

Studio Design

Αρχές Μελέτης Ακουστικής Δωματίων Ελέγχου

Χάρης Μωραΐτης – Σύμβουλος Ακουστικής

Ποιος ο σκοπός ύπαρξης ενός δωματίου ελέγχου;

- Χρειαζόμαστε ένα χώρο που ΟΥΔΕΤΕΡΑ θα μπορεί να αναπαράγει με τη βοήθεια 1 ή περισσοτέρων ηχείων το ακουστικό υλικό που έχουμε επιλέξει προς ακρόαση
- Χρειαζόμαστε έναν απόλυτα ακουστικά απομονωμένο περιβάλλον που μέσω του χειριστή-μηχανικού θα μεταμορφώνεται σ' ένα εργαλείο ελέγχου & «ενορχήστρωσης» της εκάστοτε μουσικής και ηχητικής παραγωγικής διαδικασίας

Ποιες είναι οι «ακουστικές τεχνικές» απαιτήσεις ενός δωματίου ελέγχου (Control Room);

- Ομοιόμορφη συχνотική απόκριση στο σύνολο του φάσματος των ακουστικών συχνοτήτων (20Hz – 20KHz)
- Δείκτη αντήχησης RT60 που να κυμαίνεται στα προβλεπόμενα για τον όγκο του δωματίου επίπεδα και να είναι ομαλός στο σύνολο του ακουστού φάσματος
- Καλή και «ξεκάθαρη» στερεοφωνική εικόνα

Γιατί σχεδόν ποτέ δεν συμβαίνει τίποτα από τα παραπάνω;

- Ακατάλληλη επιλογή χώρου
- Έλλειψη χρημάτων (ας τα ρίξω καλύτερα στα μηχανήματα)
- Ανύπαρκτη μελέτη (σιγά μη χρειάζομαι σύμβουλο ακουστικής)
- Ημιμάθεια (με λίγο Ricofon θα τη βγάλουμε πέρα)
- Έλλειψη ακουστικών μετρήσεων

Από πού λοιπόν αρχίζει το κακό στους μικρούς χώρους;

- Σ' ένα μικρό ακουστικά χώρο τα περισσότερα, για να μην πούμε όλα τα προβλήματα, αρχίζουν και τελειώνουν με τη σωστή ή μη διαχείριση των ανακλάσεων, της γεωμετρίας του καθώς και της φύσης των υλικών που βρίσκονται μέσα σε αυτό
- Η επιλογή και η σωστή τοποθέτηση του ηλεκτροακουστικού συστήματος είναι επίσης καθοριστικός παράγοντας για το επίπεδο της ακουστικής ποιότητας στο χώρο (θέσεις ηχείων & θέση ηχολήπτη)

Ποιά είναι τα βασικότερα ακουστικά φαινόμενα που έχει να “αντιμετωπίσει” ένας μικρός χώρος ακρόασης;

- Στάσιμα Κύματα (Standing Waves)
- Ισχυρές «πρώτες» ανακλάσεις (Strong Early Reflections)
- Ακουστική παρεμβολή της παράπλευρης του ηχείου τοιχοποιίας στην απόκριση του (Speaker Boundary Interference)
- Ανομοιομόρφοι αλλά και λανθασμένοι χρόνοι αντήχησης στο φάσμα των ακουστών συχνοτήτων
- Flutter Echoes – Φαινόμενο ηχούς που «τρεμοπαίζει»

Ας δούμε τα προβλήματα αναλυτικότερα...

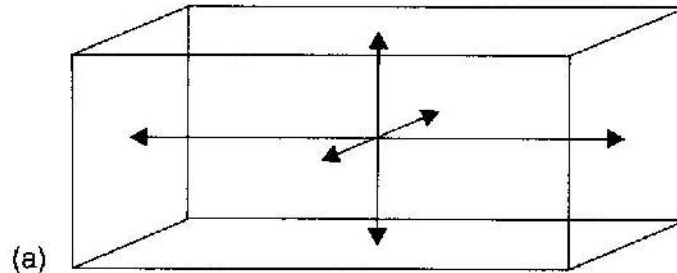
Στάσιμα Κύματα (Standing Waves)

- Στάσιμο κύμα ονομάζουμε το αποτέλεσμα της πρόσθεσης (συμβολής) 2 ηχητικών κυμάτων που έχουν ίσο πλάτος και αντίθετη διεύθυνση μετάδοσης
- Ως αποτέλεσμα αυτού δημιουργούνται περιοχές υψηλής & χαμηλής ακουστικής πίεσης που παρουσιάζονται σε συγκεκριμένες συχνότητες & περιοχές, άμεσα συσχετιζόμενες με τις διαστάσεις και τις αποστάσεις επιφανειών του χώρου
- Η μη αντιμετώπιση του παραπάνω φαινομένου οδηγεί συνήθως και στο No.1 ακουστικό πρόβλημα των μικρών χώρων ακρόασης

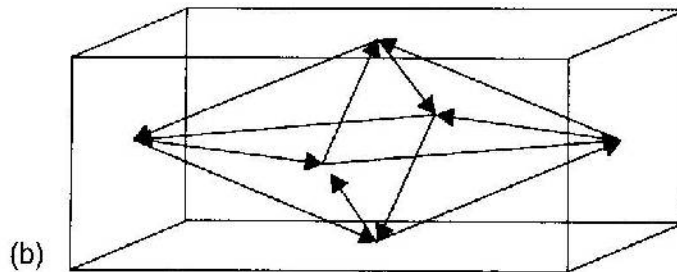
3 είναι τα «είδη» των στασίμων κυμάτων (τρόπων ταλάντωσης) που χρήζουν μελέτης και ανάλυσης σ' ένα χώρο:

- Αξονικοί Τρόποι Ταλάντωσης (Axial Modes):
Είναι οι ισχυρότεροι των τριών και το αποτέλεσμα διαδοχικής και συμφασικής ανάκλασης του ήχου μεταξύ 2 παράλληλων επιφανειών (Άξονας X)
- Εφαπτομενικοί Τρόποι Ταλάντωσης (Tangential Modes):
Έχουν το $\frac{1}{2}$ της ενέργειας των αξονικών και δημιουργούνται από τις διαδοχικές, συμφασικές ανακλάσεις που προκύπτουν από τις 4 επιφάνειες του δωματίου (Άξονες X, Y)
- Πλάγιοι Τρόποι Ταλάντωσης (Oblique Modes):
Έχουν το $\frac{1}{4}$ της ενέργειας των αξονικών και δημιουργούνται από τις διαδοχικές, συμφασικές ανακλάσεις που προκύπτουν και στις 6 επιφάνειες του δωματίου (Άξονες X, Y, Z)

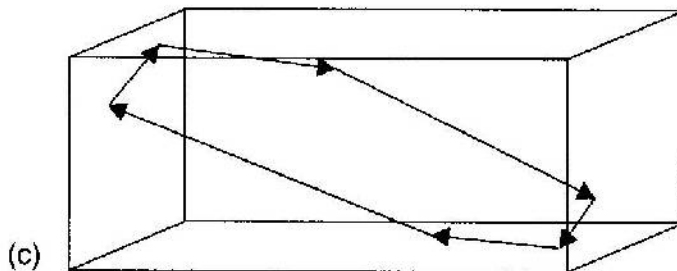
Και η σχηματική τους αναπαράσταση...



Axial modal paths



Tangential modal paths



An oblique modal path

Πως μπορώ να υπολογίσω τα στάσιμα κύματα σ' ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο χώρο;

- Χρησιμοποιώντας ένα από το πολλά room mode calculators που διατίθενται δωρεάν στο Internet
- Ξεσκοινίζοντας τα απλά μαθηματικά μου και εφαρμόζοντας τον τύπο:

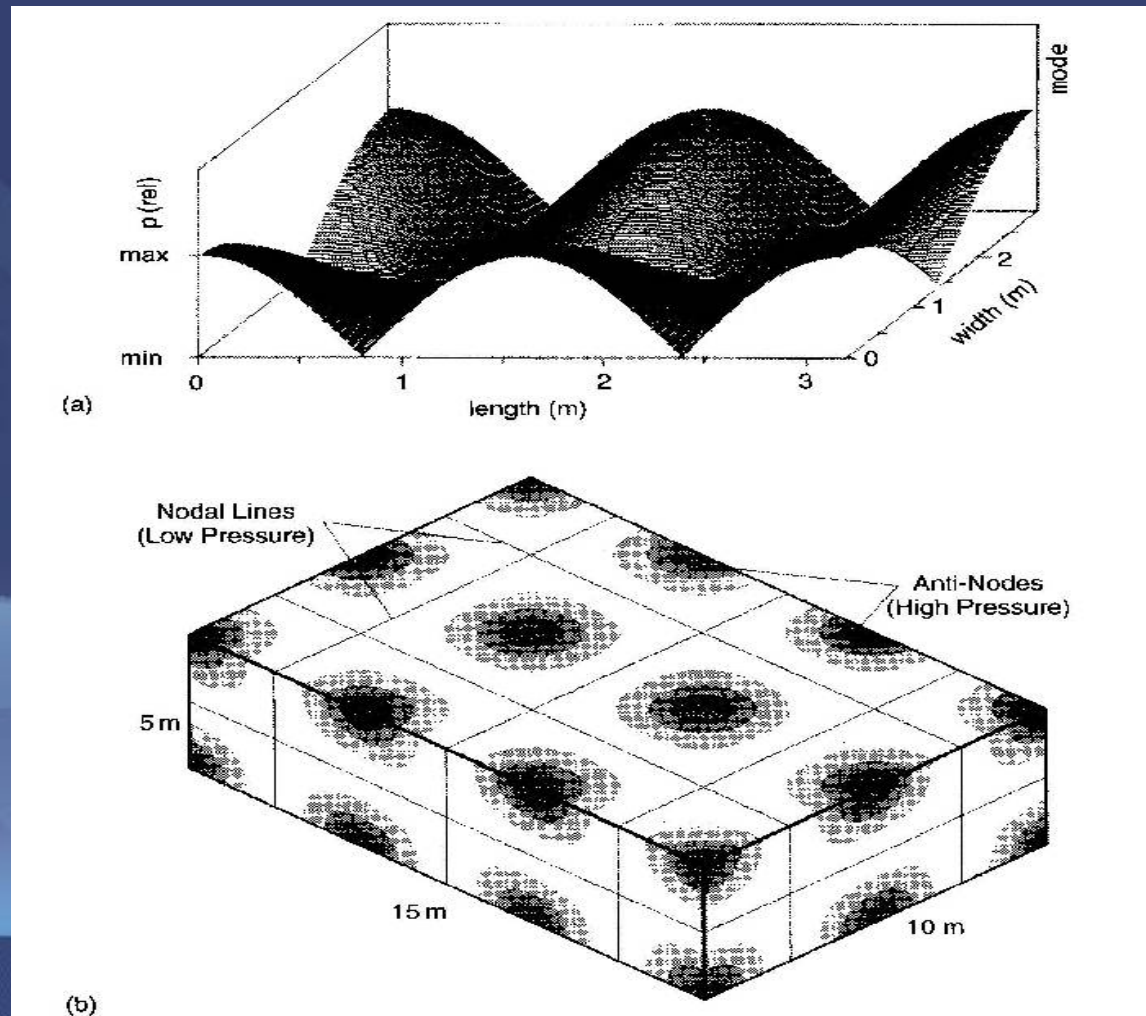
$$f = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{x}{L}\right)^2 + \left(\frac{y}{W}\right)^2 + \left(\frac{z}{H}\right)^2}$$

x, y, z : ακέραιοι αριθμοί που υποδηλώνουν τον αύξοντα αριθμό του στάσιμου κύματος (1, 2, 3, ...)

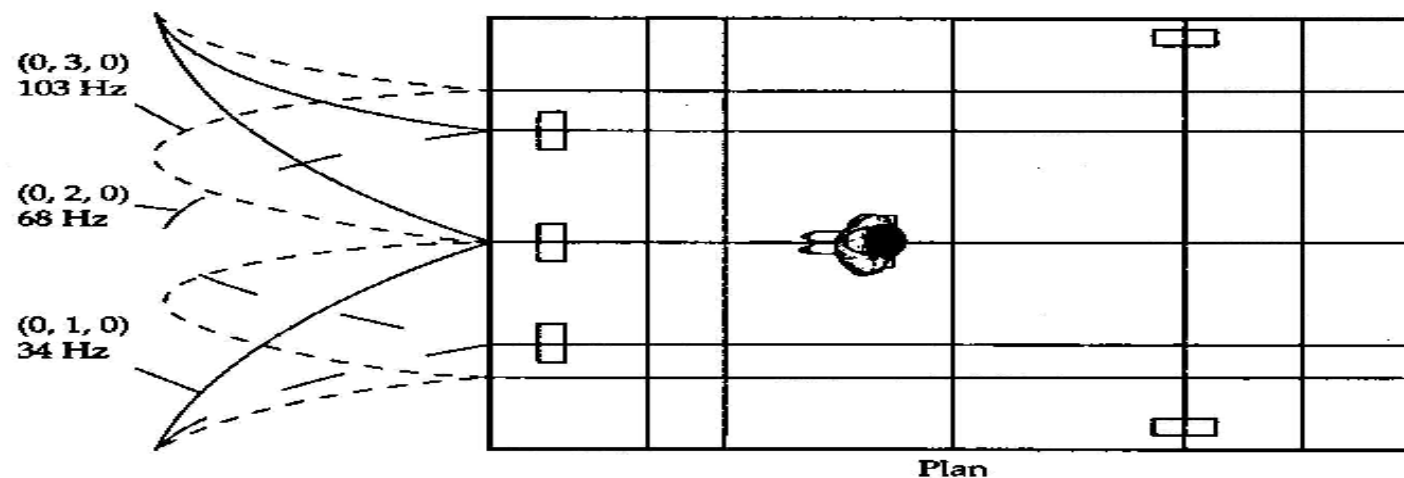
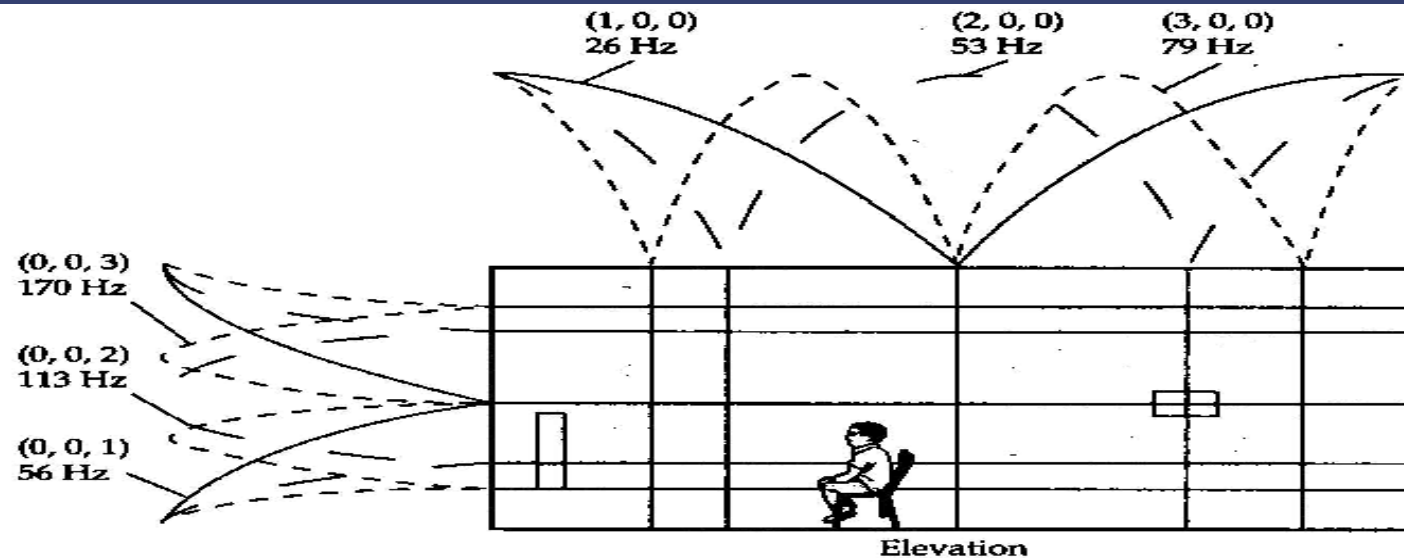
L, W, H : οι διαστάσεις του χώρου σε μέτρα (m)

c : η ταχύτητα του ήχου στο χώρο μέτρησης

Πως διαμορφώνεται η ακουστική πίεση μέσα στο χώρο λόγω των στασίμων κυμάτων;



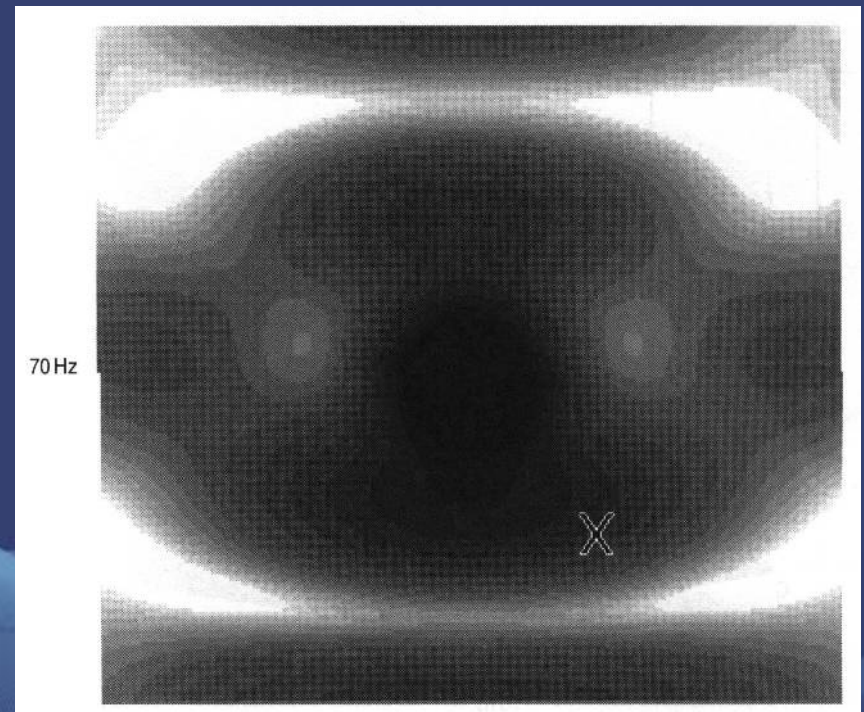
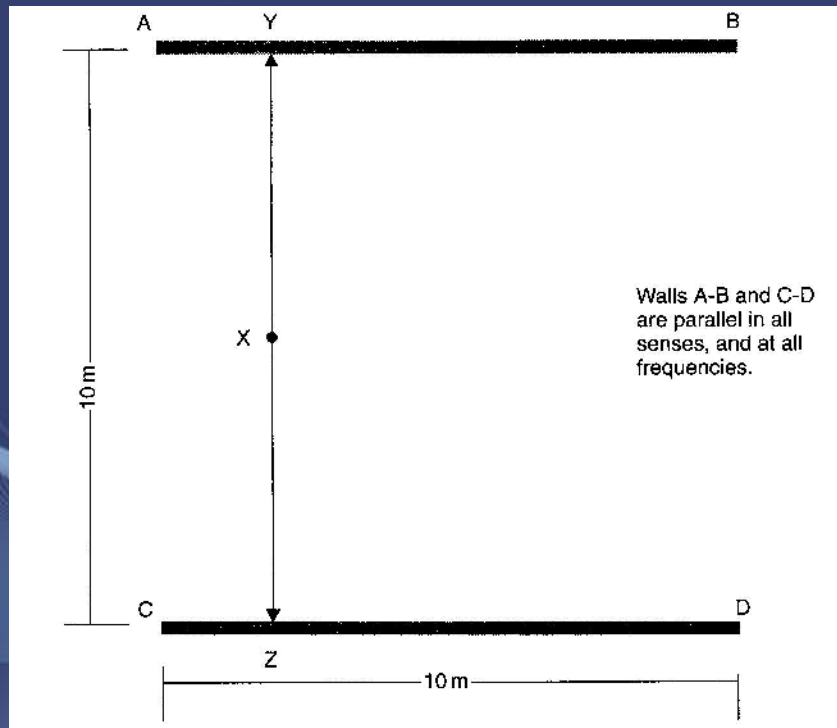
Εξετάζοντας ένα παράδειγμα αξονικών τρόπων ταλάντωσης...



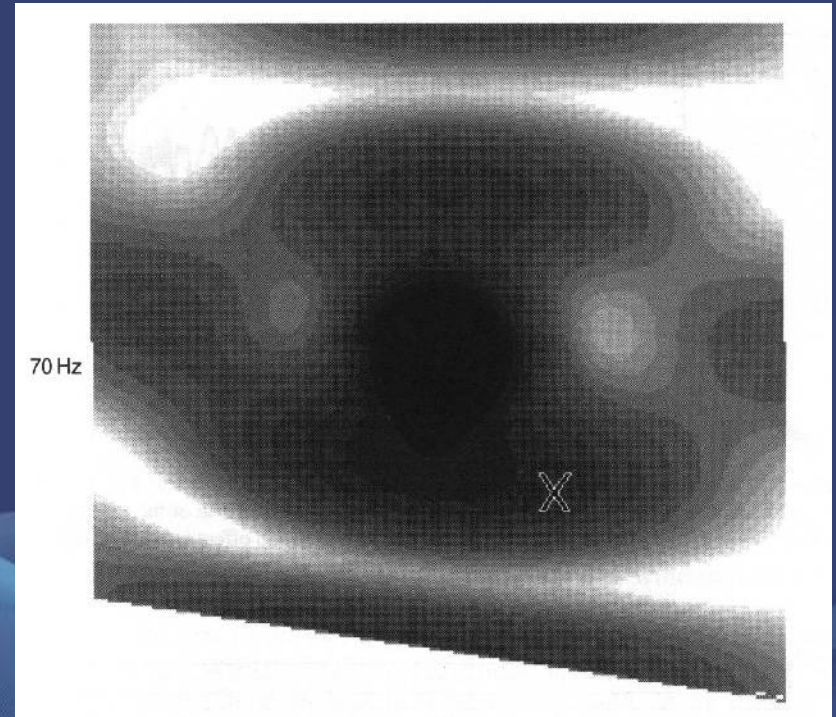
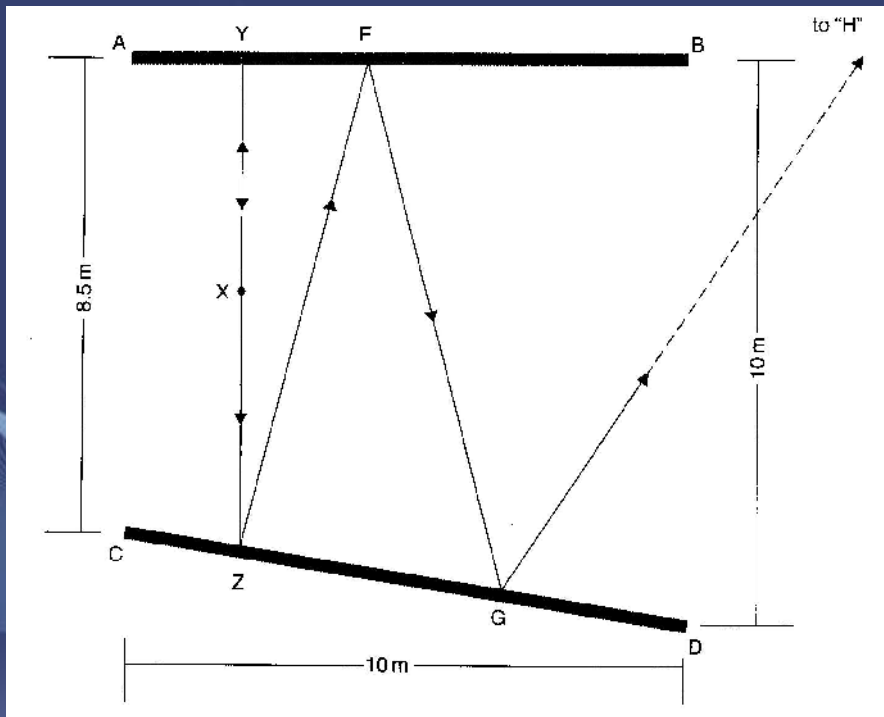
Εφόσον τα στάσιμα κύματα δημιουργούνται μεταξύ 2 παράλληλων ανακλαστικών επιφανειών, δεν θα τα αποφύγω εάν δώσω κλίση στους τοίχους μου 5° ;

- Ας αναλογισθούμε το «μέγεθος» μιας χαμηλής συχνότητας π.χ. των 40Hz με $\lambda = 8.6\text{m}$ και ας το συγκρίνουμε με την γεωμετρική διαφοροποίηση που θα μας δώσει μια κλίση της τάξεως των 5 μοιρών στο χώρο. Αποτέλεσμα : Κανένα.
- Συμπέρασμα: χρειαζόμαστε κλίσεις με ιδιαίτερα αμβλύς γωνίες που πρακτικά και κατασκευαστικά είναι ασύμφορες για να αποφύγουμε την «παραλληλία» των τοίχων στις χαμηλές συχνότητες.
- Οι κλίσεις στο χώρο αποδεικνύονται ιδιαίτερα ωφέλιμες για τη διαχείριση των ανακλάσεων των μεσαίο-υψηλών συχνοτήτων

Για τους παράλληλους τοίχους...



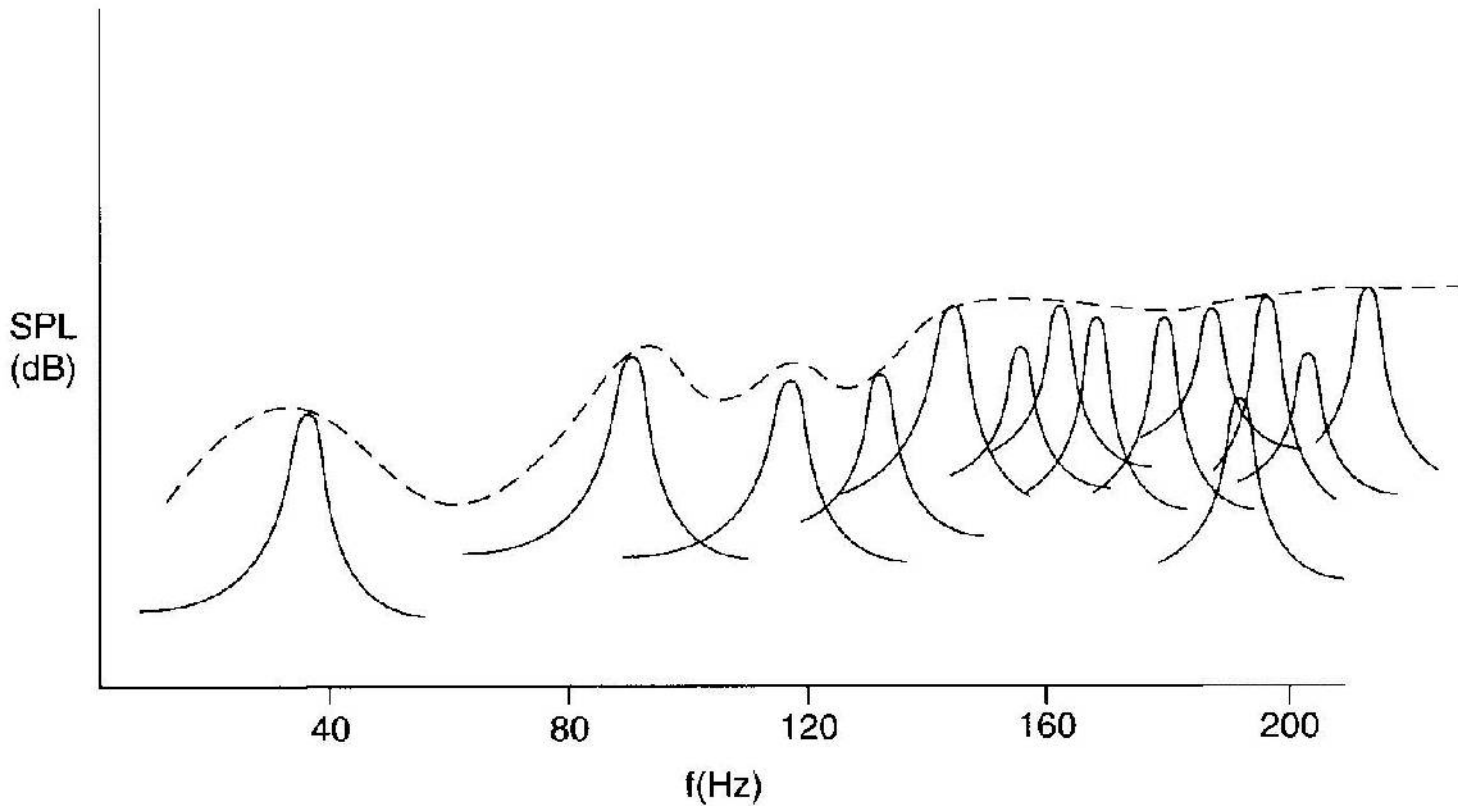
Και για τους τοίχους με κλίση...



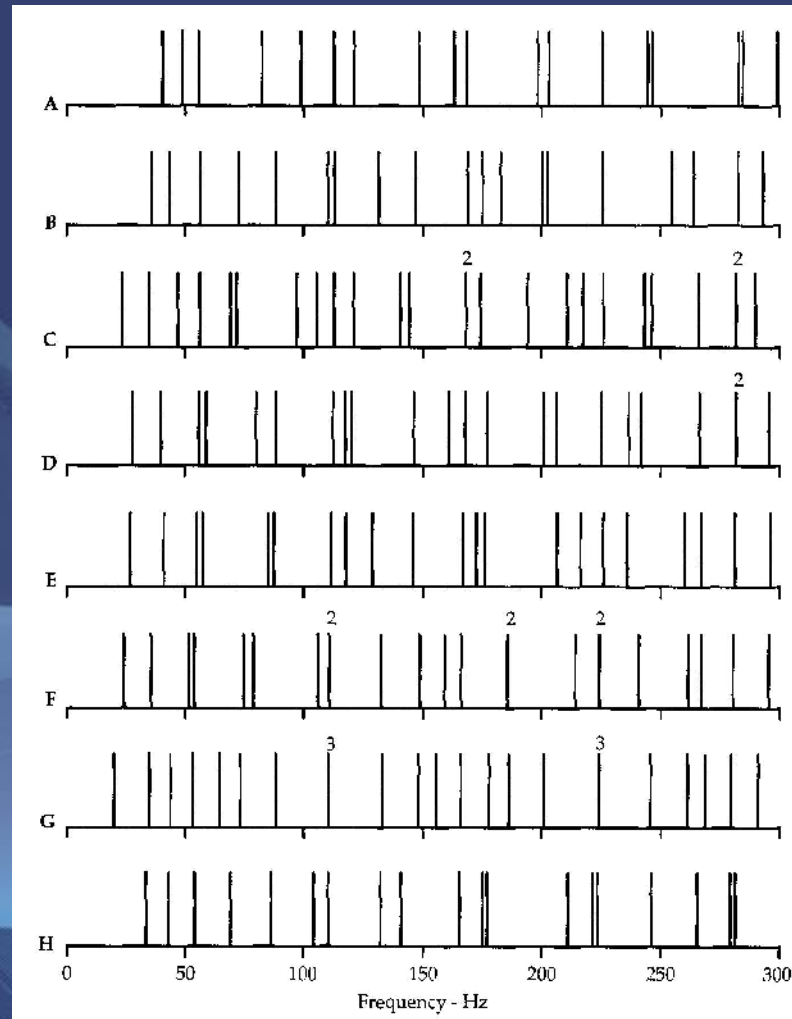
Πως οι τρόποι ταλάντωσης διαμορφώνουν τη συχνотική απόκριση (frequency response) ενός δωματίου;

- Η συχνотική απόκριση κάθε δωματίου στις χαμηλές συχνότητες αποτελείται έναν μοναδικό συνδυασμό τρόπων ταλάντωσης
- Η πυκνότητα καθώς και οι αποστάσεις μεταξύ των τρόπων ταλάντωσης καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ακουστική του χώρου

Αναπαριστώντας γραφικά τις επιπτώσεις των στασίμων κυμάτων...

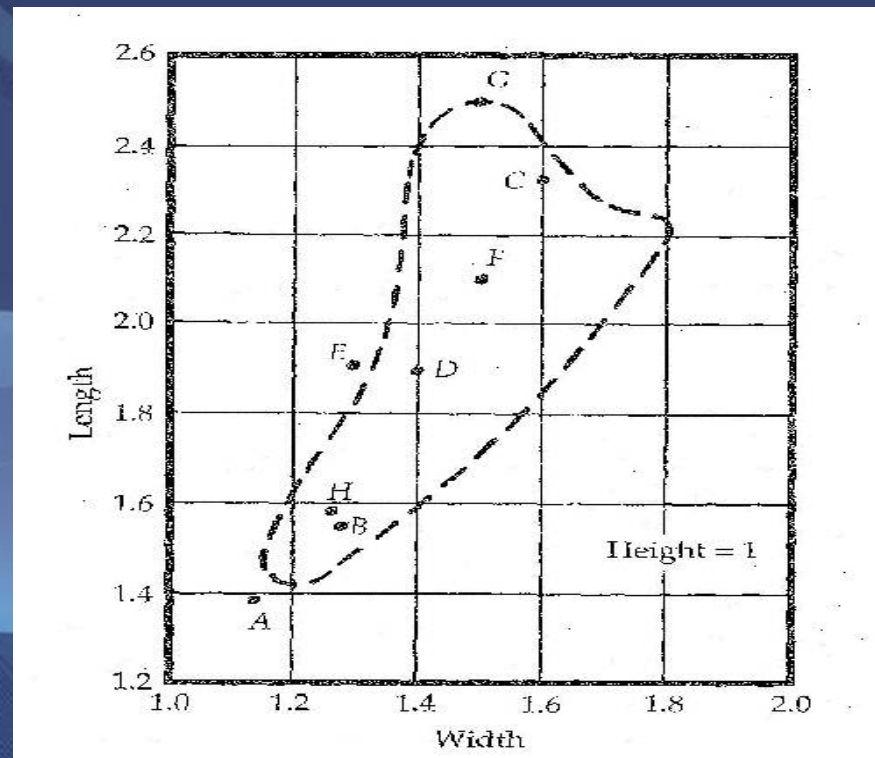


Αυτό που επιθυμούμε σ' ένα χώρο ακρόασης είναι την
ισοκατανομή των τρόπων ταλάντωσης στο πεδίο της
συχνότητας



Ποιες είναι ο ιδανικότερος λόγος διαστάσεων ενός χώρου;

- Σίγουρα όχι ο 1:1:1 (βλ. κύβος)
- Προτάσεις για αποδεκτές αναλογίες διαστάσεων δίνονται και από το διάγραμμα του R. Bolt



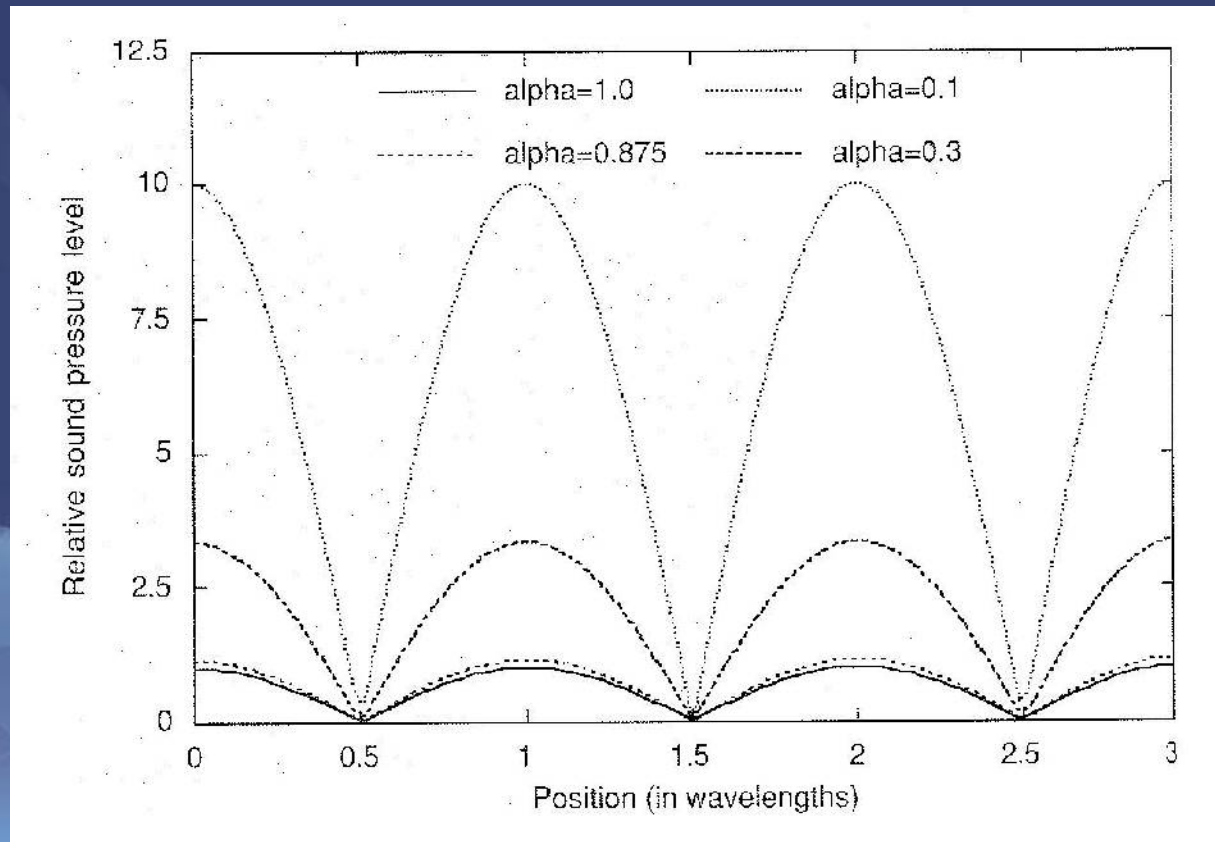
Πως τελικά μπορούμε να μειώσουμε τις αρνητικές επιπτώσεις των στασίμων κυμάτων;

- Στην περίπτωση που ο χώρος μας δεν έχει ακόμα διαμορφωθεί, εξετάζουμε και επιλέγουμε τις καλύτερες δυνατές σχέσεις διαστάσεων μήκους, πλάτους και ύψους. Η τελική γεωμετρία καθώς και η αναλογία των παραπάνω μεταβλητών θα παίξει σημαντικότερο ρόλο στην κατανομή των τρόπων ταλάντωσης.
- Με τη χρήση απορροφητών χαμηλών συχνοτήτων
- Με τη χρήση ισοσταθμιστή (equalizer) στην ηλεκτροακουστική μας αλυσίδα (επιλογή που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή...)

θα συνεχίσουμε να έχουμε προβλήματα και μετά την επιλογή των «ιδανικότερων» διαστάσεων του δωματίου από τα στάσιμα κύματα ;

- Και φυσικά! απλώς οι αρνητικές επιπτώσεις (που ούτως ή άλλως χαρακτηρίζουν ένα κλειστό χώρο) θα έχουν ηπιότερη μορφή (υψηλότερα βυθίσματα, χαμηλότερες κορυφές).
- Η απόσβεση των χαμηλών συχνοτήτων θα πρέπει πλέον να καταπολεμηθεί με την τοποθέτηση στα *κατάλληλα σημεία* του χώρου απορροφητών χαμηλών συχνοτήτων (bass traps)

Ας δούμε λίγο της μεταβολές πλάτους του στάσιμου κύματος σε σχέση με την εφαρμοστέα ηχοαπορρόφηση...



Πως λειτουργούν και που τοποθετούνται οι απορροφητές χαμηλών συχνοτήτων;

- Η βασική αρχή λειτουργίας βασίζεται στη μετατροπή της ακουστικής ενέργειας σε κινητική & θερμική
- Τοποθετούνται συνήθως (αν όχι πάντα) στις περιοχές υψηλής ακουστικής πίεσης περιμετρικά της τοιχοποιίας του χώρου
- «Αγαπημένη» θέση του απορροφητή χαμηλής συχνότητας είναι το tricornier

Ποια είναι τα βασικά είδη απορροφητών χαμηλών συχνοτήτων;

- Απορροφητές μεμβράνης (Membrane Absorbers)
- Συνηχητές Helmholtz (Helmholtz - Volume Resonators)
- Πορώδεις απορροφητές $\lambda/4$ (Quarter Wavelength Trap)
- Ενεργοί απορροφητές (Active Bass Absorbers)

ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

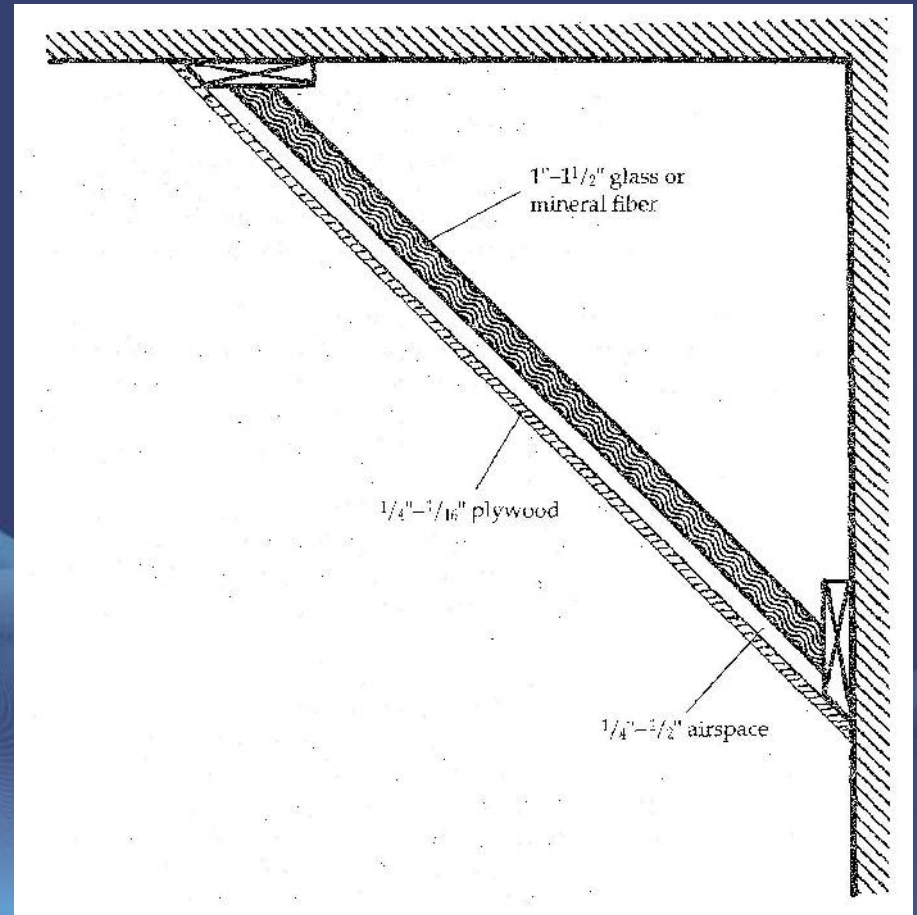
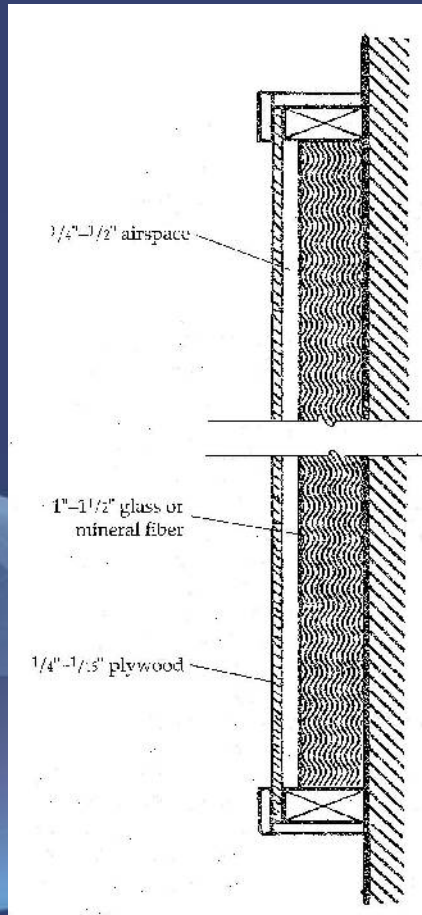
Membrane Absorbers

- Αποτελούνται από μια μεμβράνη επιφανειακής πυκνότητας m σε απόσταση d από την επιφάνεια εφαρμογής. Το κενό πίσω από τη μεμβράνη συνήθως περιλαμβάνει απορροφητικό υλικό
- Η συχνότητα συντονισμού – απορρόφησης μιας τέτοιας διάταξης (όταν περιλαμβάνει απορροφητικό υλικό) δίνεται από τον τύπο:

$$f_{res} = \frac{50}{\sqrt{md}}$$

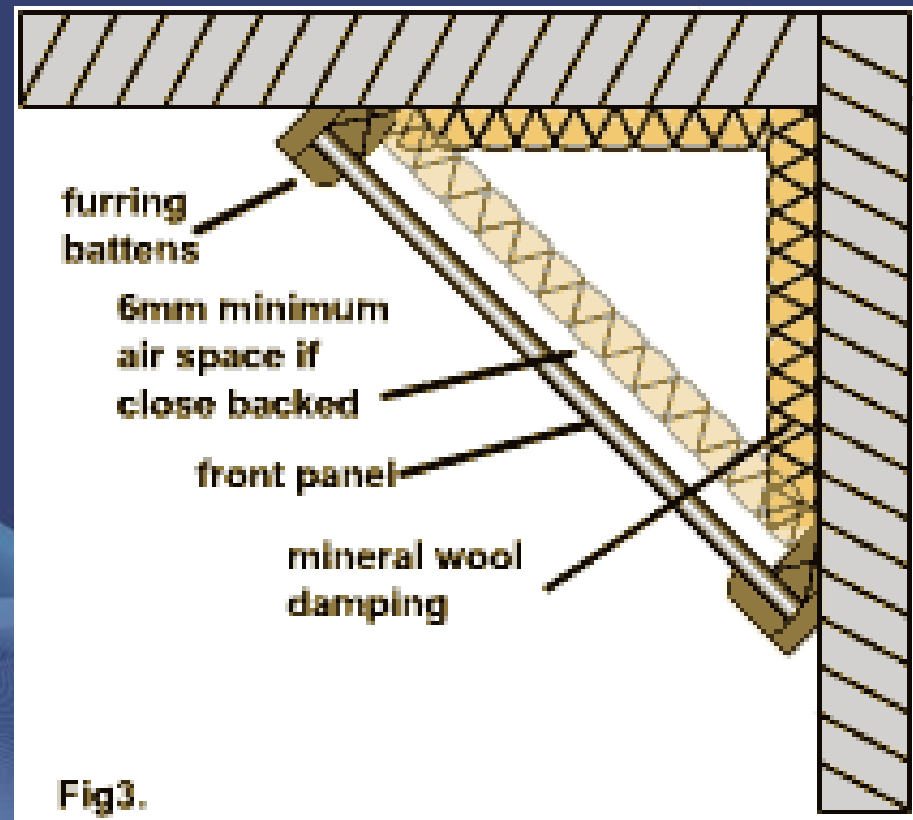
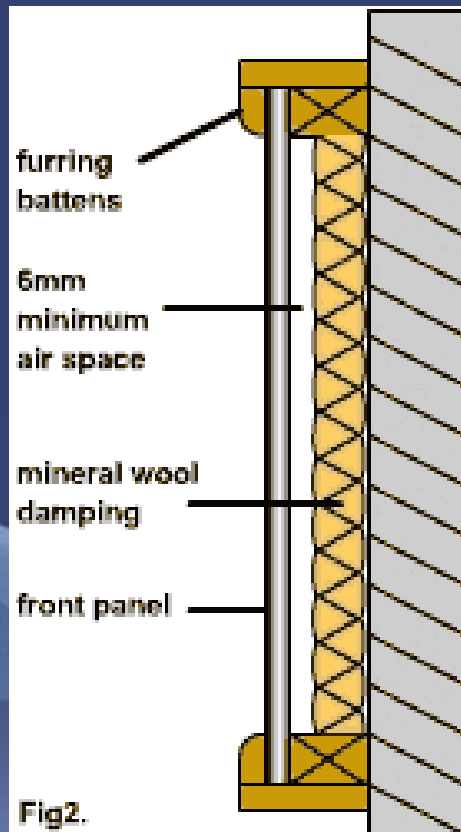
ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

Membrane Absorbers

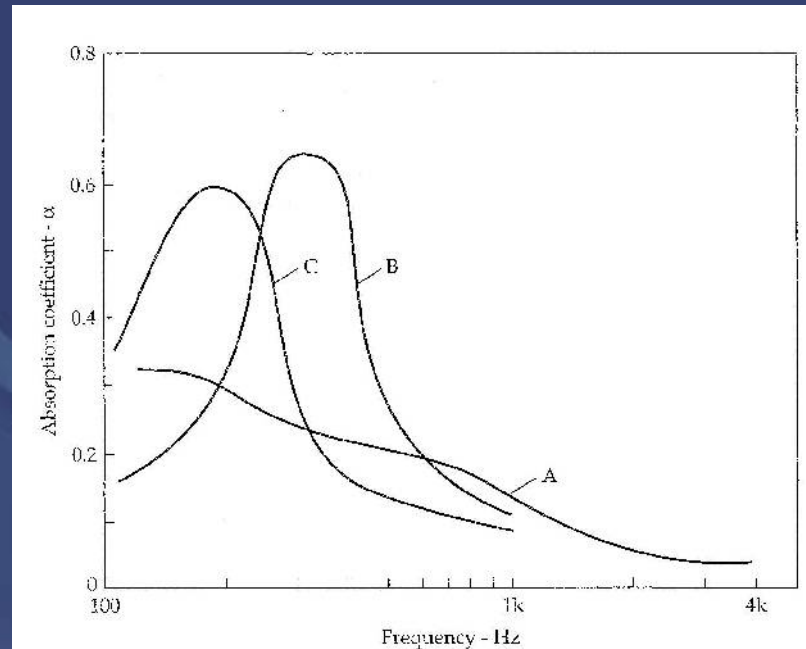


ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

Membrane Absorbers



ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ – ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ



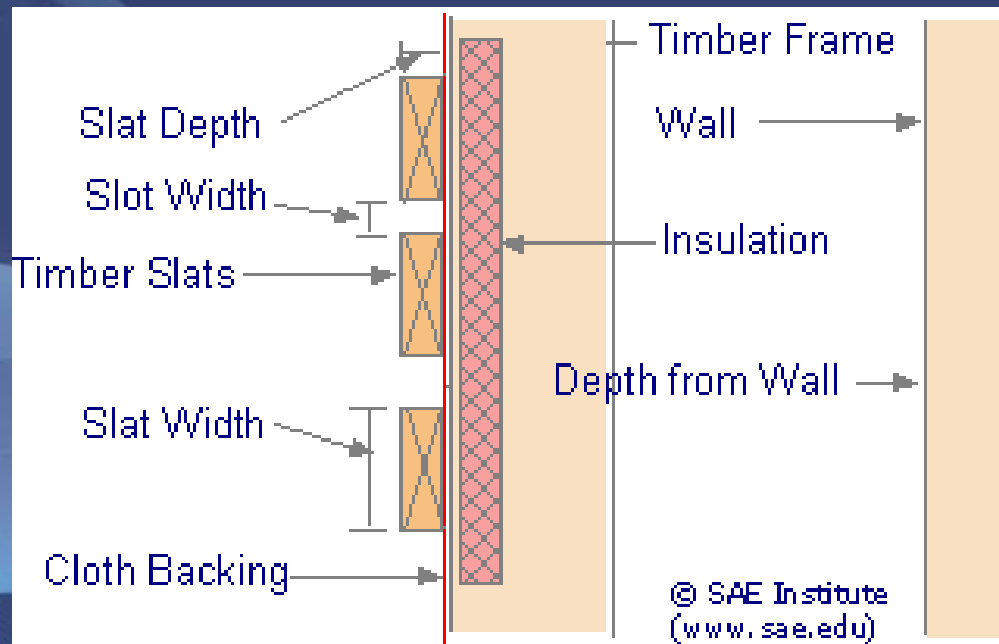
- A - Κόντρα Πλακέ πάχους 4.8mm σε απόσταση 5cm από τον τοίχο χωρίς ορυκτοβάμβακα
- B - Κόντρα Πλακέ πάχους 1.6mm σε απόσταση 3.2cm από τον τοίχο με ορυκτοβάμβακα πάχους 2.5cm
- C - Κόντρα Πλακέ πάχους 3.2mm σε απόσταση 3.2cm από τον τοίχο με ορυκτοβάμβακα πάχους 2.5cm

ΣΥΝΗΧΗΤΗΣ HELMHOLTZ

- Οι συνηχητές τύπου Helmholtz είναι ακουστικές απορροφητικές διατάξεις που βασίζονται στις απώλειες της τριβής της μάζας του αέρα που ταλαντώνεται στο στόμιο μιας κοιλότητας όγκου V , καθώς τα ηχητικά κύματα προσπίπτουν σ' αυτή
- Η απλούστερη μορφή συνηχητή Helmholtz συναντάται στα μπουκάλια των καταναλωτικών προϊόντων που χρησιμοποιούμε καθημερινά

ΣΥΝΗΧΗΤΗΣ HELMHOLTZ

- Στα δωμάτια ακρόασης συναντάται τις περισσότερες φορές με τη μορφή διάτρητης γυψοσανίδας ή ακόμα με τη μορφή μιας συγκεκριμένης διάταξης που αποτελείται από παράλληλα ξύλινα πηχάκια τοποθετημένα σε μικρές αποστάσεις μεταξύ τους, μπροστά από μια κοιλότητα αέρα (Slat Absorber)

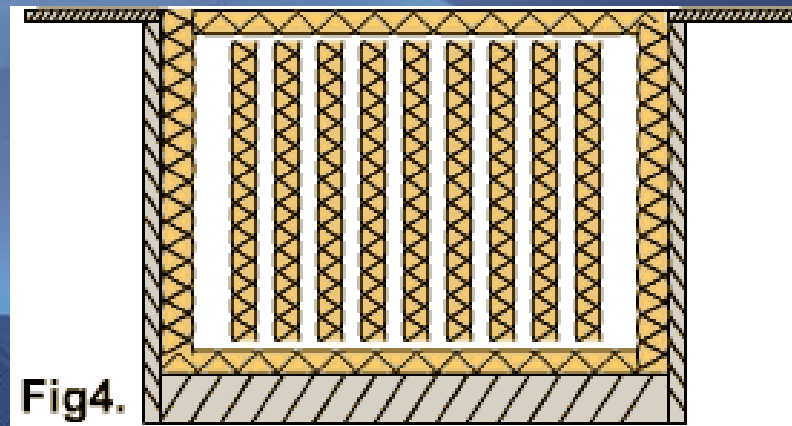


ΣΥΝΗΧΗΤΗΣ HELMHOLTZ

- Η μάζα του αέρα στις εγκοπές μεταξύ των πήξεων αντιδρά με την ελαστικότητα του αέρα στην κοιλότητα για να σχηματίσει ένα σύστημα συντονισμού που μπορεί να συγκριθεί με αυτό του κλασσικού αντηχείου Helmholtz
- Προσθέτοντας απορροφητικό υλικό μέσα στην κοιλότητα καταφέρνουμε να αυξήσουμε το πλάτος ζώνης απορρόφησης αλλά ταυτόχρονα να μειώσουμε και το αντίστοιχο πλάτος ταλάντωσης (δηλαδή τον συντελεστή απορρόφησης «α» στην συχνότητα σχεδιασμού)
- Το πλεονέκτημα των αντηχείων Helmholtz είναι ότι γενικά χαρακτηρίζονται από υψηλό συντελεστή απορρόφησης αλλά ταυτόχρονα από πολύ στενό εύρος λειτουργίας. Με άλλα λόγια απαιτείται ιδιαίτερα προσεκτικός σχεδιασμός κατά την κατασκευή τους

ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗΣ $\lambda/4$ (Quarter Wavelength Trap)

- Η απλούστερη διάταξη «καταστολέα στασίμων κυμάτων»
- Βασίζεται στο φαινόμενο της τριβής των μορίων του αέρα με πορώδες υλικό όταν αυτά έχουν αποκτήσει την μέγιστη ταχύτητα ταλάντωσης. Αυτό συμβαίνει στο $\frac{1}{4}$ του μήκους κύματος που εξετάζουμε
- Για την εφαρμογή του χρειάζεται «χώρος». Π.χ. για να απορροφηθεί ικανοποιητικά το φάσμα των συχνοτήτων $>80\text{Hz}$ ο απορροφητής μας θα πρέπει να έχει βάθος 1.1m

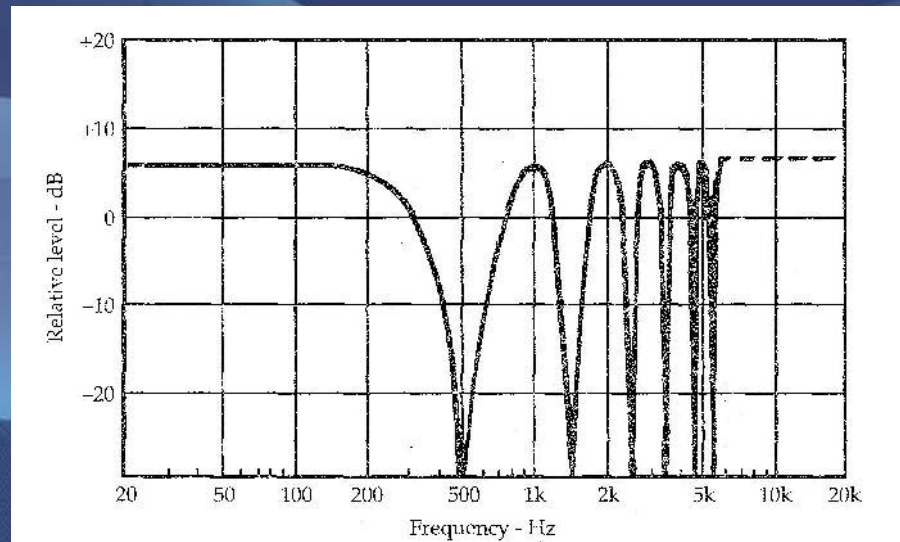


ΕΝΕΡΓΟΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗΣ (Active Bass Trap)

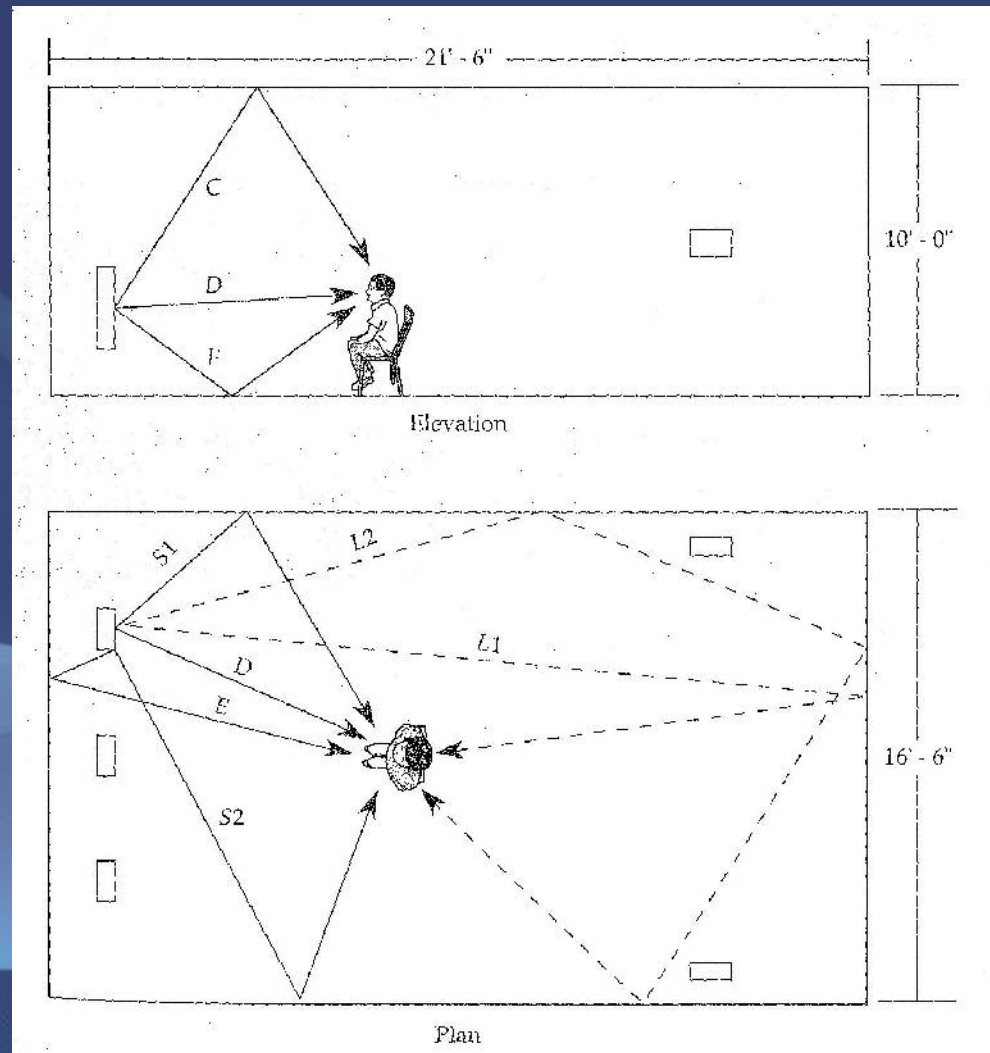
- Βασίζεται στη θεωρία αναστροφής της φάσης
- Αποτελείται από ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που με τη χρήση μικροφώνου μπορεί να «διαβάσει» το εισερχόμενο ηχητικό κύμα και ταυτόχρονα να το επανεκπέμψει ανεστραμμένο (με διαφορά φάσης 180°) μέσω ενός ηχείου μεγάλου διαφράγματος
- Χρησιμοποιείται εκεί που δεν υπάρχει κανένα περιθώριο χώρου κατασκευής απορροφητή
- Τοποθετείται στα σημεία υψηλής ακουστικής πίεσης
- Λειτουργεί για 2 τρόπους ταλάντωσης και μέχρι τα 80Hz
- Χρειάζεται ρεύμα για να δουλέψει

Πρώτες Ανακλάσεις (Early Reflections)

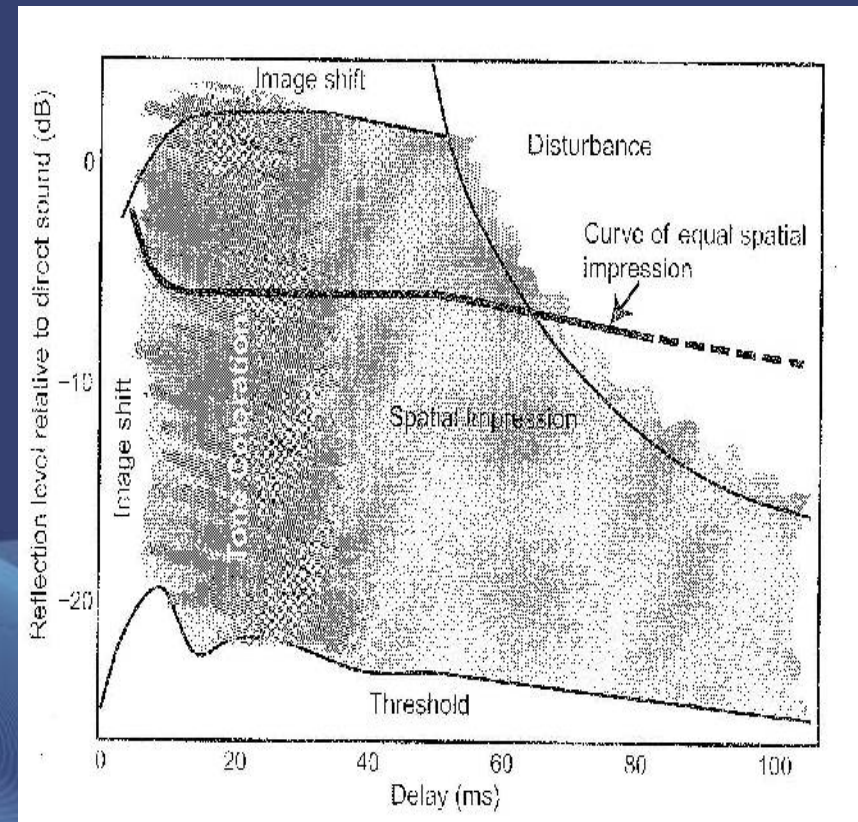
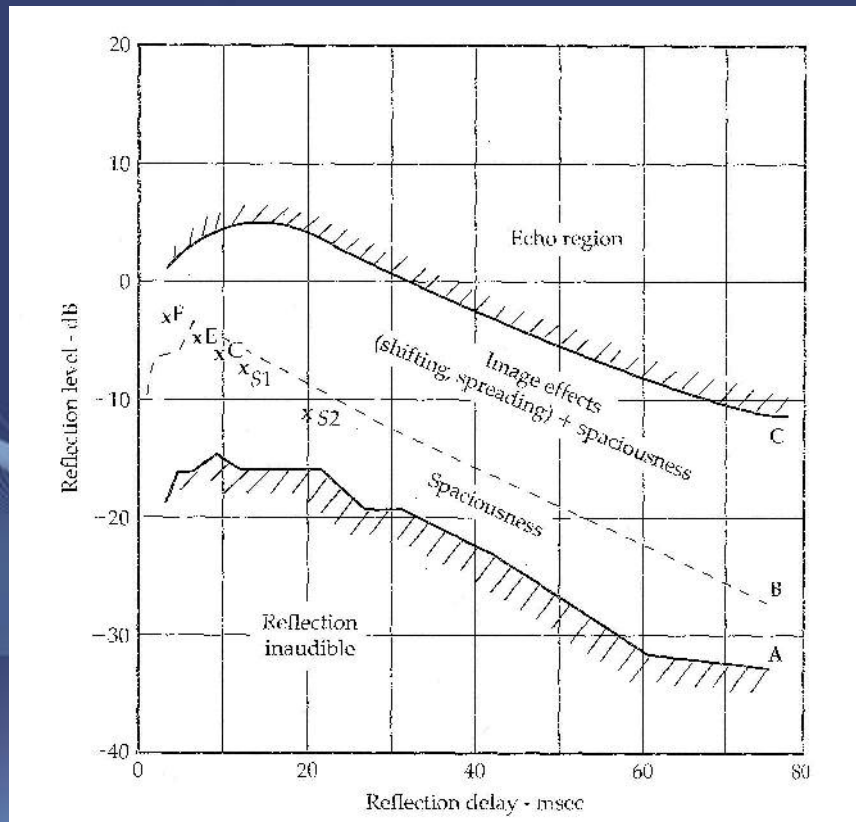
- Ιδιαίτερα σημαντικές και καθοριστικές για την ποιότητα της στερεοφωνίας στη θέση ακρόασης και της γενικότερης ομοιομορφίας των μεσαίο-υψηλών συχνοτήτων
- Κάθε καθυστερούμενη επανάληψη του απ' ευθείας ήχου δημιουργεί φαινόμενα φίλτρου τύπου χτένας (Comb Filter Effect). Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα την ακύρωση συγκεκριμένων, διαδοχικών συχνοτήτων βάσει της αρχικής χρονοκαθυστέρησης



Ας τις δούμε όμως λίγο παραστατικά στο χώρο...



Ποια θα πρέπει να είναι η στάθμη των πρώτων ανακλάσεων σε σχέση με τον απ' ευθείας ήχο;



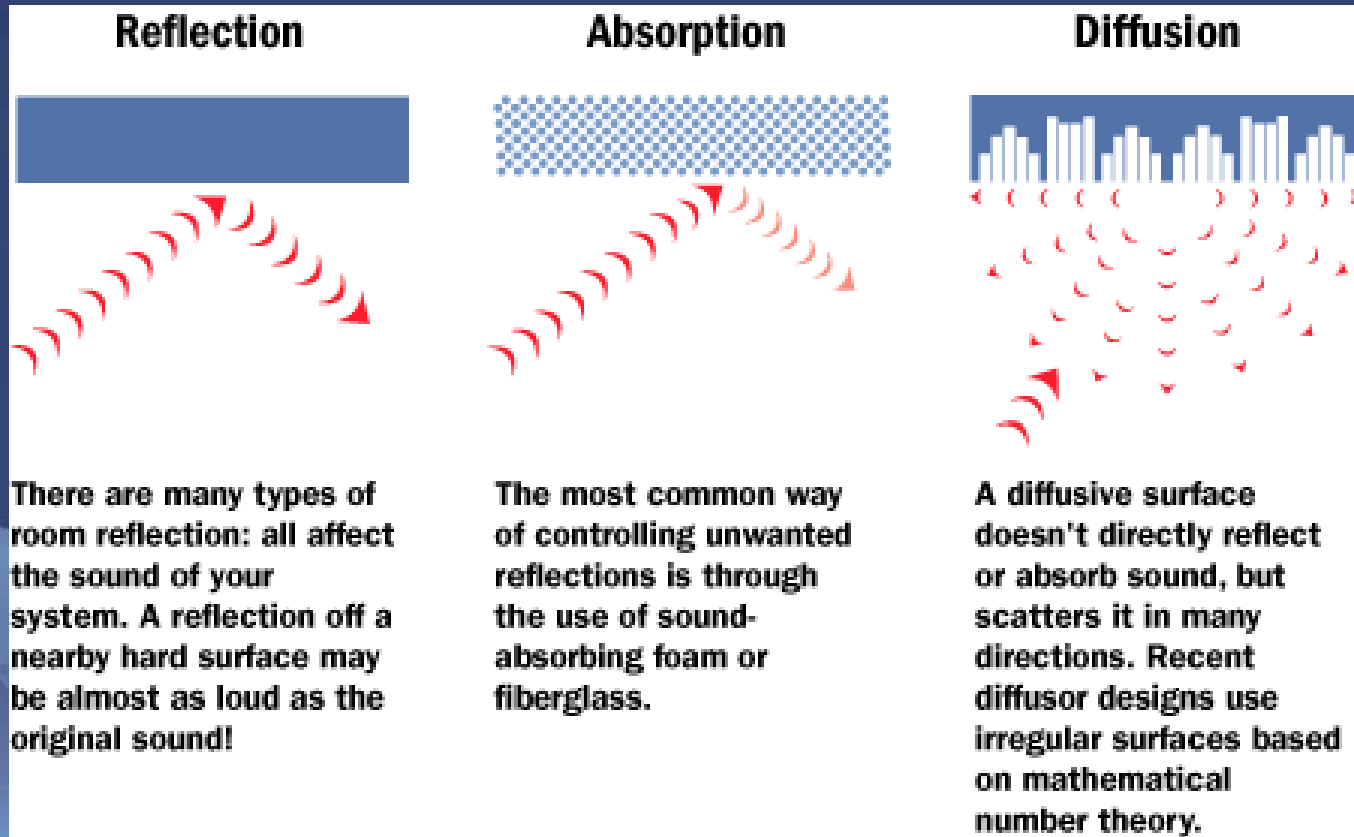
...και πως μπορούμε να το πετύχουμε;

- Επανακαθορίζουμε τη γεωμετρία του χώρου (όταν μιλούμε για ανακλάσεις εξετάζουμε γεωμετρικά την ακουστική και τον ήχο σαν μια ακτίνα φωτός – συνήθως για συχνότητες $>300\text{Hz}$)
- με απορρόφηση (Absorption)
- με διάχυση (Diffusion)
- με αλλαγή της θέσης πηγής ή της θέσης ακρόασης

Ποιό είναι το καλύτερο από τα τέσσερα;

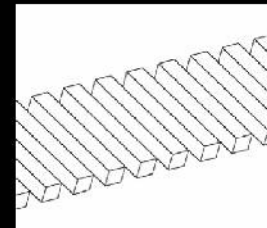
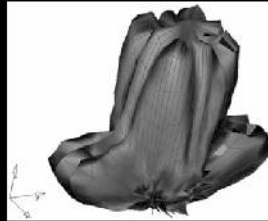
- Η επιλογή για το είδος της επιφάνειας που τελικά θα τοποθετηθεί στα επίμαχα σημεία των πρώτων και δεύτερων ανακλάσεων θα κριθεί από τον μελετητή για κάθε περίπτωση ξεχωριστά.
- Η απορρόφηση των μεσαίο-υψηλών συχνοτήτων (αν αυτή επιλεγεί ως λύση) επιτυγχάνεται με σχετική ευκολία μια και που τα περισσότερα πορώδη υλικά (βλ. ορυκτοβάμβακας, υαλοβάμβακας) στα κατάλληλα πάχη, μπορούν να μας προσφέρουν τα επιθυμητά αποτελέσματα
- Η λύση της διάχυσης θα μας βοηθήσει να «σπάσουμε» ομοιόμορφα την ενέργεια του προσπίπτοντος ήχου και να την ανακατανείμουμε σφαιρικά στο χώρο (αν μας το επιτρέπει ο συγκεκριμένος διαχυτής) μειώνοντας έτσι τις αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί να μας προσδώσει μια διακριτή ανάκλαση

Ποια η διαφορά μεταξύ ανάκλασης, απορρόφησης & διάχυσης;

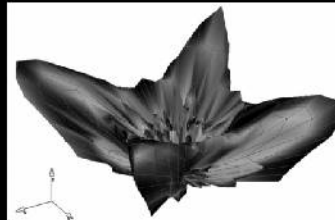


Ας δούμε τη μορφή που παίρνουν οι ανακλάσεις από 3 διαφορετικές επιφάνειες

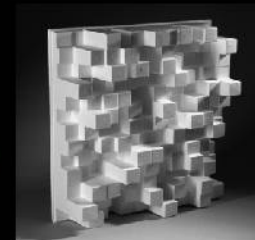
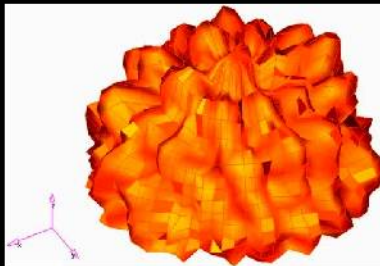
Specular Reflection



Redirection



Diffuse Reflection

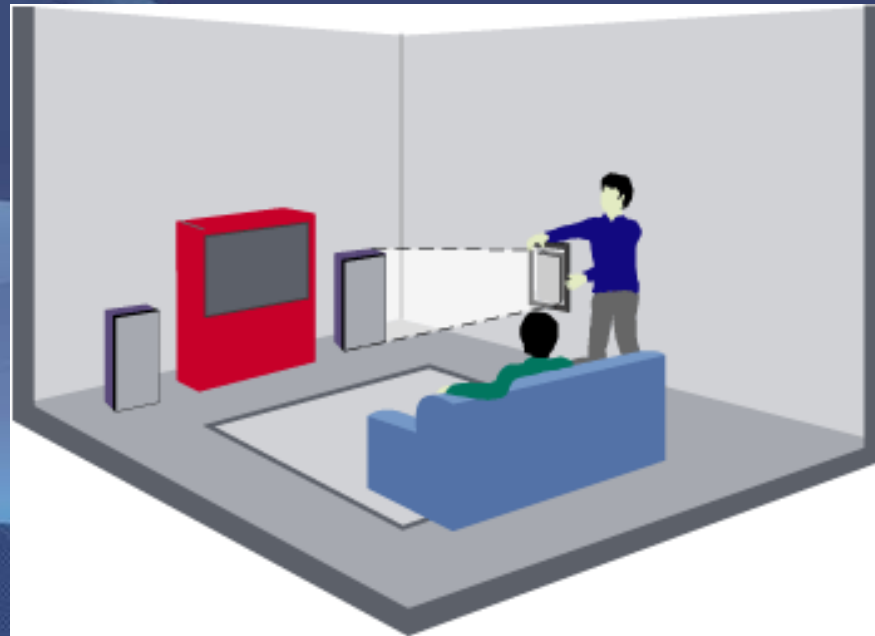


Με ποιό τρόπο μπορούμε να βρούμε τα σημεία των πρώτων ανακλάσεων στο χώρο;

- Εφόσον οι πρώτες ανακλάσεις ακολουθούν τους νόμους της γεωμετρικής ακουστικής:

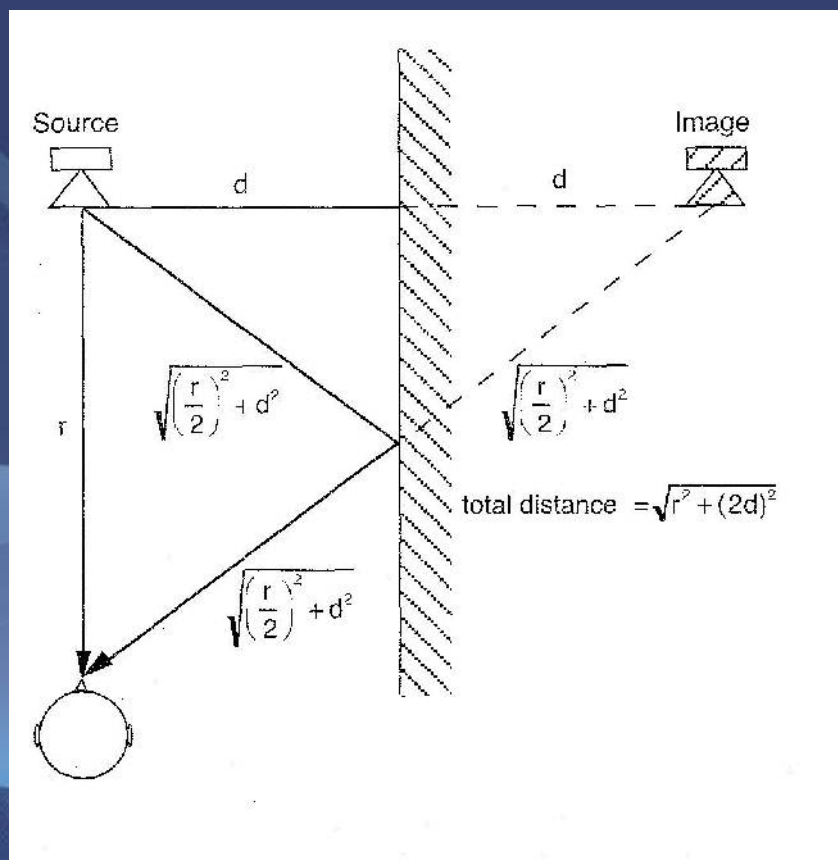
Γωνία πρόσπτωσης = Γωνία ανάκλασης

Με τη χρήση ενός απλού καθρέπτη βρίσκουμε τα σημεία που θα εφαρμόσουμε τις ακουστικές μας επιφάνειες...



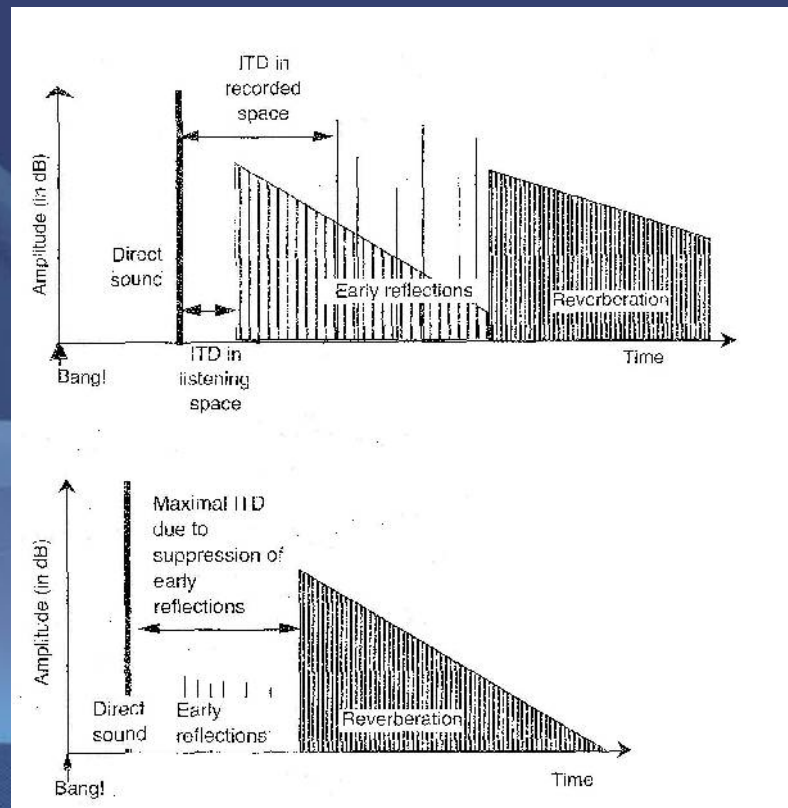
...και με ποιό τρόπο στο χαρτί;

- Χρησιμοποιούμε την μέθοδο των «εικόνων» αντιμετωπίζοντας την ανακλαστική επιφάνεια της τοικοποιίας ως καθρέπτη. Η εικόνα που θεωρητικά προκύπτει, σε ίση απόσταση από την επιφάνεια, είναι και η δευτερογενής πηγή ήχου που πρέπει να εξετάσουμε



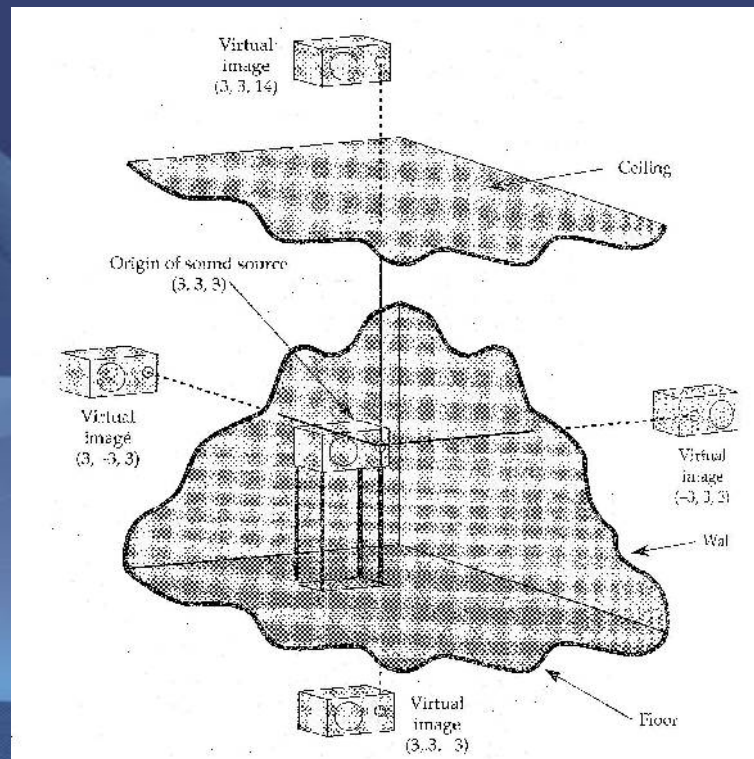
Πως διακρίνουμε τις ανακλάσεις στο χρόνο και ποιό ρόλο παίζει η παράμετρος ITDG (Initial Time Delay Gap);

- Το ITDG του χώρου ακρόασης (control room) θα πρέπει πάντοτε να είναι μεγαλύτερο του ITDG του χώρου ηχογράφησης (live room)



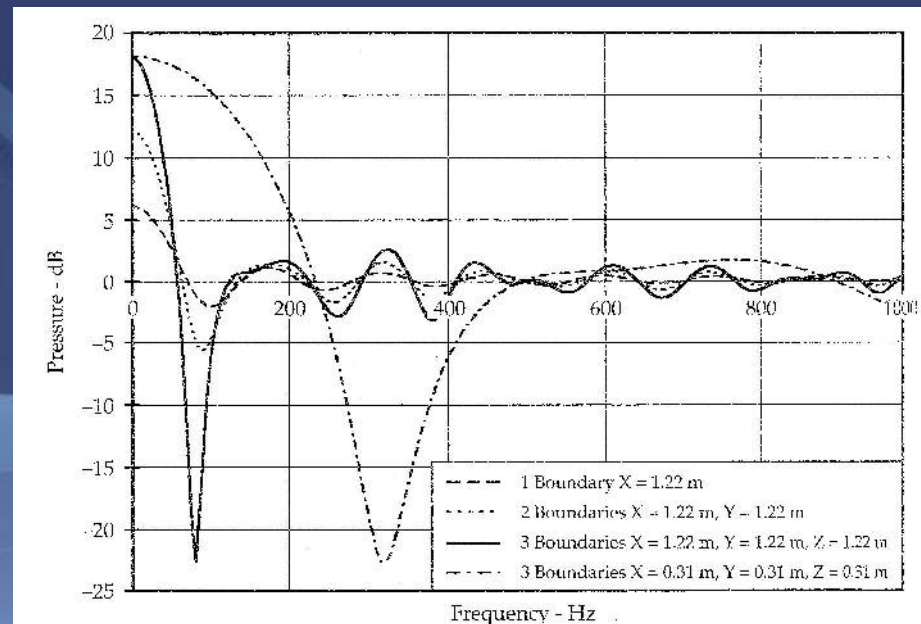
Speaker Boundary Interference

- Από τη στιγμή που τοποθετούμε ένα ηχείο στο χώρο, αυτόματα δημιουργούνται (λόγω της θεωρίας των εικόνων και των ανακλαστικών επιφανειών που το περιβάλλουν) 6 βασικά είδωλα. Τα 4 από αυτά έχουν και την μεγαλύτερη επίδραση στην τελική συχνοτική απόκριση του δωματίου



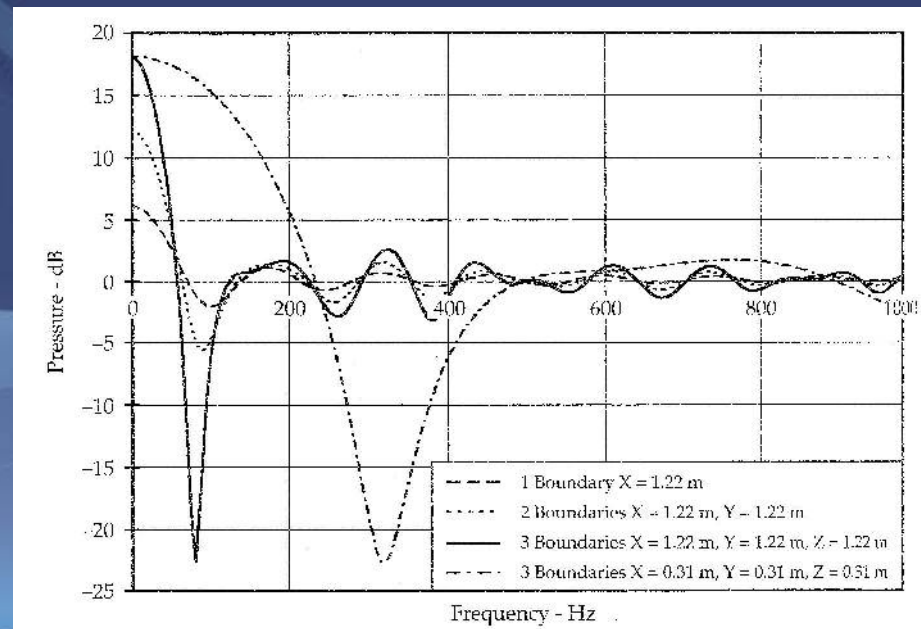
Speaker Boundary Interference

- Η καθυστέρηση που δημιουργείται στον αναπαραχθέντα από το ηχείο ήχο λόγω ανάκλασης, ακυρώνει τις συχνότητες που έχουν ως μήκος κύματος την απόσταση $\lambda/4$ από αυτό



Speaker Boundary Interference

- Αν παραδείγματος χάριν το ηχείο μας απέχει 1.22m ($=\lambda/4$) από μια ανακλαστική επιφάνεια, η συχνότητα που θα ακυρωθεί λόγω της συγκεκριμένης απόστασης θα είναι αυτή των 70.3 Hz. Το πρόβλημα διογκώνεται όταν το σύνολο των ανακλαστικών επιφανειών ισαπέχει από την ηχητική μας πηγή



Και πως αντιμετωπίζουμε το παραπάνω πρόβλημα;

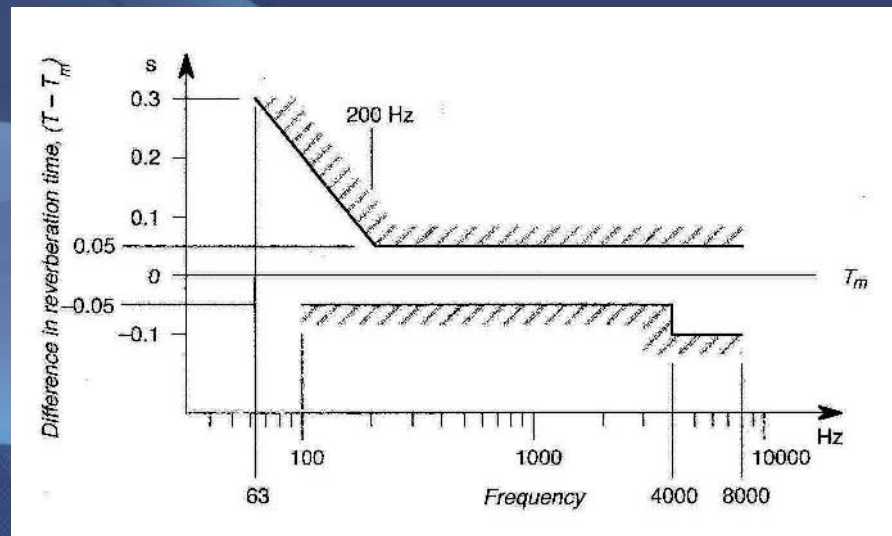
- Τοποθετούμε το ηχείο σε τέτοια θέση έτσι ώστε η χαμηλότερη συχνότητα εκπομπής να έχει μικρότερο μήκος κύματος από αυτό που αντιστοιχεί στην φυσική απόσταση του από την επιφάνεια ανάκλασης
- Αυξάνουμε στα επιθυμητά επίπεδα την απορρόφηση στην επιφάνεια ανάκλασης
- Τοποθετούμε το ηχείο «κολλητά» στην ανακλαστική επιφάνεια όντας έτοιμοι να αντιμετωπίσουμε τα καινούργια και σημαντικά προβλήματα που θα προκύψουν λόγω της συγκεκριμένης επιλογής...

Ο χρόνος αντήχησης (Reverberation Time)

- Ο χρόνος που χρειάζεται για να εξασθενήσει ένας ήχος (από τη στιγμή της παύσης του) κατά 60dB, ονομάζεται χρόνος αντήχησης RT_{60} και μετράται σε δευτερόλεπτα
- Η υπερβολική ύπαρξη του φαινομένου δημιουργεί την αίσθηση της ακουστικής «λάσπης» ενώ η απουσία του αντιθέτως, την αίσθηση της ακουστικής «στεγνότητας»
- Όταν κατά τη διαδικασία μέτρησης, η δυναμική περιοχή των 60dB δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί λόγω αδυναμίας της πηγής να υπερκαλύψει κατά 60dB το θόρυβο βάθους, καταφεύγουμε στους εναλλακτικούς δείκτες EDT, RT_{30} , RT_{20} .

Ποια τα επίπεδα και οι «προδιαγραφές» του δείκτη χρόνου αντήχησης που θα πρέπει να αποζητούμε σ' ένα δωμάτιο ελέγχου;

- Ο δείκτης του χρόνου αντήχησης και κατά συνέπεια ο δείκτης της ηχοαπορρόφησης ανά συχνότητα καθορίζεται από τον όγκο του χώρου ακρόασης (βλ. EBU & ITU Recommendations)
- *Ενδεικτικά*, θα πρέπει να κυμαίνεται από 0.2 έως 0.4 για τις μεσο-υψηλές συχνότητες + 0.3 sec για τις χαμηλές (<100Hz)
- Αποζητούμε την ομοιόμορφη ηχοαπορρόφηση επιλέγοντας τον σωστό συνδυασμό υλικών



Πως θεωρητικά μπορούμε να υπολογίσουμε το χρόνο αντήχησης σ' ένα Control Room;

- Το 1898 ο W.C. Sabine έκανε το πρώτο θεωρητικό βήμα προσέγγισης του χρόνου αντήχησης και αισίως κατέληξε στον πιο διαδεδομένο μαθηματικό τύπο υπολογισμού της που ευρέως χρησιμοποιείται έως και σήμερα:

$$RT_{60} = 0.161 \frac{V}{Sa}$$

Όπου:

RT_{60} = Ο χρόνος αντήχησης στη συχνότητα που εξετάζουμε

V = Ο όγκος του χώρου σε m^3

S = Η συνολική επιφάνεια με δείκτη ηχοαπορρόφησης α σε m^2

α = Ο δείκτης ηχοαπορρόφησης του υλικού επιφάνειας S

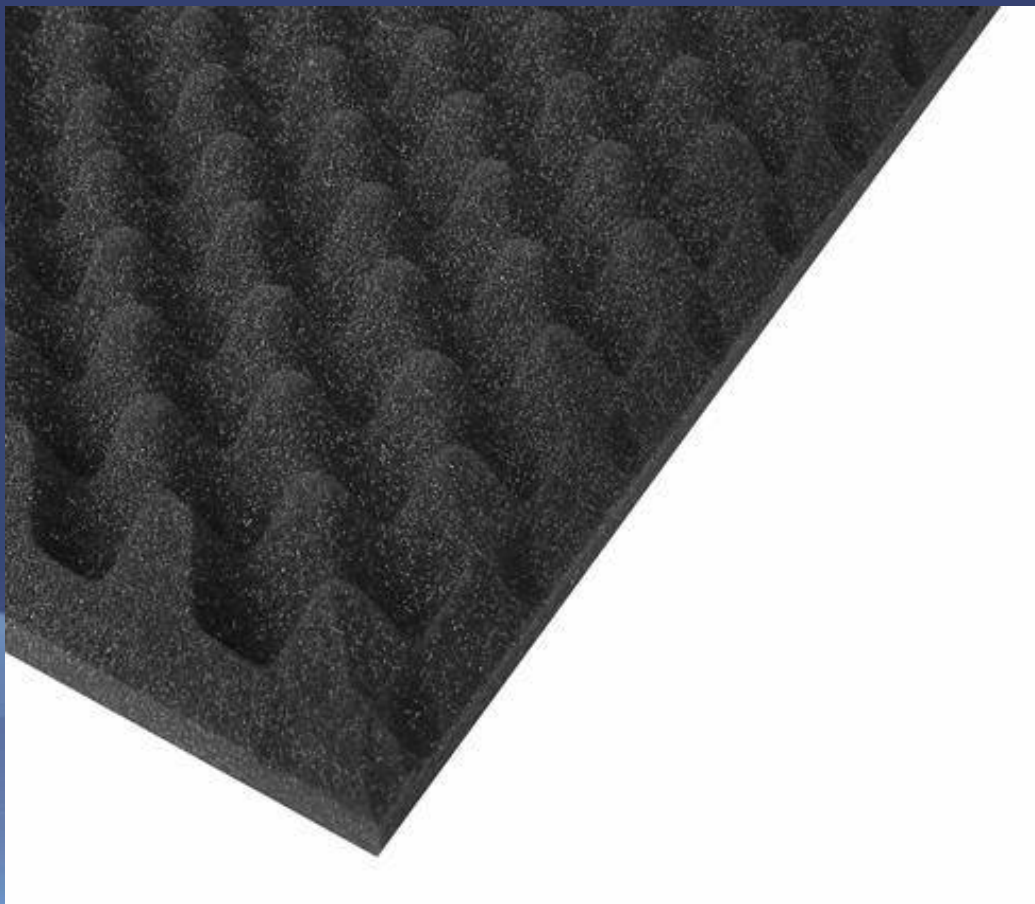
Ωραία η θεωρία, στην πράξη τι γίνεται;

- Ο μόνος τρόπος για να το ανακαλύψουμε είναι κάνοντας ακουστικές μετρήσεις...
- Οι μεγαλύτερες διαφορές παρουσιάζονται στις μεσαίο-χαμηλές συχνότητες όπου οι τρόποι ταλάντωσης του δωματίου αρχίζουν να «αλλοιώνουν» το χρόνο απόσβεσης των χαμηλών συχνοτήτων
- Θεωρητικά η μέτρηση του χρόνου αντήχησης σ' ένα μικρό δωμάτιο είναι άτοπη διότι κανονικά απαιτείται η ύπαρξη ενός πλήρως διάχυτου πεδίου (παραταύτα εφαρμόζεται κατά κόρον)
- Η ίδια η τοικοποιία μπορεί να εμφανίσει στη μέτρηση μας ιδιαίτερη απορροφητική ικανότητα στις χαμηλές συχνότητες (κάτι που δεν είναι υπολογίσιμο αλλά πρακτικά εξαιρετικά χρήσιμο και σημαντικό)

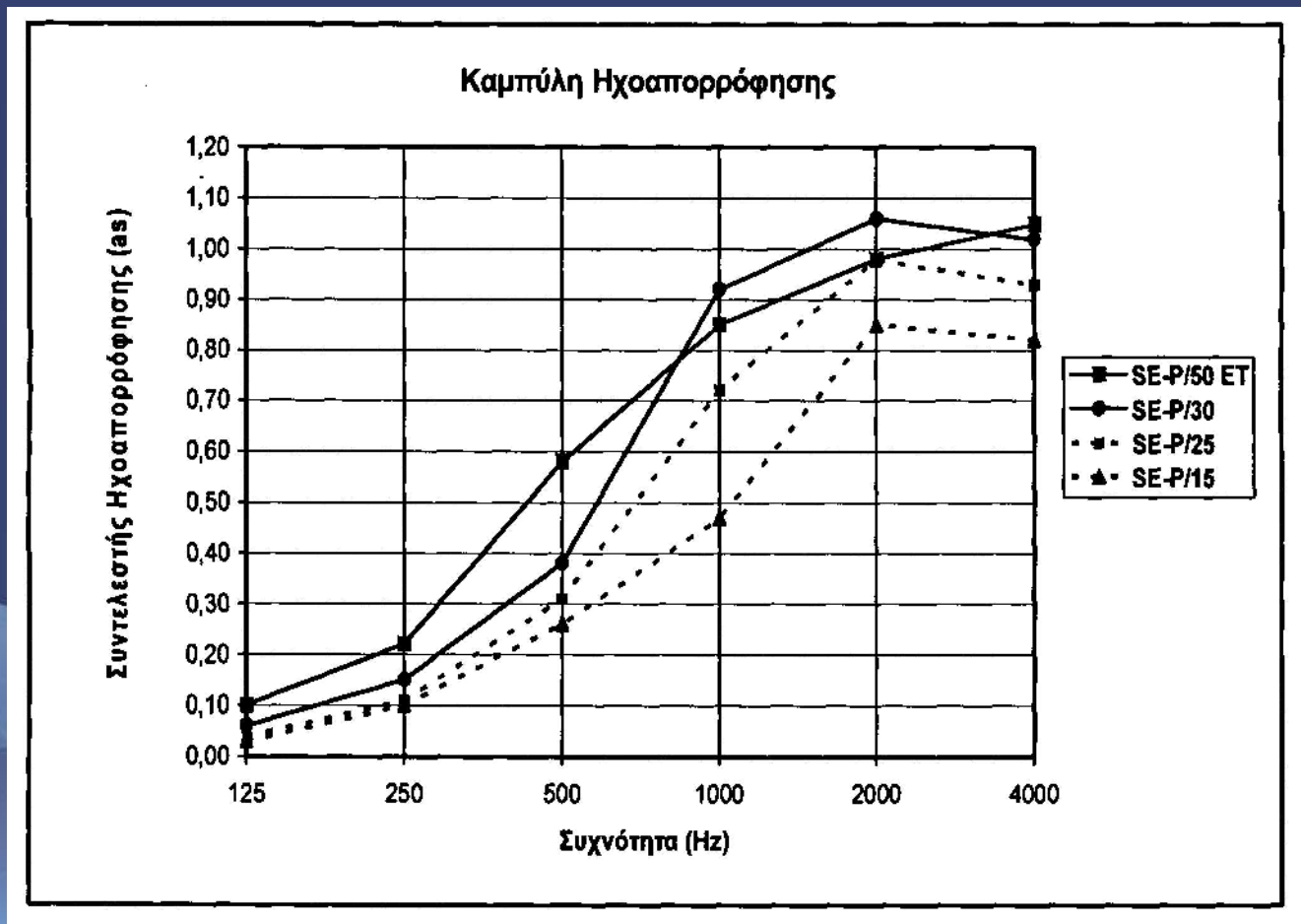
Τα “μαγικά” υλικά Ricofon & Angofon

- ...«Εξαιρετική επιλογή. Έκτος από ηχομόνωση, κάνουν διάχυση και ηχοαπορρόφηση σε όλο το φάσμα των ακουστικών συχνοτήτων... Τι τη θέλουμε τελικά τη μελέτη;»
- Αν θεωρήσουμε δεδομένο ότι σ' ένα χώρο ακρόασης επιθυμούμε για το σύνολο των ακουστών συχνοτήτων ομοιόμορφο χρόνο αντήχησης, τότε αντιλαμβανόμαστε ότι η αποκλειστική τοποθέτηση ενός απορροφητή που λειτουργεί για συχνότητες μεγαλύτερες και μόνο των 1000Hz θα επιφέρει καταστροφικά αποτελέσματα...
- Κι' έτσι ακριβώς είναι. Ο χώρος αποκτά μια αίσθηση ακουστικής ανομοιομορφίας που γίνεται άμεσα αντιληπτή ακόμα και από τον πιο άπειρο ακροατή. Δυστυχώς αυτό το «ηχητικό αποτύπωμα» ονομάζεται κατά πολλούς μέχρι και σήμερα «ακουστική studio» ...

Το “μαγικό” υλικό Ricofon



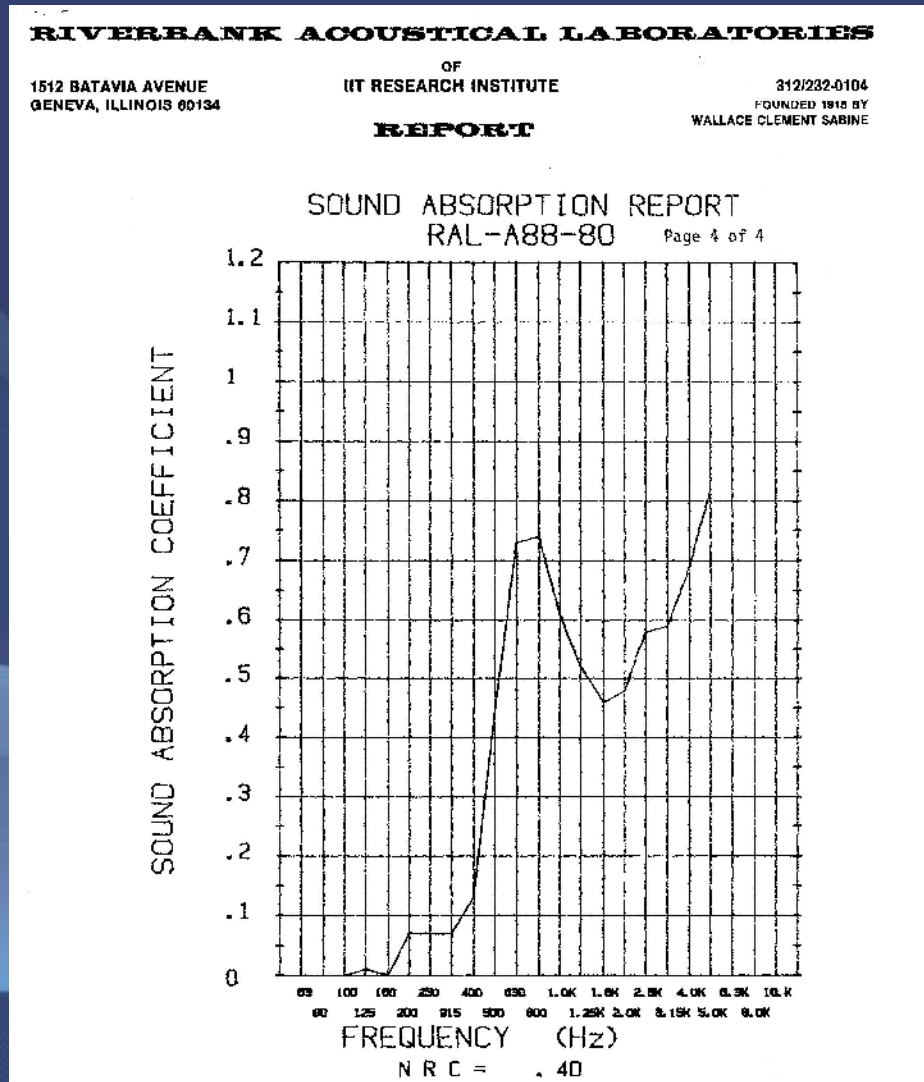
Και ο συντελεστής απορρόφησης του...



Το μαγικό υλικό “Ανγοφον”



Και ο συντελεστής απορρόφησης του...



Πως μπορώ να ρυθμίσω τους χρόνους αντήχησης ανά συχνότητα σε επιθυμητά επίπεδα;

- Το σωστότερο πριν από οποιαδήποτε ακουστική παρέμβαση, είναι να εξετάσουμε τον μέσο χρόνο αντήχησης περί της θέσης ακρόασης
- Λόγω της ύπαρξης των στασίμων κυμάτων και της μη διαχυτικής ικανότητας του χώρου, στο σύνολο του φάσματος των ακουστικών συχνοτήτων, είναι πιθανό ότι θα διαπιστώσουμε αξιοσημείωτες μεταβολές στο χρόνο αντήχησης (κυρίως στις χαμηλές συχνότητες)
- Γνωρίζοντας πλέον την υπάρχουσα ηχοαπορροφητική ικανότητα αλλά και τις υπόλοιπες ακουστικές απαιτήσεις του χώρου μπορούμε να προχωρήσουμε στη μελέτη και επιλογή των κατάλληλων υλικών που θα φέρουν το χρόνο αντήχησης - ανά συχνότητα - στα επιθυμητά και προβλεπόμενα του όγκου επίπεδα

Ποιά είναι τα υλικά και οι κατασκευαστικές διατάξεις που τελικά θα διαμορφώσουν το χρόνο αντήχησης ;

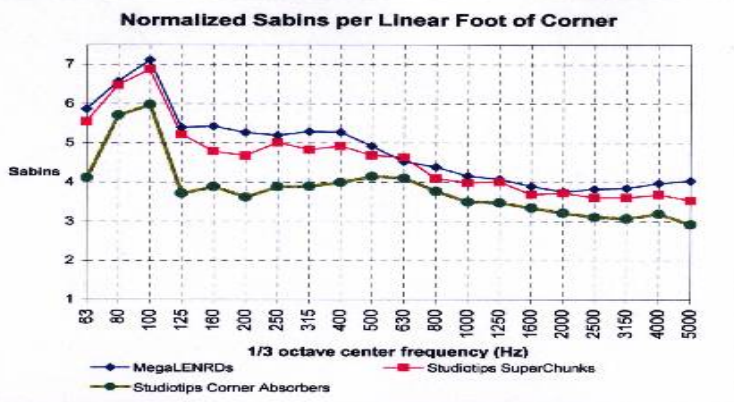
- Για τις χαμηλές συχνότητες:
 - Απορροφητές Μεμβράνης (Membrane Absorbers)
 - Συνηχητές Helmholtz (Helmholtz Resonators)
 - Πορώδεις Απορροφητές σε μεγάλες αποστάσεις από την τελική επιφάνεια
 - Ενεργοί απορροφητές της μορφής υπογούφερ
- Για τις χαμηλές και πολύ χαμηλές συχνότητες ($<125\text{Hz}$) η συνηθέστερη λύση βασίζεται στη χρήση των απορροφητών μεμβράνης. Για καλή μας τύχη η ίδια τοιχοποιία (όταν μιλάμε για κατασκευές room in a room) αποκτά το ρόλο ενός τέτοιου μηχανισμού με αποτελέσματα όμως που δεν είναι εξαρχής προβλέψιμα

Ποιά είναι τα υλικά και οι κατασκευαστικές διατάξεις που τελικά θα διαμορφώσουν το χρόνο αντήχησης ;

- Η χρήση πορώδων απορροφητών στις γωνίες του χώρου ακρόασης είναι κάτι που κατασκευαστικά συνηθίζεται δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα...

Corner Treatment Absorption Comparison of Three Devices

Hz	34" wide face	34" wide face	24" wide face
	MegaLENRDs	Studiotips SuperChunks	Studiotips Corner Absorbers
63	5.86	5.54	4.11
80	6.56	6.47	5.70
100	7.11	6.87	5.97
125	5.39	5.21	3.71
160	5.42	4.78	3.88
200	5.26	4.67	3.61
250	5.19	5.00	3.88
315	5.28	4.82	3.89
400	5.27	4.91	3.99
500	4.91	4.68	4.14
630	4.52	4.63	4.10
800	4.38	4.09	3.76
1000	4.15	3.98	3.49
1250	4.07	4.00	3.47
1600	3.89	3.88	3.34
2000	3.75	3.72	3.21
2500	3.82	3.60	3.10
3150	3.84	3.60	3.07
4000	3.97	3.68	3.19
5000	4.03	3.53	2.92



MegaLENRDs
Two units
34" wide face



Studiotips SuperChunks
Cut from Six 2' x 4' 703 Panels
34" wide face



Studiotips Corner Absorbers
Made from two 703 Panels (4'x2')
24" wide face - 4" thick

Sources: **Auralex Acoustology Newsletter - May, 2004**

Credits: Eric Desart, Scott R. Foster and Jeff D. Szymski
<http://www.acoustics-noise.com>

Measurements executed at Riverbank Acoustical Laboratories, March 9, 2004

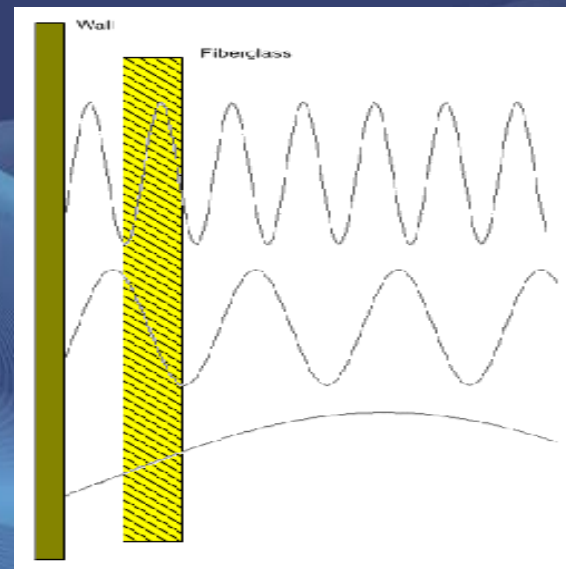
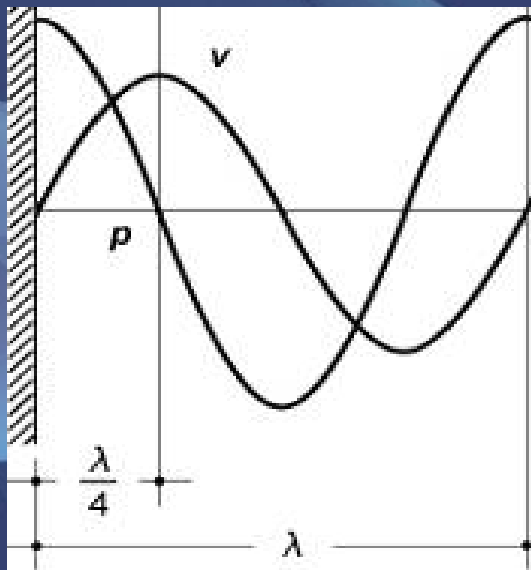
<http://forum.studiotips.com>

<http://www.auralex.com>

Click the blue hyperlinks for more information via your web browser - internet connection required
Document © 2004 <http://www.studiotips.com> - Data © 2004 Auralex Acoustics, Inc.

Ποιά είναι τα υλικά και οι κατασκευαστικές διατάξεις που τελικά θα διαμορφώσουν το χρόνο αντήχησης ;

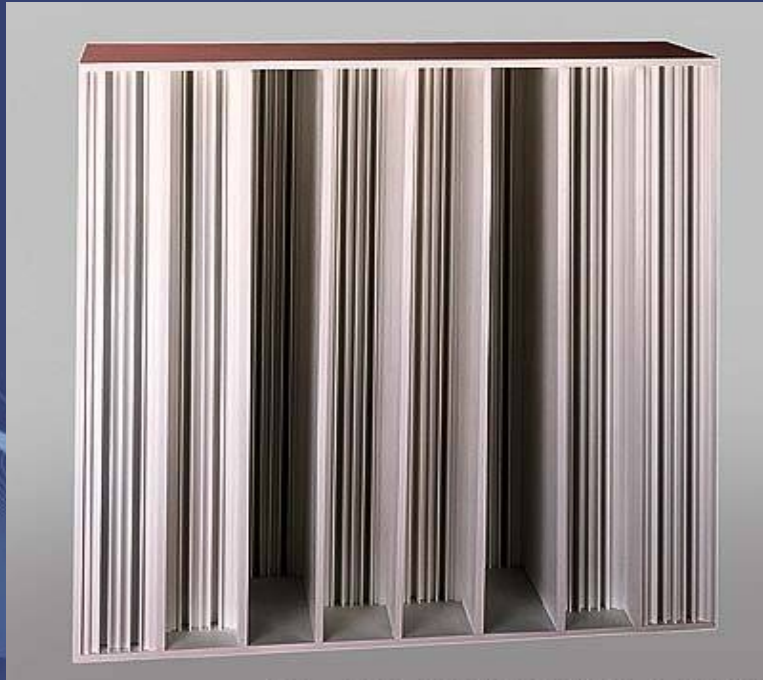
- Για την απορρόφηση των μεσαίων και των υψηλών συχνοτήτων συνήθως καλυπτόμαστε από τις προδιαγραφές των πορώδων απορροφητών όταν αυτοί έχουν ικανοποιητική διάσταση ή βρίσκονται σε μελετημένη απόσταση από την επιφάνεια εφαρμογής
- Ποτέ μην ξεχνάμε ότι οι πορώδεις απορροφητές λειτουργούν όταν εφαρμόζονται στα σημεία υψηλής σωματιδιακής ταχύτητας του ηχητικού κύματος και όχι υψηλής πίεσης



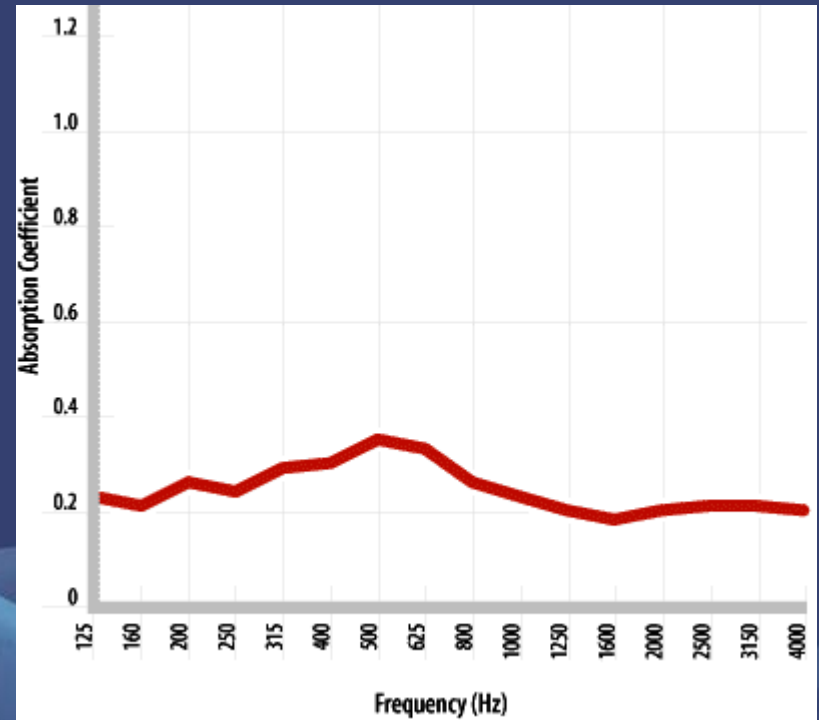
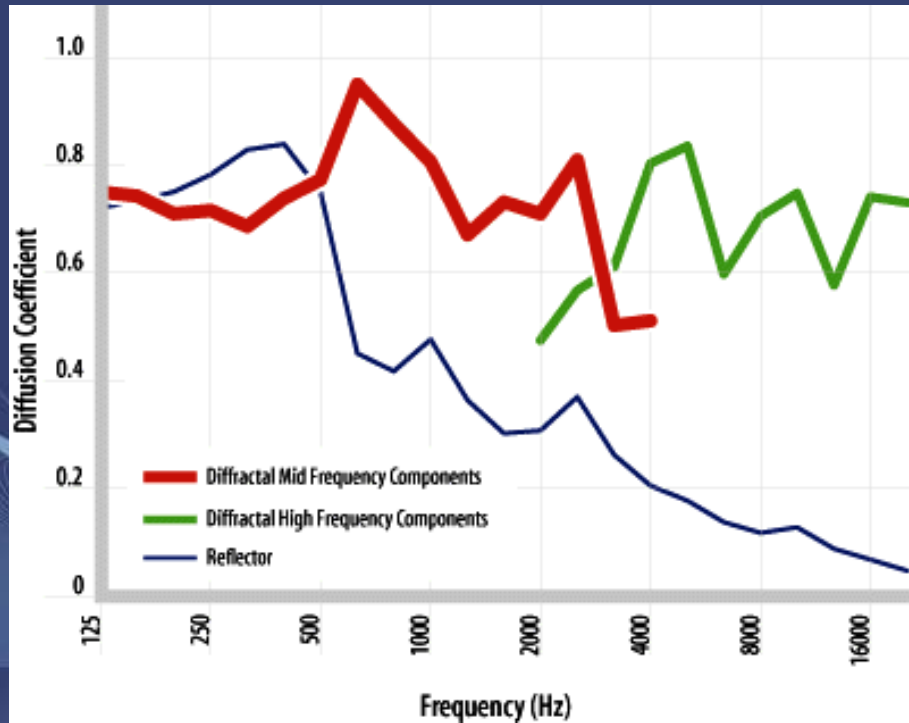
Και ας μην ξεχνάμε τους διαχυτές...

- Οι διαχυτές είναι ειδικά μελετημένες ακουστικές επιφάνειες που σκοπό έχουν την ομοιόμορφη διασπορά της ηχητικής ενέργειας όταν αυτή προσπίπτει στην επιφάνεια τους.
- Ανάλογα με την κατασκευαστική διάταξη των στοιχείων τους, έχουν τη δυνατότητα να διασπείρουν μονοδιάστατα ή δισδιάστατα την προσπίπτουσα ακουστική ενέργεια
- Ομογενοποιούν την ενέργεια των συχνοτήτων του ακουστικού πεδίου για τις οποίες είναι σχεδιασμένοι
- Μπορούν παράλληλα να χαρακτηριστούν από έναν αξιοπρόσεκτο βαθμό ηχοαπορρόφησης (πρέπει πάντα να τους υπολογίζουμε στη μελέτη μας για τη διαμόρφωση του δείκτη αντήχησης)
- Το μέγεθος των γεωμετρικών εναλλαγών του διαχυτή προδίδει την ανώτερη και κατώτερη συχνότητα λειτουργίας του

Παράδειγμα Διαχυτή 1-D RPG Diffractal



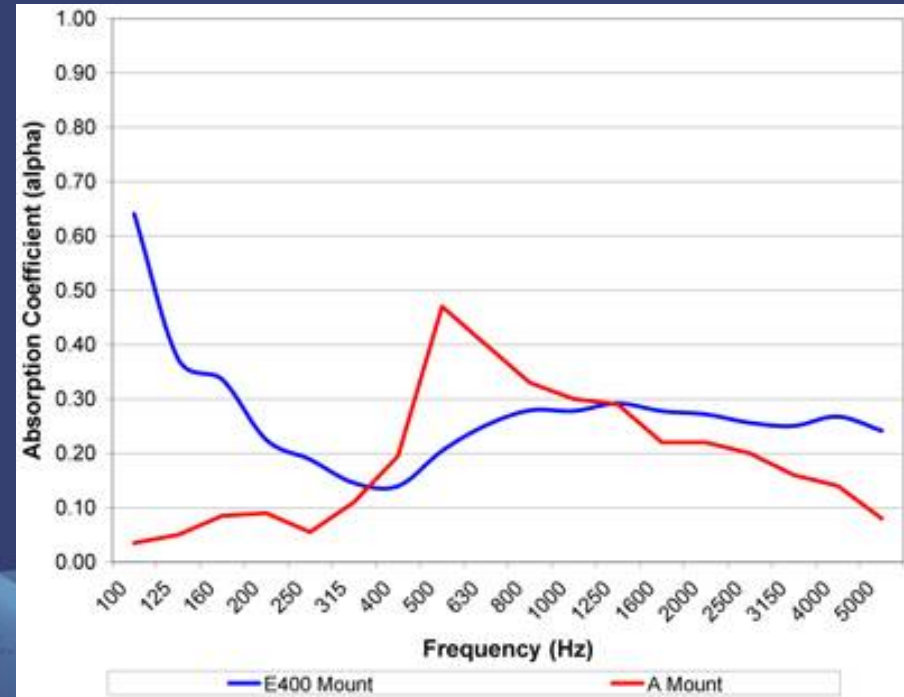
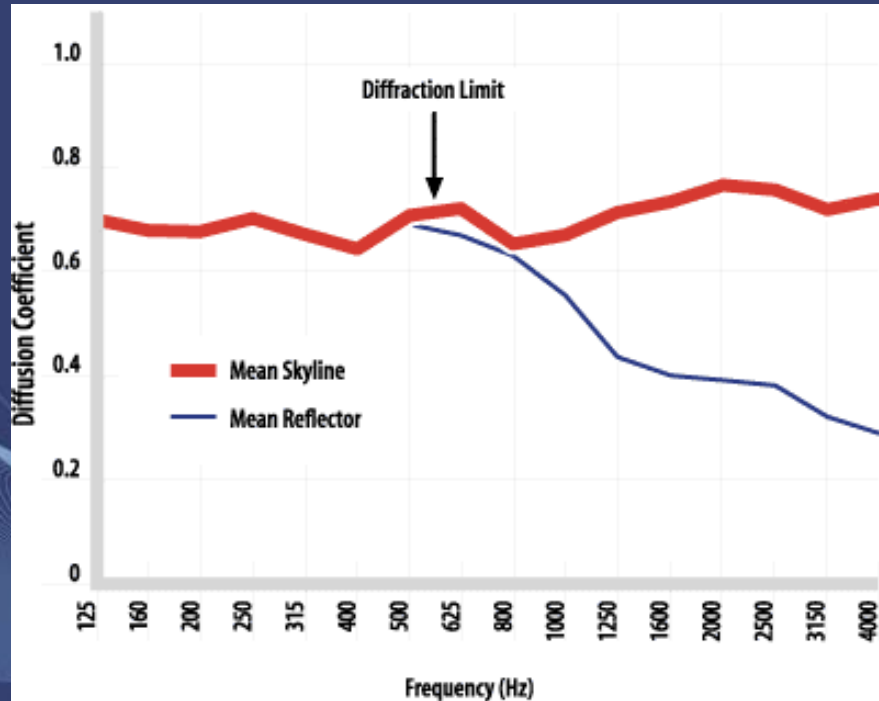
Συντελεστές Διάχυσης – Απορρόφησης RPG Diffractal



Παράδειγμα Διαχυτή 2-D RPG Skyline



Συντελεστές Διάχυσης - Απορρόφησης RPG Skyline

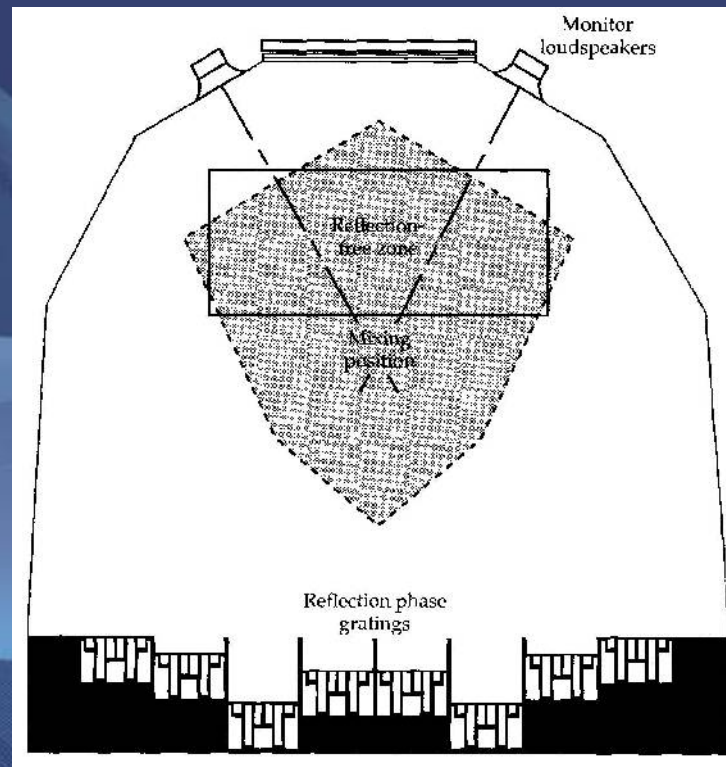


Flutter echo – Τι είναι & πως το καταπολεμούμε;

- Το Flutter Echo είναι ένα ανεπιθύμητο ακουστικό φαινόμενο πολλαπλής, συνεχόμενης και ελαφρώς αποσβενόμενης ηχούς που δημιουργείται ανάμεσα σε 2 παράλληλες ηχοανακλαστικές επιφάνειες
- Μπορούμε εύκολα να το καταπολεμήσουμε με απορροφητικές ή διαχυτικές ακουστικές διατάξεις
- Γίνεται άμεσα αντιληπτό εφαρμόζοντας το γνωστό «παλαμάκι test»
- Η επιλογή της εξάλειψης των απολύτως παράλληλων επιφανειών στο χώρο ακρόασης κατά το σχεδιασμό, εξασφαλίζει επίσης την απουσία του παραπάνω φαινομένου
- Εάν χαρακτηρίζετε από έλλειψη χρημάτων, βάλτε αυγοθήκες!

Η πιο διαδεδομένη φιλοσοφία κατασκευής Control Room L.E.D.E (Live End Dead End)

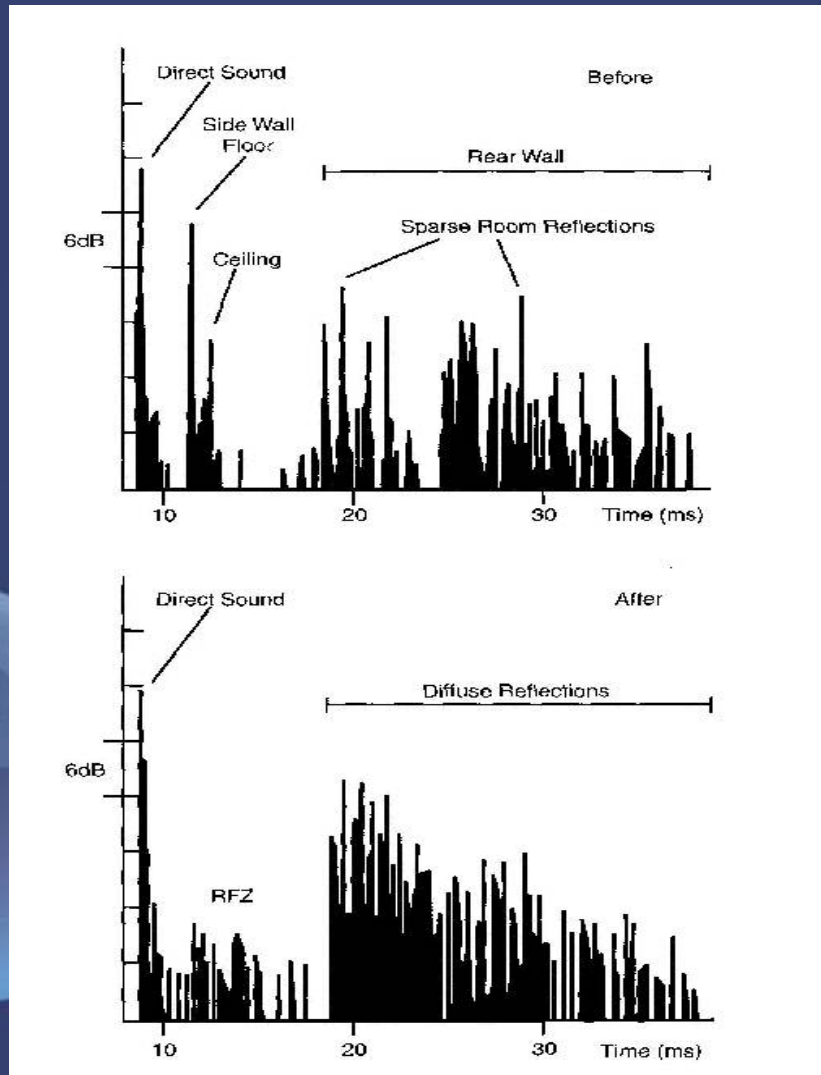
- Σύμφωνα με την σχεδιαστική φιλοσοφία L.E.D.E. που αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1970 από τους Don και Carolyn Davies, ο χώρος ακρόασης ενός δωματίου ελέγχου θα πρέπει να περιλαμβάνει 2 «ακουστικές ζώνες» με αντίθετα χαρακτηριστικά : τη ζώνη απορρόφησης (Dead End) και τη ζώνη διάχυσης (Live End)



Η πιο διαδεδομένη φιλοσοφία κατασκευής Control Room L.E.D.E (Live End Dead End)

- Σκοπός του δωματίου LEDE είναι η δημιουργία μιας καινούργιας ακουστικής ζώνης (RFZ – Reflection Free Zone), στα γεωμετρικά πλαίσια και όρια λειτουργίας του ακροατή, που θα είναι «ελεύθερη» από ανακλάσεις για το αρχικό χρονικό διάστημα των 15 – 20 ms
- Οι ανακλάσεις που θα ακολουθήσουν, όταν χρόνος των 20 ms παρέλθει, θα πρέπει να είναι διάχυτες και μειωμένες σε στάθμη κατά τουλάχιστον 20dB από τον απ' ευθείας ήχο
- Το αποτέλεσμα ενός τέτοιου σχεδιασμού (όταν φυσικά η επίτευξη των τεχνικών στόχων γίνει εφικτή) είναι ένα άκουσμα χωρίς παραμορφώσεις που αναδεικνύει τον ηχητικό ρεαλισμό σ' ένα φυσικά ακουστικό περιβάλλον

Η πιο διαδεδομένη φιλοσοφία κατασκευής Control Room L.E.D.E (Live End Dead End)



Δωμάτιο χωρίς ακουστική διαμόρφωση

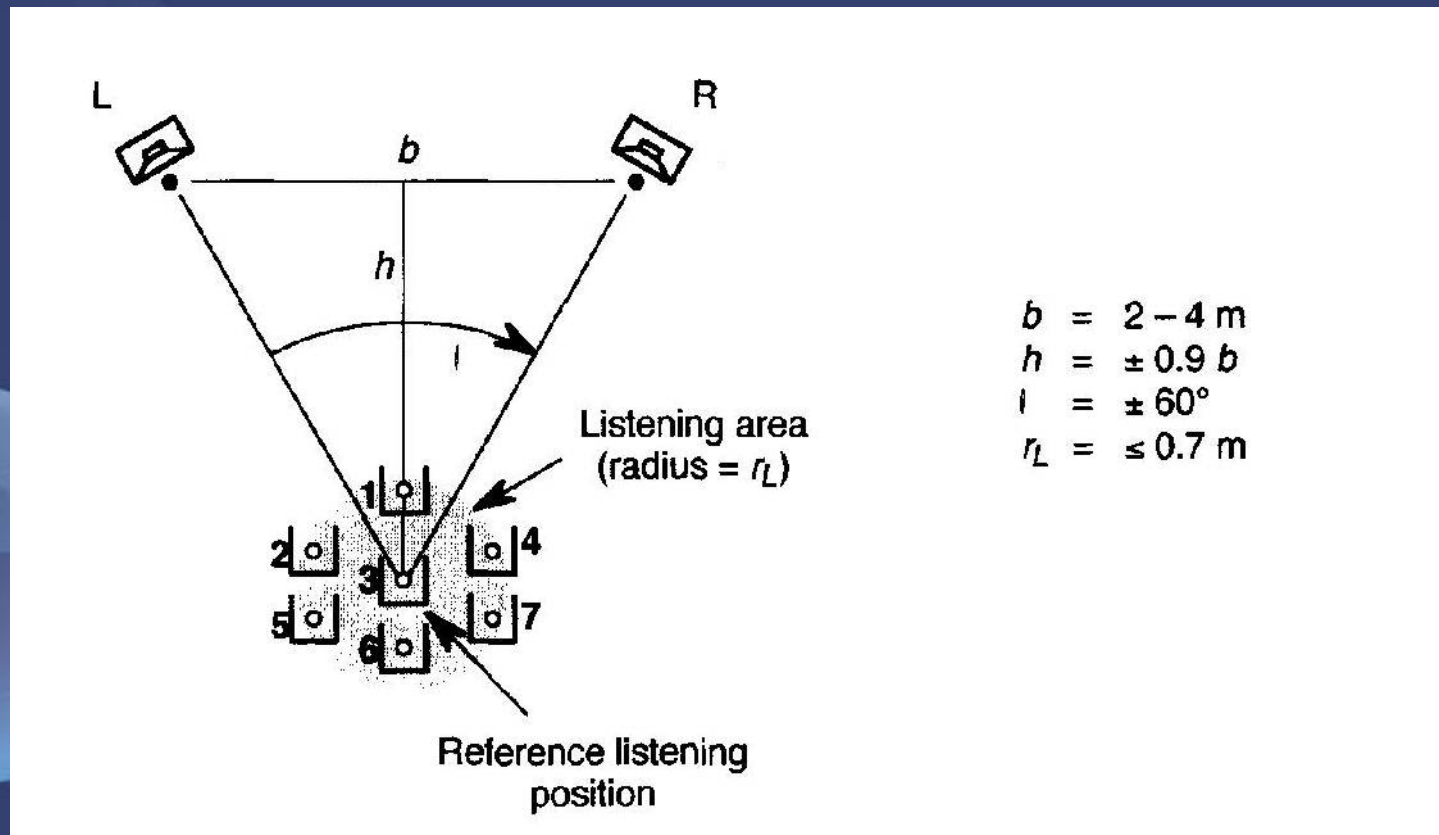
Δωμάτιο με ακουστική διαμόρφωση LEDE

Ποιός τελικά ο γενικός κανόνας ακουστικής σ' ένα δωμάτιο ελέγχου; Υπάρχει κάποιος καθορισμός ποιότητας;

- Η EBU (European Broadcasting Union) με την έκδοση του EBU Tech. 3276 έχει θέσει πολύ αυστηρά και συγκεκριμένα κριτήρια για τις τεχνικές προδιαγραφές που θα πρέπει να έχει ένα δωμάτιο ελέγχου. Μερικές από αυτές είναι:
 - Εμβαδόν χώρου ακρόασης 30 – 40 m²
 - ITDG 15 ms
 - Ανακλάσεις < -10 dB σε σχέση με τον απ' ευθείας ήχο, για το φάσμα των συχνοτήτων από 1-8 KHz
 - Ονομαστικός χρόνος αντήχησης T_m από 0.2 – 0.4 sec με όριο ανοχής τα ± 0.05 sec για τις συχνότητες 200 – 4000 Hz
 - Όρια ανοχής στην απόκριση συχνότητας: ± 3 dB για το ακουστικό φάσμα από 50 – 2000 Hz
 - Επίπεδο θορύβου < NR15

Τι γίνεται με τη θέση ακρόασης και τις θέσεις των ηχείων; Ποια είναι η προτεινόμενη διάταξη για ακρόαση στερεοφωνικού ηχητικού υλικού;

- Η διάταξη ακρόασης σύμφωνα πάντα με τις προδιαγραφές της EBU έχει ως εξής:



Αν τηρήσω όλους τους παραπάνω κανόνες θα έχω τελικά ένα «επιτυχημένο» studio;

- Το studio θα είναι σίγουρα επιτυχημένο –τουλάχιστον- από ακουστικής άποψης
- Επιπλέον, υπάρχουν και άλλοι εξίσου σημαντικοί παράμετροι που τεχνικά «λαμβάνουν μέρος» στην κατασκευή και στην αποτελεσματικότητα της σωστής λειτουργίας ενός studio. Οι σημαντικότεροι είναι :
 - Μελέτη Ηχομόνωσης
 - Μελέτη Εξαερισμού/Κλιματισμού
 - Μελέτη Ηλεκτρολογικής Εγκατάστασης
 - Εσωτερική – Αρχιτεκτονική Διακόσμηση
 - Χρηστικότητα του χώρου για μουσικούς και επισκέπτες
- Ας μη λησμονούμε την ύπαρξη των Live Rooms και την ακουστική διαμόρφωση τους για οποία δεν αναφερθήκαμε
- Δυστυχώς, η σκληρή Ελληνική πραγματικότητα έχει αποδείξει ότι «ότι φαίνεται ωραίο, ακούγεται κι' ωραίο...»

Μερικά Χρήσιμα & Ενδιαφέροντα Βιβλία...

F. Alton Everest & Ken C. Pohlmann

Master Handbook of **ACOUSTICS**

Fifth Edition



Recording Studio Design

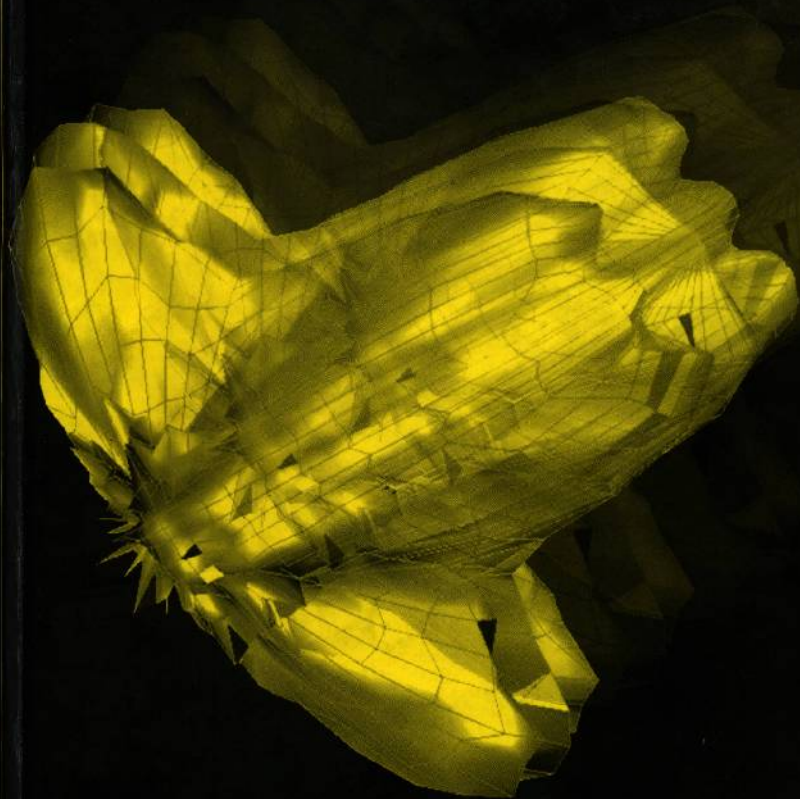


Philip Newell



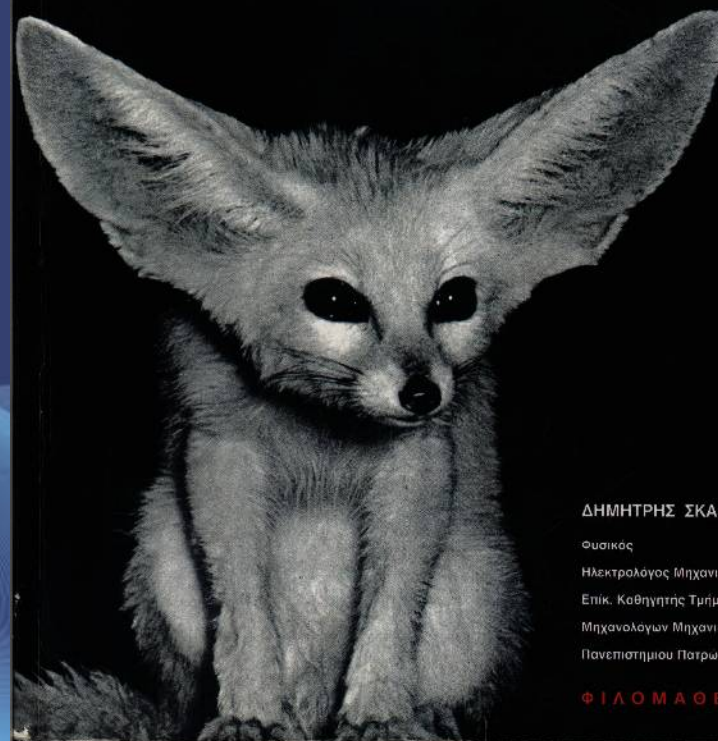
Acoustic Absorbers and Diffusers

Theory, Design and Application Trevor J. Cox and Peter D'Antonio



ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ

Γενικές έννοιες • Ακουστική κλειστών χώρων • Ακουστική ανοικτών χώρων • Ακουστική ρευστών
Ανάλυση ηχητικών σημάτων • Χορομόνωση - Χχορύπανση • Πρότυπες ακουστικές μετρήσεις κατά ISO και ΕΛΟΤ



ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΣΚΑΡΛΑΤΟΣ

Φυσικός

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός,

Επικ. Καθηγητής Τμήματος

Μηχανολόγων Μηχανικών

Πανεπιστημίου Πατρών

ΦΙΛΟΜΑΘΕΙΑ

ARCHITECTURAL ACOUSTICS



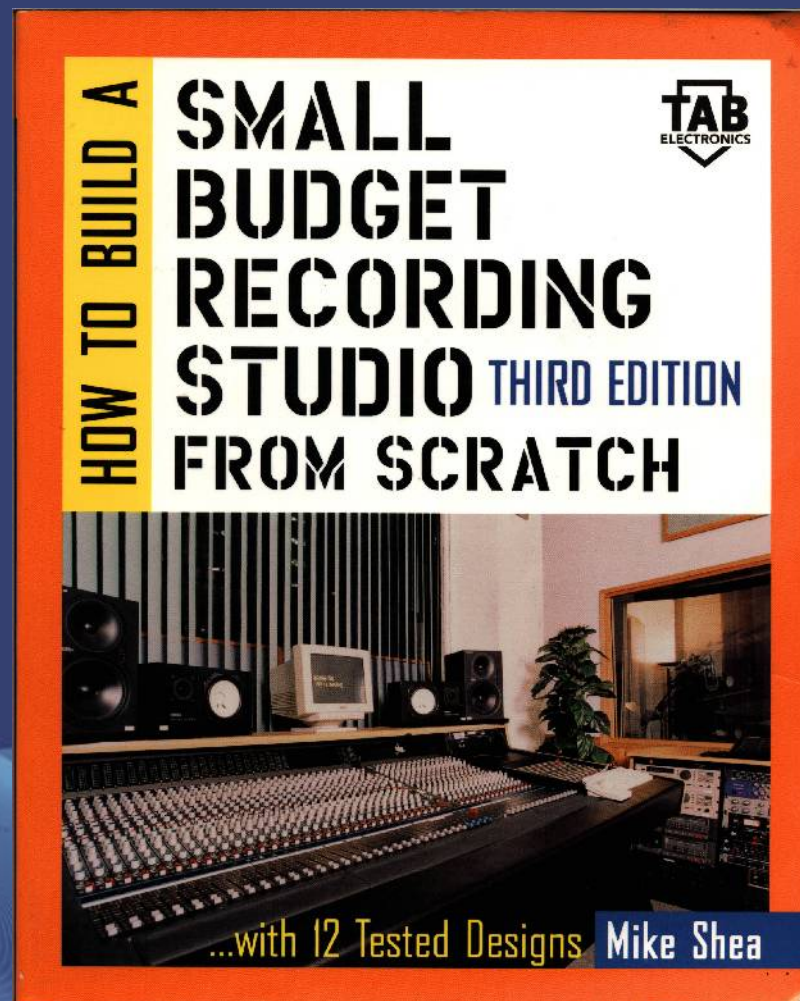
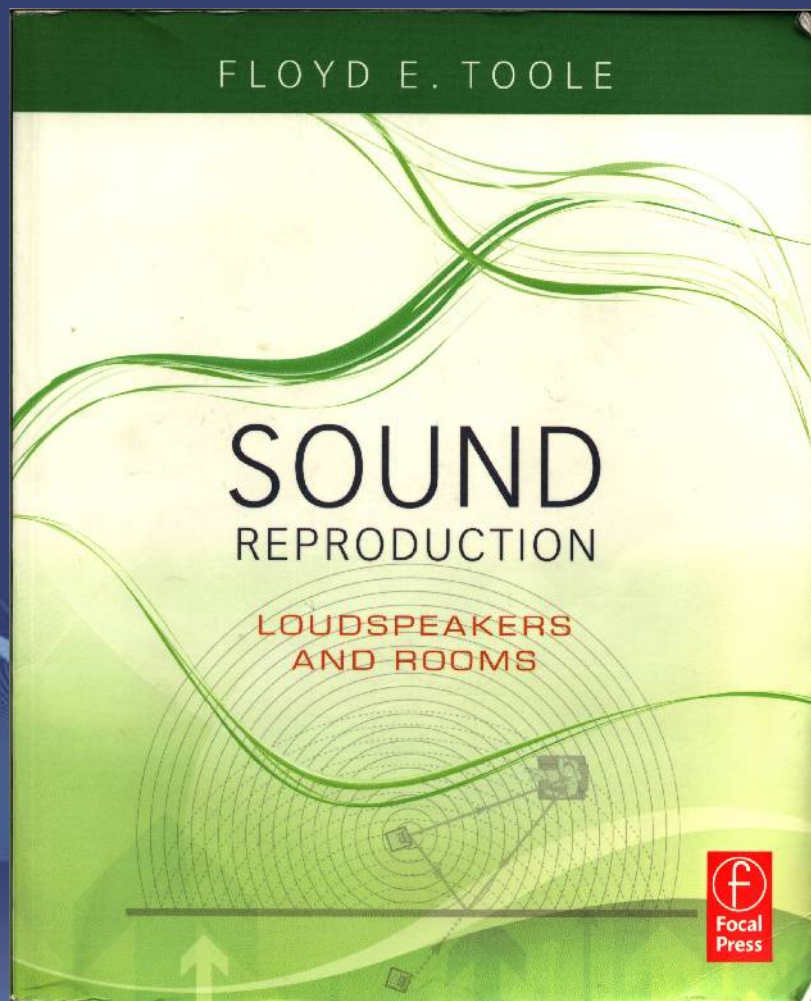
MARSHALL LONG

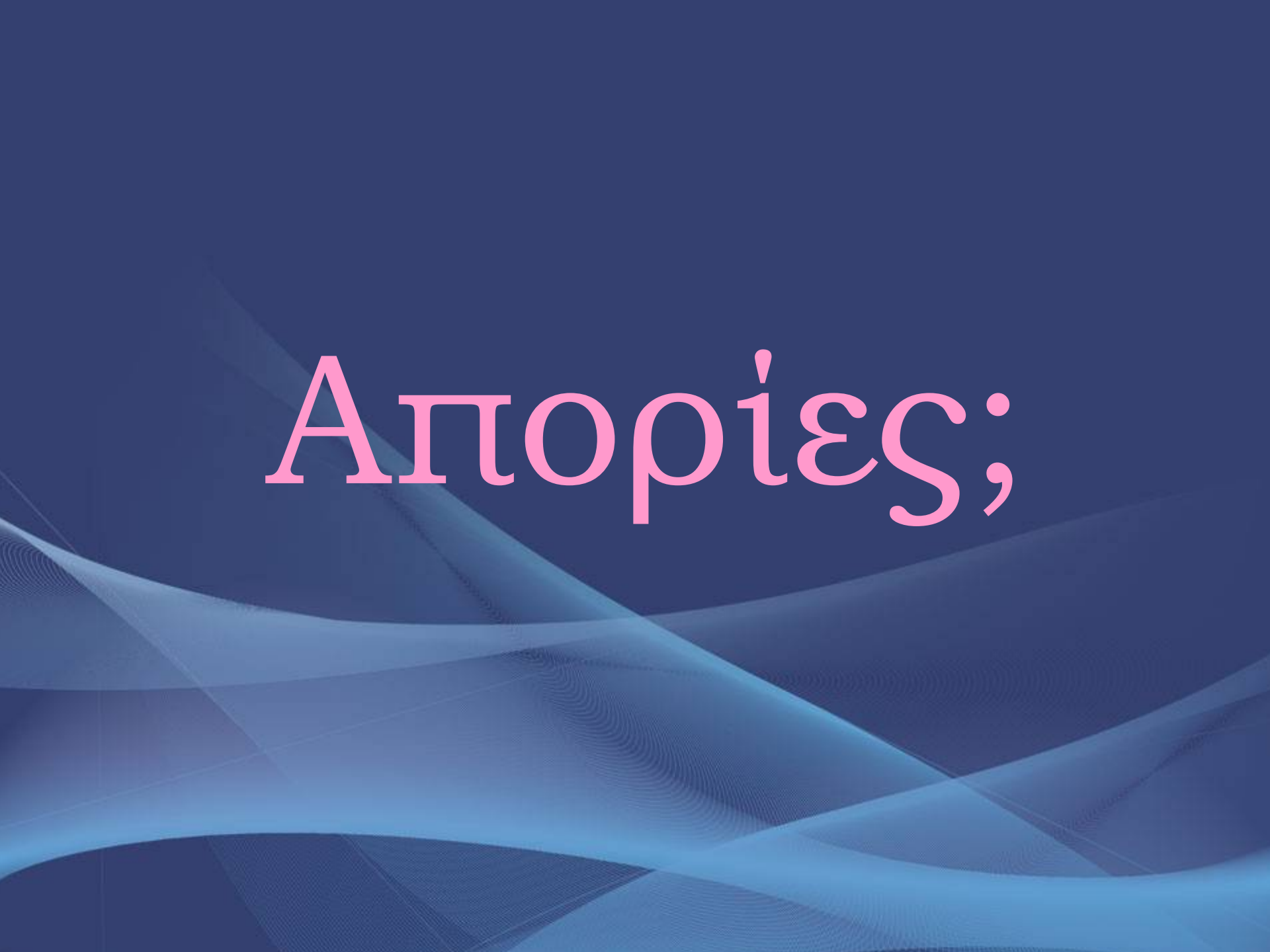


ACOUSTICS AND PSYCHOACOUSTICS

SECOND EDITION





The background features a dark blue gradient with abstract, flowing, wavy lines in shades of light blue and pink, creating a sense of movement and depth.

Απορίες;