

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΗΧΟΜΟΝΩΣΗΣ

Χρήστος Χατζηάστρου

Χημικός MSc. – Δ/ντης Τεχνικής Υποστήριξης, FIBRAN AE

Λέξεις κλειδιά: Ηχοαπορρόφηση, ηχομόνωση, πετροβάμβακας,

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Αντικείμενο της ηχομόνωσης είναι η αποτελεσματική προστασία ενός κτιρίου τόσο από τους εξωτερικούς θορύβους (κυκλοφοριακός, αεροπορικός κλπ). Επίσης είναι ο περιορισμός διάδοσης θορύβων που δημιουργούνται στο εσωτερικό του από χώρο σε χώρο. Για την επίλυση τυπικών προβλημάτων ηχομόνωσης μελετήθηκαν συνήθεις κατασκευαστικές διατάξεις με τη χρήση του ινώδους ηχοαπορροφητικού υλικού πετροβάμβακα. Κατά την μελέτη προέκυψαν αποτελέσματα που κρίνονται ως άκρως ικανοποιητικά.

1. ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Όλα τα δομικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην πράξη για επιχρίσματα και επικαλύψεις παρουσιάζουν συνήθως χαμηλή ηχοαπορρόφηση. Σε περιπτώσεις όπου απαιτείται αυξημένη ηχοαπορρόφηση (όπως ακουστικός σχεδιασμός αιθουσών, μείωση θορύβου σε βιομηχανικούς χώρους κλπ) χρησιμοποιούνται ειδικά υλικά σε αντίστοιχες διατάξεις. Τα ηχοαπορροφητικά υλικά και διατάξεις διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

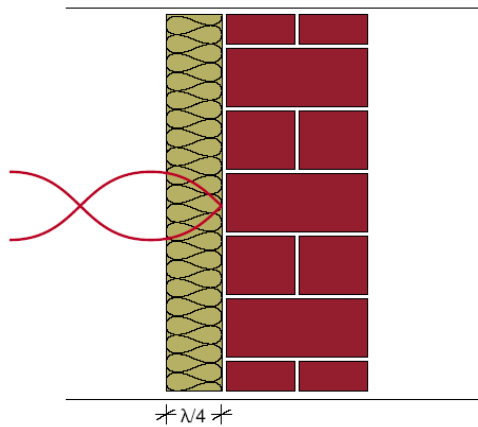
- Πορώδη ή ινώδη ηχοαπορροφητικά
- Συνηχητές μεμβράνης
- Συνηχητές κοιλότητας

1.1 Πορώδη ηχοαπορροφητικά

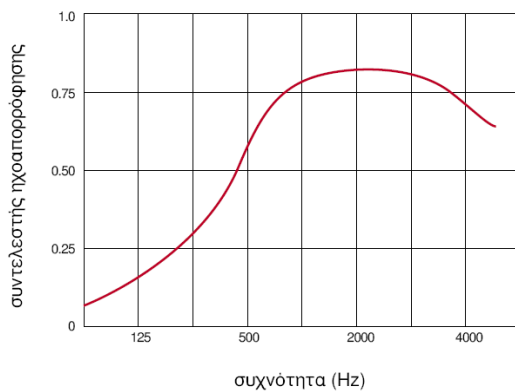
Τα πορώδη υλικά είναι υλικά με ανοικτούς πόρους. Το πλέον ευρέως διαδεδομένο σε ευρωπαϊκό επίπεδο πορώδες ηχοαπορροφητικό υλικό που χρησιμοποιείται στις κατασκευές είναι ο πετροβάμβακας.

Η βασική ακουστική λειτουργία του πετροβάμβακα είναι η απορρόφηση του ήχου μέσα από την μετατροπή της ηχητικής ενέργειας σε θερμότητα μέσα στους πόρους. Ο πετροβάμβακας παρουσιάζει μεγάλη ηχοαπορρόφηση στις υψηλές συχνότητες δηλαδή σε ήχους με μικρό μήκος

κύματος. Όπως φαίνεται στα Σχήματα 1α, β, σε ένα ηχητικό κύμα που προσπίπτει σε μια επιφάνεια το μέγιστο πλάτος εμφανίζεται στο $1/4$ ή τα $3/4$ του μήκους κύματος. Επομένως, για αποτελεσματική ηχοαπορρόφηση σε μια συγκεκριμένη συχνότητα, θα πρέπει το πάχος του ηχοαπορροφητικού υλικού να είναι συγκρίσιμο με το $1/4$ του μήκους κύματος στη συχνότητα αυτή. Σε αντίθετη περίπτωση η ηχοαπορρόφηση είναι χαμηλή.



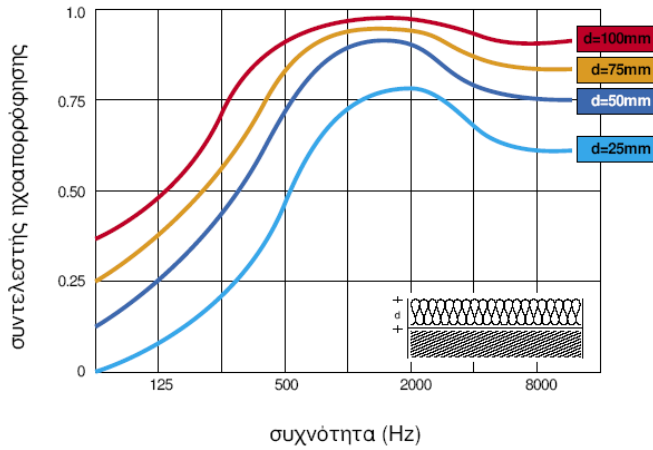
Σχήμα 1α. Σχέση μήκους κύματος και πάχους πετροβάμβακα



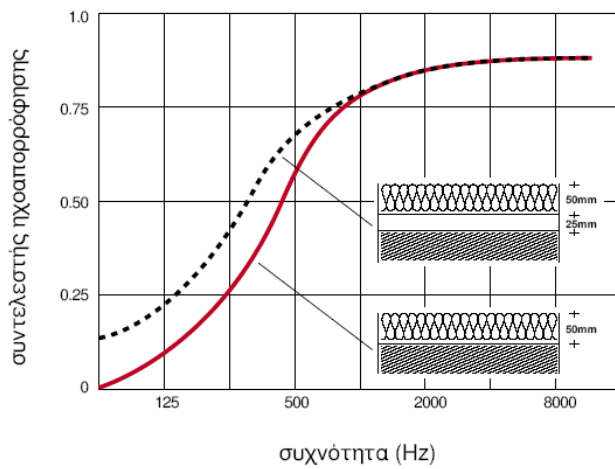
Σχήμα 1β. Συντελεστής ηχοαπορρόφησης πετροβάμβακα

Για την αύξηση της ηχοαπορρόφησης σε χαμηλότερες συχνότητες απαιτείται είτε αύξηση του πάχους του υλικού, Σχήμα 2, είτε αύξηση της

απόστασης του πορώδους υλικού από την σταθερή επιφάνεια τοποθέτησης, Σχήμα 3.



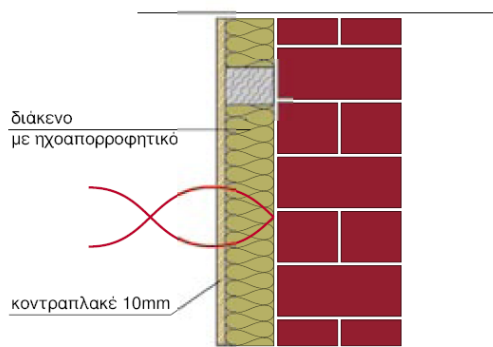
Σχήμα 2. Επίδραση του πάχους του πετροβάμβακα στον συντελεστή ηχοαπορρόφησης



Σχήμα 3. Επίδραση στον συντελεστή ηχοαπορρόφησης της απόστασης του πετροβάμβακα από την επιφάνεια τοποθέτησης

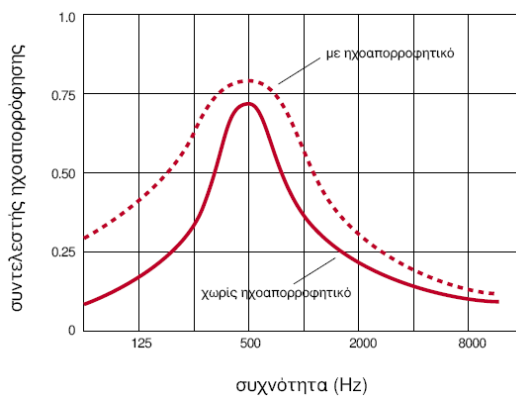
1.2 Συνηχητές μεμβράνης

Οι διατάξεις αυτές αποτελούνται από λεπτά, εύκαμπτα φύλλα (π.χ. γυψοσανίδα, κόντρα πλακέ, κτλ.) που τοποθετούνται σε απόσταση από μια σταθερή άκαμπτη επιφάνεια, έτσι ώστε να σχηματίζεται μεταξύ τους ένα διάκενο αέρα, Σχήμα 4. Στις διατάξεις αυτές η μετατροπή της ηχητικής ενέργειας σε θερμότητα προκαλείται από την αντίσταση του φύλλου σε απότομη κάμψη και την αντίσταση του εγκλωβισμένου αέρα στο διάκενο να συμπιεστεί.



Σχήμα 4. Διάταξη συνηχητού μεμβράνης με πετροβάμβακα

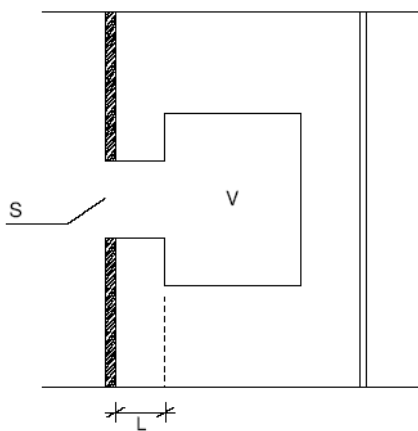
Σε αντίθεση με τον πετροβάμβακα, οι συνηχητές μεμβράνης εμφανίζουν σημαντική ηχοαπορρόφηση στις χαμηλές συχνότητες, Σχήμα 5. Για να διερευνηθεί η περιοχή συχνοτήτων, όπου η ηχοαπορρόφηση είναι ικανοποιητική, προστίθεται πετροβάμβακας στο διάκενο μεταξύ μεμβράνης και τοίχου, Σχήμα 5.



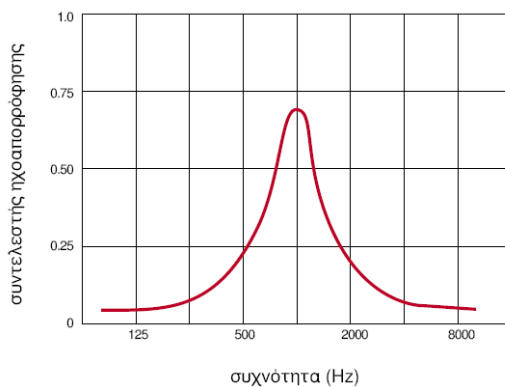
Σχήμα 5. Συντελεστής ηχοαπορρόφησης συνηχητής μεμβράνης

1.3 Συνηχητές κοιλότητας

Στην τρίτη κατηγορία των ηχοαπορροφητικών διατάξεων ανήκουν οι συνηχητές κοιλότητας. Οι συνηχητές αυτοί αποτελούνται βασικά από μια κοιλότητα όγκου V , όπου εγκλωβίζεται αέρας ο οποίος επικοινωνεί με τον ελεύθερο χώρο που διαθέτει στενό άνοιγμα (λαιμό) διατομής S και μήκους L , Σχήμα 6. Οι συνηχητές κοιλότητας χρησιμοποιούνται για επιλεκτική ηχοαπορρόφηση συγκεκριμένων συχνοτήτων καθώς η ηχοαπορροφητική τους ικανότητα περιορίζεται σε μια πολύ στενή περιοχή συχνοτήτων, Σχήμα 7.



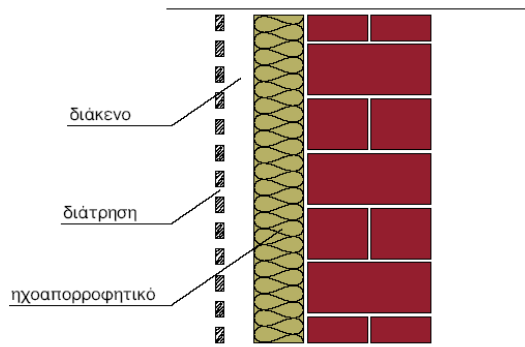
Σχήμα 6. Συνηχητής κοιλότητας



Σχήμα 7. Συντελεστής ηχοαπορρόφησης συνηχητή κοιλότητας

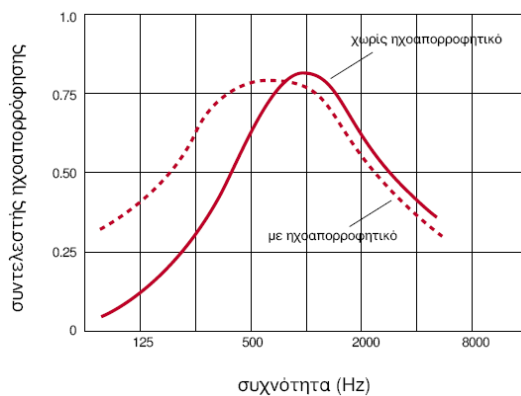
2. ΔΙΑΤΡΗΤΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΑ

Οι διατάξεις αυτές που αποτελούνται συνήθως από διάτρητα πάνελ είναι συνδυασμός των προηγούμενων τύπων ηχοαπορροφητικών, Σχήμα 8.



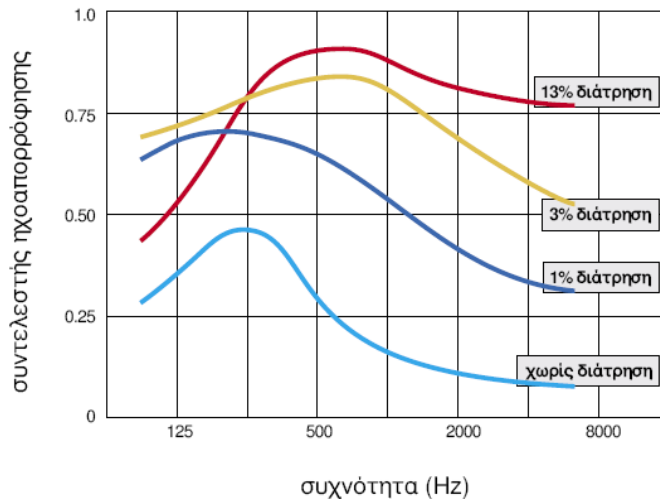
Σχήμα 8. Διάταξη διάτρητου ηχοαπορροφητικού με πετροβάμβακα

Το πάνελ μπορεί να αποτελείται από γυψοσανίδα, ορυκτή ίνα, κόντρα πλακέ, μεταλλικό ή πλαστικό φύλλο και λειτουργεί ως συνηχητής μεμβράνης. Οι οπές ή σχισμές και το στρώμα του αέρα λειτουργούν ως συνηχητές κοιλότητες. Ο πετροβάμβακας ως ηχοαπορροφητικό υλικό τέλος, βοηθά στην διεύρυνση της περιοχής ηχοαπορρόφησης, Σχήμα 9.



Σχήμα 9. Συντελεστής ηχοαπορρόφησης διάτρητου απορροφητικού με και χωρίς πετροβάμβακα

Η ηχοαπορροφητική ικανότητα των διάτρητων ηχοαπορροφητικών εξαρτάται από το ποσοστό διάτρησης της επιφάνειας, Σχήμα 10.



Σχήμα 10. Επίδραση του ποσοστού διάτρησης επιφάνειας στο συντελεστή ηχοαπορρόφησης

3. ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΕΡΟΦΕΡΤΟΥ ΗΧΟΥ

Ο αερόφερτος ήχος προέρχεται από πηγές όπως ομιλία, μουσική, λειτουργία οικιακών συσκευών κλπ και διαδίδεται στον διπλανό χώρο μέσω του αέρα. Είναι φανερό ότι ο αερόφερτος ήχος αποτελεί το κύριο πρόβλημα ηχομόνωσης μεταξύ γειτονικών χώρων συνήθως του ίδιου ορόφου και κατά συνέπεια αφορά περισσότερο τους τοίχους.

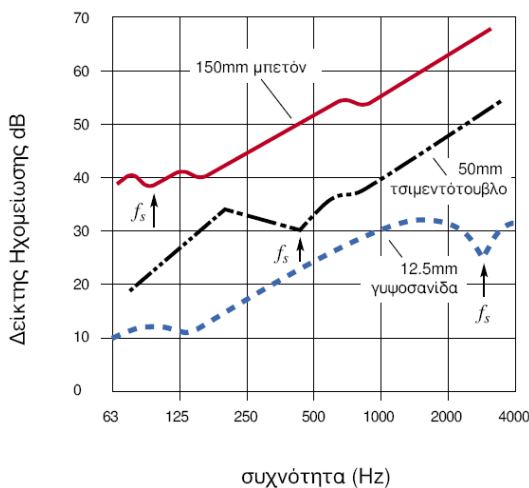
3.1 Μονά ή συμπαγή χωρίσματα τοιχοποιίας

Μονά ή μονοκέλυφα (συμπαγή) χωρίσματα θεωρούνται τα δομικά στοιχεία που ταλαντώνονται ως ενιαίο σώμα κατά την διέγερσή τους και την εκπομπή ήχου. Αποτελούνται από ενιαία διάταξη δομικού υλικού (μπετόν, τούβλο, γυψοσανίδα κλπ) είτε από στρώσεις διαφορετικών υλικών στέρεα συνδεδεμένες μεταξύ τους έτσι ώστε να αποτελούν ένα σώμα.

Μια χονδρική εκτίμηση της ηχομόνωσης μονών (συμπαγών) χωρισμάτων δίνεται από τον λεγόμενο νόμο της μάζας. Ο νόμος αυτός δέχεται ότι ο δείκτης ηχομείωσης ενός μονού χωρίσματος τοιχοποιίας αυξάνεται κατά 6dB για κάθε διπλασιασμό του βάρους του ανά μονάδα επιφάνειας, Σχήμα 11. Στο Σχήμα 12 φαίνεται ο δείκτης ηχομείωσης τριών χαρακτηριστικών περιπτώσεων χωρισμάτων.



Σχήμα 11. Προσεγγιστικός μέσος δείκτης ηχομείωσης μονών (συμπαγών) χωρισμάτων με βάση το νόμο της μάζας.



Σχήμα 12. Δείκτης ηχομείωσης μονών (συμπαγών) χωρισμάτων

Στην παρούσα εξετάζονται περαιτέρω τα δικέλυφα χωρίσματα τοιχοποιίας καθώςσον εμφανίζουν σημαντικά υψηλότερη ηχομόνωση σε σύγκριση με τα μονά (συμπαγή) ίδιου βάρους.

3.1 Δικέλυφα χωρίσματα

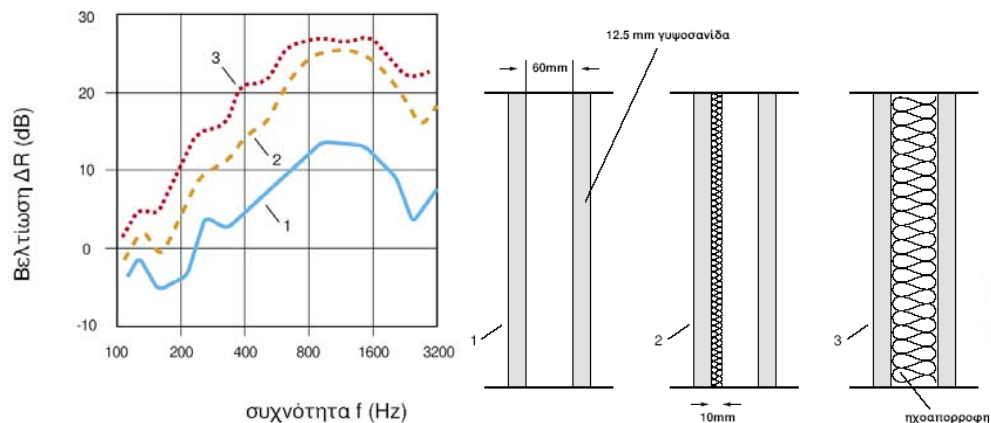
Ως δικέλυφα θεωρούνται τα χωρίσματα που αποτελούνται από δύο πλάκες ή κελύφη που χωρίζονται μεταξύ τους με διάκενο στο οποίο υπάρχει αέρας ή τοποθετείται ηχοαπορροφητικό υλικό. Η τοποθέτηση πετροβάμβακα στο

διάκενο ενός διπλού χωρίσματος αυξάνει σημαντικά την ηχομονωτική του ικανότητα. Η βελτίωση της ηχομόνωσης οφείλεται στους παρακάτω λόγους:

- Η παρουσία του πετροβάμβακα στο διάκενο μεταβάλλει την ακαμψία με αποτέλεσμα να μετατοπισθεί η συχνότητα συντονισμού σε χαμηλότερα επίπεδα.
- Ο πετροβάμβακας αυξάνει τις απώλειες της ηχητικής ενέργειας στο διάκενο με αποτέλεσμα την μείωση του βυθίσματος στην συχνότητα σύμπτωσης με αποτέλεσμα την βελτίωση της ηχομόνωσης.
- Η τοποθέτηση πετροβάμβακα στο διάκενο αποτρέπει τον συντονισμό (σηματισμό στάσιμων κυμάτων) με αποτέλεσμα την αύξηση της ηχομόνωσης στις υψηλές συχνότητες.

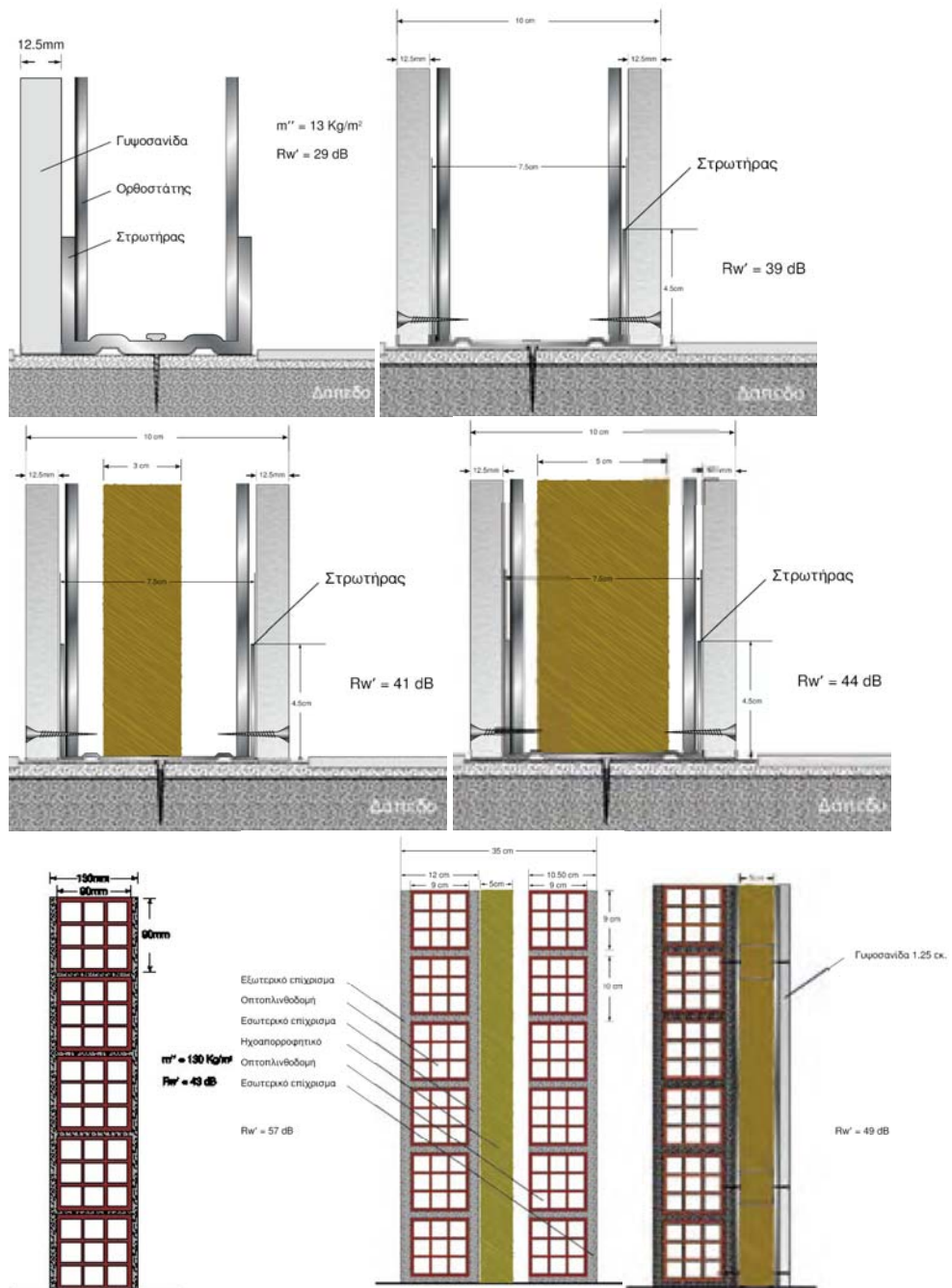
Η αποτελεσματικότητα ενός ηχοαπορροφητικού υλικού στην βελτίωση της ηχομόνωσης ενός δικέλφου χωρίσματος καθορίζεται κύρια από την αντίσταση ροής του ηχοαπορροφητικού. Ο πετροβάμβακας πυκνότητας 40 kg/m^3 που έχει αντίσταση ροής αέρος κατά EN 29053 τουλάχιστο $15 \text{ KPa}\cdot\text{s/m}^3$, είναι ένα εξαιρετο υλικό για χρήση σε δικέλυφα χωρίσματα.

Το πάχος του ηχοαπορροφητικού υλικού στο διάκενο ενός διπλού χωρίσματος προκύπτει από τον συνδυασμό κόστους και απαιτούμενης ηχομόνωσης. Βέλτιστη λύση στην πράξη μπορεί να θεωρηθεί η πλήρωση των 2/3 του διακένου με ηχοαπορροφητικό, Σχήμα 13.



Σχήμα 13. Βελτίωση του δείκτη ηχομείωσης ΔR δικέλφου χωρίσματος τοιχοποιίας από γυψοσανίδες πάχους διατομής 12.5 mm, ανάλογα με το πάχος του ενδιάμεσου ηχοαπορροφητικού μονωτικού υλικού.

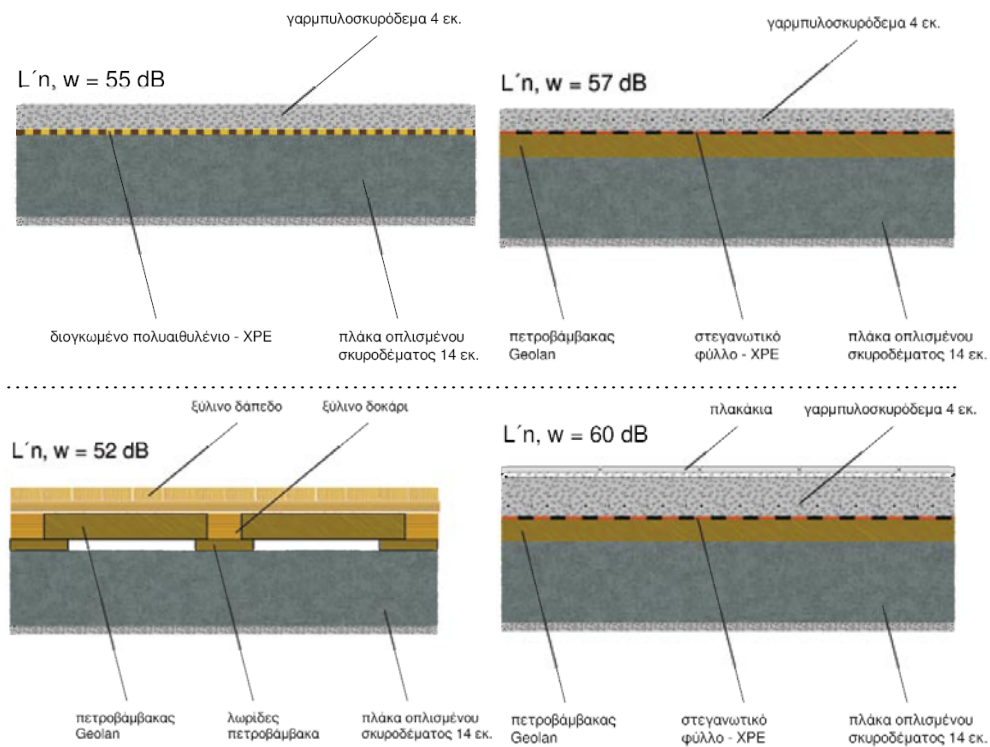
Παραδείγματα δικέλφων χωρισμάτων σε σύγκριση με αντίστοιχα μονά ή συμπαγή ή συμβατικά καθώς και τα ηχομονωτικά χαρακτηριστικά τους δίνονται στο Σχήμα 14.



Σχήμα 14. Συστήματα τοιχοποιίας: Ξηράς, συμβατικής και σύμμεκτης δόμησης.

4. ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΚΤΥΠΟΓΕΝΟΥΣ ΗΧΟΥ

Ο κτυπογενής (στερεόφερτος) ήχος προέρχεται από εφαρμογή κτυπημάτων (δυνάμεων) πάνω σε δομικά στοιχεία. Στην πράξη κτυπογενής ήχος προκαλείται από βηματισμό κατοίκων, μετακίνηση επίπλων, πτώση αντικειμένων στο δάπεδο κλπ. Στις περιπτώσεις αυτές, το δομικό στοιχείο που δέχεται την διέγερση (συνήθως το πάτωμα) ταλαντώνεται και εκπέμπει αερόφερτο ήχο στους γειτονικούς χώρους. Ο κτυπογενής ήχος μεταφέρεται μέσω του φέροντος οργανισμού του κτιρίου σε μεγάλες αποστάσεις με μικρή απόσβεση και συνεπώς ο έλεγχός του είναι σημαντικός για την επιδιωκόμενη ηχομόνωση. Επειδή η βελτίωση που επιτυγχάνεται με ελαστικά επιστρώματα είναι περιορισμένη, είναι απαραίτητη στην πράξη η κατασκευή πλωτών δαπέδων για υψηλή ηχομόνωση σε κτυπογενή ήχο. Με τον όρο πλωτό εννοεί κανείς ένα δάπεδο που δεν βρίσκεται σε απ' αυθείας επαφή με την πλάκα (και τους παράπλευρους τοίχους) αλλά μεταξύ τους παρεμβάλλεται ελαστικό, αντικραδασμικό στρώμα κατάλληλου υλικού. Παραδείγματα πλωτών δαπέδων και τα ηχομονωτικά χαρακτηριστικά τους δίνονται στο Σχήμα 15.



Σχήμα 15. Παραδείγματα πλωτών δαπέδων με Πετροβάμβακα

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι δύο κατηγορίες του αερόφερτου και κτυπογενή ήχου έχουν, όπως ήδη αναφέρθηκε, διαφορετικά χαρακτηριστικά και μηχανισμούς διάδοσης και γι' αυτό εξετάζονται χωριστά. Τα μέτρα ηχομόνωσης που πρέπει να λαμβάνονται διακρίνονται σε μέτρα ηχομόνωσης για αερόφερτο ήχο και μέτρα ηχομόνωσης για κτυπογενή ήχο. Η ηχομόνωση για να είναι ολοκληρωμένη και αποτελεσματική πρέπει να περιλαμβάνει μέτρα για τον περιορισμό και των δύο κατηγοριών θορύβου.

Η εξέλιξη στο γνωστικό αντικείμενο του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού και η παράλληλη εξέλιξη των σύγχρονων υλικών και δομικών στοιχείων επιτρέπουν στον σημερινό μελετητή να υλοποιήσει τις προτάσεις του για ηχομόνωση με μεγάλους βαθμούς ελευθερίας. Ανεξάρτητα όμως από το είδος του ήχου που θέλουμε να ελέγξουμε βασικό εργαλείο στην επίτευξη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων είναι η χρήση πορωδών υχοαπορροφητικών υλικών όπως είναι ο πετροβάμβακας. Αν ληφθεί υπόψη η παράλληλη λειτουργία του πετροβάμβακα ως βιοκλιματικού, θερμομονωτικού και πυράντοχου υλικού τα οφέλη στην κατασκευή είναι πραγματικά εντυπωσιακά. Αυτοί είναι οι λόγοι που κατέστησαν τον πετροβάμβακα ως το αγαπημένο μονωτικό του αρχιτέκτονα

6. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Τροχίδης, Α., «Ηχομόνωση Βασικές Αρχές και Εφαρμογές», Fibran ΑΕ, Θεσσαλονίκη (2007)

Ευθυμιάτος, Διονύσιος Καθηγητής ΕΜΠ., «Ακουστική και κτιριακές εφαρμογές» Εκδόσεις Παπασωτηρίου (2007)

Mehta M., Johnson J., Rocafort J., “Architectural Acoustics, Principles and Design”, Prentice Hall (1998)

«Encyclopedia of Acoustics», Willey John & Sons, (1997)

Egan D., “Architectural Acoustics”, Mc Graw-Hill (1988)

Τσινίκας Ν., «Αρχιτεκτονική Τεχνολογία», University Studio Press, Θεσσαλονίκη (1987)

Τροχίδης, Α., Τσινίκας Ν., «Ηχομόνωση - Υλικά και Διατάξεις», Θεσσαλονίκη (1980)

Boeker, Harro, “Troockenbaupraxis mit Gipskartonplatten-Systemen”, Rudolf Mueller Verlag (1984)