων της Πολυτεχνειακής κοινότητας, η ενδεδειγμένη μελέτη της ακουστικής, δίνοντας τη δέουσα σημασία σε ένα πρόβλημα όπως αυτό του θορύβου, που τείνει να εξελιχθεί σε μάστιγα της εποχής μας, όπως χαρακτηριστικά ανέφερε παλαιότερα και ο διάσημος Γερμανός ιατρός Ρόμπερτ Κοχ.

«Μια μέρα ο άνθρωπος θα αγωνίζεται ενάντια στο θόρυβο με την ίδια επιμονή που παλεύει με τη χολέρα και την πανώλη» Robert Koch (1843-1910)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΥΝΕΧΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η χαρτογράφηση του θορύβου στην Πολυτεχνειούπολη είναι μια διαδικασία που απαιτεί πολύ χρόνο, υπομονή και τα κατάλληλα μέσα. Μπορούν να πραγματοποιηθούν περισσότερες μετρήσεις στους χώρους που έχουμε ήδη εξετάσει, (για τον περιορισμό των σφαλμάτων μέτρησης) αλλά και σε πολλούς άλλους που δεν συμπεριλάβαμε στη μελέτη μας. Χώροι όπως η κεντρική Βιβλιοθήκη, γραφεία καθηγητών, γραμματείες, μικρότερες αίθουσες διαλέξεων και εργαστήρια, όχι μόνο στις σχολές των Ηλεκτρολόγων, των Μηχανολόγων, των Χημικών, των Πολιτικών και των Τοπογράφων, αλλά και στις υπόλοιπες σχολές του Πολυτεχνείου.

Με αυτόν τον τρόπο, θα υπάρξει μια πλήρης εικόνα του θορύβου στον οποίο εκτίθενται τα μέλη της Πολυτεχνειακής κοινότητας, κατά την ημερήσια παραμονή τους στο χώρο του Πολυτεχνείου (campus).

Η εθνική και διεθνής νομοθεσία σχετικά με τον εργασιακό θόρυβο πρέπει να αποτελέσουν γνώμονα για την αξιολόγηση της υπάρχουσας ηχητικής κατάστασης. Αυτό είναι και το κύριο μέλημα των ακουστικών μηχανικών, καθώς μια κακή ακουστική μπορεί να μειώσει δραστικά την παραγωγικότητα των άμεσα θιγόμενων.

Αφού γίνει αξιολόγηση της υπάρχουσας κατάστασης, θα ήταν σκόπιμο να πραγματοποιηθεί μια υλικοτεχνική μελέτη βελτίωσής της, όπου είναι απαραίτητο. Βέβαια, προϋπόθεση για τη διατύπωση οποιασδήποτε πρότασης είναι η έγκριση του κόστους και η υλοποιησιμότητά της.

Τέλος, τονίζουμε ότι η Πολυτεχνειούπολη είναι ένας ζωντανός χώρος, επομένως, τα μέλη του θα πρέπει ενημερώνονται διαρκώς για τη σημασία της καλής ακουστικής και των μεθόδων που μπορούν οι ίδιοι να ακολουθήσουν για την επίτευξή της. (Συντήρηση μηχανημάτων, χρήση ηχοσυστήματος ενίσχυσης, μετριασμός της έντασης της μουσικής στα κυλικεία, κ.λ.π)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Loudon Stearns, Coursera and Berklee Online instructor, “Introduction to Music Production”, (2014)
2. διαδικτυακός τόπος: www.engineeringtoolbox.com
3. Bruel and Kjaer, “Measuring Sound”, (1984)
4. D. W. Robinson, and R. S. Dadson, “A re-determination of the equal-loudness relations for pure tones”, Br. J. Appl. Phys.7, 166-181 (1956)
5. Πρότυπο Ελληνικού Οργανισμού Τυποποίησης (ΕΛΟΤ) 263.1
6. Bruel and Kjaer, “Environmental Noise Measurement”, (1984)
7. “Occupational exposure to noise: evaluation, prevention and control”, edited by Berenice Goelzer, Colin H. Hansen and Gustav A. Sehrndt
8. Κτιριοδομικός Κανονισμός, άρθρο 12 απόφ. 3046/304/301/3.2.1989
9. Προεδρικό Διάταγμα 149/2006
10. Καμπουράκης Γ., “Η Ακουστική των αιθουσών διδασκαλίας και η επιπτώσεις της στην επικοινωνία”, (2005)
11. Wetherill E., “ Classroom design for good hearing”
12. Διαδικτυακός τόπος: www.clear-labs.com , του Imperial College London, “Speech Enhancement Tutorial”
13. Jukka Keränen, Petra Larm, Valtteri Hongisto, “SIMPLE APPLICATION OF STI-METHOD IN PREDICTING SPEECH TRANSMISSION IN CLASSROOMS”, (2004)
14. Bruel and Kjaer, “Sound Intensity”, (1993)
15. B.M. Shield, J.E. Dockrel, J. Acoust. Soc. Amer.123/1, (2008)
16. M. Rettinger, “Room Acoustics,” Acoustic Design and Noise control, 86 – 146, (1973)
17. DfES Project Team,” Building Bulletin 93, Acoustic Design of Schools”
18. DIN 18041, “Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen”, (1968)
19. Seep Benjamin, Glosemeyer Robin, Hulce Emily, Linn Matt, Aytar Pamela and Coffeen Bob, “CLASSROOM ACOUSTICS, a resource for creating learning”
20. Οργανισμός Σχολικών Κτιρίων, “Οδηγός Μελετών για Διδακτήρια όλων των Βαθμίδων Εκπαίδευσης”
21. M. Rettinger, “Instructional Spaces,” Acoustic Design and Noise control, 458 – 464, (1973)
22. Kurt Eggenschwiler, “Lecture Halls - Room Acoustics and Sound Reinforcement”, (2005)
23. Susan Prendegast, "A comparison of the performance of Classroom Amplification with Traditional and Bending Wave Speakers"