

Μελέτη και εικονική διαμόρφωση ακουστικής σε αίθουσα διδασκαλίας

Ιωάννης Γ. Μαλαφής, Π.Δ. 407/82 Εργαστήριο Μουσικής Ακουστικής Τεχνολογίας, Τμήμα Μουσικών Σπουδών, Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Παναγιώτης Ε. Χατζημανολάκης και Χριστίνα Ε. Παναγιωτάκου, φοιτητές Τμήματος Μουσικών Σπουδών, Πανεπιστημίου Αθηνών

Χαράλαμπος Χ. Σπυρίδης, Καθηγητής Μουσικής Ακουστικής, Πληροφορικής Εργαστήριο Μουσικής Ακουστικής Τεχνολογίας, Τμήμα Μουσικών Σπουδών, Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Στα πλαίσια της αναμόρφωσης του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μουσικών Σπουδών του Πανεπιστημίου Αθηνών διδάσκεται τα χειμερινά εξάμηνα το μάθημα ελεύθερης επιλογής *Ακουστική Σχεδίαση Κλειστών Χώρων με χρήση Η/Υ*. Διδάσκοντες είναι ο κ. Χαράλαμπος Χ. Σπυρίδης, καθηγητής Μουσικής Ακουστικής - Πληροφορικής και ο κ. Ιωάννης Μαλαφής, Π.Δ. 407/80. Κατά τις απαιτήσεις του μαθήματος, όλοι οι φοιτητές, που επέλεξαν το μάθημα, προέβησαν στην ακουστική μελέτη και διαμόρφωση των αιθουσών διδασκαλίας του Τμήματός μας. Χρησιμοποιήθηκαν γνώσεις από τα προπτυχιακά μαθήματα *Φυσική και Μουσική Ακουστική, Εισαγωγή στους Η/Υ και Ακουστική διαμόρφωση κλειστών χώρων*.

Η σημερινή παρουσίαση αφορά στη συνεργασία δύο φοιτητών - των Χατζημανωλάκη Παναγιώτη και Παναγιωτάκου Χριστίνας- ώστε η αίθουσα διδασκαλίας 741 του Τμήματός μας στο κτήριο της Φιλοσοφικής Σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών να βελτιστοποιηθεί ακουστικά. Η εργασία πραγματοποιήθηκε στην **Αίθουσα Πολυμέσων** του Εργαστηρίου Μουσικής Ακουστικής Τεχνολογίας του Τμήματος Μουσικών Σπουδών.

Για την ακουστική μελέτη χρησιμοποιήθηκε το Demo του προγράμματος CATT-Acoustic v8.0a. Επειδή το πρόγραμμα αυτό θα χρησιμοποιηθεί και για την παρουσίαση της μελέτης, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν κάποια στοιχεία γι' αυτό, ώστε να γίνει κατανοητό.

Πρόκειται για ένα λογισμικό το οποίο μας δίνει τη δυνατότητα να επεξεργαστούμε και να διαμορφώσουμε ακουστικά ένα χώρο σε περιβάλλον Η/Υ. Παρέχεται η δυνατότητα για ακρόαση του χώρου με μεταβλητές θέσεις ηχητικής πηγής και δέκτη. Το πρόγραμμα, λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους, όπως τη γεωμετρία του χώρου, τα υλικά που χρησιμοποιούνται (με τις ακουστικές τους ιδιότητες) και πλήθος ανακλάσεων που δημιουργούνται, παράγει ηχητικά αρχεία με την ακουστική προσομοίωση του χώρου. Κάθε πιθανή μεταβολή σε γεωμετρία, θέσεις και υλικά, μεταβάλλει, αντίστοιχα, και το ηχητικό αρχείο.

Επισημαίνεται ότι η **πιστή ακρόαση** των ηχητικών αρχείων θα πρέπει να γίνεται μόνο από ακουστικά και όχι από ηχεία καθώς στη δεύτερη περίπτωση εμπλέκεται και η ακουστική απόκριση του χώρου ακρόασης.

Στο demo δίνεται μία συγκεκριμένη **απεικόνιση** της εκάστοτε αίθουσας - που στην προκειμένη περίπτωση είναι η ακόλουθη για την αρχική κατάσταση - και η οποία μεταβαλλόταν κατά την εξέλιξη της εργασίας, έως ότου εξαχθεί το τελικό αποτέλεσμα. Κάθε χρώμα αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο υλικό. Ο **ομιλητής - ηχητική πηγή** τοποθετήθηκε πάνω στο βάθρο διδασκαλίας, που θεωρείται ως η πλέον αντιπροσωπευτική θέση και η πλέον συνηθισμένη. Συμβολίζεται με το Α0. Η ακουστική του χώρου μελετήθηκε έχοντας ως επιλογή κυρίου

δείγματος **θέσης ακροατή**, την κεντρική θέση του χώρου ακρόασης (όπως ορίζεται από τις διαστάσεις του χώρου), λαμβάνοντας υπόψη και άλλες τυχαίες θέσεις ακροατών Συμβολίζεται με το 01. Το **ηχητικό αρχείο** προέρχεται από το Demo του προγράμματος και είναι το ακόλουθο. **(ΑΝΗΧΟΪΚΟ ΑΡΧΕΙΟ 2 φορές)**.

Το Εργαστήριο Μουσικής Ακουστικής Τεχνολογίας έχει ήδη προβεί στην παραγγελία του πλήρους λογισμικού πακέτου «Catt Acoustics» από τις πιστώσεις του προγράμματος «Αναμόρφωση προπτυχιακού προγράμματος σπουδών» του Τμήματος Μουσικών Σπουδών.

Θα ακολουθήσει ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ και ΤΕΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ της αίθουσας, καθώς και των αλλαγών που πραγματοποιήθηκαν. Θα παρουσιασθούν και κάποια σχεδιαγράμματα μεταβολής του SPL ως προς τον χρόνο και τις βασικές συχνότητες εντός της αίθουσας (προσφέρονται από το προαναφερθέν demo).

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ

Μέσω της δυνατότητας ακουστικής προσομοίωσης του προγράμματος **(ΑΚΟΥΜΕ ΑΡΧΙΚΟ ΗΧΟ 2 φορές)** παρατηρούμε ότι ο χώρος:

- μεγάλη αντήχηση
- μειωμένη ευκρίνεια λέξεων και
- χαμηλό IL.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΤΗΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ

Για την βελτίωση της ακουστικής προβήκαμε στις εξής ενέργειες:

1) Ασχοληθήκαμε με τα υπάρχοντα υλικά της αίθουσας, τόσο τα κατασκευαστικά, όσο και αυτά των αντικειμένων που προστέθηκαν για τη λειτουργική χρήση της αίθουσας όπως πίνακας, έπιπλα, φοριαμοί κλπ. και μελετήσαμε τα ακουστικά προβλήματα που δημιουργούνται από αυτά. Παρατηρήθηκε ότι:

- Οι μεγαλύτερες επιφάνειες καλύπτονται από γυμνό χυτό βαμμένο τσιμέντο (concrete) καθώς και μεγάλες γυάλινες επιφάνειες στα παράθυρα.
- Υπάρχουν ξύλινες και μεταλλικές επιφάνειες, μάρμαρο και πλακάκι.
- Φυσικά, υπάρχει και το ακροατήριο, το οποίο επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την ακουστική του χώρου.

Διαπιστώθηκε ότι τα περισσότερα υλικά που υπάρχουν στην αίθουσα έχουν μικρό συντελεστή ηχοαπορρόφησης και μεγάλο συντελεστή ηχοανάκλασης.

2) Παρατηρήσαμε τους πίνακες μεταβολής SPL ως προς το χρόνο και τις βασικές συχνότητες εντός της περιοχής κοινού.

3) Μελετήσαμε τα στοιχεία των χρόνων αντήχησης και διάχυσης και τις ανακλάσεις εντός της αίθουσας στις διάφορες συχνότητες.

Καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι στην αρχιτεκτονική σχεδίαση της αίθουσας και στα υλικά που επιλέχθηκαν για την κατασκευή της, οφείλονται τα προαναφερθέντα ηχητικά προβλήματα. Αυτό σημαίνει ότι κτίστηκαν Πανεπιστημιακές αίθουσες διδασκαλίας χωρίς τη στοιχειώδη μέριμνα για τη διδασκαλία αυτή καθεαυτή.

Για την βελτίωση της ακουστικής της αίθουσας και με το δεδομένο ότι δεν πρόκειται να αλλάξει η αρχιτεκτονική σχεδίαση αυτής, ούτε θα γίνει μετακίνηση επίπλων για λειτουργικούς λόγους, κρίθηκε σκόπιμη η προσθήκη επιλεγμένων ηχοαπορροφητικών και ηχοανακλαστικών υλικών με διαφορετικές διαστάσεις σε συγκεκριμένες θέσεις. Έπειτα από μεθοδική μελέτη, εντοπίστηκαν τα προβληματικά σημεία της αίθουσας. Πραγματοποιήθηκαν πάρα πολλές δοκιμές, ώσπου να επιτευχθεί το τελικό αποτέλεσμα. Εξαιτίας της πίεσης του χρόνου δεν θα αναφερθούμε περισσότερο στη διαδικασία αυτή .

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ

Όλα τα υλικά επιλέχθηκαν από την ιστοσελίδα της εταιρείας RPG (www.rpginc.com), με κριτήρια:

- 1) τους συντελεστές ηχοανάκλασης και ηχοαπορρόφησής τους και
- 2) τον τρόπο που θέλαμε να τα χρησιμοποιήσουμε.

Το γεγονός ότι επιλέχθηκε η συγκεκριμένη εταιρεία για την επιλογή των υλικών, οφείλεται στην πλήρη απόδοση συντελεστών απορρόφησης και διάχυσης που παρέχονται στην ιστοσελίδα της συγκεκριμένης εταιρείας, γεγονός που καθιστά τη μελέτη όλο και πιο ρεαλιστική.

Οι θέσεις τοποθέτησης των υλικών προήλθαν από τη μελέτη των ανακλάσεων στις διάφορες επιφάνειες της αίθουσας.

Προκειμένου να αποφύγουμε τη δημιουργία στάσιμων κυμάτων λόγω της παραλληλίας της αίθουσας, στα πάνελ που τοποθετήθηκαν δόθηκε ελαφριά κλίση (προς τα δεξιά και αριστερά αντίστοιχα) της τάξης των 5^0 - 10^0 .

TABANI

Επιλέχθηκε η χρήση διαχυτών ώστε να διαχυθεί ο ήχος στην αίθουσα. Χρησιμοποιήθηκε το υλικό με εμπορική ονομασία *Formedffusor*, με τους εξής συντελεστές ηχοαπορρόφησης και ηχοανάκλασης. Τοποθετήθηκαν τρία παράλληλα πάνελ, τα οποία διατρέχουν κατά μήκος την αίθουσα.

ΤΟΙΧΟΣ ΠΙΣΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΟΜΙΛΗΤΗ

Επιλέχθηκε η χρήση ηχοαπορροφητών . Χρησιμοποιήθηκε το υλικό με εμπορική ονομασία *Diffusorblox*, με τους εξής συντελεστές ηχοαπορρόφησης και ηχοανάκλασης. Τοποθετήθηκαν δύο πανέλα, το ένα κατά μήκος του εξέχοντος πάνω δοκαριού και το δεύτερο δεξιά από τον ομιλητή.

ΤΟΙΧΟΣ ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΟΜΙΛΗΤΗ

Επιλέχθηκε η χρήση ηχοαπορροφητών. Χρησιμοποιήθηκε το προαναφερθέν υλικό *Diffusorblox*. Τοποθετήθηκαν τρία παράλληλα πάνελ, το ένα κάτω από το άλλο με το χαμηλότερο από αυτά να είναι πάνω από το επίπεδο των ακρατών.

ΤΟΙΧΟΣ ΜΕ ΤΖΑΜΙΑ ΔΕΞΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΟΜΙΛΗΤΗ

Επιλέχθηκε η χρήση κουρτινών. Χρησιμοποιήθηκε ύφασμα με τα εξής χαρακτηριστικά (βλ. φωτό). Τοποθετήθηκαν έξι ανοιχτόχρωμες κουρτίνες (για να περνάει το φυσικό φως). Προκειμένου να επιτευχθεί συσκότιση (για λόγους κάποιας προβολής) τοποθετούμε ηχοπερατό σκουρόχρωμο ύφασμα με μηχανισμό roll top, μπροστά από τις κουρτίνες.

ΤΟΙΧΟΣ ΑΠΕΝΑΝΤΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΟΜΙΛΗΤΗ

Επιλέχθηκε η χρήση ηχοαπορροφητών.

Για τους τρεις ηχοαπορροφητές χρησιμοποιήθηκε το προαναφερθέν υλικό *Diffusorblox* και τοποθετήθηκαν τρία παράλληλα, κάθετα προς το πάτωμα, πάνελ

Ως τέταρτος ηχοαπορροφητής χρησιμοποιήθηκε το υλικό με εμπορική ονομασία *Absorbor*, με τους εξής συντελεστές ηχοαπορρόφησης. Τοποθετήθηκε ένα κάθετο πάνελ.

ΠΑΤΩΜΑ

Επιλέχθηκε η χρήση ελαστικού δαπέδου πατώματος σε όλη την επιφάνεια του δαπέδου (εξαιρείται το πάτωμα του βάθρου που είναι ξύλινο), με τα εξής χαρακτηριστικά (βλ. φωτό)

Μετά από την τοποθέτηση των προαναφερθέντων υλικών συγκρίναμε:

- 1) τους πίνακες μεταβολής SPL ως προς το χρόνο και τις βασικές συχνότητες, εντός της περιοχής κοινού για την αρχική και τελική κατάσταση της αίθουσας.
- 2) τα στοιχεία των χρόνων αντήχησης, διάχυσης και τις ανακλάσεις εντός της αίθουσας στις διάφορες συχνότητες για την αρχική και τελική κατάσταση της αίθουσας.

Μέσω της δυνατότητας ακουστικής προσομοίωσης του προγράμματος **(ΑΚΟΥΜΕ ΤΕΛΙΚΟ ΗΧΟ)**, παρατηρούμε ότι ο χώρος τώρα έχει:

- μικρή αντήχηση
- καλύτερη ευκρίνεια λέξεων
- δυνατότερο IL.

Επισημαίνουμε ότι αυτό που ακούμε τώρα επηρεάζεται από την ακουστική κατάσταση του χώρου που βρισκόμαστε ενώ η ρεαλιστική κατάσταση της αίθουσας είναι δυνατό να εκτιμηθεί μόνο ακούγοντας μέσω ακουστικών.

Ας ξανακούσουμε το αρχικό και τελικό ηχητικό αποτέλεσμα:

ΤΕΛΙΚΟ.

ΑΡΧΙΚΟ

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Κρίνουμε ότι το αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικό. Η αίθουσα έχει σαφώς καλύτερη ακουστική συμπεριφορά κατά το ρόλο που της αποδίδεται (αίθουσα διδασκαλίας).

Το εκτιμώμενο κόστος για την υλοποίηση της ανωτέρω ακουστικής επέμβασης στην αίθουσα, ανέρχεται στην τάξη των 3500€ - 4500€ περίπου, ποσό που κρίνεται ιδιαίτερα συμφέρον για την υλοποίησή του από το Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Για άλλη μια φορά θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους δασκάλους μας, τον Καθηγητή κ. Χαράλαμπο Χ. Σπυρίδη και τον κ. Ιωάννη Μαλαφή για την καθοδήγηση και τη βοήθειά τους για την εκπόνηση και παρουσίαση αυτής της εργασίας.

Όσοι σύνεδροι επιθυμούν, μπορούν κατά το διάλειμμα ν' ακούσουν τα ηχητικά αρχεία που αφορούν στα διάφορα στάδια, τα οποία ακολουθήσαμε για την διαμόρφωση του τελικού αποτελέσματος. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα για ακρόαση από διάφορες θέσεις του ακροατηρίου εντός της αίθουσας.

Σας ευχαριστούμε

Αθήνα, Δευτέρα 27 Σεπτεμβρίου 2004, 01:15

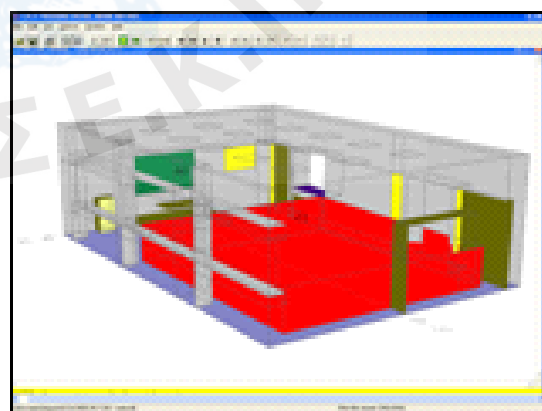
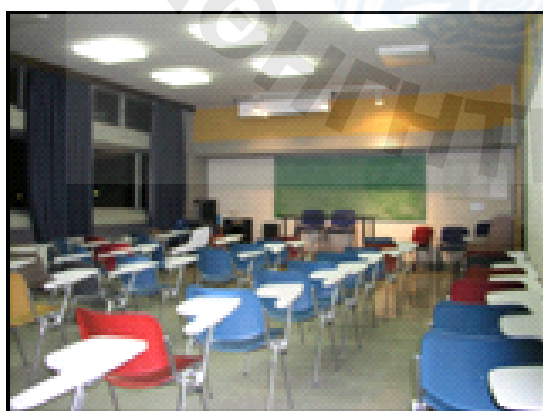
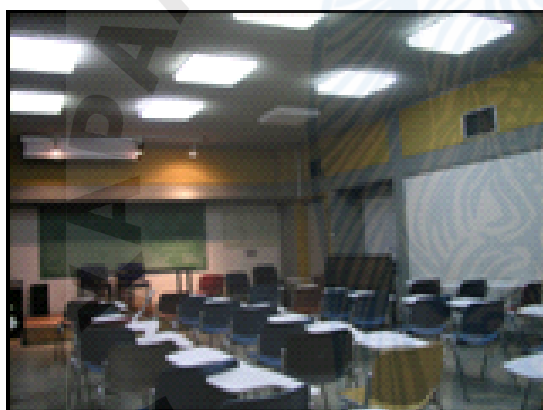
Παναγιώτης Ε. Χατζημανωλάκης
Ιωάννης Γ. Μαλαφής
Χαράλαμπος Χ. Σπυρίδης

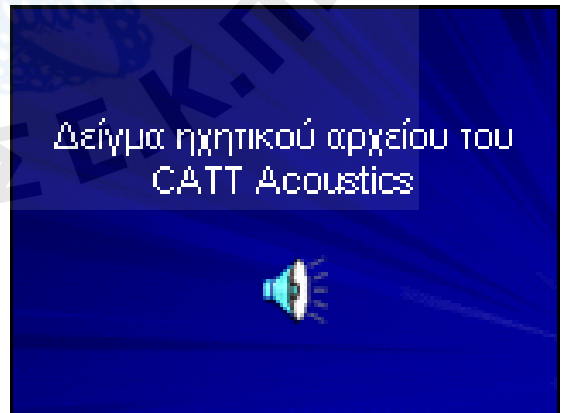
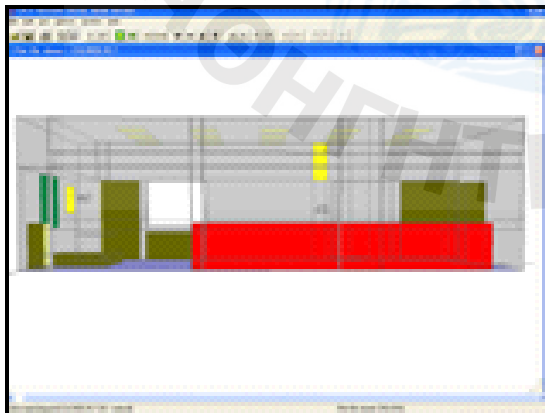
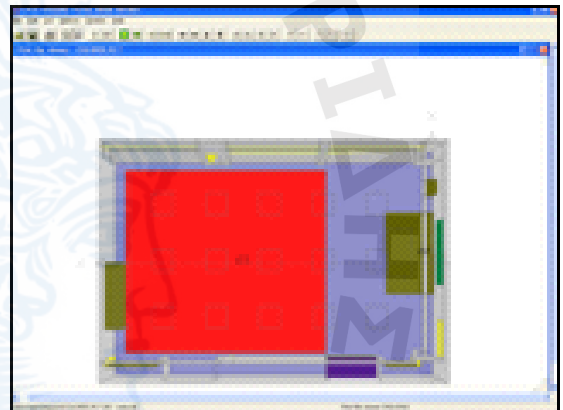
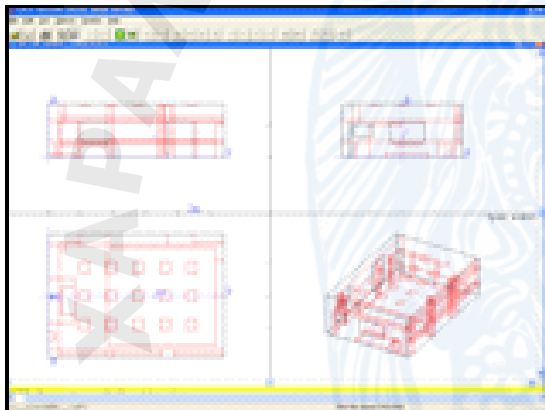
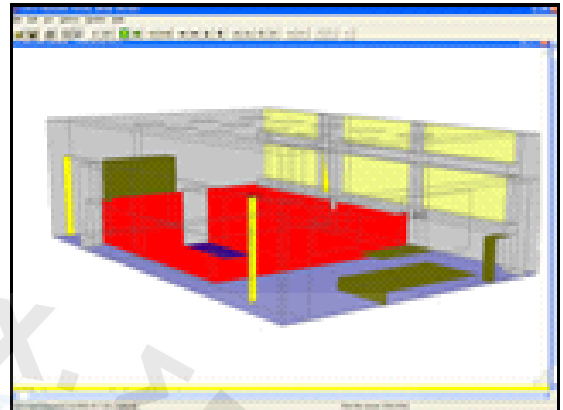
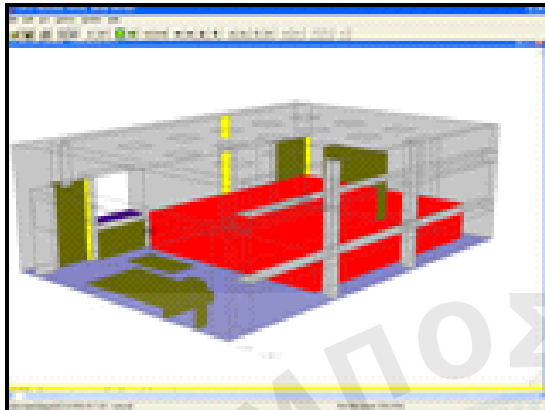
Ακολουθεί παράρτημα με τις διαφάνειες οι οποίες προβλήθηκαν κατά τη διάρκεια της συνεδρίας. Αυτές είναι διαθέσιμες και σε ηλεκτρονική μορφή. Επίσης επισυνάπτονται σε ηλεκτρονική μορφή και τα σχετικά αρχεία ήχου.

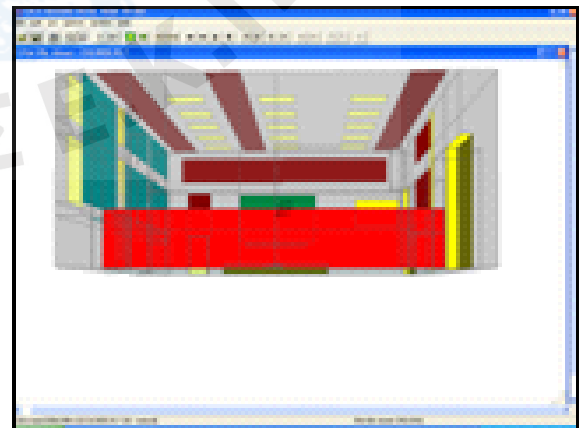
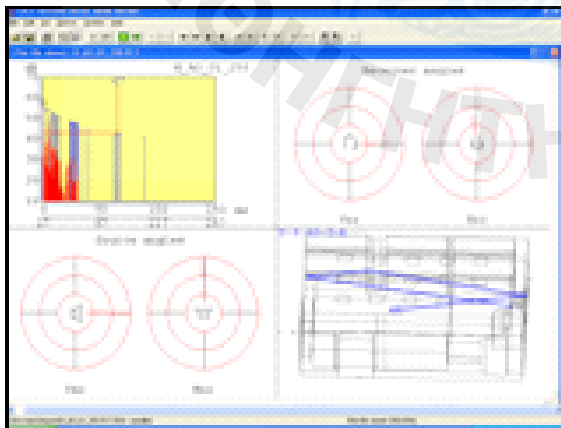
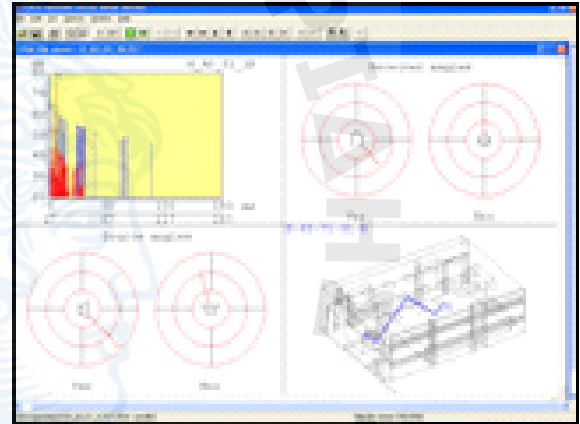
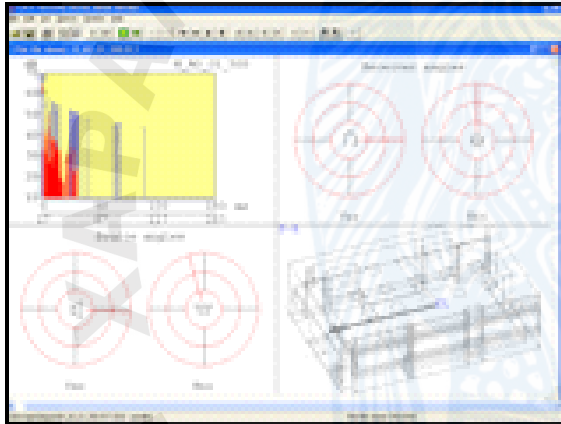
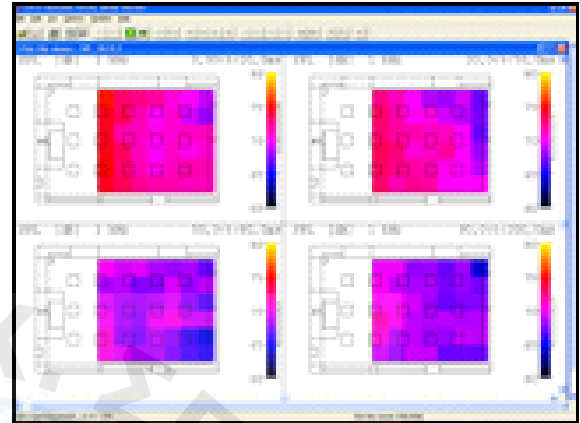
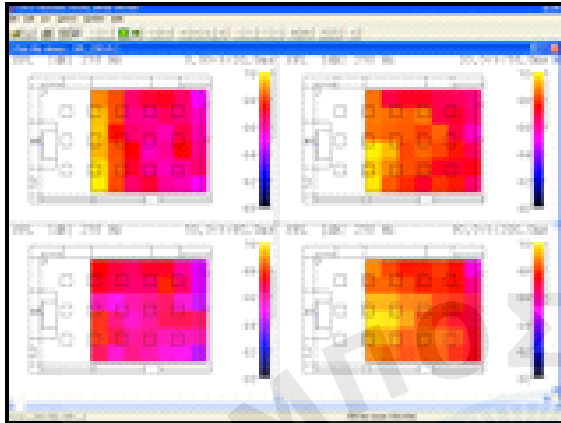
Παράρτημα

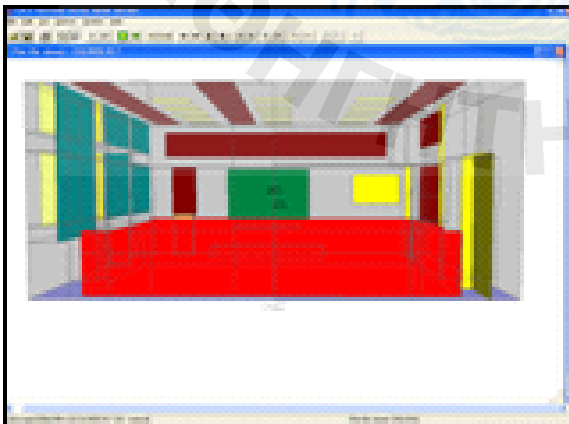
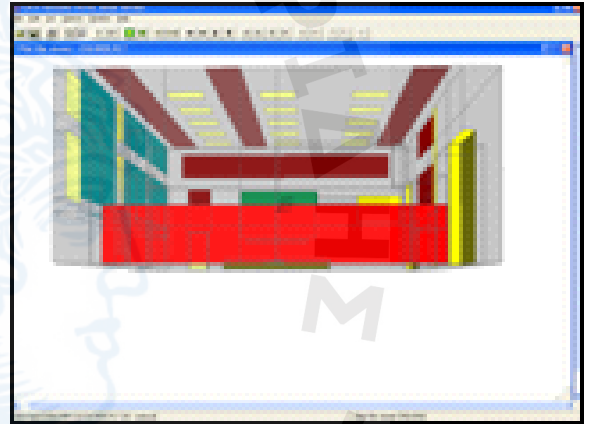
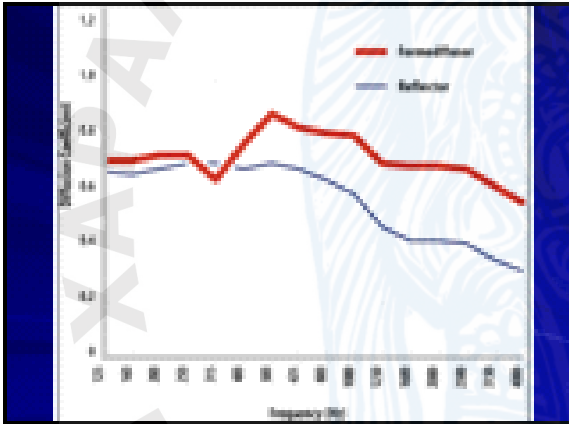
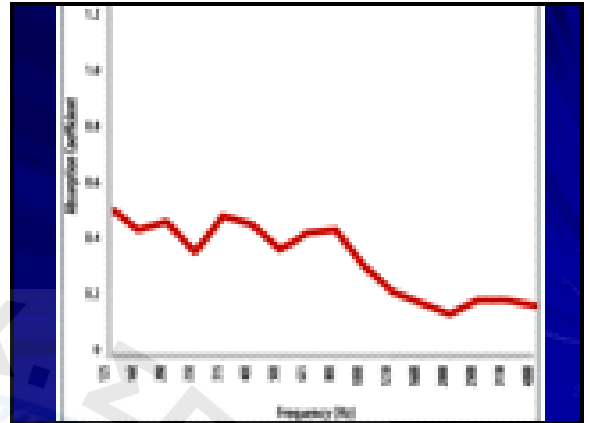
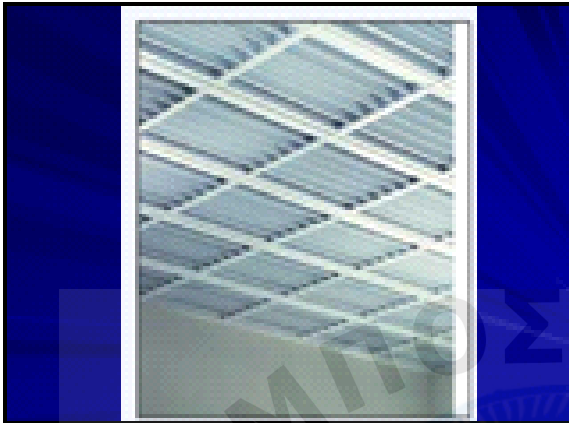
ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΙΚΗ
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ
ΣΕ ΑΙΘΟΥΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ

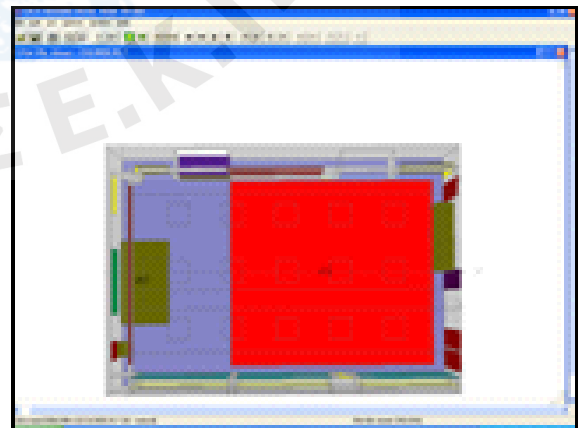
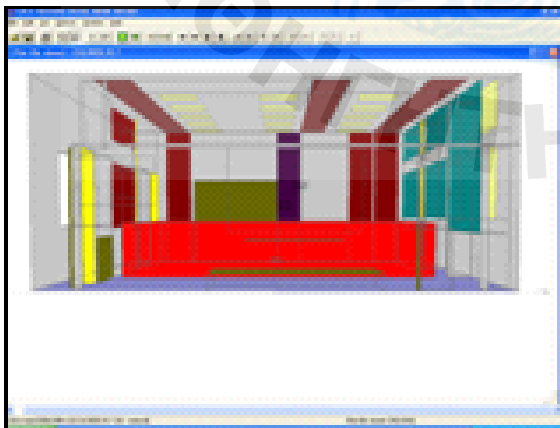
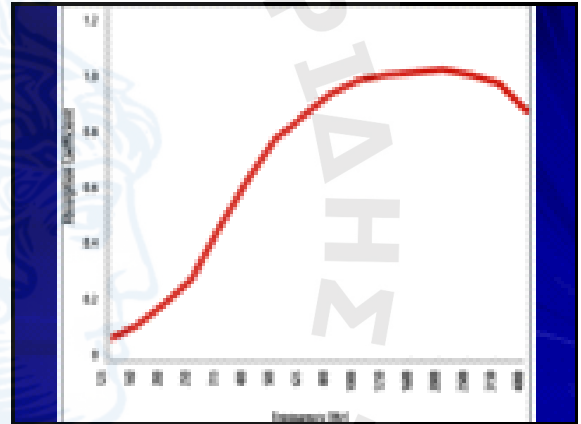
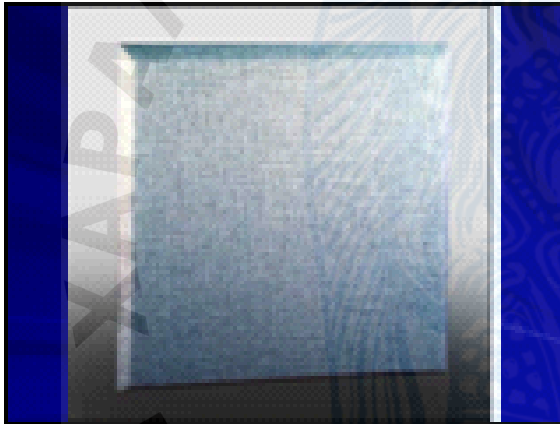
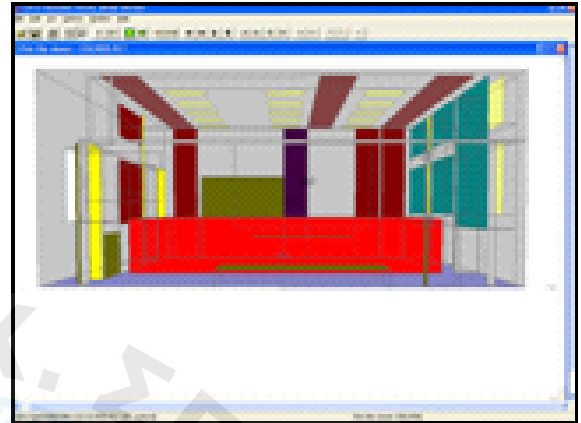
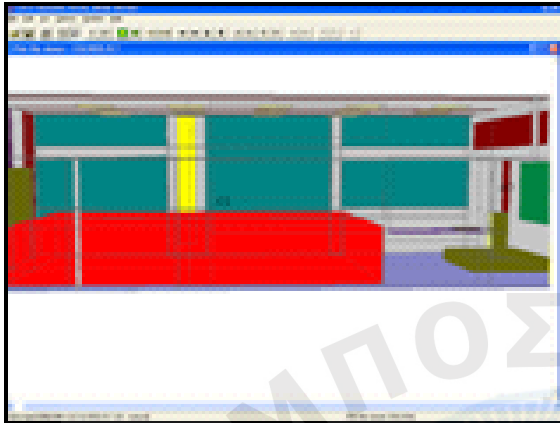
Κοτσιας Γ. Μακρakis
Παναγιώτης Ε. Χατζηγεωργιάδης
Χριστου Παναγιωτόπου
Χαράλαμπος Χ. Στιπιδής





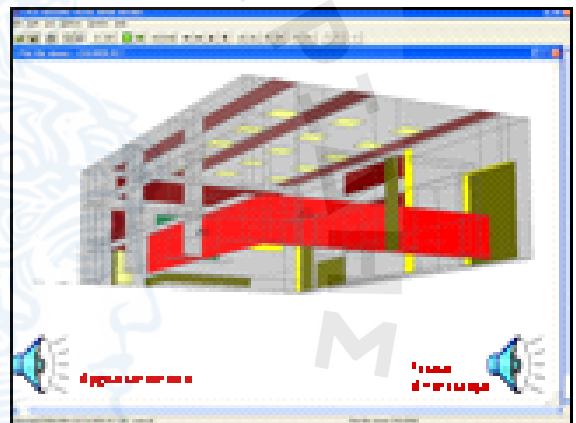
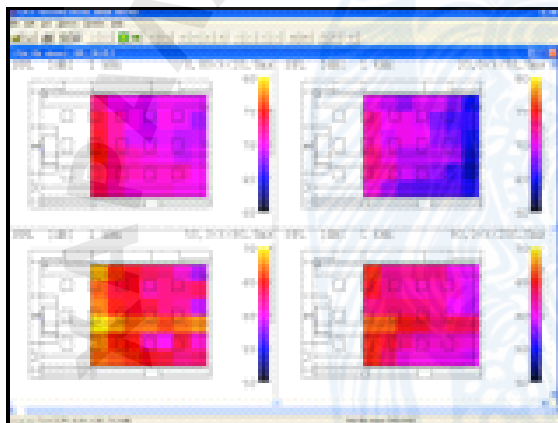
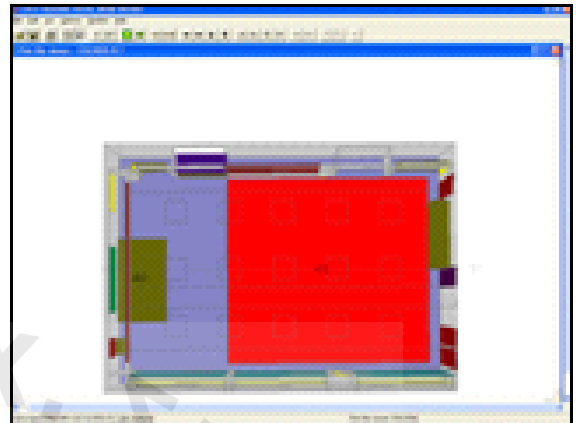






Συντελεστές ηχοαπορρόφησης:

125 Hz	4%
250 Hz	12%
500 Hz	26%
1 KHz	5%
2 KHz	28%
4 KHz	29%



Σας ευχαριστούμε

