



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

Πτυχιακή Εργασία

Ηχομόνωση & Τεχνολογία υλικών

Επιβλέπον καθηγητής: Σηφάκης Μηνάς
Σπουδάστρια : Παπαρίδου Ελένη

Ρέθυμνο
Ιούνιος 2010

*Καταρχήν και καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου Μηνά Σηφάκη για την ανιδιοτελή και επιμορφωτική επίβλεψη και καθοδήγησή του παρά τις αντιξοότητες της μακροχρόνιας αυτής προσπάθειας.
Επιπλέον, τους Χάρη Μωραίτη και Θέμη Πρωτονοτάριο για την παροχή ειδικού τεχνικού εξοπλισμού και τις χρήσιμες συμβουλές τους καθώς επίσης και τους Λεωνίδα, Ιούλιο και Πέτρο για τη χρήση των studio ηχογράφησης ως χώρων μετρήσεων, τη συμφοιτήτριά μου Κατερίνα Απατσίδου και την πολιτικό μηχανικό Αγγελική Κουντούρη.*

Σύνοψη

Η εργασία αφορά σε όλους τους παράγοντες που ευθύνονται για το σωστό ηχομονωτικό σχεδιασμό ενός χώρου καθώς και στην ανάλυση των υλικών και των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη αυτού του στόχου, στον ελλαδικό χώρο.

Στόχος της παρούσας εργασίας, είναι να αποτελέσει ένα προσιτό εγχειρίδιο μελέτης για τον αναγνώστη, ο οποίος δεν ειδικεύεται στο θέμα της ηχομόνωσης και της τεχνολογίας των υλικών αλλά κατέχει ένα βασικό επιστημονικό υπόβαθρο και κάποιες στοιχειώδεις γνώσεις ακουστικής. Ο στόχος αυτός επιτυγχάνεται με τη λεπτομερή επεξήγηση και τη χρησιμοποίηση του πρωταρχικού υλικού της ευρείας σχετικής βιβλιογραφίας καθώς και με την ίδια τη μελέτη στο πειραματικό μέρος. Προκειμένου η εργασία να παραμείνει συνεπείς με τα παραπάνω και συγχρόνως να μην αναιρεθεί ο επιστημονικός της χαρακτήρας είχε ως συνέπεια η έκταση της να υπερβεί κατά πολύ τα συνηθισμένα.

Αρχικά παρουσιάζονται τα μεγέθη από τα οποία καθορίζεται η ηχομονωτική ικανότητα ενός κτιρίου, καθώς επίσης και οι βασικοί τρόποι υπολογισμού – προβλέψεις των τιμών των μεγεθών αυτών, είτε πρόκειται για μια εξαρχής κατασκευή ενός ηχομονωμένου χώρου είτε για την ηχομονωτική βελτίωση ενός ήδη υπάρχοντος χώρου.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι βασικοί τύποι υλικών που απαντώνται στην οικοδομική ακουστική και παρατίθενται οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητές τους, ο τρόπος εφαρμογής και ο τρόπος παρασκευής ορισμένων από αυτών. Επιπλέον, εξετάζεται η επίδραση των συγκεκριμένων υλικών στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Στόχος της παρουσίασης των υλικών είναι αφενός η κατανόηση της φύσης των υλικών που σχετίζονται με την οικοδομική ακουστική και αφετέρου η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας τους.

Στο πειραματικό μέρος, γίνεται παρουσίαση μετρήσεων ηχομόνωσης, του αερόφερτου θορύβου, που πραγματοποιήθηκαν σε τρία εν λειτουργία studio ηχογραφήσεων της Ελλάδας. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τον ηχομονωτικό σχεδιασμό του μελετητή και τους προσεγγιστικούς υπολογισμούς της θεωρίας.

Τέλος, έχοντας εξετάσει όλους τους τεχνικούς παράγοντες που εμπλέκονται στον ηχομονωτικό σχεδιασμό ενός χώρου, εξετάζεται η παράμετρος του κόστους και ελέγχεται η δυνατότητα υλοποίησης κατασκευών υψηλής ηχομονωτικής απόδοσης με χαμηλό κόστος.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Κεφάλαιο 2. Ηχομόνωση

2.1.	Διάδοση του ήχου.....	13
2.2.	Μετάδοση του ήχου μέσω διαχωριστικών πετασμάτων	14
2.3.	Καμπικά κύματα.....	15
2.3.1.	Φαινόμενο σύμπτωσης - Συχνότητα σύμπτωσης - Κρίσιμη συχνότητα.....	16
2.3.2.	Διέγερση πετάσματος από την πρόσπτωση ακουστικού κύματος και από μηχανική διέγερση.....	19
2.3.3.	Συχνότητα σύμπτωσης - οριακή συχνότητα.....	19
2.4.	Δείκτης ηχομείωσης.....	21
2.4.1.	SRI (sound reduction index).....	23
2.4.2.	STC (sound transmission class).....	24
2.4.3.	Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R_w	25
2.4.4.	Τροποποίηση του R_w	25
2.4.5.	Φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w	25
2.4.6.	Διαφορά στάθμης πίεσης D - τυποποιημένη διαφορά στάθμης $D_{n,T}$	26
2.5.	Διαδικασία μέτρησης του δείκτη ηχομείωσης σε εργαστηριακές εγκαταστάσεις.....	27
2.6.	Θόρυβος Βάθους.....	29
2.7.	Συμπεριφορά του δείκτη διάδοσης σε μονό πέτασμα.....	30
2.8.	Συγκρίσεις προβλέψεων και μετρήσεων του δείκτη διάδοσης ενός μονού ιστροπικού πετάσματος κατά Cremer, Sharp, Davy.....	33
2.9.	Τρόποι υπολογισμού του φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης, R' και του σταθμισμένου φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης, R'_w	38
2.9.1.	Υπολογισμός του φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης R'	39
2.9.2.	Γραφική μέθοδος υπολογισμού του σταθμισμένου φαινόμενου δείκτη R'_w	40
2.9.3.	Προσεγγιστική μέθοδος υπολογισμού του σταθμισμένου φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης R'_w	43
2.10.	Μέθοδοι υπολογισμού του φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης R' πριν την κατασκευή.....	44
2.10.1.	Γραφική μέθοδος υπολογισμού R'_w , πριν την κατασκευή.....	45
2.10.2.	Υπολογιστική μέθοδος του R'_w	46
2.11.	Διπλά χωρίσματα - Δείκτης ηχομείωσης διπλού χωρίσματος.....	48
2.11.1.	Οι συχνότητες συντονισμού που ορίζουν τα χαρακτηριστικά του δείκτη ηχομείωσης της διπλής τοιχοποιίας.....	49
2.11.2.1.	Σχέση πυκνότητας υαλοβάμβακα με την απόσβεση των ταλαντώσεων.....	49
2.11.2.2.	Σχέση πυκνότητα πετροβάμβακα με το δείκτη ηχομείωσης ελαφριάς διπλής τοιχοποιίας.....	51
2.12.	Δείκτης ηχομείωσης διπλών πετασμάτων κατά τη μέθοδο του Sharp.....	53
2.12.1.	Τρόποι στήριξης πετασμάτων και ο δείκτης ηχομείωσης διπλών πετασμάτων βάσει της μεθόδου Sharp.....	54
2.12.2.	Η μέθοδος υπολογισμού του δείκτη ηχομείωσης διπλής τοιχοποιίας της Ανάλυσης του Sharp (1973) βάσει σχεδιαγράμματος.....	55
2.12.3.	Παράδειγμα υπολογισμού του δείκτη ηχομείωσης διπλής τοιχοποιίας με τη μέθοδο Sharp.....	57
2.12.4.	Δείκτης ηχομείωσης διπλών πετασμάτων βάσει της ανάλυσης Davy.....	58
2.12.5.	Κατασκευαστικές προϋποθέσεις για τα διπλά χωρίσματα.....	61
2.13.	Υπολογιστική μέθοδος εύρεσης του φαινόμενου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης, R'_w , διπλής τοιχοποιίας.....	63
2.14.	Μέθοδος υπολογισμού της χαμηλότερης τάξης μηχανικού συντονισμού, f_r , διπλού πετάσματος.....	64
2.14.1.	Υπολογισμός συχνότητας συντονισμού f_r διπλών κελυφών με ελεύθερα	

2.14.2.	τοποθετημένο εύκαμπτο μονωτικό στρώμα.....	65
2.14.2.	Υπολογισμός συχνότητας συντονισμού fr διπλών κελυφών με τη σύνδεση του μονωτικού στρώματος σε όλη την επιφάνεια- επίδραση της δυναμικής ακαμψίας του υλικού.....	68
2.15.	Παράθυρα –Πόρτες.....	73
2.15.1.	Παράθυρα – οριακή συχνότητα των παραθύρων.....	74
2.15.2.	Μονό τζάμι.....	76
2.15.3.	Διπλό τζάμι.....	76
2.15.4.	Υπολογισμός του φαινομένου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης μονών και διπλών παραθύρων.....	78
2.15.5.	Πόρτες.....	81
2.16.	Μέθοδοι υπολογισμού του σύνθετου δείκτη ηχομείωσης R_{ges} , συμπεριλαμβανομένων και των ανοιγμάτων.....	83
2.16.1.	Γραφική μέθοδος για τον υπολογισμό του σύνθετου δείκτη ηχομείωσης, R_{ges} , σύνθετης τοιχοποιίας.....	83
2.16.2.	Υπολογιστική μέθοδος για τον καθορισμό του συνολικού δείκτη ηχομείωσης σύνθετης τοιχοποιίας R_{ges} βάσει των επιφανειών των επιμέρους στοιχείων.....	85
2.16.3.	Υπολογισμός του σύνθετου δείκτη ηχομείωσης με τη χρήση πίνακα.....	88
2.17.	Μετάδοση στερεόφερτου ήχου – κτυπογενή.....	92
2.17.1	Μέθοδος υπολογισμού της κανονικοποιημένης ηχητικής πίεσης του κτυπογενή ήχου, L_n	92
2.18.	Γραφική μέθοδος υπολογισμού της στάθμης του κτυπογενή ήχου.....	94
2.18.1	Διαφορές του δείκτης ηχομείωσης και της πρότυπης στάθμη κτυπογενή ήχου..	96
2.19	Μονότιμα μεγέθη κτυπογενή ήχου L'_{nT} , $L'_{n,w}$, $L'_{nT,w}$, $L_{n,sum}$, $L'_{nT,sum}$	97
2.20	Επιστρώσεις.....	101
2.20.1	Ηχομόνωση δαπέδων με επίστρωση και χωρίς επίστρωση.....	105
2.21.	Δυναμική σκληρότητα μονωτικού στρώματος – συχνότητα συντονισμού ταβανιού και μονωτικού στρώματος.....	108
2.22.	Ισοδύναμα εκτιμήσιμη, πρότυπη στάθμη ήχου βήματος $L_{n,W,eg}$	111
2.22.1	Υπολογισμός της στάθμης του κτυπογενή ήχου πριν από την κατασκευή του οικοδομήματος.....	112
2.22.2.1.	Ταβάνια με ξύλινα δοκάρια.....	115
2.22.2.2.	Υπολογισμός της ηχομόνωσης από τον κτυπογενή ήχο για τα ξύλινα δοκάρια....	116
2.23.	Ηχητικές γέφυρες.....	117
2.24.	Ασυνεχής κατασκευή (δωμάτιο σε δωμάτιο).....	119
2.25.	Ηχομονωτική Βελτιστοποίηση φέρουσας τοιχοποιίας-επενδύσεις- ψευδοροφές.....	121
2.25.1.	Πίνακες βελτίωσης του δείκτη ηχομείωσης.....	123
2.25.2.	Ψευδοροφές.....	125
2.26.	Διάδοση εξωτερικού θορύβου στο εσωτερικό ενός χώρου.....	127

Κεφάλαιο 3. Προδιαγραφές Ηχομόνωσης

3.1.	Προδιαγραφές ηχομόνωσης.....	135
3.2.	Κριτήρια προδιαγραφών των καμπύλων NR, NC, PNC, RC, NCB, RNC, BBC, IBA.....	135
3.2.1.	Καμπύλες NR (noise rating).....	136
3.2.2.	Καμπύλες NC (noise criteria).....	138
3.2.3.	Καμπύλες PNC (preferred noise criteria) και η σύγκρισή τους με τις καμπύλες NR, NC.....	139
3.2.4.	Καμπύλες RC (room criteria).....	142
3.2.5.	Καμπύλες NCB (balanced noise criteria).....	141
3.2.6.	Καμπύλες RNC (room noise criteria).....	144
3.2.7.	Καμπύλες BBC/IBA.....	147
3.2.8.	Προτεινόμενη καμπύλη θορύβου για χώρους ηχογράφησης σύμφωνα με τις προδιαγραφές του AES οργανισμού.....	150

3.3.	Πίνακες που ορίζουν τις επιθυμητές στάθμες των κριτηρίων των καμπυλών NR, NC, RC.....	154
3.4.	Επιτρεπόμενες στάθμες του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης R'_{w} και της σταθμισμένης κανονικοποιημένης στάθμης του κτυπογενή ήχου $L'_{n,w}$ βάσει το είδος του κτιρίου.....	156
3.5.	Ελληνικός Κτιριοδομικός κανονισμός.....	162

Κεφάλαιο 4. Φυσικές και Μηχανικές Ιδιότητες Υλικών. Τρόπος παραγωγής των υλικών

4.1.	Οικοδομικά υλικά.....	165
4.2.	Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των υλικών (τεχνικά χαρακτηριστικά).....	166
4.2.1.	Μέτρο ελαστικότητας / τάση εφελκυσμού.....	167
4.2.2.	Αντοχή σε θλίψη.....	170
4.2.3.	Θερμότητα / συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας.....	170
4.2.4.	Βαθμός διαπερατότητας συνολικής ενέργειας g	179
4.2.5.	Ειδική θερμότητα c (j/mK).....	179
4.2.6.	Υγρασία / Αντίσταση στην υδρατμοδιαπερότητα μ	180
4.2.7.	Ειδικό βάρος/ Η σχέση του με τη θερμοχωρητικότητα των υλικών.....	180
4.2.8.	Ξηρό φαινομενικό βάρος ή ξηρή πυκνότητα.....	182
4.2.9.1.	Πυροπροστασία-πυραντίσταση των υλικών.....	182
4.2.9.2.	Πυροπροστασία μεμονωμένων οικοδομικών υλικών(ξύλο, μπετόν, αλουμίνιο, γυαλί, πλαστικά).....	186
4.2.10.	Συντελεστής ηχοαπορρόφησης α	188
4.3.	Χημική Σύσταση των Υλικών και διαδικασίες παραγωγής τους.....	188
4.3.1.	Ξύλο (καπλαμάδες, κόντρα πλακέ, μορισσανίδα, ινόπλακες).....	188
4.3.2.	Τσιμέντο-μπετόν.....	191
4.3.3.	Αλουμίνιο	192
4.3.4.	Γυαλί (ιδιότητες, υαλόμαζα, υαλότουβλα, πολυκαρβονικά φύλλα).....	193
4.3.5.	Πλαστικά (μεμονωμένα πλαστικά).....	199
4.3.6.	Υ-Tong.....	202
4.3.7.	Τούβλα.....	203
4.3.8.	Γυφoσανίδες (ξηρά δόμηση).....	208
4.4.	Θερμομονωτικά / Ηχομονωτικά υλικά.....	210
4.4.1.	Εξηλασμένη πολυστερίνη.....	212
4.4.2.	Διογκωμένη πολυστερίνη (Φελιζόλ).....	215
4.4.3.	Ινώδη θερμομονωτικά υλικά (Υαλοβάμβακας-Πετροβάμβακας).....	220
4.4.3.1.	Υαλοβάμβακας.....	220
4.4.3.2.	Πετροβάμβακας.....	221
4.4.3.3.	Υγεία και πετροβάμβακας.....	223
4.5.	Σύγκριση πετροβάμβακα- εξηλασμένης πολυστερίνης.	226
4.6.	Περλίτης.....	231

Κεφάλαιο 5. Οικολογία των υλικών

5.1.	Οικολογία των υλικών.....	233
5.2.	Ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών.....	233
5.2.1.	Εκπομπές ρύπων των υλικών.....	236
5.2.2.	Πρώτες ύλες.....	236
5.2.3.	Ανακύκλωση.....	237
5.3.	Οικολογική συμπεριφορά μεμονωμένων οικοδομικών υλικών(ξύλο, μέταλλα, αλουμίνιο, μόλυβδος, πλαστικά, αμιάντος, γυαλί, κεραμικά, τσιμέντο, οπλισμένο σκυρόδεμα, γύψος, πέτρα).....	239
5.4.	Οικολογικές σημάνσεις.....	244

Κεφάλαιο 6 . Πειραματικό μέρος

6.1	Υπολογισμός της ηχομόνωσης του studio ηχογράφησης 1	
6.1.1.	Περιγραφή του studio 1.....	249
6.1.2.	Περιγραφή των δομικών υλικών της κάθε τοιχοποιίας του χώρου control και recording room και υπολογισμός της ηχομονωτική ικανότητα του κάθε τοίχου ξεχωριστά βάσει των κεφαλαίων 2.10.2- 2.13 – 2.16.2.	250
6.1.3.	Συχνότητες συντονισμού f_R των τοιχωμάτων.....	256
6.1.4.	Υπολογισμός του χρόνου αντήχησης του control room.....	258
6.1.5.	Διαδικασία μέτρησης της ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου από το recording στο control room	259
6.1.6.	Υπολογισμός ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου από το recording στο control room βάσει των μετρήσεων.	260
6.1.7.	Προσδιορισμός των προδιαγραφών.....	263
6.1.8.	Κοστολόγια των υλικών ηχομόνωσης.	268
6.1.9.	Παρατηρήσεις-διορθώσεις.....	270
6.2.	Υπολογισμός της ηχομόνωσης του studio ηχογράφησης 2 'Noise factory '	
6.2.1	Περιγραφή του studio "Noise factory"	271
6.2.2	Περιγραφή των δομικών υλικών της κάθε τοιχοποιίας του χώρου control και recording room και υπολογισμός της ηχομονωτική ικανότητα του κάθε τοίχου ξεχωριστά βάσει των κεφαλαίων 2.10.2- 2.13 – 2.16.2.	274
6.2.3.	Συχνότητες συντονισμού f_R των τοιχωμάτων.....	284
6.2.4.	Θόρυβος βάθους του control room.....	287
6.2.5.	Διαδικασία μέτρησης του χρόνου αντήχησης στο control room.....	290
6.2.6.	Υπολογισμός του χρόνου αντήχησης του control room.....	290
6.2.7.	Διαδικασία μέτρησης της ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου από το recording στο control room.....	291
6.2.8.	Σύγκριση της στάθμης πίεσης των μετρήσεων στο Control room με το θόρυβο βάθους.....	297
6.2.9.	Υπολογισμός ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου από το recording στο control room βάσει των μετρήσεων.....	297
6.2.10.	Συγκρίνονται πειραματικές τιμές με προδιαγραφές.....	302
6.2.11.	Κοστολογήσεις.....	306
6.2.12.	Παρατηρήσεις- διορθώσεις.....	308
6.3	Υπολογισμός της ηχομόνωσης του studio ηχογράφησης 3.	
6.3.1.	Περιγραφή του studio "Πολυφωνική"	311
6.3.2.	Περιγραφή των δομικών υλικών της κάθε τοιχοποιίας του χώρου control και recording room και υπολογισμός της ηχομονωτική ικανότητα του κάθε τοίχου ξεχωριστά βάσει των κεφαλαίων 2.10.2- 2.13 – 2.16.2.....	313
6.3.3.	Συχνότητες συντονισμού f_R των τοιχωμάτων.....	321
6.3.4.	Θόρυβος βάθους control room.....	323
6.3.5.	Διαδικασία μέτρησης χρόνου αντήχησης του control room.....	326
6.3.6.	Υπολογισμός του χρόνου αντήχησης του control room	327
6.3.7.	Διαδικασία μέτρησης της ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου από το recording στο control room.....	328
6.3.8.	Σύγκριση της στάθμης πίεσης των μετρήσεων στο Control room με το θόρυβο βάθους.....	333
6.3.9	Υπολογισμός ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου από το recording στο control room βάσει των μετρήσεων.....	334
6.3.10.	Συγκρίνονται πειραματικές τιμές με προδιαγραφές.....	339
6.3.11.	Κοστολογήσεις.....	344
6.3.12.	Παρατηρήσεις – διορθώσεις.....	345

Επίλογος και Προτάσεις για περαιτέρω συνέχιση της πτυχιακής.

Βιβλιογραφία.

Παράρτημα Α. Ηχομονωτική ικανότητα συνήθων κατασκευών

- A.1. Συνήθης κατασκευές και συγκρίσεις
- A.2. Σχήματα συνήθων κατασκευών και ο δείκτης ηχομείωσής τους
 - A.2.1. Διπλά χωρίσματα εύκαμπτων κελυφών
 - A.2.2. Πόρτες
- A.3. Κατασκευές με γυψοσανίδα, τεχνικά χαρακτηριστικά
- A.4. Επενδύσεις υπάρχουσας τοιχοποιίας
- A.5. Συστήματα ψευδοροφών
- A.6. Ενδεικτικός πίνακας τιμών του δείκτη ηχομείωσης ορισμένων κοινών οικοδομικών στοιχείων και κατασκευών.
- A.7. Εφαρμογή στη σύγκριση συνηθών κατασκευών και γενικά συμπεράσματα αναφορικά στην αξιολόγηση τους ως προς την ηχομονωτική συμπεριφορά
- A.8. Πληροφορίες δόμησης με Υ-tong και γυψοσανίδα μέσω οπτικοακουστικού υλικού.

Παράρτημα Β. Παρουσίαση προϊόντων στο ελληνικό εμπόριο

- B.1. Συστήματα ανάρτησης και αντικραδασμικά
- B.2. Υλικά για κάλυψη διάκενων, σφράγιση αρμών
- B.3. Προϊόντα ηχομονωτικά, αντικραδασμικά, ηχοαπορροφητικά

Παράρτημα Γ. Κοστολογήσεις

- Γ.1. Πετροβάμβακας- υαλοβάμβακας
- Γ.2. Γυψοσανίδες
- Γ.3 . Κατασκευές από γυψοσανίδα
- Γ.4. Διάφορα αντικραδασμικά υλικά

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Η οικοδομική ακουστική εξετάζει το πρόβλημα της διάδοσης του ήχου σε κτίρια, είτε αυτός προέρχεται από εξωτερικές πηγές θορύβου (όπως κυκλοφοριακός, αεροπορικός, κτλ) είτε από πηγές θορύβου οι οποίες δημιουργούνται στο εσωτερικό του.

Κατά το στάδιο σχεδιασμού ενός κτιρίου έχει μεγάλη σημασία να ληφθούν υπόψη οι απαιτήσεις για τον έλεγχο και τη μείωση του θορύβου μεταξύ των περιοχών, έτσι ώστε να επιτευχθεί ακουστική άνεση και καλή ηχομόνωση. Αν δε ληφθούν υπόψη στο στάδιο σχεδιασμού μπορεί μια κατά τα άλλα καλομελετημένη κατασκευή να αποτύχει να ικανοποιήσει τις ποιοτικές απαιτήσεις των χρηστών της.

Οι απαιτήσεις για τον έλεγχο και τη μείωση θορύβου υπακούουν στις προδιαγραφές και τους κανονισμούς που θέτει η κάθε χώρα.

Τα μεγέθη αξιολόγησης της ηχομόνωσης, οι συνθήκες μέτρησης καθώς και η μορφή και το περιεχόμενο των μετρήσεων για την αποτίμηση της, προκύπτουν από διεθνή και ευρωπαϊκά πρότυπα. (π.χ. ISO 140-4:1998 Ed.2 acoustics)

Οι επιθυμητές στάθμες θορύβου σε διάφορους χώρους ανάλογα με τη χρήση που προορίζονται δίνονται από τους κανονισμούς της κάθε χώρας. Στην Ελλάδα υπάρχει ο ελληνικός Κτιριοδομικός Κανονισμός.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο**, περιγράφεται ο τρόπος διάδοσης του ήχου. Εξηγείται η κατηγοριοποίηση του σε αερόφερτο και στερεόφερτο, αναφέρονται τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν την ηχομονωτική ικανότητα ενός χώρου ανάλογα με το πρότυπο που εξετάζονται (δείκτης ηχομείωσης R, SRI και L_n κανονικοποιημένη στάθμη κτυπογενή ήχου). Επιπλέον, παρουσιάζεται η μεθοδολογία προσδιορισμού τους βάσει μετρήσεων ακουστικών ποσοτήτων.

Εξηγείται ο εργαστηριακός τρόπος εξέτασης της ηχομόνωσης ενός πετάσματος και περιγράφονται οι συχνότητες συντονισμού που ορίζουν τα χαρακτηριστικά του δείκτη διάδοσης μονής και διπλής τοιχοποιίας. Δίνεται η μεθοδολογία υπολογισμού της ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου για μονές και διπλές τοιχοποιίες καθώς και η μεθοδολογία υπολογισμού της οριακής συχνότητας διπλών πετασμάτων.

Παρουσιάζονται οι μελέτες που έχουν γίνει για τα πιο κοινά οικοδομικά στοιχεία, υλικά και τα αποτελέσματα των μεγεθών παραθέτονται και συγκρίνονται μεταξύ τους με στόχο το βέλτιστο ηχομονωτικό αποτέλεσμα ανάλογα με τις ανάγκες και τη χρήση του κάθε χώρου.

Επιπλέον εξετάζεται η ηχομόνωση από τον αερόφερτο θόρυβο, όταν αυτός προέρχεται από εξωτερική πηγή από το κτίριο.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται οι προδιαγραφές ηχομόνωσης για τον έλεγχο του θορύβου που δημιουργείται στο εσωτερικό ενός χώρου βάσει διεθνών προτύπων καθώς και βάσει του ελληνικού κτιριοδομικού κανονισμού.

Το **τέταρτο κεφάλαιο** αφορά στην τεχνολογία των υλικών που χρησιμοποιούνται στην οικοδομική ακουστική. Γίνεται αναφορά στα θερμομονωτικά και ηχομονωτικά υλικά καθώς και συγκρίνονται οι λειτουργίες τους με στόχο την κατανόηση για την επιλογή των αντίστοιχων υλικών στις σχετικές κατασκευές.

Αναλύονται οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητές τους (υγρασία, θερμοαγωγιμότητα, πυροπροστασία κ.τ.λ.)

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** αναφέρεται η οικολογική συμπεριφορά των υλικών και οι παράμετροι που δηλώνουν την επίπτωσή τους στο περιβάλλον. Εξετάζονται μεμονωμένα ορισμένα συνήθη υλικά.

Το **έκτο κεφάλαιο** αφορά στο πειραματικό μέρος της εργασίας που είναι η μέτρηση της ηχομόνωσης σε τρία υπάρχοντα studio ηχογράφησης στην Ελλάδα. Γίνεται παρουσίαση του ηχομονωτικού σχεδιασμού των studio και μέσω μετρήσεων προσδιορίζεται θεωρητικά η ηχομονωτική ικανότητα που προσφέρει ο κάθε σχεδιασμός.

Εν συνεχεία, παρουσιάζονται οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν και εξάγεται η πραγματική ηχομονωτική ικανότητα που επιτεύχθηκε.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συγκρίνονται με τις προδιαγραφές, έτσι ώστε να χαρακτηριστούν τα studio ως προς την ηχομονωτική τους ικανότητα. Τέλος, αναφέρονται τυχόν διορθώσεις και παρατηρήσεις και γίνεται κοστολόγηση του ηχομονωτικού σχεδιασμού.

Στο **Παράρτημα Α** δίνονται παραδείγματα και σχήματα συνήθων κατασκευών και οικοδομικών στοιχείων με το δείκτη ηχομείωσης τους και όσον αφορά στα δάπεδα-ταβάνια δίνεται και η κανονικοποιημένη στάθμη κτυπογενή ήχου. Στόχος του μέρους αυτού είναι να χρησιμοποιηθούν τα παραδείγματα αυτά έτσι ώστε να είναι γνωστή η ηχομονωτική ικανότητα των κατασκευών –οικοδομικών στοιχείων καθώς και να αποτελέσουν μέτρο σύγκρισης με παραπλήσιες κατασκευές.

Επιπλέον παρατίθενται τα αποτελέσματα των συγκρίσεων συνήθων κατασκευών στην Ελλάδα.

Στο **Παράρτημα Β** περιγράφονται τα υλικά που χρησιμοποιούνται στο ελληνικό εμπόριο (συστήματα ανάρτησης, αντικραδασμικά υλικά και ηχοαπορροφητικά υλικά) από γνωστές εταιρίες δόμησης, έτσι ώστε ο αναγνώστης να αποκτήσει μια πρώτη επαφή με αυτά.

Στο **Παράρτημα Γ** δίνονται οι κοστολογήσεις των υλικών από αντίστοιχες εταιρίες καθώς και οι κοστολογήσεις από τους πίνακες ΑΤΟΕ (Ανάλυση Τιμολογίων Οικοδομικών Εργασιών) του Ελληνικού Κράτους.

Στην εργασία συμπεριλαμβάνονται έξι αρχεία excel.

Τα **αρχεία excel** βασίζονται σε αντίστοιχους μαθηματικούς τύπους για τον άμεσο υπολογισμό του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης των υλικών/κατασκευών και των παραθύρων, τον υπολογισμό της ηχομόνωσης βάσει της γραφικής μεθόδου και της προσεγγιστικής μεθόδου (μέσω της στάθμης πίεσης) καθώς και τον υπολογισμό του σύνθετου δείκτη ηχομείωσης μιας τοιχοποιίας και τον υπολογισμό της οριακής συχνότητας διπλών πετασμάτων. Δίνεται επίσης το αρχείο excel για τη σύγκριση με τις καμπύλες NC, NR, RC και το αρχείο για τον υπολογισμό της ηχομόνωσης στο εσωτερικό της πρόσοψης ενός κτιρίου από τον εξωτερικό θόρυβο.

Επίσης, δίνονται **δύο βίντεο** (κατασκευές με γυψοσανίδα, κατασκευές με Υ tong) με στόχο την κατανόηση του πρακτικού μέρους της εφαρμογής των υλικών.

Αρχεία Excel

Τα λογισμικά φύλλα excel¹ είναι τα ακόλουθα:



Γραφική μέθοδος υπολογισμού R'_w

Τρόπος υπολογισμού του R'_w μέσω της γραφικής μεθόδου (δύο τρόποι – τέσσερα λογισμικά φύλλα)



Υπολογισμός R'_w μέσω στάθμης πίεσης

Προσεγγιστική μέθοδος υπολογισμού R'_w – (δύο λογισμικά φύλλα).



Υπολογισμός R'_w και R_{ges}

Υπολογισμός R'_w μονής και διπλής τοιχοποιίας, R_{ges} σύνθετης τοιχοποιίας και τρόποι υπολογισμού συχνότητας συντονισμού διπλής τοιχοποιίας- (δύο λογισμικά φύλλα).



R_w παραθύρων

Υπολογισμός R_w έξι τύπων παραθύρων – (δύο λογισμικά φύλλα).



Υπολογισμός της στάθμης πίεσης στο εσωτ.

Υπολογισμός στάθμης πίεσης στο εσωτερικό της πρόσοψης ενός κτιρίου όταν η πηγή θορύβου είναι εξωτερική γραμμική ή σημειακή- (ένα λογισμικό φύλλο).



NC RC

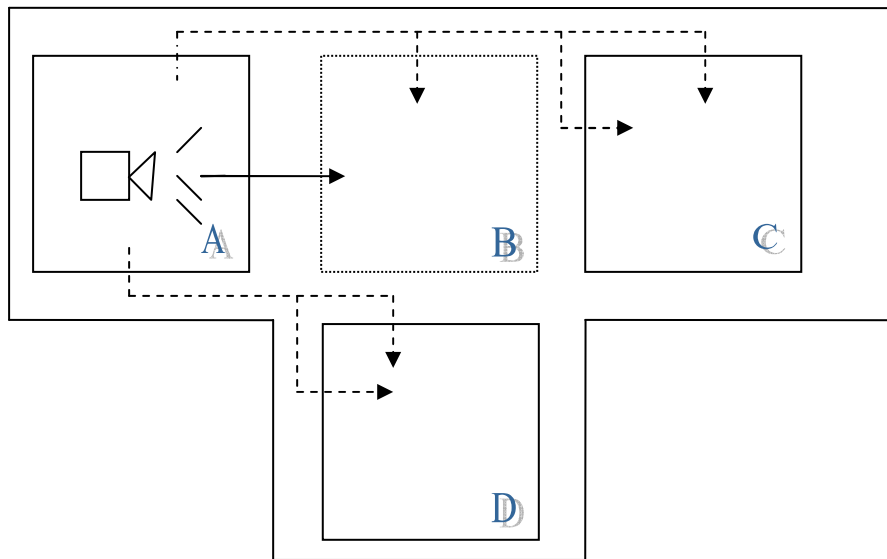
Πίνακας τιμών NC, NR, RC και σύγκριση με τιμές υποθετικής μέτρησης καθώς και τα αντίστοιχα διαγράμματα – (τέσσερα λογισμικά φύλλα).

¹ Τα αρχεία excel μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας από το κείμενο word , με διπλό κλικ πάνω στο αντίστοιχο εικονίδιο.

Κεφάλαιο 2. Ηχομόνωση

2.1. Διάδοση του ήχου

Η διάδοση του ήχου σε ένα κτίριο είναι ένα σύνθετο πρόβλημα γιατί ο ήχος μπορεί να διαδοθεί από μία περιοχή σε άλλη γειτονική περιοχή μέσω πολλών διαδρομών. Ένα απλοποιημένο σχήμα της διάδοσης του ήχου βρίσκεται παρακάτω:



Σχήμα 2.1 Σχεδιάγραμμα διάδοσης ηχητικού κύματος σε γειτονικό χώρο

- ▶ ευθύς τρόπος διάδοσης
- ▶ πλευρικός τρόπος διάδοσης

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.

Αερόφερτος ήχος

Σε ένα δωμάτιο, τα ηχητικά κύματα που διαδίδονται μέσω του αέρα (αερόφερτα) π.χ. ομιλία, ακρόαση κάποιου ηχητικού γεγονότος όπως ράδιο, τηλεόραση, παίξιμο μουσικής, προέρχονται είτε κατευθείαν από την πηγή είτε από τις ανακλάσεις των διαφόρων επιφανειών του δωματίου.

Τα αερόφερτα ηχητικά κύματα, προσπίπτουν στις διάφορες επιφάνειες του δωματίου και τις διεγείρουν. Οι επιφάνειες αυτές, οι οποίες διεγείρονται από την περιοδική ταλάντωση του αέρα, αναγκάζονται να τεθούν σε καμπτικές ταλαντώσεις και με τη σειρά τους να διεγείρουν τον αέρα σε γειτονικό χώρο. Παράγουν δηλαδή αερόφερτα ηχητικά κύματα.

Στερεόφερτος ήχος

Ακουστικά ηχητικά κύματα σε ένα δωμάτιο μπορεί να προκληθούν και από μηχανική ταλάντωση μιας πηγής ήχου π.χ. κλείσιμο πόρτας, ήχοι διαρροής ύδρευσης-θέρμανσης, καζανάκι, ηχείο τοποθετημένο απευθείας σε στερεή επιφάνεια.

Η μηχανική ταλάντωση προκαλεί καμπτικά κύματα στα διάφορα δομικά στοιχεία όπως τοίχοι, ταβάνια, πάτωμα του χώρου τα οποία με τη σειρά τους μεταφέρονται σε άλλα δομικά στοιχεία του γειτονικού χώρου. Έτσι προκαλούνται ταλαντώσεις του αέρα του γειτονικού χώρου. Ο τρόπος διάδοσης του ήχου σε αυτήν την περίπτωση είναι στερεόφερτος.

Κτυπογενής (ειδική περίπτωση του στερεόφερτου ήχου)

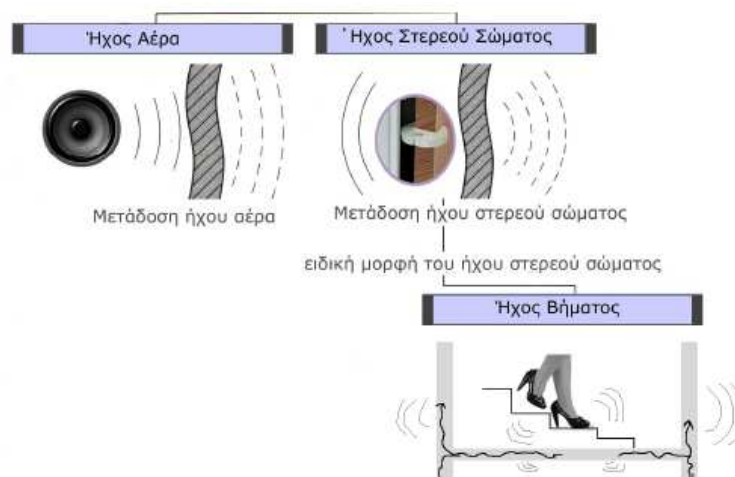
Μια ειδική περίπτωση του στερεόφερτου ήχου είναι ο κτυπογενής, ο οποίος παράγεται με απευθείας κτύπο στο διαχωριστικό στοιχείο δύο χώρων. π.χ. βάδισμα σε ένα δάπεδο, χτύπο από καρφί. Μέσω του βαδίσματος, το πάτωμα τίθεται σε καμπτικές ταλαντώσεις οι οποίες στη συνέχεια διεγείρουν τον αέρα και προκαλούν ηχητικά κύματα πάνω και κάτω από το πάτωμα. Επίσης, οι καμπτικές ταλαντώσεις μέσω του πατώματος μεταφέρονται στα υπόλοιπα δομικά στοιχεία του πάνω και κάτω χώρου, π.χ. στους τοίχους και έτσι οι τοίχοι εκπέμπουν ηχητικά κύματα.

Συνοψίζοντας, ο ήχος μπορεί να διαδοθεί από τον έναν χώρο σε έναν άλλο που δε συγγενεύουν :

- i) μέσω των ταλαντώσεων του αέρα που διεγείρει τα οικοδομικά στοιχεία, μεταφέρεται μέσω της στερεάς δομής και καταλήγει στο γειτονικό χώρο.
- ii) μέσω μηχανικής διέγερσης, που μεταφέρεται απευθείας μέσω στερεάς δομής και καταλήγει στο γειτονικό χώρο.

Ηχητικά αερόφερτα κύματα → διέγερση δομικών υλικών= καμπτικά κύματα → ηχητικά κύματα γειτονικού χώρου

Μηχανική διέγερση → διέγερση δομικών στοιχείων= καμπτικά κύματα → ηχητικά κύματα γειτονικού χώρου.



Εικόνα 2.1 Είδη μετάδοσης ήχων

Η τελική επίδραση των τριών τρόπων μετάδοσης του ήχου είναι ακουστικά ηχητικά κύματα του αέρα.

2.2. Μετάδοση του ήχου μέσω διαχωριστικών πετασμάτων

Στο απλοποιημένο σχήμα 2.1 μπορούν να γίνουν οι εξής παρατηρήσεις :

- στον χώρο της πηγής, χώρος A, το απευθείας ηχητικό πεδίο και το αντηχητικό είναι μεγαλύτερης σημασίας από ότι το ηχητικό πεδίο των

δευτερευουσών πηγών (με εξαιρέσεις όπως γυάλινες και μεταλλικές επιφάνειες που είναι πολύ ανακλαστικές)

- στις περισσότερες περιπτώσεις το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας μεταφέρεται από τον έναν χώρο στον άλλο μέσω του ενδιάμεσου τοιχώματος
- η μετάδοση του ήχου από αέρα σε στερεό παρουσιάζει μικρότερη αντίσταση από ότι η μετάδοση μεταξύ δύο στερεών (εκτός αν τοποθετηθεί υλικό απόσβεσης της μετάδοσης μεταξύ αέρα και στερεού). Επίσης, η μετάδοση του ήχου μέσω στερεάς δομής μπορεί να διανύσει πολύ μεγάλες αποστάσεις από τον χώρο που υπάρχει η πηγή.

Οι μεταδόσεις του ήχου από τον έναν χώρο στον άλλον μέσω διαδρομών διαφορετικών από το διαχωριστικό στοιχείο ονομάζονται πλευρικές.

2.3. Καμπικά κύματα

Τα στερεά συμπαγή υλικά μπορούν να υποστηρίξουν και διατμητικές τάσεις και τάσεις συμπίεσης έτσι ώστε τα εγκάρσια, στρεπτικά και διαμήκη κύματα να μπορούν να εκπεμφθούν.

Σε συμπαγής κατασκευές, στο εύρος των ακουστικών συχνοτήτων, όπως στις ατσαλένιες δοκούς ενός μεγάλου κτιρίου και οι τρεις τύποι διάδοσης κυμάτων είναι σημαντικοί.

Σε λεπτές κατασκευές όπως είναι συνήθως οι τοίχοι, η διάδοση των κυμάτων συμπίεσης είναι ελάχιστης σημασίας.

Η διάδοση ακουστικών συχνοτήτων που γίνεται μέσω του διαχωριστικού πετάσματος (τοιχοποιία) οφείλεται στα καμπικά κύματα. Τα καμπικά κύματα είναι συνδυασμός διατμητικών κυμάτων και κυμάτων συμπίεσης.

Τα καμπικά κύματα σε ένα λεπτό πέτασμα παίρνουν τη μορφή κάμψης όπως λέει και το όνομά τους, διαδίδονται παράλληλα με την επιφάνεια του πετάσματος και φέρουν ως αποτέλεσμα το εκτόπισμα της επιφάνειας. Η ταχύτητα διάδοσης των καμπικών κυμάτων αυξάνεται καθώς ο λόγος του μήκους κύματος του καμπικού κύματος προς το πάχος του πετάσματος μειώνεται. Με άλλα λόγια η ακαμψία ενός πετάσματος που αναγκάζεται σε συστροφή, κάμψη B, αυξάνεται καθώς μειώνεται το μήκος κύματος ή καθώς αυξάνεται η συχνότητα διέγερσης. Έτσι το δονούμενο πέτασμα ακτινοβολεί ακουστικά κύματα στην αντίθετη μεριά του πετάσματος.

Τα πετάσματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες : τα ιστροπικά και τα ορθοτροπικά.

Τα ιστροπικά χαρακτηρίζονται από ομοιογένεια στην ακαμψία και στις ιδιότητες των υλικών ενώ τα ορθοτροπικά χαρακτηρίζονται από μία ακαμψία η οποία ποικίλει ανάλογα με τη διεύθυνση των καμπικών κυμάτων (για παράδειγμα αυλακωτά ή ραβδωτά ατσαλένια πετάσματα).

Η ταχύτητα διάδοσης των καμπικών κυμάτων στα ιστροπικά πετάσματα δίνεται από τον τύπο :

$$C_{\beta} = \left(\frac{B \cdot \omega^2}{m} \right)^{1/4} \text{ (m/s)} \quad (2.1a)$$

Η καμπτική ακαμψία B ορίζεται ως :

$$B = \frac{E \cdot I'}{(1 - \nu^2)} = \frac{E \cdot h^3}{[12(1 - \nu^2)]} \quad (\text{kg m}^2 \text{ s}^{-2}) \quad (2.1\beta)$$

όπου

ω = κυκλική ταχύτητα (rad/sec)

h = πάχος πετάσματος (m)

ρ_m = γραμμική πυκνότητα υλικού (Kg/m³)

m = ρ_m h επιφανειακή πυκνότητα (Kg/m²)

E = μέτρο του Young (Pa)

ν = ο λόγος Poisson

I' = η διατομή second moment ανά κυβικό μέτρο, που υπολογίζεται για το πέτασμα στον ουδέτερο άξονα.

Για τα ορθοτροπικά πετάσματα δεν υφίστανται γενικοί τύποι υπολογισμού των αντίστοιχων ποσοτήτων και ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης θα πρέπει να αναζητήσει στη βιβλιογραφία τις σχέσεις υπολογισμού για τον συγκεκριμένο τύπο που τον ενδιαφέρει.

2.3.1. Φαινόμενο σύμπτωσης – Συχνότητα σύμπτωσης - Κρίσιμη συχνότητα

Όπως φαίνεται στην εξίσωση 2.1α, η ταχύτητα διάδοσης των καμπτικών κυμάτων αυξάνεται με την τετραγωνική ρίζα της συχνότητας διέγερσης. Συνεπώς υπάρχει, για κάθε πέτασμα που υποστηρίζει διατμητικές τάσεις, μία κρίσιμη συχνότητα - η οποία κάποιες φορές αναφέρεται και ως συχνότητα σύμπτωσης- στην οποία η ταχύτητα της διάδοσης των καμπτικών κυμάτων ισούται με την ταχύτητα διάδοσης των ακουστικών κυμάτων στον περιβάλλοντα χώρο. Η κρίσιμη συχνότητα, η συχνότητα δηλαδή όπου οι ταχύτητες του αερόφερτου και του στερεόφερτου κύματος είναι ίσες, δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{B}} \quad (\text{Hz}) \quad (2.2)$$

όπου c η ταχύτητα του ήχου στον αέρα.

Αντικαθιστώντας τη 2.1α στην 2.2 και χρησιμοποιώντας και την εξίσωση της ταχύτητας διαμηκών κυμάτων για δύο διαστάσεις (2.3) σε κάθε μέσο διάδοσης (στερεό-όπως το εξεταζόμενο πέτασμα-υγρό, αέριο) προκύπτει η 2.4 μαθηματική σχέση της κρίσιμης συχνότητας.

$$c_L = \sqrt{D/\rho} \quad (\text{ms}^{-1}) \quad (2.3)$$

όπου D²- η ακαμψία και

ρ - η πυκνότητα του μέσου διάδοσης.

Η κρίσιμη συχνότητα μπορεί να εκφραστεί και ως:

$$f_c = \frac{0.55 \cdot c^2}{c_L \cdot h} \quad (2.4)$$

² Σε μία άπειρη λεπτή μεταλλική πλάκα η ακαμψία D ισούται με $D_p = E/(1-\nu^2)$

όπου c_L η ταχύτητα των διαμηκών κυμάτων

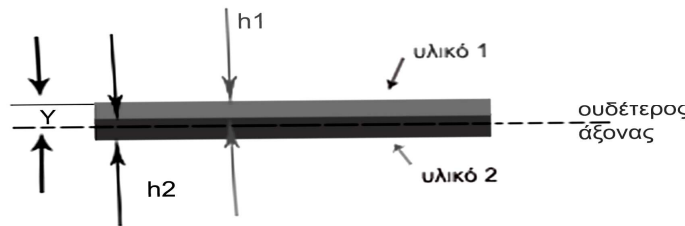
Για λεπτό μέταλλο δίνεται από την εξίσωση :

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho_m(1-\nu^2)}} \quad (2.5)$$

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις 2.1β και 2.5 η ταχύτητα του διαμήκη κύματος μπορεί να γραφτεί ως :

$$c_L = \frac{\sqrt{12}}{h} \sqrt{\frac{B}{m}} \quad (2.6)$$

Για ένα πέτασμα που αποτελείται από δύο φύλλα διαφορετικών υλικών, τα οποία είναι ερμητικά ενωμένα (όπως για παράδειγμα το θερμομονωτικό περίβλημα σωλήνων που είναι από αλουμίνιο και μόλυβδο), η καμπτική ακαμψία και η επιφανειακή μάζα στην προηγούμενη εξίσωση πρέπει να αντικατασταθεί από την ενεργό (effective) καμπτική ακαμψία B_{eff} και επιφανειακή μάζα m_{eff} . Ένα αντίστοιχο σχήμα βρίσκεται παρακάτω:



Εικόνα 2.2 Διαχωριστικό πέτασμα δύο υλικών.

Η ενεργός καμπτική ακαμψία υπολογίζεται από τη μαθηματική εξίσωση :

$$B_{eff} = \frac{E_1 h_1}{12(1-\nu_1^2)} \left[h_1^2 + 12 \left(y - \frac{h_1}{2} \right)^2 \right] + \frac{E_2 h_2}{12(1-\nu_2^2)} \left[h_2^2 + 12 \left(y - \frac{2h_1 + h_2}{2} \right)^2 \right] \quad (2.7a)$$

όπου η τοποθέτηση του ουδέτερου άξονας y δίνεται από την εξίσωση:

$$y = \frac{E_1 h_1 + E_2 (2h_1 + h_2)}{2(E_1 + E_2)} \quad (2.7b)$$

Για τις κατασκευές με διπλά κελύφη η επιφανειακή μάζα στην εξίσωση 2.6 είναι το άθροισμα των έκαστων επιφανειακών μαζών.

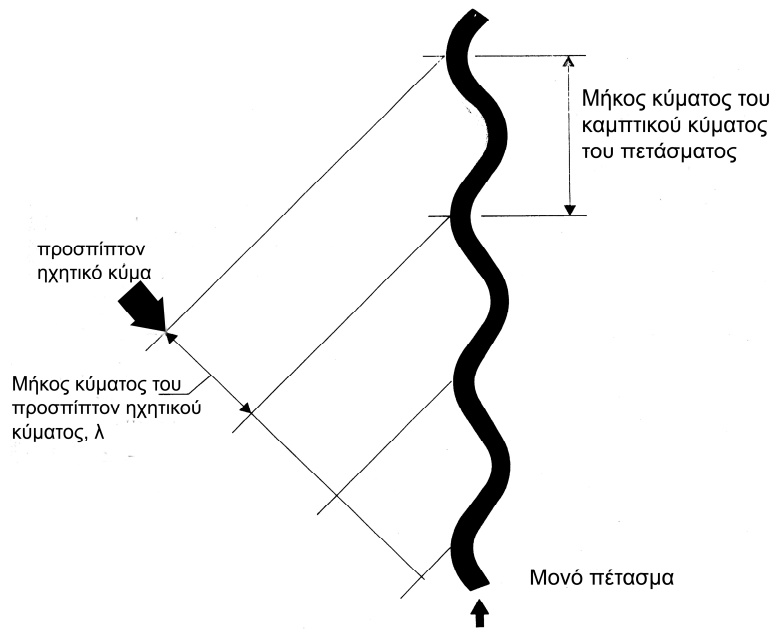
Δηλαδή

$m_{eff} = \rho_1 h_1 + \rho_2 h_2$, όπου ρ_1 και ρ_2 είναι οι πυκνότητες των αντίστοιχων υλικών.

Η κρίσιμη συχνότητα της κατασκευής του διπλού κελύφους ορίζεται ως:

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{eff}}{B_{eff}}} \quad (2.8)$$

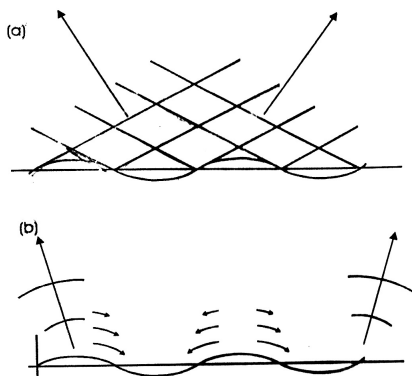
Παρακάτω ακολουθεί σχήμα του φαινομένου σύμπτωσης.



Σχήμα 2.2 Φαινόμενο σύμπτωσης.

Στην κρίσιμη συχνότητα, το μήκος του καμπτικού κύματος του πετάσματος αντιστοιχεί με το ίχνος του μήκους κύματος ενός ακουστικού κύματος σε παράλληλη (grazing) πρόσπτωση³. Όταν ένα ηχητικό κύμα προσπίπτει παράλληλα (90° – γωνία πρόσπτωσης) από οποιαδήποτε κατεύθυνση και έχει συχνότητα ίση με την κρίσιμη θα δημιουργήσει καμπτικό κύμα στο πέτασμα. Διαφορετικά, ένα πέτασμα όταν διεγείρεται σε κάμψη στην κρίσιμη συχνότητα θα εκπέμψει ένα αντιδρών (αντίστοιχο) ακουστικό κύμα.

Καθώς η γωνία πρόσπτωσης μεταξύ της διεύθυνσης του ακουστικού κύματος και του πετάσματος μικραίνει, το ίχνος του μήκους του ακουστικού κύματος στην επιφάνεια του πετάσματος μεγαλώνει. Συνεπώς, για οποιαδήποτε γωνία μικρότερη από την παράλληλη πρόσπτωση (grazing) θα υπάρχει μία συχνότητα, η οποία θα είναι ψηλότερη από την κρίσιμη, στην οποία το μήκος του καμπτικού κύματος του πετάσματος θα ταιριάζει με το ίχνος του μήκους κύματος του ακουστικού κύματος στην επιφάνεια του πετάσματος. Αυτή η συχνότητα αναφέρεται ως συχνότητα σύμπτωσης και πρέπει να σχετίζεται με μια συγκεκριμένη γωνία πρόσπτωσης ή εκπομπής του ακουστικού κύματος όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3α.



Σχήμα 2.3 Σύζευξη του ακουστικού πεδίου και του καμπτικού κύματος του πετάσματος

- (α) Στην κρίσιμη συχνότητα και πάνω από αυτήν το πέτασμα ακτινοβολεί
- (β) στις συχνότητες κάτω από την κρίσιμη, η συνεισφορά είναι τοπική. Το πέτασμα ακτινοβολεί μόνο στα όρια.

³για μία δοκό ζεύξης η οποία είναι σχεδόν παράλληλη με μία επιφάνεια, κάποιες φορές είναι πιο χρήσιμο να γίνεται αναφορά στη γωνία μεταξύ της δοκού και της επιφάνειας παρά στη γωνία μεταξύ της δοκού και του κάθετου διανύσματος στην επιφάνεια, δηλαδή στη γωνία 90° – τη γωνία πρόσπτωσης. Αυτή η γωνία αναφέρεται ως grazing angle. Όταν η πρόσπτωση έχει μικρή γωνία grazing angle ονομάζεται grazing incident-παράλληλη πρόσπτωση.

Πιο συνοπτικά ισχύει:

Το γεγονός: όταν το μήκος του ακουστικού κύματος συμπίπτει με το μήκος του καμπτικού κύματος δημιουργούνται συχνότητες σύμπτωσης. Η συχνότητα σύμπτωσης που αντιστοιχεί στη γωνία πρόσπτωσης του ακουστικού κύματος $\theta=90^\circ$, εφραπτομενικά ακουστικά κύματα, ονομάζεται κρίσιμη συχνότητα.

Το αποτέλεσμα: Σε ένα διάχυτο πεδίο, στο συχνотικό εύρος γύρω και πάνω της κρίσιμης συχνότητας, ένα πέτασμα θα ακτινοβολεί ήχο καλά. Ως φαινόμενο συντονισμού, στην περιοχή της κρίσιμης συχνότητας, η ακτινοβολία εξαρτάται πολύ από την απόσβεση του συστήματος. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται σύμπτωση και είναι πολύ σημαντικό για το δείκτη διάδοσης.

2.3.2. Διέγερση πετάσματος από την πρόσπτωση ακουστικού κύματος και από μηχανική διέγερση.

Ένα σημαντικό γεγονός που προκύπτει αφορά στη διαφορετικότητα των ηχητικών πεδίων που ακτινοβολούνται, όταν το πέτασμα διεγείρεται από την πρόσπτωση ακουστικού κύματος και όταν διεγείρεται από μια μηχανική και οριοθετημένη δύναμη. Στην προηγούμενη περίπτωση, το πέτασμα θα αναγκαστεί να αντιδράσει σε τρόπους ταλάντωσης που χαρακτηρίζονται από τα καμπτικά κύματα που έχουν μήκη κύματος ίσα με το ίχνος του προσπίπτοντος ακουστικού πεδίου. Έτσι, στις συχνότητες διέγερσης κάτω από την κατασκευαστική κρίσιμη συχνότητα, οι τρόποι ταλάντωσης που θα διεγείρονται δε θα είναι συντονισμοί επειδή τα δομικά μήκη κύματος των τρόπων ταλάντωσης θα είναι πάντα μικρότερα από τα μήκη κύματος του γειτονικού μέσου. Αυτό σημαίνει ότι η ηχητική ακτινοβολία που προέρχεται από την ακουστική διέγερση των δομικών υλικών είναι μεγαλύτερη από την ηχητική ακτινοβολία που προέρχεται από τη μηχανική διέγερση, στην ίδια στάθμη.

Μια χρήσιμη πληροφορία που προκύπτει από το παραπάνω συμπέρασμα είναι ότι η δομική απόσβεση θα επιδρά μόνο στον έλεγχο της μηχανικής διέγερσης γιατί μόνο ο δομικός συντονισμός επηρεάζεται σημαντικά από την απόσβεση.

Στις συχνότητες πολύ κάτω από την κρίσιμη συχνότητα, το μήκος κύματος του στερεόφερτου κύματος είναι μικρότερο από το μήκος του αερόφερτου κύματος και η σύζευξη κυμάτων δεν είναι εφικτή. Σε αυτήν την περίπτωση ένα απείρου μήκους πέτασμα είναι ουσιαστικά μη συζευγμένο με το προσπίπτον πεδίο. Η αναπαράσταση του φαινομένου απεικονίζεται στο σχήμα 2.3β όπου παράγονται τοπικές διαταραχές που τείνουν να αλληλοαναιρεθούν και να σβήσουν πολύ γρήγορα μακριά από το πέτασμα. Στα πετάσματα με μετρήσιμο μήκος η σύζευξη των πεδίων που ακτινοβολούνται συμβαίνει στις άκρες και στα άκαμπτα μέρη όπου οι διαταραχές δεν αλληλοαναιρούνται. Σε αυτά τα σημεία σύζευξης το πέτασμα ακτινοβολεί ήχο ή αλλιώς διεγείρεται από ηχητικό προσπίπτον πεδίο.

Η ταχύτητα των καμπτικών κυμάτων παίζει ρόλο στο δείκτη διάδοσης. Για αυτό είναι και σημαντική η διαφορά μεταξύ του ορθοτροπικού και του ιστροπικού πετάσματος.

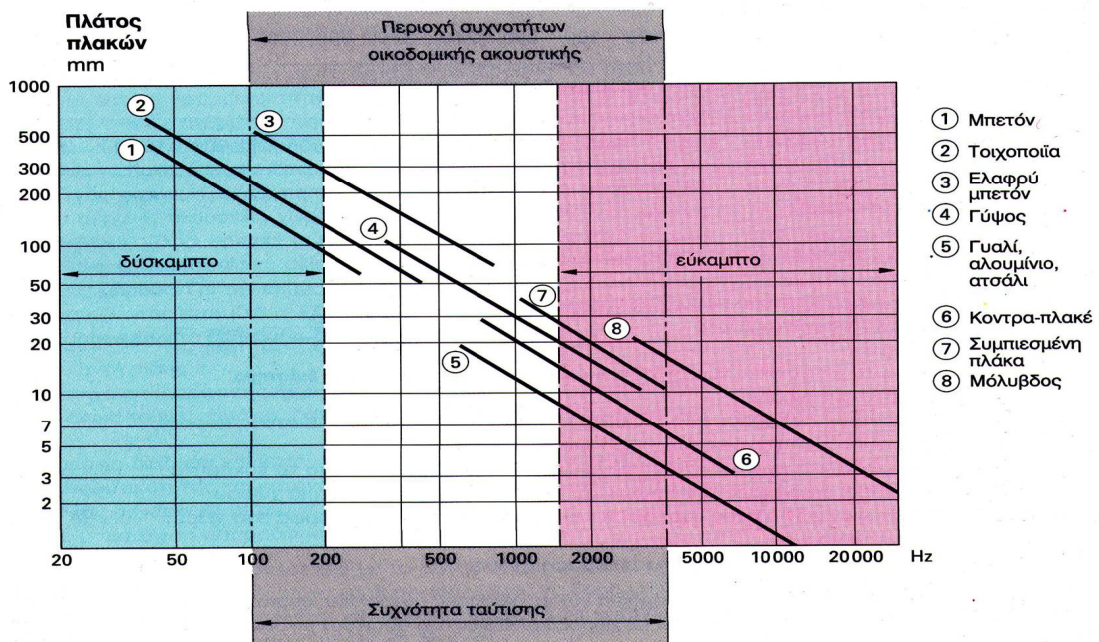
2.3.3. Συχνότητα σύμπτωσης –οριακή συχνότητα

Η συχνότητα σύμπτωσης σε άλλη βιβλιογραφία αναφέρεται και ως οριακή συχνότητα f_{Gr} . Η οριακή συχνότητα εξαρτάται από τη σχέση της επιφανειακής μάζας προς τη δυσκαμψία του υλικού.

Ο βαθμός δυσκαμψίας εξαρτάται από :

- 1.το είδος του υλικού, το μπετόν είναι πιο δύσκαμπτο από το ξύλο
- 2.το πάχος των πλακών, όσο παχύτερη είναι η πλάκα τόσο πιο δύσκαμπτη.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί απεικονίζεται η οριακή συχνότητα οικοδομικών υλικών σε συνάρτηση με το πάχος.



Σχεδιάγραμμα 2.1 Διάγραμμα συχνότητας ταύτισης οικοδομικών πλακών σε συνάρτηση με το πάχος.

Τα οικοδομικά υλικά ανάλογα με την τιμή της οριακής τους συχνότητας σε σχέση με το πάχος διακρίνονται σε δύσκαμπτα και εύκαμπτα.

Δύσκαμπτα, όταν η οριακή συχνότητα τους ανέρχεται το πολύ σε 200Hz.

Εύκαμπτα, όταν η οριακή τους συχνότητα βρίσκεται πάνω από 1800Hz.(ο όρος εύκαμπτος χαρακτηρίζεται έτσι με την ακουστική σημασία του όρου)

Σύμφωνα με τα παραπάνω η οριακή συχνότητα εκφράζεται ως:

$$f_{Gr} = \frac{60}{d} \sqrt{\frac{\rho}{E_{dyn}}} \tag{2.9}$$

όπου d = πλάτος πλακών σε m

ρ = γραμμική πυκνότητα του υλικού σε Kg/m^3

E_{dyn} = δυναμική ελαστικότητα του οικοδομικού υλικού σε MN/m^2 .

Παράδειγμα 1

τοίχος από μπετόν d= 30cm
 $f_{Gr} = 60/0,3 \sqrt{2400/48*10^3}$
 $f_{Gr} = 45 \text{ Hz} \Rightarrow$ δύσκαμπτο: $f_{Gr} < 200\text{Hz}$

Παράδειγμα 2

τοίχος με τούβλα από ασβέστη-άμμο
 d= 24cm
 $f_{Gr} = 60/0,24 \sqrt{1000/5*10^3}$
 $f_{Gr} = 112\text{Hz} \Rightarrow$ δύσκαμπτο: $f_{Gr} < 200\text{Hz}$.

Παράδειγμα 3

Γυαλί : d = 4mm
 $f_{Gr} = 60/0,004 \sqrt{2500/52*10^3}$
 $f_{Gr} = 3289\text{Hz} \Rightarrow$ δύσκαμπτο: $f_{Gr} < 1800\text{Hz}$.

Παράδειγμα 4

γυψοσανίδες: d = 10mm
 $f_{Gr} = 60/0,004 \sqrt{2500/52*10^3}$
 $f_{Gr} = 3289\text{Hz} \Rightarrow$ εύκαμπτο
 $f_{Gr} > 1800\text{Hz}$.

2.4. Δείκτης ηχομείωσης.

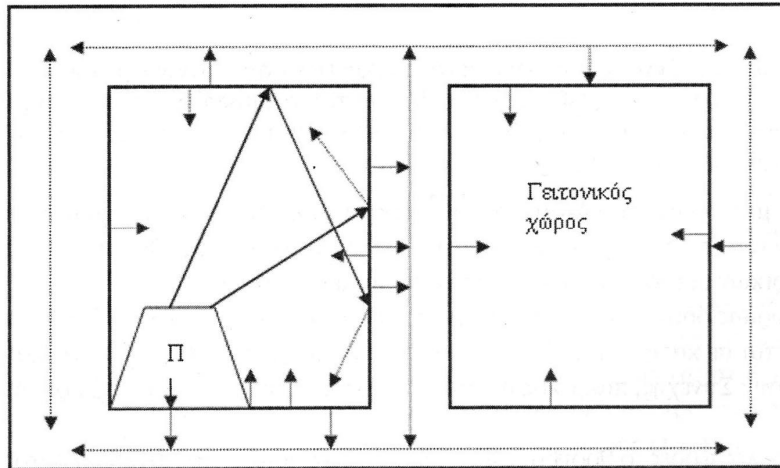
Η ένταση του διαδιδόμενου ήχου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως :

- τη συχνότητα της πηγής
- την ένταση της ηχητικής πηγής
- τη γωνία πρόσπτωσης του προσπίπτοντος κύματος στον τοίχο, πάτωμα, ταβάνι
- τις διαστάσεις του διαχωριστικού τοίχου
- τη μάζα του διαχωριστικού τοίχου
- τον τρόπο όπου τα διάφορα στοιχεία της κατασκευής συνδέονται μεταξύ τους
- το ποσοστό της απόσβεσης του πλάτους ταλάντωσης
- άλλες πλευρικές μεταδόσεις όπως αγωγοί του κλιματισμού ή ρωγμή στους σωλήνες που υπάρχουν στους τοίχους.

Επίσης, η ηχητική ενέργεια που μεταδίδεται στο δωμάτιο λήψης εξαρτάται αν:

1. έχει εισχωρήσει απευθείας στο δοκίμιο και ακτινοβολείται απευθείας από αυτό
2. έχει εισχωρήσει απευθείας στο δοκίμιο, αλλά ακτινοβολείται από την πλευρική κατασκευή.
3. έχει εισχωρήσει στην πλευρική κατασκευή και ακτινοβολείται απευθείας από το δοκίμιο
4. έχει ακτινοβολήσει στην πλευρική κατασκευή και ακτινοβολείται από αυτήν.
5. έχει μεταδοθεί (ως αερόφερτος ήχος) από ανοίγματα, αγωγούς αερισμού κλπ.

Το σχήμα που ακολουθεί είναι πιο αναλυτικό από το σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.3 Μετάδοση ηχητικού κύματος σε γειτονικό χώρο.

Η βασική μέτρηση για την ηχητική μόνωση ενός δομικού στοιχείου είναι ο δείκτης ηχομείωσης.

Όταν ένα ηχητικό κύμα προσπίπτει σε έναν τοίχο ή πέτασμα, ένα μέρος του ηχητικού κύματος θα ανακλαστεί και ένα μέρος θα μεταδοθεί μέσω του τοίχου. Το μέρος της ηχητικής ενέργειας του προσπίπτοντος κύματος που διαδίδεται ή αλλιώς ο λόγος της μεταδιδόμενης προς την προσπίπτουσα ισχύ ονομάζεται συντελεστής διάδοσης τ . Το δεκαπλάσιο του λογαρίθμου του συντελεστή διάδοσης τ , ή αλλιώς το δεκαπλάσιο του λογαρίθμου του λόγου της προσπίπτουσας ηχητικής ισχύς προς τη διαδιδόμενη ηχητική ισχύ ονομάζεται δείκτης διάδοσης και δέχεται διάφορους συμβολισμούς όπως R ή TL (transmission loss).

Δηλαδή

$$R = - 10 \log_{10} \tau \quad (2.10a)$$

$$\text{ή} \quad R = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_1^2}{P_2^2} \quad (2.10\beta)$$

όπου P_1 - η ηχητική ισχύ του προσπίπτοντος ήχου στο πέτασμα ή τοίχο και P_2 - η ηχητική ισχύ του ήχου που διαδίδεται.

Όπως προαναφέρθηκε ο δείκτης διάδοσης ανάλογα με το πρότυπο που εξετάζεται, π.χ. ISO ή το αμερικάνικο πρότυπο, έχει διαφορετικές ονομασίες.

Οι αναφορές που γίνονται στο μέγεθος του δείκτη ηχομείωσης στις βιβλιογραφίες είναι οι εξής : R ή TL , R_i , SRI (sound reduction index), STL (sound transmission loss), STC (sound transmission class), σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R_w (weighted). Πιο περιγραφική αναφορά των αντίστοιχων συμβολισμών γίνεται παρακάτω. Υπάρχουν και άλλα μεγέθη που περιγράφουν την ηχομονωτική ικανότητα ενός πετάσματος όπως ο θόρυβος μείωσης NR ο οποίος περιγράφεται παρακάτω.

Κατά τη μέτρηση της ηχομόνωσης γίνεται διαχωρισμός μεταξύ δύο μεγεθών.

- i) του δείκτη ηχομείωσης R και
- ii) του φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης R' .

Το μέγεθος R χρησιμοποιείται για μετρήσεις ηχομόνωσης που δε λαμβάνονται υπόψη οι πλευρικές μεταδόσεις από τους τοίχους, τα ταβάνια, τα πατώματα. Είναι δηλαδή οι εργαστηριακές μετρήσεις του εξεταζόμενου πετάσματος.

Το μέγεθος R' χρησιμοποιείται για μετρήσεις ηχομόνωσης του εξεταζόμενου πετάσματος, λαμβάνοντας υπόψη και τις πλευρικές μεταδόσεις του ήχου από τους τοίχους, τα ταβάνια και τα πατώματα.

Όταν στα μεγέθη R και R' βρίσκεται ο δείκτης w , δηλαδή R_w και R'_w , εννοείται το μονότιμο μέγεθος, η μία τιμή που αντιπροσωπεύει όλο το δείκτη διάδοσης σε όλο το συχνοτικό φάσμα. Οι αντίστοιχες ονομασίες των μονότιμων μεγεθών είναι:

- i) R_w – σταθμισμένος δείκτης διάδοσης
- ii) R'_w – σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης διάδοσης

2.4.1. SRI (sound reduction index)

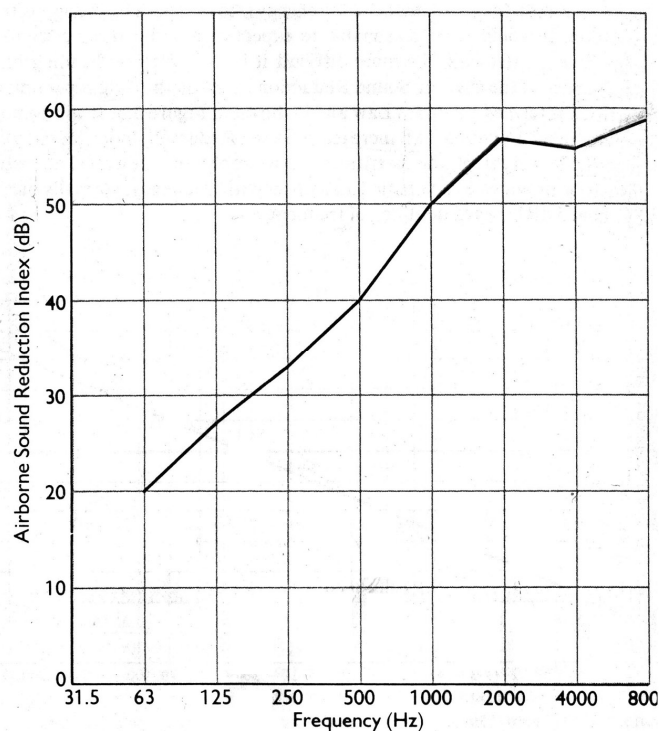
Το μέγεθος SRI (sound reduction index), ίδιο με R_w , εκφράζεται μέσω της μαθηματικής εξίσωσης:

$$SRI = \log_{10} \frac{W_i}{W_t} \text{ (dB)} \tag{2.11}$$

όπου W_i - η ηχητική ενέργεια που προσπίπτει στη μία μεριά του πετάσματος και W_t - η ηχητική ενέργεια που διαδίδεται στον αέρα από την άλλη μεριά του πετάσματος.

Ο SRI ονομάζεται και STL (sound transmission loss). Όταν ένας τοίχος έχει υψηλό SRI τότε η ενέργεια που μεταφέρεται στον άλλο τοίχο είναι πολύ μικρή. Για παράδειγμα, αν ένας τοίχος έχει SRI 60dB η ηχητική ενέργεια που διαδίδεται στην άλλη πλευρά του τοίχου έχει το 1 εκατομμυριοστό της προσπίπτουσας ηχητικής ενέργειας.

Μία απεικόνιση του SRI βρίσκεται παρακάτω:



Σχεδιάγραμμα 2.2 Διάγραμμα δείκτη ηχομείωσης SRI σε σχέση με τη συχνότητα. (125mm παχύ τούβλο, σοβατισμένο και στις δύο μεριές με επιφανειακή μάζα 145Kg/m²)

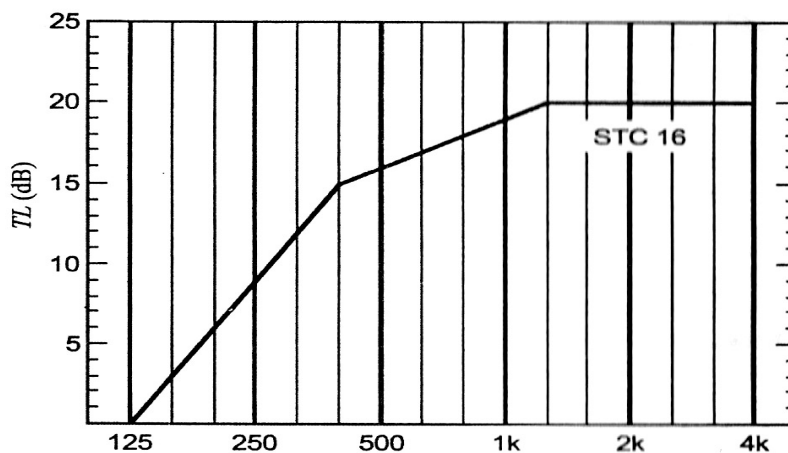
Όπως προαναφέρθηκε, τα χαρακτηριστικά της ηχομόνωσης ενός πετάσματος εξαρτώνται από τη συχνότητα του προσπίπτοντος ήχου. Σύμφωνα με το σχεδιάγραμμα 2.2 η ηχομόνωση είναι σχετικά μικρή στις χαμηλές συχνότητες και υψηλή στις ψηλές συχνότητες. Για πιο περιεκτική περιγραφή της ηχομόνωσης ενός πετάσματος είναι χρήσιμο να εκφράζεται ο SRI σε διάφορες συχνότητες, συνήθως σε μπάντες οκτάβας ή τριτοκτάβας.

Όταν γίνεται αναφορά σε τυπικά πετάσματα είναι σύνηθες να χρησιμοποιείται ο μέσος όρος του SRI για τριτοκτάβες, στο συχνотικό εύρος από 100-3150 Hz, ο οποίος είναι σχετικά πολύ όμοιος με τη τιμή στα 500Hz.

2.4.2. STC (sound transmission class)

Στην πράξη είναι θεμιτό να δίνεται μία τιμή για τον δείκτη ηχομείωσης ενός πετάσματος για λόγους διευκόλυνσης (ASTM E90-66T). Έτσι ορίστηκε ο STC (sound transmission class). Ο STC, ίδιο με R_w , βασίζεται στις τριτοκτάβες του δείκτη ηχομείωσης στο συχνотικό εύρος 124-4000Hz και προέρχεται από το αμερικάνικο σύστημα μέτρησης της ηχομείωσης.

Για να οριστεί το μέγεθος αυτό για ένα πέτασμα χρησιμοποιείται μία καμπύλη, καμπύλη αναφοράς, για να προσαρμοστούν οι πληροφορίες (δεδομένα) που έχουν υπολογιστεί από τριτοκτάβες του δείκτη διάδοσης TL. Το παρακάτω σχεδιάγραμμα δείχνει μια τυπική STC καμπύλη.



Σχεδιάγραμμα 2.3 Καμπύλη STC για τριτοκτάβες

Η καμπύλη αποτελείται από τρία ευθύγραμμο τμήματα για το συχνотικό εύρος από 125-4000Hz.

Το πρώτο ευθύγραμμο τμήμα ξεκινάει από τα 125-400Hz με αύξηση 15dB.

Το δεύτερο από 400-1250 Hz με αύξηση 5dB και το τρίτο είναι το παράλληλο ευθύγραμμο τμήμα ως προς τον άξονα των συχνοτήτων, από πού εκτείνεται από 1250-4000Hz.

Η βαθμονόμηση του STC του πετάσματος, προσδιορίζεται σχεδιάζοντας την καμπύλη μετρήσεων σε φίλτρο τριτοκτάβας του δείκτη διάδοσης TL του πετάσματος και συγκρίνοντάς το με την καμπύλη STC. Η καμπύλη STC μεταβάλλεται μέχρι να τηρηθούν οι επόμενες προϋποθέσεις.

1. Η καμπύλη του δείκτη ηχομείωσης πρέπει να ταιριάζει με το ψηλότερο περίγραμμα του STC έτσι ώστε το συνολικό άθροισμα των αρνητικών αποκλίσεων μεταξύ του περιγράμματος και των τιμών των τριτοκτάβων του δείκτη ηχομείωσης (και για τις 16 μπάντες) που είναι κάτω από το περίγραμμα να μην ξεπερνάει τα 32 dB.

2. Κάθε τριτοκτάβα του δείκτη ηχομείωσης κάτω από το περίγραμμα της STC να μην είναι πάνω από 8db .

Όταν το περίγραμμα της STC μεταβάλλεται για να εκπληρωθούν αυτά τα κριτήρια, η τιμή που προσδιορίζει την καμπύλη STC π.χ. STC 16 ή STC 44 δίνεται από την τιμή που έχει η STC καμπύλη στα 500Hz.

2.4.3. Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R_w .

Αυτό το μέγεθος, στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι αριθμητικά το ίδιο με την τιμή του STC και προέρχεται από το ευρωπαϊκό σύστημα μέτρησης της ηχομείωσης (BS5821:1984). Η διαφορά μεταξύ των δύο συστημάτων είναι ότι η καμπύλη του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης R_w καλύπτει το συχνοτικό εύρος από 100-3150Hz ενώ η καμπύλη του STC καλύπτει το συχνοτικό εύρος από 125-4000Hz.

2.4.4. Τροποποίηση του R_w

Η ISO μέθοδος δίνει επίσης μια τροποποίηση του R_w (συνήθως κατώτερη) για διαφορετικά είδη προσπίπτοντος ήχου, καθώς συμπεριλαμβάνει σε αυτόν κάποιους διορθωτικούς παράγοντες. Ο διορθωτικός παράγοντας C χρησιμοποιείται για προσπίπτοντα ηχητικά κύματα που προέρχονται από ζωντανές δραστηριότητες όπως ομιλία, μουσική, τηλεόραση, ραδιόφωνο, μεσαία και υψηλή ταχύτητα σιδηρόδρομου, οδικού θορύβου ταχύτητας 80 χλ/ώρα, αεροσκάφη Jet για μικρές αποστάσεις και εργοστάσια που εκπέμπουν μεσαίες και υψηλές συχνότητες. Ο διορθωτικός παράγοντας C_{tr} χρησιμοποιείται για προσπίπτον ηχητικά κύματα που προέρχονται από αστικούς οδικούς θορύβους, χαμηλής ταχύτητας σιδηροδρόμων, αεροσκάφη με προπέλα, jet αεροσκάφη σε μακριές περιοχές, μουσική νυχτερινών μαγαζιών και εργοστάσια που εκπέμπουν μεσαίες και χαμηλές συχνότητες.

Για την οικοδομική ακουστική, ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R_w γράφεται $R_w (C;C_{tr})$ για παράδειγμα 39(-2; -6)dB.

Στις προδιαγραφές ενός κτιρίου χρησιμοποιείται ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w και γράφεται με ένα φασματικό διορθωτικό όρο σαν άθροισμα $R'_w + C_{tr} > 47$. Οι διορθωτικοί όροι C και C_{tr} υπολογίζονται από τον πίνακα 2.1 και από τις παρακάτω εξισώσεις :

$$C = -10 \log_{10} \sum 10^{(L_{i,1} - R_i)/10} - R_w \quad (2.12a)$$

$$C_{tr} = -10 \log_{10} \sum 10^{(L_{i,2} - R_i)/10} - R_w \quad (2.12\beta)$$

όπου $L_{i,1}$ και $L_{i,2}$ - βρίσκονται στον πίνακα 2.1 για τριτοκτάβες και οκτάβες, R_i - είναι ο δείκτης ηχομείωσης για συχνοτικό εύρος i και N - ο αριθμός οκτάβων που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του R_w (οκτάβες ή τριτοκτάβες).

Κεντρική συχνότητα	$L_{i,1}$ 1/3 οκτάβας	$L_{i,1}$ Οκτάβα	$L_{i,2}$ 1/3 οκτάβας	$L_{i,2}$ Οκτάβα
50	-41		-25	
63	-37	-32	-23	-18
80	-34		-21	
100	-30		-20	
125	-27	-22	-20	-14
160	-24		-18	
200	-22		-16	
250	-20	-15	-15	-10
315	-18		-14	
400	-16		-13	
500	-14	-9	-12	-7
630	-13		-11	
800	-12		-9	
1000	-11	-6	-8	-4
1250	-10		-9	
1600	-10		-10	
2000	-10	-5	-11	-6
2500	-10		-13	
3150	-10		-15	
4000	-10	-5	-16	-11
5000	-10		-18	

Πίνακας 2.1 Τιμές των μεγεθών $L_{i,1}$ και $L_{i,2}$.

Αν και ο πίνακας δίνει τιμές για το συχνοτικό εύρος 50-5000Hz συνήθως το συχνοτικό εύρος που χρησιμοποιείται είναι από 100Hz μέχρι 3150Hz. Σε αυτήν την περίπτωση οι τιμές του πίνακα για το $L_{i,1}$ πρέπει να αυξηθούν κατά 1 dB.

Υπάρχει ακόμα ένας δείκτης ο OITC(Outdoor-Indoor Transmission Class) και περιγράφεται στο ASTM E 1332-90 (1998). Ωστόσο οι έρευνες έχουν δείξει ότι δεν είναι τόσο χρήσιμος όσο οι δείκτες STC και R_w . ([1]Davy, 2000).

2.4.5. Φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w ορίζεται ως το δεκαπλάσιο του δεκαδικού λογαρίθμου του λόγου της προσπίπτουσας στο διαχωριστικό πέτασμα προς την ολική ηχητική ισχύ που μεταδίδεται στο δωμάτιο λήψης. Και όπως προαναφέρθηκε είναι ένα μέγεθος που δείχνει την ηχομόνωση μιας δομικής κατασκευής λαμβάνοντας υπόψη και τις πλευρικές μεταδόσεις.

2.4.6. Διαφορά στάθμης πίεσης D - τυποποιημένη διαφορά στάθμης $D_{n,T}$

Άλλο ένα μέγεθος που χρησιμοποιείται στις επιτόπιες μετρήσεις ηχομόνωσης είναι η διαφορά στάθμης D .

Το μέγεθος D , εκφράζει τη διαφορά της ισοδύναμης στάθμης χωρικής μέσης ηχητικής πίεσης του δωματίου λήψης και του δωματίου εκπομπής, όταν στο δωμάτιο εκπομπής λειτουργεί μία ή περισσότερες ηχητικές πηγές.

$$D = L_1 - L_2 \quad (2.13\alpha)$$

Όπου L_1 - η ισοδύναμη στάθμη χωρικής μέσης ηχητικής πίεσης στο δωμάτιο εκπομπής

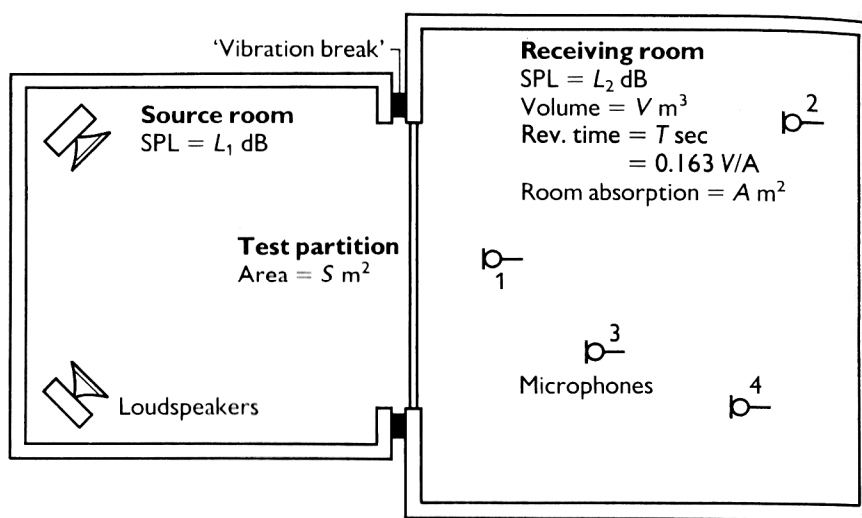
L_2 - η ισοδύναμη στάθμη χωρικής μέσης ηχητικής πίεσης στο δωμάτιο λήψης.

Το μέγεθος D_{nT} , χαρακτηρίζεται ως τυποποιημένη διαφορά στάθμης και ορίζει τη διαφορά στάθμης η οποία αντιστοιχεί σε μια τιμή αναφοράς του χρόνου αντήχησης στο δωμάτιο λήψης.

$$D_{nT} = D + 10 \cdot \log_{10} \frac{T}{T_0}, \quad T_0 = 0.5 \text{ sec (για κατοικίες- γραφεία)} \quad (2.13\beta)$$

2.5. Διαδικασία μέτρησης του δείκτη ηχομείωσης σε εργαστηριακές εγκαταστάσεις

Όλες οι μέθοδοι βαθμονόμησης βασίζονται σε ακριβείς μετρήσεις του δείκτη ηχομείωσης. Τέτοιες μετρήσεις πρέπει να γίνονται σε εργαστηριακές εγκαταστάσεις σύμφωνα με τις απαιτήσεις του BS2750;1980 ή του ISO R140-1978. Αυτές οι μετρήσεις είναι αντιπροσωπευτικές για κάθε δοκιμαστικό πέτασμα και επιπλέον ελαχιστοποιούν τις πλευρικές μεταδόσεις (flanking paths) που υπάρχουν. Μία τυπική διάταξη εργαστηριακής εγκατάστασης δίνεται παρακάτω:



Σχήμα 2.4 Εργαστηριακές μετρήσεις του δείκτη ηχομείωσης R.

Το δοκιμαστικό πέτασμα τοποθετείται σε έναν ανοικτό χώρο ανάμεσα σε δύο αντηχητικά δωμάτια, σχεδιασμένα για τέτοιου είδους μετρήσεις. Ο θόρυβος εκπέμπεται από το ένα δωμάτιο (δωμάτιο εκπομπής) και μέρος της ηχητικής ενέργειας διαδίδεται μέσω του δοκιμαστικού πετάσματος στο άλλο δωμάτιο (δωμάτιο λήψης).

Στις εργαστηριακές εγκαταστάσεις, η ηχητική στάθμη στο δωμάτιο εκπομπής είναι L_1 , το διαχωριστικό πέτασμα έχει επιφάνεια S (m^2) και η ηχητική στάθμη στο δωμάτιο λήψης είναι L_2 . Επιπλέον, το δωμάτιο λήψης έχει όγκο V (m^3) και χρόνο αντήχησης T_a (sec). Τότε ισχύει:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log_{10} S + 10 \log_{10} \frac{T}{0.163 \cdot V} \quad (2.14)$$

Οι μετρήσεις αυτές γίνονται σε διαστήματα τριτοκτάβας.

Ο δείκτης διάδοσης του προσπίπτοντος πεδίου, σύμφωνα με την παραπάνω εργαστηριακή μέθοδο, μπορεί να οριστεί και διαφορετικά χρησιμοποιώντας τις εξής μετρούμενες ποσότητες:

- το θόρυβο μείωσης NR
- τη σταθερά δωματίου λήψης
- την απορρόφηση Sabine του δωματίου λήψης.

Το αποτέλεσμα του μέσου όρου της στάθμης της ηχητικής πίεσης (μακριά από την ηχητική πηγή) στα δωμάτια εκπομπής και λήψης μετρούνται και η διαφορά στη στάθμη ονομάζεται θόρυβος μείωσης, NR.

$$\text{Η σταθερά δωματίου λήψης } R = \frac{S \cdot a}{1 - a} \quad (2.15)$$

ορίζεται είτε με τη χρήση μιας standard πηγής ηχητικής δύναμης είτε από τη μέθοδο μετρήσεων της πτώσης του χρόνου αντήχησης.⁴

Η δύναμη που διαδίδεται μέσω του τοίχου, W_t , δίνεται από την ενεργό ένταση του διάχυτου πεδίου, I , πολλαπλασιασμένη με την περιοχή A του διαχωριστικού πετάσματος και με το κλάσμα της ενέργειας που διαδίδεται τ .

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση για την ενεργό δύναμη που διαδίδεται σε μία

$$\text{διεύθυνση στο διάχυτο πεδίο δηλαδή, } I = \frac{\langle p^2 \rangle}{4\rho c} \quad (2.16)$$

η δύναμη που διαδίδεται μπορεί να γραφτεί :

$$W_t = \frac{\langle p_i^2 \rangle A_\tau}{4\rho c} \quad (2.17)$$

- όπου
- W_t - η δύναμη που διαδίδεται
 - P_i - η μέση χωρική πίεση που προσπίπτει
 - A - η περιοχή του διαχωριστικού πετάσματος
 - τ - η ενέργεια που διαδίδεται
 - ρc - χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση

Το τετράγωνο της χωρικής ηχητικής πίεσης του δωματίου λήψης λόγω του αντηχητικού πεδίου είναι :

$$\langle p_r^2 \rangle = \frac{4W_t \rho c (1 - \bar{a})}{S \cdot \bar{a}} \quad (2.18)$$

Αντικαθιστώντας με την εξίσωση 2.17 προκύπτει:

⁴ Η μέθοδος υπολογισμού του χρόνου αντήχησης περιγράφεται στο πειραματικό μέρος της εργασίας.

$$\langle p_r^2 \rangle = \frac{\langle p_i^2 \rangle A_\tau (1 - \bar{\alpha})}{S \cdot \bar{a}} \quad (2.19)$$

και τελικά ο θόρυβος μείωσης ορίζεται μαθηματικά ως:

$$NR = 10 \log_{10} \frac{\langle p_i^2 \rangle}{\langle p_r^2 \rangle} = TL - 10 \log_{10} \frac{A(1 - \bar{\alpha})}{S \cdot \bar{a}} \quad (2.20)$$

Στα αντηχητικά εργαστηριακά δωμάτια που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του δείκτη διάδοσης, το \bar{a} είναι πάντα μικρότερο του 0.1. Έτσι το κλάσμα $\frac{S \cdot \bar{a}}{1 - \bar{a}}$ μπορεί να προσεγγιστεί σε $S \cdot \bar{a}$. Η εξίσωση 2.20 μπορεί να αναδιατυπωθεί και ο δείκτης διάδοσης να εκφραστεί με τη μορφή που χρησιμοποιείται πιο κοινά στις εργαστηριακές μετρήσεις:

$$TL = NR + 10 \cdot \log_{10} \frac{A}{S \cdot a} \quad (\text{dB}) \quad (2.21)$$

όπου,

$S \cdot \bar{a}$ - είναι η απορρόφηση Sabine του δωματίου λήψης συμπεριλαμβανομένου και αυτόν που έχουν χαθεί από το διαχωριστικό πέτασμα
 A - η περιοχή του διαχωριστικού πετάσματος .

Το S και \bar{a} είναι αντίστοιχα η συνολική επιφάνεια του δωματίου λήψης συμπεριλαμβανομένου και του πετάσματος και ο μέσος συντελεστής απορρόφησης συμπεριλαμβανομένου του πετάσματος.

2.6. Θόρυβος Βάθους

Θόρυβος βάθους (background noise level) ονομάζεται ο θόρυβος που προέρχεται από όλες τις πηγές που δεν έχουν σχέση με τον ήχο που αποτελεί αντικείμενο ενδιαφέροντος. (ΕΛΟΤ 263.1)

Για την αξιολόγηση του θορύβου βάθους οι μετρήσεις γίνονται σε τριτοκτάβες, συνήθως σε dB(A).

Για τη μέτρηση της μέσης στάθμης θορύβου βάθους χρησιμοποιείται η ισοδύναμη στάθμη ηχητικής πίεσης L_{eq} . Το μέγεθος αυτό μπορεί να οριστεί είτε σε ζώνες οκτάβας, είτε συνολικά σε dB(A).

Η μαθηματική του έκφραση είναι η εξής:

$$L_{eq} = 10 \cdot \log_{10} \frac{p_{eq}^2}{p_o^2} = 10 \cdot \log_{10} \frac{\frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} p \cdot p dt}{p_o^2} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0.1L} \cdot dt \right) \quad (2.22)$$

Παρόλο που δεν είναι εύχρηστος ο υπολογισμός του μεγέθους, με τη χρήση συγκεκριμένων οργάνων μπορεί να υπολογιστεί κατευθείαν το L_{eq} στο διάστημα των μετρήσεων.

Η ισοδύναμη στάθμη ηχητικής πίεσης L_{eq} χρησιμοποιείται από πολλές προδιαγραφές με σκοπό τη μέτρηση της ηχομόνωσης (μέτρηση της ηχητικής πίεσης) σε διάφορα σημεία.

Παρατήρηση:

Προσοχή πρέπει να δίνεται κατά τη διάρκεια των μετρήσεων της ηχομόνωσης, μεταξύ της στάθμης πίεσης του θορύβου βάθους του δωματίου λήψης και της στάθμης πίεσης του δωματίου λήψης.

Είναι θεμιτό ο θόρυβος βάθους να είναι 6dB (καλύτερα 10 dB) χαμηλότερος από τη στάθμη πίεσης του δωματίου λήψης κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Όταν η στάθμη του θορύβου βάθους είναι ψηλή και συγκρίσιμη με τη στάθμη πίεσης του προς μέτρηση θορύβου, πρέπει να γίνονται κάποιες διορθώσεις.

Οι διορθώσεις γίνονται στον υπό μέτρηση θόρυβο, αφαιρώντας κάποια τιμή σε dB από αυτόν, ανάλογα με τη διαφορά των dB μεταξύ της μέτρησης και του θορύβου βάθους.

Για ακριβείς μετρήσεις χρησιμοποιείται ο πίνακας 2.2.α ενώ για λιγότερο ακριβείς μετρήσεις χρησιμοποιούνται οι διορθώσεις του πίνακα 2.2.β.

Πίνακας 2.2.α		Πίνακας 2.2.β	
Διαφορά σε dB μεταξύ της μέτρησης και του θορύβου βάθους	Διόρθωση σε dB (αφαιρείται από τη μέτρηση)	Διαφορά σε dB μεταξύ της μέτρησης και του θορύβου βάθους	Διόρθωση σε dB (αφαιρείται από τη μέτρηση)
6	-1,3	3	-3
7	-1	4-5	-2
8	-0,8	6-9	-1
9	-0,6		
10	-0,4		
11	-0,3		
12	-0,3		
13	-0,2		
14	-0,2		
15	-0,1		

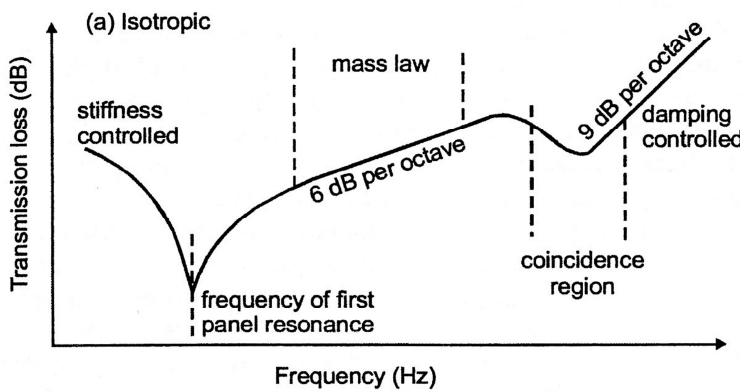
Πίνακες 2.2 α και 2.2.β Διορθώσεις σε dB μεταξύ της μέτρησης της στάθμης πίεσης και του θορύβου βάθους του δωματίου λήψης.

2.7. Συμπεριφορά του δείκτη διάδοσης σε μονό πέτασμα.

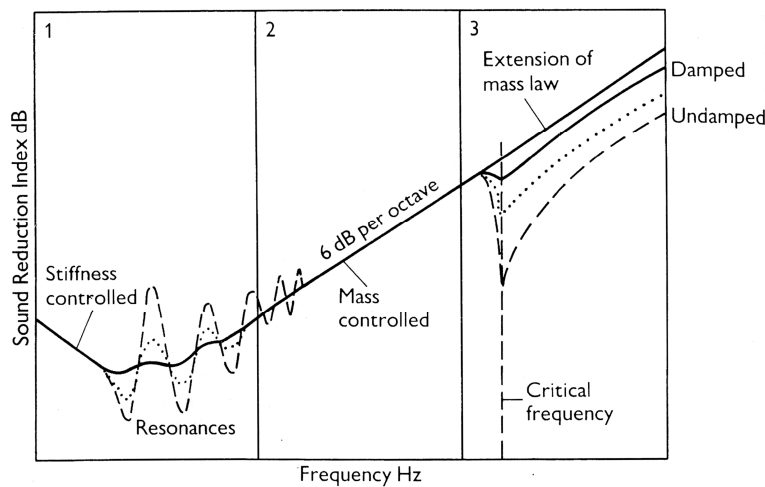
Είναι σημαντική η κατανόηση της γενικής συμπεριφοράς του δείκτη διάδοσης ενός μονού συμπαγές διαχωριστικού πετάσματος (ισοτροπικό) στο εύρος των ακουστικών συχνοτήτων.

Μονό συμπαγές πέτασμα θεωρείται αυτό που έχει και τις δύο επιφάνειες στερεά συνδεδεμένες. Ταλαντεύεται δηλαδή ως ενιαίο σώμα. Τέτοιο παράδειγμα αποτελούν τα ομογενή πετάσματα από τούβλο, ασβεστόπλακα, γυψοσανίδα, τσιμέντο. Οι κατασκευές sandwich, οι κατασκευές που αποτελούνται από στρώσεις διαφορετικών υλικών, μπορούν επίσης να θεωρηθούν σα μονό πέτασμα αν είναι στερεά ενωμένα μεταξύ τους και κινούνται ως ενιαίο σώμα.

Μια εικονογράφηση μιας τυπικής συμπεριφοράς δίνεται στα σχεδιαγράμματα 2.4α 2.4β, όπου διάφορα χαρακτηριστικά του συχνοτικού εύρους είναι ενδεικτικά.



Σχεδιάγραμμα 2.4α
Δείκτης διάδοσης μονού ιστροπικού πετάσματος σε σχέση με τη συχνότητα.



Σχεδιάγραμμα 2.4β
Χαρακτηριστικά του δείκτη ηχομείωσης μονού ιστροπικού πετάσματος σε σχέση με τη συχνότητα.

Η γενική συμπεριφορά του δείκτη διάδοσης ενός μονού πετάσματος χωρίζεται σε τρεις περιοχές. Ανάλογα την περιοχή, ελέγχεται από τους εξής παράγοντες:

Περιοχή 1^η : την ακαμψία και τους συντονισμούς

Περιοχή 2^η : το νόμο μάζας

Περιοχή 3^η : το φαινόμενο σύμπτωσης και την εσωτερική απόσβεση του συστήματος. Η ακαμψία του πετάσματος επηρεάζει και την τρίτη περιοχή.

Ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει το δείκτη διάδοσης είναι ο τρόπος στήριξης του πετάσματος.

Περιοχή 1^η

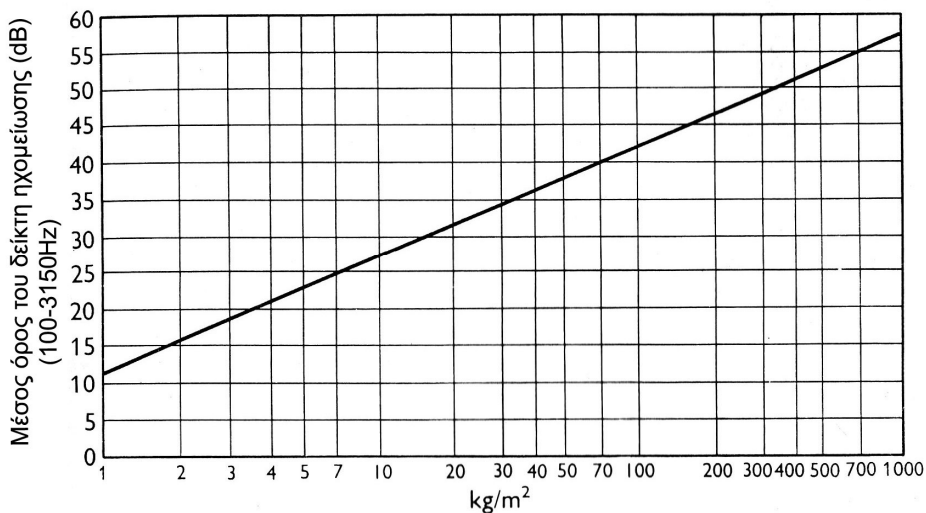
Στις χαμηλές συχνότητες ο δείκτης διάδοσης ελέγχεται από την ακαμψία του πετάσματος. Στις συχνότητες αυτές το πέτασμα τείνει να κινείται σα μια μεμβράνη που παρουσιάζει καμπτικές κινήσεις. Όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση στις καμπτικές κινήσεις, όσο δηλαδή το πέτασμα είναι περισσότερο άκαμπτο, τόσο πιο

ψηλά θα βρίσκεται ο δείκτης διάδοσης. Για αυτό το λόγο τα ελαφριά πετάσματα, όπως το πλαστικό ή τα πετάσματα με κυψελοειδή μορφή όπου η κυφέλες είναι άκαμπτες, συνήθως έχουν πολύ καλό δείκτη ηχομείωσης στις χαμηλές συχνότητες. Ωστόσο αυτά τα υλικά παρουσιάζουν πολύπλοκους συντονισμούς που τείνουν να ελαττώνουν την απόδοσή τους ηχομονωτικά στις μεσαίες συχνότητες. Στη συχνότητα του πρώτου συντονισμού του πετάσματος, η διάδοση του ήχου είναι μεγάλη και τότε ο δείκτης διάδοσης εξαρτάται αρκετά από την απόσβεση του συστήματος.

Περιοχή 2^η

Στις συχνότητες πάνω από τον πρώτο συντονισμό, υπάρχει ένα φαρδύ εύρος συχνοτήτων, όπου ο δείκτης διάδοσης ελέγχεται από την επιφανειακή πυκνότητα του πετάσματος. Αυτή είναι η δεύτερη περιοχή, η περιοχή νόμου μάζας. Φαίνεται λογικό ότι όσο πιο συμπαγής είναι μια κατασκευή τόσο πιο δύσκολα θα παρουσιάζει καμπτικές κινήσεις. Αυτή η εξάρτηση του μέσου όρου του δείκτη ηχομείωσης με το βάρος ανά μονάδα επιφάνειας του πετάσματος ορίζεται από το νόμο της μάζας και δείχνεται σχηματικά παρακάτω (σχεδιάγραμμα 2.5). Η σχέση μεταξύ των δύο αυτών μεγεθών είναι σχεδόν γραμμική και για κάθε διπλασιασμό της επιφανειακής πυκνότητας του πετάσματος υπάρχει αύξηση περίπου 5 dB του δείκτη ηχομείωσης.

Είναι σημαντικό επίσης το γεγονός ότι ο δείκτης διάδοσης εξαρτάται και από τη συχνότητα και συνήθως αυξάνει περίπου 5dB για κάθε διπλασιασμό της συχνότητας.



Σχεδιάγραμμα 2.5 Νόμος μάζας.

Στην περιοχή του νόμου μάζας ο δείκτης ηχομείωσης μπορεί να υπολογιστεί περίπου από τη μαθηματική έκφραση :

$$SRI = 20\log_{10}f \cdot m - 48 \text{ dB} \tag{2.23}$$

όπου m- η επιφανειακή μάζα, Kg/m²
 f - η συχνότητα σε Hz.

Για παράδειγμα, ο δείκτης ηχομείωσης ενός μονού πετάσματος από γυψοσανίδα με επιφανειακή μάζα 7kg/m^2 στη συχνότητα 500Hz θα είναι περίπου 23dB .

Περιοχή 3^η

Στις ψηλές συχνότητες, στην τρίτη περιοχή, συμβαίνει το φαινόμενο της σύμπτωσης. Λόγω του φαινομένου της σύμπτωσης που εξετάστηκε στο κεφάλαιο 2.3. 1. πάνω από την κρίσιμη συχνότητα υπάρχει ελάττωση του δείκτη ηχομείωσης.

Το βάθος της σύμπτωσης εξαρτάται από την ομοιογένεια του υλικού και την εσωτερική του απόσβεση.

Επίσης, ο τρόπος που στηρίζεται το πέτασμα μπορεί να επηρεάσει τα καμπτικά κύματα και έτσι να επηρεαστεί και η διάδοση.

Τελικά στις πολύ ψηλές συχνότητες, ο δείκτης διάδοσης πάλι αυξάνει ελεγχόμενος από την απόσβεση και πετυχαίνει μια έκταση της καμπύλης περίπου 9dB ανά οκτάβα.

Για ορισμένα συνήθη οικοδομικά στοιχεία και κατασκευές, κάποιες τιμές του δείκτη ηχομείωσης είναι κάτω από αυτές που ορίζει ο νόμος μάζας και αυτό οφείλεται στο βάθος του φαινομένου σύμπτωσης και στο πορώδες του υλικού. Οι πυκνοί τοίχοι συνήθως παρουσιάζουν ελάττωση στα χαρακτηριστικά του δείκτη ηχομείωσης, λόγω των ηχητικών διαρροών μέσω μη στεγασμένων κενών της κατασκευής ή λόγω των πόρων του ίδιου του υλικού. Ακόμα και οι τοίχοι από πυκνό παχύ ξύλο ή τούβλα συχνά παρουσιάζουν χαραμάδες στο σοβάτισμά τους και αυτό μπορεί να ελαττώσει αρκετά τον δείκτη ηχομείωσής τους. Για αυτόν τον λόγο είναι συνηθισμένο να καλύπτεται η μία πλευρά των τοίχων από 12mm παχύ πλαστικό.

2.8. Συγκρίσεις προβλέψεων και μετρήσεων του δείκτη διάδοσης ενός μονού ιστροπικού πετάσματος κατά Cremer, Sharp, Davy.

Οι συχνότητες συντονισμού ενός απλού στερεωμένου ορθογώνιου πετάσματος με πλάτος a , μήκος b και καμπτική ακαμψία B ανά μονάδα πλάτους, μπορεί να υπολογιστεί βάσει της παρακάτω εξίσωσης :

$$F_{i,n} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{B}{m} \left[\frac{i^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right]} \quad (\text{Hz}) \quad (2.24)$$

όπου $i, n = 1, 2, 3, \dots$

Η θεμελιώδης συχνότητα αντιστοιχεί σε $i=n=1$.

Αν η εξίσωση της καμπτικής ακαμψίας (2.1b) αντικατασταθεί στην (2.24) προκύπτει για τις συχνότητες συντονισμού:

$$f_{i,n} = 0.453 \cdot c_L h \left[\frac{i^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right] \quad (\text{Hz}) \quad (2.25)$$

όπου c_L – η ταχύτητα των διαμήκη κυμάτων (ms^{-1}).

Η επίδραση της ακαμψίας

Κάτι που πρέπει να σημειωθεί είναι η επίδραση της ακαμψίας. Σε πολύ άκαμπτες κατασκευές ο πρώτος συντονισμός τείνει να μετακινηθεί σε ψηλότερες συχνότητες, αλλά ταυτόχρονα η συχνότητα σύμπτωσης τείνει να μετακινείται σε χαμηλότερες

συχνότητες. Έτσι η έκταση της περιοχής του νόμου μάζας εξαρτάται από την ακαμψία του πετάσματος. Για παράδειγμα, ένας τοίχος από ατσάλινο οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 0.3m παρουσιάζει τη συχνότητα σύμπτωσης στα 60Hz και αυτό περιορίζει το δείκτη διάδοσης τόσο πυκνών τοίχων. Αντίθετα, ένας βαρύς τοίχος από ατσάλι παρουσιάζει τη συχνότητα σύμπτωσης στο υπερηχητικό συχνοτικό εύρος και η μεγάλη εσωτερική του απόσβεση καταστέλλει τον πρώτο συντονισμό και ο δείκτης διάδοσης ελέγχεται από το νόμο της μάζας σε όλο το ακουστικό εύρος.

Σε ένα απείρου μήκους ιστροπικό πέτασμα, ο συντελεστής διάδοσης ενός προσπίπτοντος κύματος στην επιφάνεια του πετάσματος εκφράζεται με την αντίσταση Z του καμπτικού κύματος και ορίζεται ([2]Cremer 1942):

$$Z = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot m \left[1 - \left(\frac{f}{f_c} \right)^2 (1 + j\eta) \sin^4 \theta \right] \quad (2.26)$$

όπου η – ο παράγοντας απωλειών⁵
 m – η επιφανειακή πυκνότητα του πετάσματος (Kg/m²)

Στην επιφάνεια ενός πετάσματος απείρου μήκους, ο συντελεστής διάδοσης για γωνία(θ, ϑ) δίνεται από τον Cremer(1942) :

$$\tau(\theta, \vartheta) = \left| 1 + \frac{Z \cos \theta}{2pc} \right|^2 \quad (2.27)$$

Για κανονικές προσπτώσεις ο συντελεστής διάδοσης τ_N υπολογίζεται αν η γωνία θ=0. Ο διάχυτος συντελεστής διάδοσης τ_d υπολογίζεται ορίζοντας ένα σταθμισμένο μέσο για τ(θ, ϑ) για κάθε γωνία πρόσπτωσης χρησιμοποιώντας την εξίσωση :

$$\tau_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{\pi/2} \tau(\theta, \vartheta) \cos \theta \sin \theta \cdot d\theta \quad (2.28)$$

όπου,
 cosθ -είναι η προβολή της διατομικής περιοχής του επίπεδου κύματος που προσπίπτει σε μονάδα επιφάνειας του τοίχου σε γωνία θ, στην κάθετο του τοίχου.
 sinθ- είναι ο μετρικός συντελεστής που προκύπτει από τη χρήση σφαιρικών συντεταγμένων.

Για τα ιστροπικά πετάσματα η 2.28 μπορεί να απλοποιηθεί:

⁵ στις οικοδομικές κατασκευές η απόσβεση(Modal damping)συνήθως εκφράζεται με τον παράγοντα απωλειών η, ο οποίος είναι ανάλογος με το εκτόπισμα. Δηλώνει την ενέργεια που μετατρέπεται σε θερμότητα και εκφράζεται με πολλούς τρόπους συναρτήσει διάφορων παραγόντων όπως: η = 1/Q , Q- ο παράγοντας ποιότητας
 η= D/2πW₀, D-η ενέργεια που χάνεται ανά κύκλο συχνότητας , W₀- η μέση ολική ενέργεια του συστήματος που ταλαντώνεται
 η = Δ/27.3f , Δ- ο ρυθμός εξασθένησης της ταλάντωσης σε dB, f η συχνότητα ταλάντωσης
 και για πυκνά υλικά μπορεί να εκφραστεί από σύνθετα μέτρα ελαστικότητας E´= E(1+jη), όπου E- μέτρο ελαστικότητας του Young.
 Τυπικές τιμές του παράγοντα απωλειών είναι από 0.001-0.3. κάποιες τιμές του η βρίσκονται στον πίνακα 2.1.

$$\tau_d = \int_0^1 \tau(\theta) \cdot d \cdot (\sin^2 \theta) \quad (2.29)$$

Στην πράξη τα πετάσματα δεν έχουν άπειρο μήκος, έτσι τα αποτελέσματα των παραπάνω εξισώσεων διαφέρουν με τα εργαστηριακά αποτελέσματα.

Ωστόσο έχει αποδειχτεί ότι μπορεί να υπάρξει μια καλή σύγκριση μεταξύ υποθέσεων και μετρήσεων αν το πάνω όριο του ολοκληρώματος της εξίσωσης 2.29 αλλάξει έτσι ώστε το ολοκλήρωμα να μην περιέχει κάποιες περιοριστικές γωνίες θ .

Ο Davy (1990) απέδειξε ότι οι περιοριστικές γωνίες θ_L (limiting angles) εξαρτώνται από το μέγεθος του πετάσματος ως εξής:

$$\theta_L = \cos^{-1} \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi\sqrt{A}}} \quad (2.30)$$

όπου

A- η περιοχή του πετάσματος και

λ - το μήκος κύματος της συχνότητας που εξετάζεται.

Έχοντας ορίζει τις περιοριστικές γωνίες θ_L ο δείκτης διάδοσης πεδίου πρόσπτωσης μπορεί να οριστεί για ένα ιστροπικό πέτασμα :

$$\tau_F = \int_0^{\sin^2 \theta_L} \tau(\theta) \cdot d \cdot (\sin^2 \theta) \quad (2.31)$$

Αντικαθιστώντας τη σχέση 2.28 στη σχέση 2.27 και μετά στη σχέση 2.31, ο δείκτης διάδοσης του πεδίου πρόσπτωσης (field incidence transmission coefficient) τ_F μπορεί να υπολογιστεί σε σχέση με τη συχνότητα, για συχνότητες που βρίσκονται 1.5 φορές πάνω από τη συχνότητα του πρώτου συντονισμού του πετάσματος.

Στις χαμηλότερες συχνότητες, το μοντέλο του άπειρου μήκους πέτασμα που χρησιμοποιείται για να παραχθούν οι εξισώσεις δεν είναι έγκυρο. Ωστόσο, οι χαμηλότερες συχνότητες βρίσκονται στο συχνοτικό εύρος που δεν παρουσιάζει ενδιαφέρον για τα περισσότερα κοινά πετάσματα.

Τα αποτελέσματα της τριτοκτάβας προκύπτουν αν υπολογιστεί ο μέσος όρος του τ_F για τουλάχιστον είκοσι συχνότητες σε κάθε μπάντα. Ο τ_F μπορεί να υπολογιστεί αν αντικατασταθεί στη σχέση 2.10a αντί του τ .

Έχουν γίνει πολλές έρευνες για την απλοποίηση των παραπάνω εξισώσεων κάνοντας ποικίλες στρογγυλοποιήσεις. Στην εξίσωση 2.26 για τις συχνότητες κάτω από την $fc/2$ οι ποσότητες στις παρενθέσεις είναι περίπου μονάδα έτσι γίνεται η απλοποίηση:

$$Z = j \cdot 2\pi \cdot f \cdot m \quad (2.32)$$

Αντικαθιστώντας τη 2.32 σχέση στην 2.27 και το αποτέλεσμα στη 2.10a δίνεται η παρακάτω έκφραση του δείκτη διάδοσης για γωνία θ στην κάθετο της επιφάνειας ενός πετάσματος :

$$TL_\theta = 10 \log_{10} \left[1 + \left(\frac{\pi \cdot f \cdot m}{pc} \cos \theta \right)^2 \right] \quad (2.33)$$

Για κανονική πρόσπτωση η γωνία $\theta=0$.

Ο Sharp έδειξε ότι μπορεί να υπάρξει καλή ισορροπία μεταξύ της πρόβλεψης και των μετρήσεων αν χρησιμοποιηθεί μια σταθερή γωνία θ_L η οποία θα ισούται με $\theta_L=45^\circ$.

Σε αυτήν την περίπτωση ο δείκτης διάδοσης πεδίου TL σχετίζεται με τον κανονικό δείκτη διάδοσης TL_N , για υποθέσεις που γίνονται για διαστήματα τριτοκτάβας όπου $\Delta f/f = 0.236$ ως:

$$TL = TL_N - 10 \log_{10} \left(1.5 + \log_e \frac{2f}{\Delta f} \right) = TL_N - 5.5 \quad (2.34)$$

Αν στην παραπάνω πρόβλεψη χρησιμοποιείται μπάντα οκτάβας αντί για τριτοκτάβα τότε ο λόγος $\Delta f/f = 0.707$ και το 5.5 αντικαθίσταται με 4.

Οι υποθέσεις του νόμου μάζας θεωρούν ότι το πέτασμα είναι μαλακό. Καθώς το πέτασμα γίνεται πιο παχύ και πιο άκαμπτο οι προβλέψεις αποκλίνουν από αυτές που προβλέπει ο νόμος μάζας.

Για κανονικές προσπτώσεις ($\theta=0$) αντικαθιστώντας τη σχέση 2.33 στη 2.34 ο δείκτης διάδοσης για τις για την περιοχή του νόμου μάζας κάτω από τη συχνότητα $F_c/2$ γίνεται:

$$TL = 20 \log_{10} [\pi \cdot f \cdot m / (pc)] - 5.5 \text{ (dB)} \quad (2.35a)$$

όπου $fm/pc > 1$.

Η εξίσωση 2.35 δεν είναι έγκυρη για 1.5 φορές κάτω από τον πρώτο συντονισμό του πετάσματος αλλά στον πρώτο συντονισμό δίνει ακριβή αποτελέσματα.

Όταν μετράμε σε τριτοκτάβες γράφεται

$$TL = 20 \log_{10} [\pi \cdot f \cdot m / (pc)] - 4 \text{ (dB)}. \quad (2.35\beta)$$

Καλύτερα αποτελέσματα όμως δίνει ο δείκτης διάδοσης οκτάβας TL_o υπολογίζοντας λογαριθμικά τις προβλέψεις TL_1, TL_2, TL_3 των τριτοκτάβων που συμπεριλαμβάνονται σε κάθε οκτάβα ως :

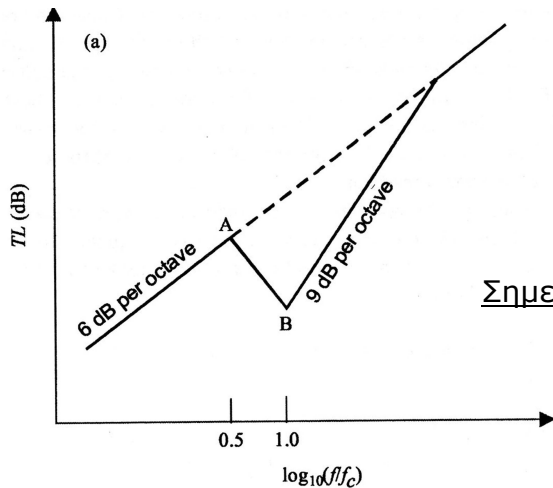
$$TL_o = -10 \log_{10} \frac{1}{3} \left[10^{-TL_1/10} + 10^{-TL_2/10} + 10^{-TL_3/10} \right] \text{ (dB)} \quad (2.36)$$

Για συχνότητες ίσες ή μεγαλύτερες τις κρίσιμης συχνότητας ο Sharp δίνει την παρακάτω εξίσωση για τα ισοτροπικά πετάσματα:

$$TL = 20 \cdot \log_{10} \left[\frac{\pi \cdot f \cdot m}{(pc)} \right] + 10 \log_{10} \left[\frac{2 \cdot n \cdot f}{(\pi \cdot f_c)} \right] \text{ (dB)} \quad (2.37)$$

Η 2.37 χρησιμοποιείται μόνο μέχρι όπου η συχνότητα αυξάνεται και ο υπολογισμένος TL γίνεται ίσος με τον υπολογισμένο TL που προβλέπει ο νόμος μάζας στην εξίσωση 2.35a.

Η προηγούμενη πρόβλεψη συνοψίζεται στο σχέδιο, όπου η μέθοδος εκτίμησης του δείκτη διάδοσης γίνεται διαγραμματικά.



Τα σημεία στο διάγραμμα υπολογίζονται ως εξής:

Σημείο A: $TL = 20\log_{10} f_c m - 54 \text{ (dB)}$

Σημείο B: $TL = 20\log_{10} f_c m - 54 + 10\log_{10} \eta - 45 \text{ (dB)}$

Σχεδιάγραμμα 2.6 Διάγραμμα για την εκτίμηση του δείκτη διάδοσης ενός ιστροπικού πετάσματος.

Ο πρώτος συντονισμός δε λαμβάνεται υπόψη γιατί συμβαίνει κάτω από το συχνοτικό εύρος που εξετάζεται. Επίσης, ο δείκτης διάδοσης αυτής της περιοχής εξαρτάται από την απόσβεση του πετάσματος και από τα χαρακτηριστικά του προσπίπτοντος ηχητικού πεδίου, τα οποία είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστούν. Αυτό που μπορεί να ειπωθεί είναι ότι η απόσβεση πρέπει να είναι όσο μεγάλη γίνεται πρακτικά και ο δείκτης διάδοσης να είναι κάτι λιγότερο από αυτό που προβλέπει ο νόμος μάζας στις χαμηλότερες συχνότητες συντονισμού του πετάσματος.

Μία πρόβλεψη που φαίνεται πιο ακριβείς και που επιτρέπει ποικιλία στις περιορισμένες γωνίες θ_L σε συνάρτηση με τη συχνότητα προτάθηκε από τον Davy(1990).

Στο συχνοτικό εύρος κάτω από την κρίσιμη συχνότητα f_c :

$$TL = 20\log_{10} [\pi f m / (pc)] + 20\log_{10} \left[1 - \left(\frac{f}{f_c} \right)^2 \right] - 10\log_{10} \left[\log_e \left(\frac{1 + a^2}{1 + a^2 \cos^2 \theta_L} \right) \right] \quad (2.38)$$

όπου $f < 0.95f_c$

$$\text{Και } a = \left(\frac{\pi f m}{pc} \right) \left[1 - \left(\frac{f}{f_c} \right)^2 \right] \quad (2.39)$$

Στο συχνοτικό εύρος πάνω από την κρίσιμη συχνότητα f_c :

$$TL = 20\log_{10} [\pi f m / (pc)] + 10\log_{10} \left[\left(\frac{2n}{\pi} \right) \left(\frac{f}{f_c} - 1 \right) \right], \quad f \geq 1.2 f_c \quad (2.40)$$

Στο συχνοτικό εύρος γύρω από την κρίσιμη συχνότητα f_c :

$$TL = 20\log_{10} [\pi f m / (pc)] + 10\log_{10} \left[\frac{2n\Delta_b}{\pi} \right] \quad 0.95f_c < f < 1.2f_c, \quad (2.41)$$

όπου Δ_b είναι ο λόγος του φίλτρου του φασματικού εύρους προς το φίλτρο της κεντρική συχνότητας που χρησιμοποιείται στις μετρήσεις. Για τις τριτοκτάβες το εύρος είναι $\Delta_b = 0.236$ και για τις οκτάβες $\Delta_b = 0.707$.

Στο συχνοτικό εύρος πάνω από την f_c (μέχρι $1.2f_c$) χρησιμοποιείται η μεγαλύτερη των δύο τιμών που προκύπτει από τις εξισώσεις 2.40 και 2.41.

Στο συχνοτικό εύρος ακριβώς κάτω από τη f_c (μέχρι το $0.8f_c$) χρησιμοποιείται η μεγαλύτερη των δύο τιμή που υπολογίζεται από τις εξισώσεις 2.37, 2.41.

Η εξίσωση 2.40 είναι ίδια με την 2.36 εκτός του όρου -1 που έχει η 2.40. Επίσης, η 2.41 είναι ίδια με 2.40 ($f=f_c$) εκτός από τον όρο Δ_b που έχει η εξίσωση 2.41.

Η εξίσωση 2.41 συμφωνεί περισσότερο με τις εργαστηριακές μετρήσεις όταν ο παράγοντας απωλειών παίρνει μεγάλες τιμές ενώ όταν παίρνει μικρές τιμές η εξίσωση 2.36 συμφωνεί περισσότερο με τις εργαστηριακές μετρήσεις. Είναι δύσκολο να οριστεί η σωστή τιμή του παράγοντα απωλειών η , για αυτό είναι και δύσκολο να αποφασιστεί ποιά εξίσωση θα φέρει τα πιο πιστά αποτελέσματα.

Κάποιες τιμές του παράγοντα απωλειών, η , βρίσκονται στον πίνακα 2.3

Συνοψίζοντας, η μέθοδος του Davy είναι πιο ακριβής για τις χαμηλές συχνότητες ενώ η μέθοδος του Sharp δίνει πιο πιστά αποτέλεσμα γύρω από την περιοχή της κρίσιμης συχνότητας.

Υλικό	Παράγοντας απωλειών
Μέταλλα(γενικά)	0.0001-0.001
Αλουμίνιο	0.0001
Μόλυβδος	0.015
Χάλυβας	0.0001-0.0006
Λαμαρίνα	0.002
Χαλκός	0.002
Χυτοσίδηρος	0.001
Γυαλί	0.001
Plexiglass	0.002
Μπετόν, τούβλο	0.015
Άμμος	0.01-0.05
Σοβάς	0.005
Γυψοσανίδα	0.1
Ξύλο, μοριοσανίδα	0.01-0.02
Κόντρα πλακέ	0.015
Πλαστικά(γενικά)	0.0001-10
PVC	0.3

Πίνακας 2.3 Τιμές του παράγοντα απωλειών η .

2.9. Τρόποι υπολογισμού του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης, R' και του σταθμισμένου φαινομένου δείκτη ηχομείωσης, R'_w .

2.9.1. Υπολογισμός φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης R' .

Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R'

Σύμφωνα με την εργαστηριακή διάταξη για τη μέθοδο υπολογισμού του δείκτη ηχομείωσης (σχήμα 2.4) και δεδομένου ότι τα ηχητικά πεδία στα δύο δωμάτια είναι διάχυτα, ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R' (ή ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w) μπορεί να υπολογιστεί μέσω της στάθμης ήχου, για διαστήματα τριτοκτάβας και οκτάβας ως εξής:

$$R' = L_s - L_E + 10 \log_{10} \frac{A}{A_0} \quad (2.42)$$

όπου L_s - η στάθμη ήχου στο χώρο εκπομπής
 L_E - η στάθμη του ήχου στον χώρο λήψης
 κάθε φορά σε συνάρτηση με τη συχνότητα
 A - η εξεταζόμενη επιφάνεια του πετάσματος
 A_0 - η ισοδύναμη επιφάνεια απορρόφησης του ήχου.

Το A_0 εκφράζει το πόσο μεγάλο πρέπει να είναι το σύνολο όλων των επιφανειών, που γειτονεύουν με το χώρο, αν οι επιφάνειες έχουν βαθμό απορρόφησης 100%. Επειδή στην πράξη δεν μπορεί να υπολογιστεί άμεσα, η ισοδύναμη επιφάνεια καθορίζεται μέσω του μαθηματικού τύπου:

$$T = 0.163 \frac{V}{A_0} \quad (2.43a)$$

άρα ,

$$A_0 = 0.163 \frac{V}{T} \text{ (m}^2\text{)} \quad (2.43b)$$

Από αυτό προκύπτει ότι σε μικρούς όγκους χώρου, ο χρόνος αντήχησης είναι πολύ μικρός και επειδή στη μαθηματική έκφραση βρίσκεται στον παρονομαστή προκύπτει μια μεγάλη ισοδύναμη επιφάνεια απορρόφησης ήχου A_0 .

Ένα παράδειγμα του παραπάνω τρόπου υπολογισμού :

Παράδειγμα 5

Αν υπάρχει ένας τοίχος προς εκτίμηση,

Προς εκτίμηση τοίχος $A = 18 \text{ m}^2$ και

Όγκος χώρου λήψης $V = 80 \text{ m}^3$

Χρόνος αντήχησης $T = 0.8 \text{ s}$.

Τότε η ισοδύναμη επιφάνεια απορρόφησης θα είναι $A_0 = 0.163 \cdot 80 / 0.8 = 16.3 \text{ m}^2$.

Αυτό σημαίνει ότι σε μία επιφάνεια 16.3 m^2 με βαθμό απορρόφησης ήχου 1 (= 100%) απορροφάτε ακριβώς η ίδια ποσότητα ήχου, όπως και από τις υπάρχουσες επιφάνειες του χώρου.

Για διαστήματα τριτοκτάβας

Έχοντας μετρήσει τις στάθμες ήχου των δύο δωματίων (εκπομπής και λήψης) και χρησιμοποιώντας τη (2.42) σχέση μπορεί να υπολογιστεί ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης για κάθε συχνότητα σε διαστήματα τριτοκτάβας.

Συχνότητα σε Hz	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Χώρος εκπομπής σε dB	90	92	91	91	91	92	89	90	89	89	89	88	88	88	87	86
Χώρος λήψης σε dB	54	52	52	53	53	51	52	51	50	48	47	45	43	42	37	32

Πίνακας 2.4 Στάθμες ήχου σε dB δωματίου εκπομπής και λήψης σε διάστημα τριτοκτάβας.

$$R'_{w} = L_s - L_E + 10 \log A/A_0$$

$$R'_{w,100} = 90 \text{ dB} - 54 \text{ dB} + 10 \log 18 \text{ m}^2 / 16,3 \text{ m}^3$$

$$R'_{w,100} = 90 \text{ dB} - 54 \text{ dB} + 0,4 \text{ dB}$$

$$R'_{w,100} = 36,4 \text{ dB.}$$

Ο παράγοντας διόρθωσης $10 \log A/A_0$ είναι τόσο μικρός ώστε μπορεί να μη ληφθεί υπόψη.

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται για τις υπόλοιπες συχνότητες. Για τις δοθείσες τιμές (A_0, T_{60}, V , δωματίου) προκύπτει:

$R'_{w,100}$	$R'_{w,125}$	$R'_{w,160}$	$R'_{w,200}$	$R'_{w,250}$	$R'_{w,315}$	$R'_{w,400}$	$R'_{w,500}$	$R'_{w,630}$	$R'_{w,800}$	$R'_{w,1000}$
36.4	40.4	39.4	38.4	38.4	41.4	37.4	39.4	39.4	41.4	42.4

$R'_{w,1250}$	$R'_{w,1600}$	$R'_{w,2000}$	$R'_{w,2500}$	$R'_{w,3150}$
43.4	45.4	46.4	50.4	54.4

Πίνακας 2.5 Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R'_{w} σε διάστημα τριτοκτάβας μέσω στάθμης ήχου δωματίου λήψης και εκπομπής.

Σταθμισμένος Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R'_{w}

Στην πράξη είναι θεμιτό να χρησιμοποιείται ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_{w} , έτσι ώστε να αποδίδεται η ηχομονωτική ικανότητα ενός πετάσματος με την τιμή ενός αριθμού. Αυτό συμβαίνει για να γίνεται απλή και γρήγορη η αξιολόγηση της ηχομονωτικής ικανότητας ενός πετάσματος και η σύγκρισή του με άλλα πετάσματα. Επίσης, είναι δύσκολο να τεθούν απαιτήσεις και προδιαγραφές για την ηχομόνωση κτιριακών στοιχείων χρησιμοποιώντας όλες τις τιμές του δείκτη ηχομείωσης στις τριτοκταβικές ή οκταβικές μπάντες. Ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται ο σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R'_{w} είναι μέσω της γραφικής μεθόδου.

2.9.2. Γραφική μέθοδος υπολογισμού του σταθμισμένου φαινομένου δείκτη R'_{w} .

Αυτή η μέθοδος βασίζεται στη σύγκριση μεταξύ της πρότυπης καμπύλης - καμπύλη αναφοράς (STC καμπύλη)- και της καμπύλης μέτρησης. Η καμπύλη μέτρησης προκύπτει από τις τιμές του υπολογισθέντος φαινομένου δείκτη ηχομείωσης ανά συχνότητα. Η καμπύλη αναφοράς ορίζεται από τις τιμές ανά συχνότητα σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Συχνότητα (Hz)	Τιμές καμπύλης αναφοράς (dB)
100	33
125	36
160	39
200	42
250	45
315	48
400	51
500	52
630	53
800	54
1000	55
1250	56
1600	56
2000	56
2500	56
3150	56

Η καμπύλη αναφοράς παίρνει αυτές τις τιμές, επειδή το αυτί μας είναι πιο ευαίσθητο στις υψηλότερες συχνότητες και υπάρχουν υψηλότερες απαιτήσεις ηχομόνωσης σε αυτές.

Πίνακας 2.6 Τιμές αναφοράς της πρότυπης καμπύλης αναφοράς (STC).

Στη γραφική μέθοδο υπολογισμού του φαινομένου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης, R'_w , μετακινείται η καμπύλη αναφοράς μέχρι να "πλησιάσει" την καμπύλη μετρήσεων και να τηρούνται τα παρακάτω κριτήρια :

1. Η μέση δυσμενέστερη απόκλιση για όλες τις συχνότητες μεταξύ των μετρήσεων και της καμπύλης αναφοράς να μην υπερβαίνει τα 2dB.
2. Η μέγιστη δυσμενής απόκλιση για οποιαδήποτε συχνότητα να μην υπερβαίνει τα 8dB.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης βρίσκεται στη μετακινούμενη καμπύλη αναφοράς στο σημείο όπου η συχνότητα είναι 500Hz.



Γραφική μέθοδος υπολογισμού R'_w

Αρχείο excel

Ο τρόπος εύρεσης του φαινομένου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης βρίσκεται στο αρχείο του λογισμικού προγράμματος excel: *Γραφική μέθοδος υπολογισμού του R'_w sheet 1- για διάστημα οκτάβας, sheet 2 για διάστημα τριτοκτάβας.*

Η απεικόνιση της μεθόδου για το διάστημα των οκτάβων βρίσκεται παρακάτω:

Συχνότητες	Τιμές μέτρησης σε dB	Τιμές αναφοράς σε dB	Διαφορά σε dB	Μετακινούμενη καμπύλη αναφοράς	Αποκλίσεις
125	40	36	9	27	0
250	38	45		36	0
500	39	52		43	-3,6
1000	42	55		46	-3,6
2000	46	56		47	-0,6
				Άθροισμα αποκλίσεων	-1,56

Πίνακας 2.6α Απεικόνιση της γραφικής μεθόδου εύρεσης του φαινομένου δείκτη R'_w σε διάστημα οκτάβας με τη χρήση της πρότυπης καμπύλης αναφοράς.

Η διαφορά σε dB πρέπει να είναι τέτοια έτσι ώστε το άθροισμα των αποκλίσεων να μην υπερβαίνει τα -2dB.

Άρα στο συγκεκριμένο παράδειγμα (παράδειγμα 5) και όταν η διαφορά είναι 9 dB, τηρούνται τα κριτήρια και ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης είναι **$R'_w = 43 \text{ dB}$** .

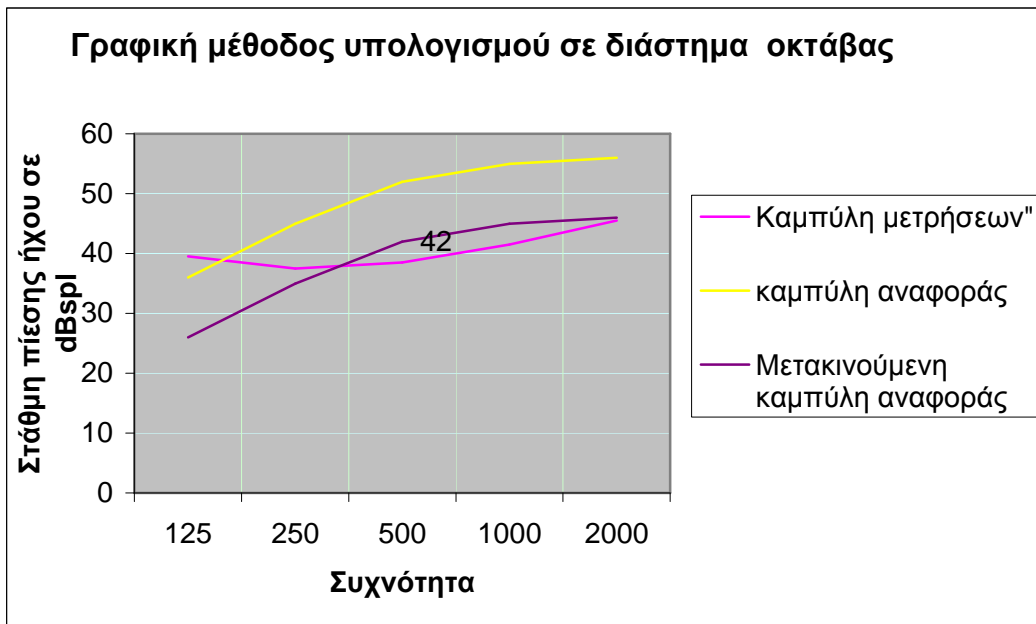
Για διαστήματα τριτοκτάβας είναι:

Συχνότητες	Τιμές μέτρησης σε dB	Τιμές αναφοράς σε dB	Διαφορά σε dB	Μετακινούμενη καμπύλη αναφοράς	Αποκλίσεις
100	36	33	9	24	0
125	40	36		27	0
160	39	39		30	0
200	38	42		33	0
250	38	45		36	0
315	41	48		39	0
400	37	51		42	-4,6
500	39	52		43	-3,6
630	39	53		44	-4,6
800	41	54		45	-3,6
1000	42	55		46	-3,6
1250	43	56		47	-3,6
1600	45	56		47	-1,6
2000	46	56		47	-0,6
2500	50	56		47	0
3150	54	56		47	0
				Άθροισμα αποκλίσεων	-1,6125

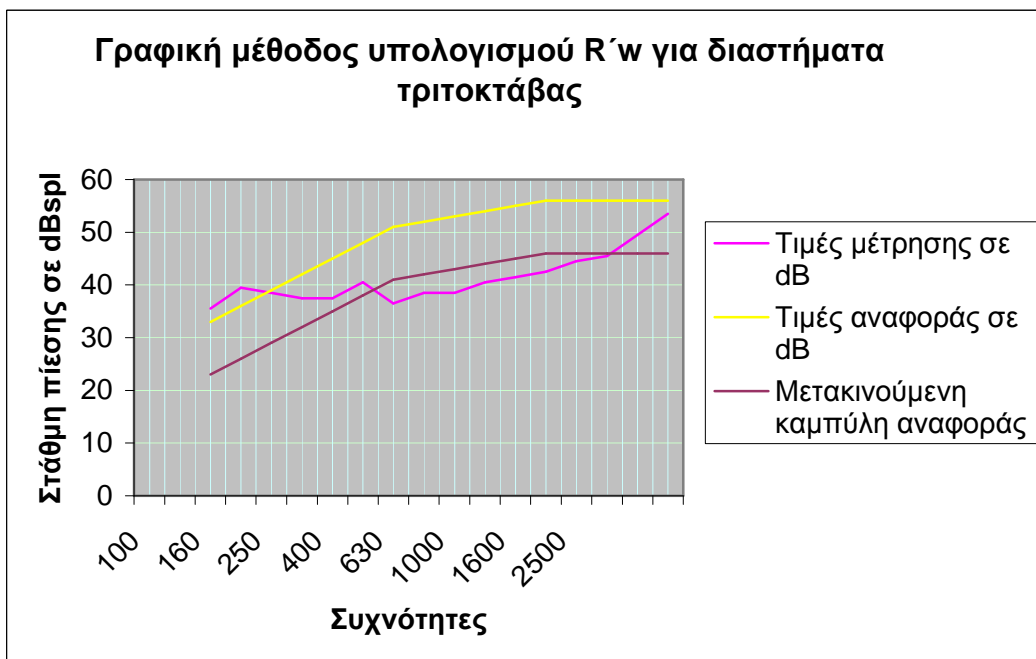
Πίνακας 2.6β Απεικόνιση της γραφικής μεθόδου εύρεσης του φαινομένου δείκτη R'_w σε διάστημα οκτάβας με τη χρήση της πρότυπης καμπύλης αναφοράς.

Όταν η διαφορά είναι 9dB, τηρούνται τα κριτήρια και ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης θα είναι **$R'_w = 43 \text{ dB}$** .

Τα αντίστοιχα διαγράμματα των καμπύλων βρίσκονται παρακάτω:



Σχεδιάγραμμα 2.7α Καμπύλη μέτρησης $R'w$ με φίλτρα οκτάβων.



Σχεδιάγραμμα 2.7β Καμπύλη μέτρησης $R'w$ με φίλτρα τριτοκτάβων.

Η σύγκριση των δύο καμπύλων μέτρησης δείχνει ότι σε κανονικές συνθήκες δεν είναι ουσιαστικό αν οι τιμές μετρήσεις γίνονται με φίλτρα οκτάβας ή τριτοκτάβας.

2.9.3. Προσεγγιστική μέθοδος υπολογισμού του σταθμισμένου φαινομένου δείκτη ηχομείωσης R'_{w} .

Υπάρχει άλλος ένα τρόπος υπολογισμού του σταθμισμένου φαινομένου δείκτη ηχομείωσης, R'_{w} , ο οποίος χρησιμοποιείται για άμεσους υπολογισμούς. Είναι μια προσεγγιστική μέθοδος υπολογισμού για αυτό το λόγο τα αποτελέσματά της θεωρούνται έγκυρα.

Σύμφωνα με το παραπάνω παράδειγμα, παράδειγμα 5, η τιμή του R'_w υπολογίζεται με τον εξής τρόπο.

Έχοντας υπολογίσει το φαινόμενο δείκτη ηχομείωσης σε κάθε συχνότητα, στη συνέχεια διαιρούνται δια δύο η τιμή του φαινομένου δείκτη, R_w , της πρώτης και της τελευταίας συχνότητας. Προστίθενται όλες οι τιμές της ηχομόνωσης και διαιρούνται με το 15 (άθροισμα των παραγόντων) όπως δείχνεται παρακάτω.

Η ίδια υπολογιστική μέθοδος χρησιμοποιείται για την εύρεση του φαινομένου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης R'_w για διάστημα οκτάβας .

Σύμφωνα με το παράδειγμα 5:

	Παράγοντας	
$R'_w,100 = 36.4 \text{ dB} : 2 =$	18.2	0.5
$R'_w,125 =$	40.4	1
$R'_w,160 =$	39.4	1
$R'_w,200 =$	38.4	1
$R'_w,250 =$	38.4	1
$R'_w,315 =$	41.4	1
$R'_w,400 =$	37.4	1
$R'_w,500 =$	39.4	1
$R'_w,630 =$	39.4	1
$R'_w,800 =$	41.4	1
$R'_w,1000 =$	42.4	1
$R'_w,1250 =$	43.4	1
$R'_w,1600 =$	45.4	1
$R'_w,2000 =$	46.4	1
$R'_w,2500 =$	50.4	1
$R'_w,3150 = 54.4 \text{ dB} : 2 =$	27.2	0.5
	$\Sigma 629 : 15$	
	$= 41.9 \text{ dB}$	
	$\Rightarrow R'_w = 42 \text{ dB}$	

Σύμφωνα με την προσεγγιστική μέθοδο η τιμή του σταθμισμένου φαινομένου δείκτη R'_w υπολογίστηκε στα 42dB.

Σύμφωνα με τη γραφική μέθοδο υπολογισμού, για τα ίδια δεδομένα, η τιμή του R'_w είναι 43 dB.

Ακόμα και αν στο συγκεκριμένο παράδειγμα η διαφορά των αποτελεσμάτων μεταξύ της προσεγγιστικής μεθόδου και της γραφικής μεθόδου υπολογισμού του R'_w είναι μόνο 1 dB, υπάρχουν περιπτώσεις όπου η διαφορά αυξάνεται και γίνεται σημαντική, καθιστώντας την προσεγγιστική μέθοδο καθολικά μη έγκυρη.



Υπολογισμός R'_w
μέσω στάθμης πίεσης

Αρχείο excel

Για διαφορετικά δεδομένα και γρήγορους υπολογισμούς, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το αρχείο του προγράμματος excel: `Υπολογισμός Φαινομένου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης R'_w μέσω της στάθμης πίεσης ήχου` (sheet-φύλλο 1 για τριτοκτάβες, sheet2 για οκτάβες).

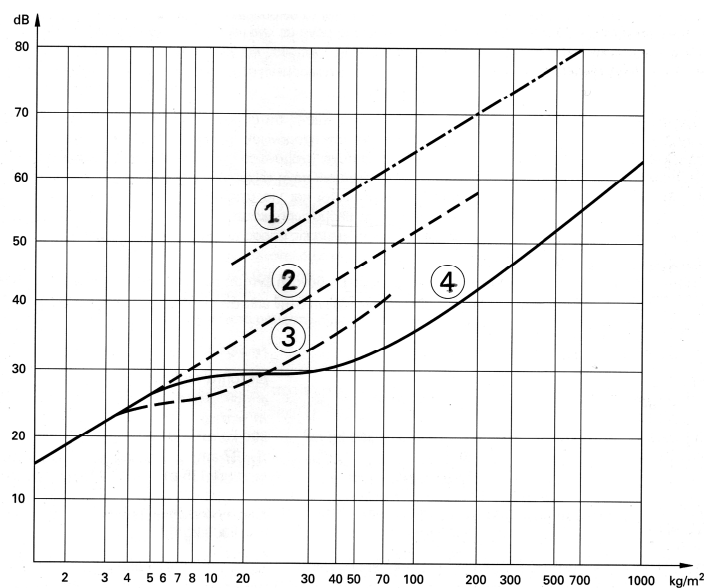
2.10. Μέθοδοι υπολογισμού του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης R' πριν την κατασκευή.

Οι προηγούμενες μέθοδοι υπολογισμού του δείκτη ηχομείωσης θέτουν δύο προϋποθέσεις:

- i) πρώτον, το οικοδομικό στοιχείο που εξετάζεται είναι ήδη τοποθετημένο και
- ii) δεύτερον, στις μετρήσεις χρησιμοποιούνται οι κατάλληλες συσκευές.

Είναι απαραίτητο όμως να είναι γνωστές οι τιμές ηχομείωσης κάθε οικοδομικού στοιχείου πριν την κατασκευή του οικοδομήματος. Επειδή για τη μόνωση από τον αερόφερτο θόρυβο καθοριστική σημασία έχει η επιφανειακή πυκνότητα του υλικού, η γραφική και υπολογιστική μέθοδος που περιγράφονται παρακάτω σχετίζονται με αυτήν.

2.10.1. Γραφική μέθοδος υπολογισμού R'_w , πριν την κατασκευή.



Σχεδιάγραμμα 2.8 Φαινόμενος δείκτης R'_w των οικοδομικών στοιχείων σε συνάρτηση με την επιφανειακή μάζα (kg/m^2).

Στο διάγραμμα απεικονίζονται τα εξής:

1. μέγιστες τιμές διπλών οικοδομικών στοιχείων με κοιλότητα μόνωσης.
2. σύμφωνα με το νόμο μάζας για μονές πλάκες (δυνατές μόνο για μολύβδινες λαμαρίνες και κόμμι).
3. ξύλο και ξύλινα υλικά σε μονές οικοδομικές κατασκευές.
4. τοιχοποιία, μπετόν, γύψος, γυαλί σε μονές οικοδομικές κατασκευές.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι ο δείκτης ηχομείωσης R'_w :

1. Αυξάνεται περίπου 7dB με το διπλασιασμό της επιφανειακής μάζας kg/m^2 .
2. Το ξύλο και τα ξύλινα υλικά, λόγω της συχνότητας σύμπτωσης, με αύξηση της επιφανειακής μάζας από 4-20 Kg/m^2 δεν επιφέρουν καμία αύξηση στο δείκτη ηχομείωσης.

3. Το μπετόν, η τοιχοποιία, ο γύψος και το γυαλί με επιφανειακή μάζα από 6-40 kg/m² και λόγω της συχνότητας σύμπτωσης δεν επιφέρουν αύξηση στο δείκτη ηχομείωσης.

4. Οι τοίχοι από μπετόν, τα υλικά από γυαλί και ο γύψος προσφέρουν καλές και κυρίως σταθερά αυξανόμενες τιμές του δείκτη ηχομείωσης όταν έχουν επιφανειακή πυκνότητα 50Kg/m² και πάνω. Γεγονός που ισχύει πάντα για τα οικοδομικά υλικά τοιχοποιίας και για το μπετόν.

5. Τα ξύλινα υλικά προσφέρουν αξιοσημείωτα αποτελέσματα όταν έχουν επιφανειακά μάζα από 20kg/m² και πάνω.

6. Οι μονοί τοίχοι δύσκολα επιφέρουν ηχομονωτικά αποτελέσματα πάνω από 50dB. Αν στόχος είναι η ηχομόνωση της τάξης των 55dB θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί μονός τοίχος με βαριά υλικά και πάχος πάνω 49cm. Τέτοιοι τοίχοι δε συνιστώνται και για στατικούς λόγους και για λόγους θερμοχωρητικότητας. Απαραίτητη είναι η χρήση τοίχων με διπλό κέλυφος για ηχομόνωση της τάξης των 55dB και πάνω.

Παράδειγμα 6

Απαιτείται $R'_w = 60\text{dB}$. Δεν ακούγεται πλέον η δυνατή ένταση του ραδιοφώνου και της τηλεόρασης.

Σύμφωνα με το διάγραμμα απαιτείται η επιφανειακή μάζα του μονού δομικού στοιχείου να είναι της τάξης των 800Kg/m².

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τις παρακάτω λύσεις:

1.Μπετόν

$$\rho = 2300\text{kg/m}^3$$

$$m' = d \cdot \rho (\text{επιφανειακή μάζα})$$

$$800\text{kg/m}^2 = d \cdot 2300\text{kg/m}^3$$

$$\Rightarrow d = 34 \text{ cm}$$

2.Τούβλα

$$\rho = 1400\text{kg/m}^3$$

$$m' = d \cdot \rho (\text{επιφανειακή μάζα})$$

$$800\text{kg/m}^2 = d \cdot 1400\text{kg/m}^3$$

$$\Rightarrow d = 61,6 \text{ cm}$$

3.Διάτρητα τούβλα

$$\rho = 820\text{kg/m}^3$$

$$m' = d \cdot \rho (\text{επιφανειακή μάζα})$$

$$800\text{kg/m}^2 = d \cdot 820\text{kg/m}^3$$

$$\Rightarrow d = 1,115\text{m}$$

4.τούβλα από ασβέστη-άμμο

$$\rho = 1720\text{kg/m}^3$$

$$m' = d \cdot \rho (\text{επιφανειακή μάζα})$$

$$800\text{kg/m}^2 = d \cdot 1720\text{kg/m}^3$$

$$\Rightarrow d = 49 \text{ cm}$$

5.Μπετόν με φυσαλίδες αέρα

$$\rho = 460\text{kg/m}^3$$

$$m' = d \cdot \rho (\text{επιφανειακή μάζα})$$

$$800\text{kg/m}^2 = d \cdot 460\text{kg/m}^3$$

$$\Rightarrow d = 1,84 \text{ m}$$

6.Λίθοι από ελαφρύ μπετόν

$$\rho = 1000\text{kg/m}^3$$

$$m' = d \cdot \rho (\text{επιφανειακή μάζα})$$

$$800\text{kg/m}^2 = d \cdot 1000\text{kg/m}^3$$

$$\Rightarrow d = 86,5 \text{ cm}$$

Όπως φαίνεται από τα παραδείγματα, τέτοιες ψηλές τιμές ηχομόνωσης μπορούν να επιτευχθούν μόνο με βαριά υλικά και αντίστοιχο πάχος, γεγονός που θα προκαλούσε πρόβλημα στατικότητας, θερμοχωρητικότητας και απώλειας ενός μεγάλου μέρους του εμβαδόν του χώρου.

2.10.2. Υπολογιστική μέθοδος του R'_w .

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης σε σχέση με την επιφανειακή μάζα μπορεί να υπολογιστεί από τον προσεγγιστικό τύπο:

$$R'_w = 25 \log \left(\frac{m'}{m_o} \right) - 12 \quad \text{dB} \quad (2.44)$$

όπου m' - η επιφανειακή μάζα kg/m^2 .

Παράδειγμα 7

$m' = 100 \Rightarrow R'_w = 25 \log 100 - 12$ $R'_w = 38 \text{ dB}$	}	$\Delta R'_w = 7,5 \text{ dB}$
$m' = 200 \Rightarrow R'_w = 25 \log 200 - 12$ $R'_w = 45,4 \text{ dB}$		
$m' = 400 \Rightarrow R'_w = 25 \log 400 - 12$ $R'_w = 53 \text{ dB}$	}	$\Delta R'_w = 7,5 \text{ dB}$
$m' = 800 \Rightarrow R'_w = 25 \log 800 - 12$ $R'_w = 60,5 \text{ dB}$		
$m' = 1000 \Rightarrow R'_w = 25 \log 1000 - 12$ $R'_w = 68 \text{ dB}$	}	$\Delta R'_w = 7,5 \text{ dB}$

Τα παραδείγματα δείχνουν, όπως αναφέρθηκε και στη γραφική μέθοδο, ότι ο δείκτης ηχομείωσης R'_w αυξάνεται περίπου 7,5 dB με το διπλασιασμό της επιφανειακής μάζας.



Υπολογισμός R'_w και R_{ges}

Αρχείο excel

Ο δείκτης ηχομείωσης κάποιων υλικών σε σχέση με την επιφανειακή τους μάζα βρίσκεται στο αρχείο του λογισμικού προγράμματος excel: 'υπολογισμός R'_w και R_{ges} -sheet 1 (1.a)' στο οποίο μπορεί να υπολογιστεί όποιο υλικό επιθυμείται.

1.Υπολογισμός Σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης R'_w						
α.Μονών δομικών Στοιχείων						
			τα δεδομένα που χρειάζονται συμπληρώνονται στα κελιά			
$R'_w = 25 * \text{LOG}_{10}(m') - 12 \text{dB}$ $m' = m * h$						
δομ.υλικό	γραμμική πυκνότητα(kg/m^3) m	πάχος(cm) h	επιφανειακή πυκνότητα(kg/m^2) m'			Δεικ.ηχομ. R'_w
αλουμίνιο	2700	5	135			41,26
Χάλυβας	7800	5	390			52,78
Ξύλο	600	5	30			24,93
Γυαλί	2500	5	125			40,42
Γυψοσανίδα	760	5	38			27,49
Μοριοσανίδα	690	5	34,5			26,45
πλεξιγκλάς	1150	5	57,5			31,99

πλεξιγκλάς	1150	5	57,5		31,99
τούβλο(πλήρες)	1800	5	90		36,86
	1800	10	180		44,38
σοβάς	1200	5	60		32,45
τούβλο(9οπο)	1169,3	5	58,465		32,17
μπετόν	2300	5	115		39,52

Πίνακας 2.7 Υπολογιστικό φύλλο excel για τον υπολογισμό του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης R'_{w} ορισμένων Υλικών.

2.11. Διπλά χωρίσματα - Δείκτης ηχομείωσης διπλού χωρίσματος

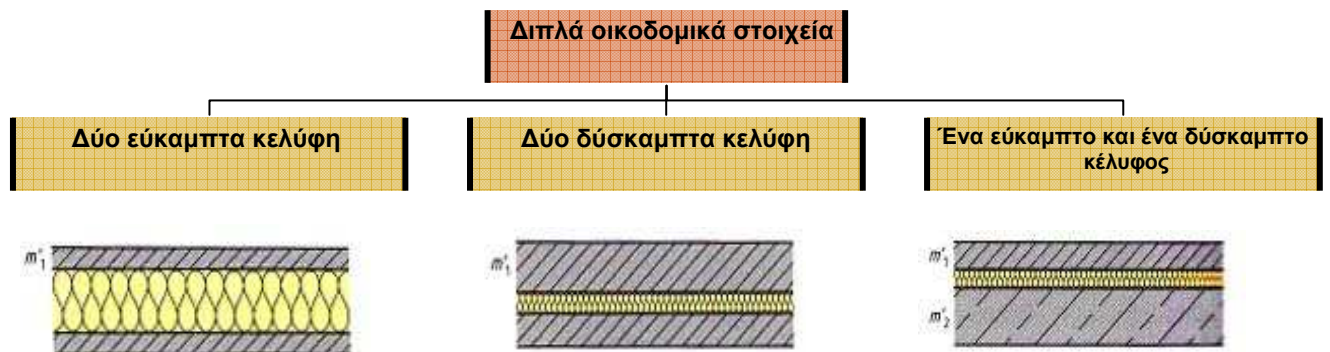
Υψηλές τιμές του δείκτη ηχομείωσης μπορεί να επιτευχθούν με τη χρήση κατασκευών με κοιλότητα.

Οι κατασκευές με κοιλότητα είναι διπλά κελύφη τα οποία βρίσκονται σε κάποια απόσταση μεταξύ τους και συνδέονται ελάχιστα μεταξύ τους. Το κενό, η κοιλότητα, μπορεί να είναι αέρας ή κάποιο μονωτικό υλικό. Συνήθως τοποθετείται υαλοβάμβακας ή πετροβάμβακας στην κοιλότητα. Τα διπλά οικοδομικά στοιχεία, λόγω του ενδιάμεσου στρώματος αέρα ή μονωτικού υλικού, με μικρή επιφανειακή μάζα δίνουν ψηλές τιμές του δείκτη ηχομείωσης.

Τα ηχομονωτικά χαρακτηριστικά ενός διπλού χωρίσματος δεν είναι το άθροισμα των χαρακτηριστικών του κάθε χωρίσματος ξεχωριστά. Αυτό συμβαίνει γιατί τα δύο χωρίσματα ενώνονται ακουστικά μεταξύ τους λόγω της ελαστικότητας του έγκλειστου αέρα στο κενό. Για να επιτευχθεί ακουστική μόνωση μεταξύ των δύο χωρισμάτων θα πρέπει το κενό μεταξύ τους να είναι όσο το δυνατόν πιο μεγάλο και όπως προαναφέρθηκε το κενό να γεμίζεται με μονωτικό υλικό, χωρίς όμως το μονωτικό υλικό να δρα σα μηχανική γέφυρα μεταξύ των δύο χωρισμάτων.

Διπλά οικοδομικά στοιχεία μπορεί να είναι οι τοίχοι ή ακόμη και τα ταβάνια. Αν αντί διπλών κελυφών για ψηλές τιμές ηχομόνωσης χρησιμοποιούταν μονό κέλυφος, θα έπρεπε η επιφανειακή του μάζα να είναι πολύ μεγάλη καθώς ο δείκτης ηχομείωσης αυξάνεται περίπου 5dB ανά διπλασιασμό μάζας (νόμος της μάζας). Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα ένα πολύ βαρύ κέλυφος που θα ήταν αντιοικονομικό και δύσχρηστο δομικά.

Τα διπλά οικοδομικά στοιχεία χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες όπως δείχνει το παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 2.9 Είδη των διπλών κελυφών.

- Τα εύκαμπτα κελύφη μπορεί να είναι :
- συμπιεσμένες πλάκες
 - πλάκες ελαφριάς δόμησης

-ξύλο/κόντρα πλακέ

Τα δύσκαμπτα κελύφη μπορεί να είναι:

- μπετόν
- τοιχοποιία
- ελαφρύ μπετόν

Ένα δύσκαμπο και ένα εύκαμπο κέλυφος μπορεί να είναι:

- πλωτή στρώση ή κολυμβητή (αναλύεται παρακάτω)
- τοιχοποιία με συμπληρωματικό κέλυφος
- ταβάνι, που κρεμιέται.

2.11.1. Οι συχνότητες συντονισμού που ορίζουν τα χαρακτηριστικά του δείκτη ηχομείωσης της διπλής τοιχοποιίας.

Ο δείκτης ηχομείωσης ενός μονού ιστροπικού πετάσματος σε σχέση με τη συχνότητα, ορίζεται από δύο συχνότητες. Τη συχνότητα που αντιστοιχεί στον χαμηλότερο συντονισμό του πετάσματος, f_1 και τη συχνότητα σύμπτωσης, f_c .

Σε έναν διπλό τοίχο με κοιλότητα τρεις είναι οι σημαντικές συχνότητες που ορίζουν τα χαρακτηριστικά του δείκτη ηχομείωσης.

- 1) Η πρώτη είναι η συχνότητα που αντιστοιχεί στην χαμηλότερη τάξη ακουστικού συντονισμού, f_2 .
- 2) Η δεύτερη αντιστοιχεί στην χαμηλότερη τάξη μηχανικού συντονισμού του διάκενου, f_0 .
- 3) Η τρίτη είναι μια οριακή συχνότητα που σχετίζεται με το διάκενο των δύο πετασμάτων, f_i .

Η πρώτη συχνότητα:

Η συχνότητα χαμηλότερης τάξης ακουστικού συντονισμού, f_2 , αντικαθιστά την χαμηλότερης τάξης συχνότητα συντονισμού του μονού πετάσματος και μπορεί να υπολογιστεί από την εξής σχέση:

$$f_2 = \frac{c}{2L} \quad (\text{Hz}) \quad (2.45)$$

όπου c - η ταχύτητα ήχου στον αέρα (m/s)
και L - η μεγαλύτερη διάσταση του κενού. (m)

Η δεύτερη συχνότητα:

Η χαμηλότερης τάξης συχνότητα μηχανικού συντονισμού μπορεί να υπολογιστεί στρογγυλοποιημένα αν γίνει η υπόθεση ότι τα δύο πετάσματα είναι μάζες που ενώνονται με την ελαστικότητα του κενού. Το σύστημα δρα δηλαδή ως δύο μάζες που συνδέονται με ελατήριο.

Για πιο πιστά αποτελέσματα όταν υπολογίζεται η χαμηλότερη συχνότητα συντονισμού του διάκενου για κάποιες κοινές τοιχοποιίες έχει βρεθεί ότι είναι σημαντική η προσθήκη ενός εμπειρικού παράγοντα, το 1.8.(Sharp, 1973).

Έτσι, η χαμηλότερης τάξης συχνότητα μηχανικού συντονισμού του διάκενου μιας διπλής τοιχοποιίας, όπου οι τοίχοι είναι πιο μεγάλοι σε σχέση με το πλάτος του κενού μεταξύ τους, δίνεται από τη σχέση:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1.8 pc^2 (m_1 + m_2)}{d(m_1 m_2)} \right)^{1/2} \text{ Hz} \quad (2.46)$$

όπου ,

m_1 και m_2 - οι επιφανειακές πυκνότητες (Kg/m^2) του κάθε τοίχου αντίστοιχα και d - το πλάτος του κενού σε μέτρα

Η τρίτη συχνότητα:

Η τρίτη συχνότητα, οριακή συχνότητα f_L , σχετίζεται με το πλάτος του διάκενου d (m) και ορίζεται :

$$f_l = \frac{c}{2\pi d} \approx \frac{55}{d} \text{ (Hz)} \quad (2.47)$$

Επίσης, σημαντικές συχνότητες για τον καθορισμό του δείκτη ηχομείωσης διπλής τοιχοποιίας είναι οι fc_1 και fc_2 (κρίσιμες συχνότητες του κάθε πετάσματος) της σχέσης 2.48 που δίνει την κρίσιμη συχνότητα:

$$F_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{B}} \text{ (Hz)} \quad (2.48)$$

2.11.2.1 Σχέση πυκνότητας υαλοβάμβακα με την απόσβεση των ταλαντώσεων

Έχουν γίνει πειράματα προκειμένου να βρεθεί ποιά είναι η βέλτιστη πυκνότητα υαλοβάμβακα αναλογικά και με την αντίσταση ροής αέρα του υαλοβάμβακα. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η απόσβεση των ταλαντώσεων των χωρισμάτων και η επιθυμητή επίδραση της συχνότητας συντονισμού ενώ παράλληλα δε γεφυρώνονται τα δύο στοιχεία.

Τα αποτελέσματα καταχωρούνται στον πίνακα 2.8 και καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η πυκνότητα του υαλοβάμβακα πρέπει να είναι μεταξύ $10\text{-}40\text{kg/m}^3$.

Τα πειράματα έγιναν σε διπλό χωρίσματα από γυψοσανίδα πάχους 9,5mm με διάκενο 80mm και πάχος υαλοβάμβακα 80mm.

Αντίσταση στη ροή αέρα (Kpa.s/m^2)	Πυκνότητα	R'_w
6	10	48
8	10	49
15	20	49
25	40	48

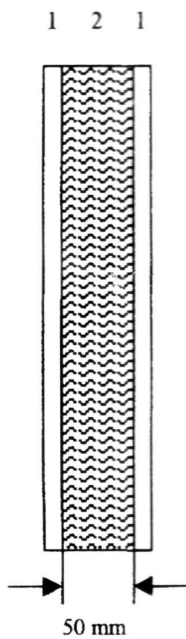
Πίνακας 2.8 Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R'_w σε σχέση με την αντίσταση ροής αέρα και πυκνότητα του υαλοβάμβακα.

2.11.2.2 Σχέση πυκνότητα πετροβάμβακα με το δείκτη ηχομείωσης ελαφριάς διπλής τοιχοποιίας.

Για να βρεθεί ο ρόλος της πυκνότητας του πετροβάμβακα ως προς τον δείκτη ηχομείωσης μιας ελαφριάς διπλής τοιχοποιίας πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές μετρήσεις σε δύο είδη διπλής τοιχοποιίας από γυψοσανίδα. Σε κάθε μέτρηση δοκιμάστηκαν τρεις πυκνότητες πετροβάμβακα: 40, 70, 120 kg/m³.

Οι μετρήσεις έγιναν στο πολυτεχνείο της Valencia στην Ισπανία (ETS of Architecture in the Polytechnical University of Valencia) και ακολουθούν τα πρότυπα ISO.

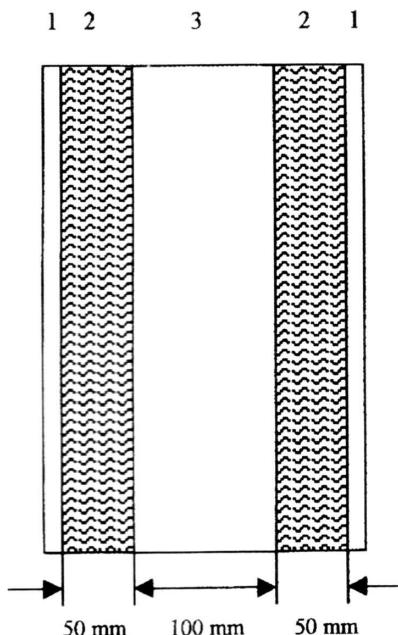
Η πρώτη τοιχοποιία αποτελείται από μονή γυψοσανίδα στερεωμένη σε ένα μεταλλικό σκελετό 50mm. Στο κενό μεταξύ των τοιχωμάτων, όσο το πάχος του σκελετού, τοποθετείται πετροβάμβακας.



1. Γυψοσανίδα πάχους 13mm.
2. Πετροβάμβακας.

Εικόνα 2.3α Μονός σκελετός με διπλή γυψοσανίδα.

Η δεύτερη τοιχοποιία αποτελείται από μονή γυψοσανίδα σε δύο ανεξάρτητους μεταλλικούς σκελετούς των 50mm. Πίσω από κάθε πλευρά της τοιχοποιίας υπάρχει πετροβάμβακας. Το κενό μεταξύ των δύο σκελετών είναι 10 cm.

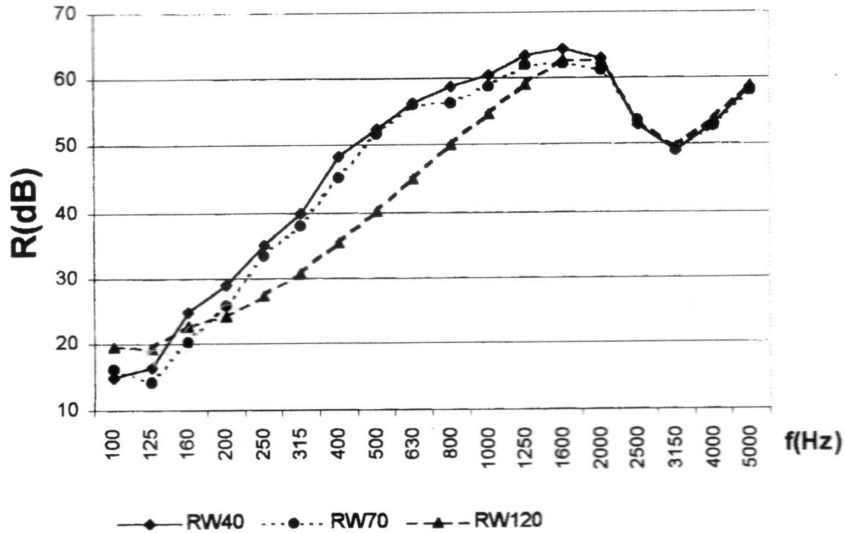


1. Γυψοσανίδα πάχους 13mm.
2. Πετροβάμβακας.
3. Κενό αέρα.

Εικόνα 2.3β Διπλός σκελετός με μονή γυψοσανίδα.

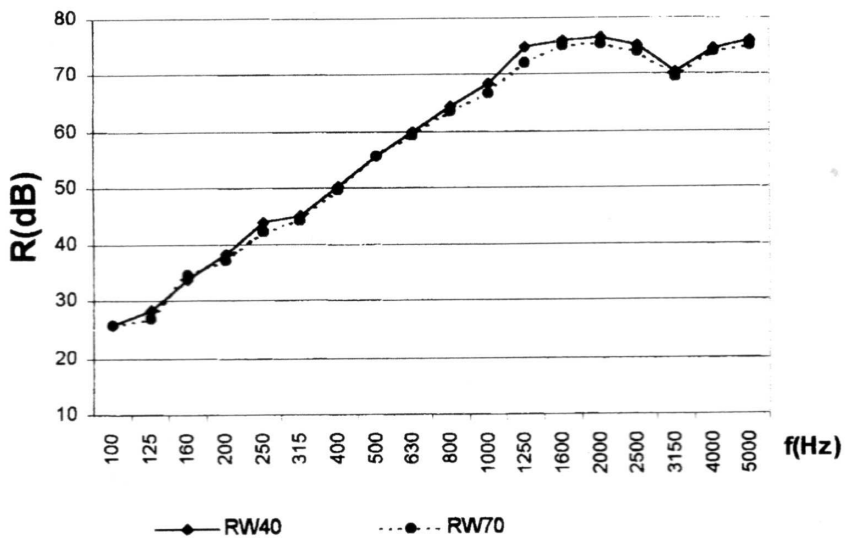
Τα αποτελέσματα του δείκτη ηχομείωσης των υπό μελέτη διπλών τοιχοποιιών ανάλογα με τις πυκνότητες του πετροβάμβακα που μελετήθηκαν, σχεδιάστηκαν στα ακόλουθα διαγράμματα.

Για την πρώτη τοιχοποιία :



Σχεδιάγραμμα 2.10α Δείκτης ηχομείωσης της διπλής ελαφριάς τοιχοποιίας από γυψοσανίδα με μονό σκελετό. Οι πυκνότητες του πετροβάμβακα που μελετήθηκαν είναι 40, 70, 120 kg/m³. Οι αριθμήσεις της κάθε καμπύλης αφορούν στην πυκνότητα του πετροβάμβακα όπου έγιναν οι μετρήσεις.

Για τη δεύτερη τοιχοποιία:



Σχεδιάγραμμα 2.10β Δείκτης ηχομείωσης της διπλής ελαφριάς τοιχοποιίας από γυψοσανίδα με διπλό σκελετό. Οι πυκνότητες του πετροβάμβακα που μελετήθηκαν είναι 40, 70 kg/m³. Οι αριθμήσεις της κάθε καμπύλης αφορούν στην πυκνότητα του πετροβάμβακα όπου έγιναν οι μετρήσεις.

Από τα διαγράμματα προκύπτουν τα εξής:

Διάγραμμα 1^ο:

Οι πυκνότητες που μελετήθηκαν είναι των 40, 70, 120 kg/m³.

Γενικά παρατηρείται πως στο μεγαλύτερο εύρος των συχνοτήτων καλύτερα ηχομονωτικά αποτελέσματα προσφέρει η διπλή τοιχοποιία με πυκνότητα πετροβάμβακα 40 kg/m³.

Η μεγαλύτερη υπό μελέτη πυκνότητα πετροβάμβακα των 120Kg/m³, προσφέρει αύξηση του δείκτη ηχομείωσης σε σχέση με τις άλλες πυκνότητες μόνο κάτω από την περιοχή των 160 Hz. Αυτό συμβαίνει γιατί η ενέργεια των ηχητικών κυμάτων στην περιοχή αυτή είναι μεγάλη και απαιτείται η πυκνότητα του πετροβάμβακα να είναι αρκετή ώστε να μπορεί να παρουσιάζει αντίσταση και αδράνεια στην περιοχή αυτή. Στο συχνοτικό εύρος από 160-1250Hz, τα αποτελέσματα διαφέρουν ανάλογα με την πυκνότητα. Η εξεταζόμενη πυκνότητα των 120Kg/m³ δίνει τις πιο χαμηλές τιμές του δείκτη ηχομείωσης. Η πυκνότητα των 70 Kg/m³ δίνει σχεδόν τα ίδια αλλά μικρότερα αποτελέσματα σε σχέση με την πυκνότητα των 40 kg/m³. Η εξεταζόμενη πυκνότητα των 40 kg/m³ δίνει τις πιο ψηλές τιμές του δείκτη ηχομείωσης.

Πάνω από τη συχνότητα των 1250Hz και οι τρεις πυκνότητες προσφέρουν τα ίδια αποτελέσματα.

Διάγραμμα 2^ο:

Οι πυκνότητες που μελετήθηκαν είναι των 40 και 70 Kg/m³.

Η γενική παρατήρηση των αποτελεσμάτων είναι ότι η πυκνότητα του πετροβάμβακα των 40Kg/m³ προσφέρει λίγο μεγαλύτερη αύξηση του δείκτη ηχομείωσης σε όλο το εύρος των συχνοτήτων.

2.12. Δείκτης ηχομείωσης διπλών πετασμάτων κατά τη μέθοδο του Sharp

Στη διπλή τοιχοποιία, όταν τα δύο τοιχώματα είναι απολύτως ακουστικά και μηχανικά απομονωμένα μεταξύ τους, ο δείκτης ηχομείωσης μπορεί να υπολογιστεί με τη μέθοδο του Sharp ([3] Sharp,1978) ως:

$$TL = TL_M \quad \text{όταν } f \leq f_0, \quad (2.49\alpha)$$

όπου $M = m_1 + m_2$ η συνολική επιφανειακή πυκνότητα

$$TL = TL_1 + TL_2 + 20 \log_{10} fd - 29 \quad \text{όταν } f_0 < f < f_L \quad (2.49\beta)$$

$$TL = TL_1 + TL_2 + 6 \quad \text{όταν } f \geq f_L \quad (2.49\gamma)$$

όπου TL_1 και TL_2 υπολογίζονται από τους τύπους 2.35α και 2.36

Κατασκευαστικές προϋποθέσεις:

- Οι σχέσεις 2.49α,β,γ χρησιμοποιούνται με την προϋπόθεση ότι τα στάσιμα κύματα του κενού αέρα ανάμεσα στα πετάσματα εμποδίζονται έτσι ώστε η αερόφερτη σύζευξη να είναι αμελητέα. Για την αποφυγή αυτής της σύζευξης το κενό συνήθως γεμίζεται με ηχοαπορροφητικό υλικό.

- Η πυκνότητα των ηχοαπορροφητικών υλικών πρέπει να είναι υψηλή έτσι ώστε η συνολική αντίσταση αέρα μέσα από αυτό, να είναι της τάξης των $3\rho c$ ή και

μεγαλύτερο. Όταν γίνεται εγκατάσταση του πορώδες υλικού, πρέπει να δίνεται προσοχή έτσι ώστε να μη δημιουργείται μηχανική σύζευξη μεταξύ των πετασμάτων. Για αυτό το λόγο προτιμάται το άνω όριο της αντίστασης αέρα του υλικού να είναι $5\rho c$ ή εναλλακτικά το υλικό μπορεί να εφαρμόζει στον έναν τοίχο και να μην έχει καμία επαφή με τον άλλον τοίχο. Γενικά, θα πρέπει το ηχοαπορροφητικό υλικό να είναι όσο το δυνατόν πιο παχύ, με χαμηλότερο πάχος $15/f$ σε μέτρα όπου f είναι η χαμηλότερη συχνότητα που μας ενδιαφέρει.

Παρατηρήσεις για το δείκτη ηχομείωσης με τη μέθοδο Sharp:

Ο δείκτης ηχομείωσης που προβλέπει η μέθοδος Sharp, εξισώσεις 2.49α,β,γ, είναι δύσκολο να επιτευχθεί στην πράξη, λόγω της μηχανικής γέφυρας (στερεόφερτος ήχος) που δημιουργείται από το ένα πέτασμα στο άλλο.

Η μηχανική γέφυρα προκύπτει επειδή τα πετάσματα υποστηρίζονται είτε σημειακά στο σκελετό είτε γραμμικά (οι τρόποι στήριξης εξετάζονται παρακάτω).

Πάνω από μια συγκεκριμένη συχνότητα, τη συχνότητα γέφυρας-εξαιτίας της μηχανικής γέφυρας- ο δείκτης ηχομείωσης είναι πολύ πιο χαμηλός από αυτόν που προκύπτει από τις εξισώσεις 2.49α,β,γ.

Πάνω από τη συχνότητα γέφυρας, η οποία βρίσκεται πάνω από τη συχνότητα συντονισμού f_0 της εξίσωσης 2.46, καθώς και κάτω από την οριακή συχνότητα f_L της εξίσωσης 2.47, ο δείκτης ηχομείωσης αυξάνει 6 dB ανά οκτάβα όσο αυξάνει η συχνότητα.

2.12.1. Τρόποι στήριξης πετασμάτων και ο δείκτης ηχομείωσης διπλών πετασμάτων βάσει της μεθόδου Sharp.

Οι τρόποι στήριξης των πετασμάτων επηρεάζουν άμεσα τον τρόπο διάδοσης του στερεόφερτου ήχου.

Υπάρχουν δύο τρόποι για να στερεωθεί ένα πέτασμα.

Πρώτος τρόπος: το πέτασμα εφάπτεται απευθείας στο σκελετό και αυτό έχει ως αποτέλεσμα το πέτασμα να εφάπτεται σε όλο το μήκος του σκελετού. Αυτή η στήριξη του πετάσματος ονομάζεται γραμμική στήριξη. Το κενό μεταξύ των δοκών, b , θεωρείται κανονικό.

Δεύτερος τρόπος: το πέτασμα εφάπτεται σε μικρούς αποστάτες που τοποθετούνται στο σκελετό και ονομάζεται σημειακή στήριξη. Το κενό, e , μεταξύ των σημείων στήριξης δημιουργούν ένα κανονικό ορθογώνιο πλέγμα.

Οι διαστάσεις b και e είναι σημαντικές για να οριστεί ο δείκτης ηχομείωσης.

Με τους δύο τρόπους στήριξης των πετασμάτων μπορούν να γίνουν τέσσερις συνδυασμοί σύνδεσης για μία διπλή τοιχοποιία. Γραμμική-γραμμική στήριξη, γραμμική-σημειακή στήριξη, σημειακή-γραμμική στήριξη, σημειακή-σημειακή στήριξη.

Οι υποθέσεις που έχουν γίνει στην ανάλυση του Sharp για τον υπολογισμό του δείκτη ηχομείωσης είναι ότι το πρώτο πέτασμα θα έχει κρίσιμη συχνότητα fc_1 και θα

είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με την κρίσιμη συχνότητα του δεύτερου πετάσματος, f_{c2} .

Η στήριξη σημειακή-γραμμική δεν ακολουθεί την παραπάνω προϋπόθεση γιατί η σημειακή στήριξη δίνει ψηλότερες τιμές στη κρίσιμη συχνότητα και αφορά στο πρώτο πέτασμα. Έτσι δε λαμβάνεται υπόψη στη μέθοδο υπολογισμού.

Για το συχνοτικό εύρος πάνω από τη συχνότητα γέφυρας και κάτω από το μισό της κρίσιμης συχνότητας του δεύτερου πετάσματος (του πετάσματος με την ψηλότερη κρίσιμη συχνότητα) ο αναμενόμενος δείκτης ηχομείωσης για τις τρεις περιπτώσεις στήριξης δίνεται παρακάτω.

Για γραμμική-γραμμική στήριξη

$$TL = 10\log_{10} m_1 + 10\log_{10} (f_{c2}b) + 20\log_{10} f + 20\log_{10} \left(1 + \frac{m_2 f_{c1}^{1/2}}{m_1 f_{c2}^{1/2}} \right) - 72 \text{ dB} \quad (2.50a)$$

Για σημειακή-σημειακή υποστήριξη

$$TL = 20\log_{10} m_1 + 20\log_{10} (f_{c2}e) + 20\log_{10} f + 20\log_{10} \left(1 + \frac{m_2 f_{c1}}{m_1 f_{c2}} \right) - 99 \text{ dB} \quad (2.50\beta)$$

Για γραμμική-σημειακή στήριξη

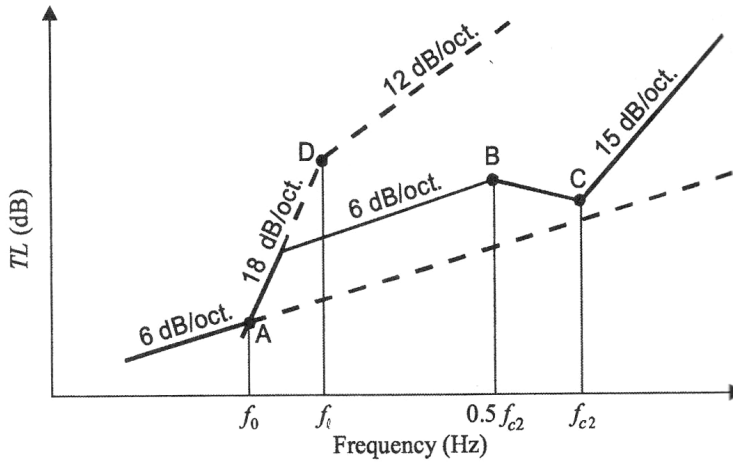
$$TL = 20\log_{10} m_1 + 20\log_{10} (f_{c2}e) + 20\log_{10} f + 10\log_{10} [1 + 2X + X^2] - 93 \text{ dB} \quad (2.50\gamma)$$

$$\text{όπου } X = \frac{77.7m_2}{m_1 e \sqrt{f_{c1} f_{c2}}} \quad (2.51)$$

Ο όρος X συνήθως είναι πολύ μικρός και μπορεί να θεωρηθεί αμελητέος. Βασισμένοι σε περιορισμένα πειράματα, η εξίσωση 2.50a δίνει πολύ καλά αποτελέσματα μεταξύ υποθέσεων και μετρήσεων ενώ η 2.50β προβλέπει μεγαλύτερους δείκτες ηχομείωσης από ότι δείχνουν οι μετρήσεις.

Γενικά, ένας ασφαλής κανόνας που φαίνεται ότι έχει γενική ισχύ είναι ότι ο δείκτης ηχομείωσης είναι μεγαλύτερος κατά 2 dB όταν η στήριξη είναι σημειακή-σημειακή από όταν είναι γραμμική-σημειακή.

2.12.2. Η μέθοδος υπολογισμού του δείκτη ηχομείωσης διπλής τοιχοποιίας της ανάλυσης του Sharp (1973) βάσει σχεδιαγράμματος.



Σχεδιάγραμμα 2.11 Δείκτης ηχομείωσης διπλής τοιχοποιίας.

Στην ανάλυση του Sharp, τα δύο εξεταζόμενα πετάσματα (κελύφη) είναι αριθμημένα. Έτσι η κρίσιμη συχνότητα του πρώτου πετάσματος είναι f_{c1} και του δεύτερου f_{c2} . Ισχύει πάντα ότι $f_{c1} \leq f_{c2}$.

Σύμφωνα με το σχεδιάγραμμα υπολογίζονται τα σημεία A και B.

Σημείο A:

$$f_0 = 80 \sqrt{\frac{(m_1 + m_2)}{d \cdot m_1 \cdot m_2}} \quad (\text{Hz}) \quad (2.52)$$

όπου m_1, m_2 - οι επιφανειακές πυκνότητες των πετασμάτων αντίστοιχα (Kg/m^2),
 d - το κενό μεταξύ των πετασμάτων σε m.
 και

$$TL_A = 20 \log_{10}(m_1 + m_2) + 20 \log_{10} f_0 - 48 \quad (2.53)$$

Σημείο B:

$$f_{c2} = \frac{0.55 \cdot c^2}{c_{L2} h_2} \quad (\text{Hz}) \quad (2.54)$$

Ο δείκτης ηχομείωσης TL_B στο σημείο B είναι ίσος με τον TL_{B1} αν η κοιλότητα μεταξύ των δύο πετασμάτων είναι κενή, ενώ όταν είναι γεμάτο με ηχοαπορροφητικό υλικό ο TL_B παίρνει τη μεγαλύτερη τιμή από τους TL_{B1} και TL_{B2} και υπολογίζεται ως εξής:

$$TL_{B1} = TL_A + 20 \log_{10} \left(\frac{f_{c1}}{f_0} \right) - 6 \quad \text{dB} \quad (2.55)$$

Για γραμμική-γραμμική στήριξη:

$$TL_{B2} = 20 \log_{10} m_1 + 10 \log_{10} b + 30 \log_{10} f_{c2} + 20 \log_{10} \left[1 + \frac{m_2 f_{c1}^{1/2}}{m_1 f_{c2}^{1/2}} \right] - 78 \quad \text{dB} \quad (2.56)$$

όπου b - είναι το διάστημα μεταξύ των γραμμικών στηρίξεων σε μέτρα.

Για γραμμική – σημειακή στήριξη :

$$TL_{B2} = 20\log_{10} m_1 e + 40\log_{10} f_{c2} - 99 \text{ dB} \quad (2.57)$$

όπου e - είναι το διάστημα ενός υποτιθέμενου πλέγματος μεταξύ των σημειακών στηριγμάτων σε μέτρα.

Για σημειακή-σημειακή στήριξη:

$$TL_{B2} = 20\log_{10} m_1 e + 40\log_{10}(f_{c2}) + 20\log_{10}\left(1 + \frac{m_2 f_{c1}}{m_1 f_{c2}}\right) - 105 \text{ dB} \quad (2.58)$$

Σημείο C:

i) Αν $f_{c1} \neq f_{c2}$ τότε $TL_c = TL_B + 6 + 10\log_{10} n_2 \text{ dB} \quad (2.59a)$

ii) Αν $f_{c1} = f_{c2}$ τότε $TL_c = TL_B + 6 + 10\log_{10} n_2 + 5\log_{10} n_1 \text{ dB} \quad (2.59\beta)$

Σημείο D :

$$f_1 = \frac{55}{d} \text{ Hz} \quad (2.60)$$

Στο σχεδιάγραμμα δεν υπολογίζεται κάπου ο χαμηλότερης τάξης ακουστικός συντονισμός f_2 της εξίσωσης 2.45.

Θεωρείται ότι σε αυτή τη συχνότητα ο δείκτης διάδοσης θα είναι χαμηλότερος από αυτόν που προβλέπει ο νόμος της μάζας και εξαρτάται και από την απόσβεση που παρέχεται από την κοιλότητα.

Αντιθέτως, κάτω από τη συχνότητα f_2 ο δείκτης διάδοσης πάλι θα αυξηθεί όπως φαίνεται στο σχεδιάγραμμα 2.4α λόγω της ακαμψίας. Η διαδικασία υπολογισμών βάσει του σχεδιαγράμματος δείχνει ότι η ανισότητα $Mf > 2\rho c$ ικανοποιείται.

Οι παραπάνω εξισώσεις για τον υπολογισμό του δείκτη ηχομείωσης διπλής τοιχοποιίας της ανάλυσης του Sharp (1973) βασίζονται στην προϋπόθεση ότι ο σκελετός όπου ενώνεται τα δύο πετάσματα είναι «απείρως» άκαμπτος. Αυτή η προϋπόθεση είναι αποδεκτή αν χρησιμοποιείται ξύλινος σκελετός αλλά όχι όταν ο σκελετός είναι μεταλλικός.

2.12.3. Παράδειγμα υπολογισμού του δείκτη ηχομείωσης διπλής τοιχοποιίας με τη μέθοδο Sharp.

παράδειγμα 8

Ένας διπλός τοίχος από γυψοσανίδα στηρίζεται περιμετρικά σε ένα άνοιγμα με διαστάσεις 3.00*2.44 μέτρα. Το κενό μεταξύ των τοίχων είναι 0.1μέτρα. Η επιφανειακή πυκνότητα του κάθε τοίχου είναι 12,67Kg/m² και η κρίσιμη συχνότητα είναι 2500Hz. (στο κενό έχει τοποθετηθεί ηχοαπορροφητικό υλικό πάχους 50χιλιοστών, στη λύση του προβλήματος δε μετρήθηκε η απόσβεση που προκαλεί το ηχοαπορροφητικό)

Βάσει του σχεδιαγράμματος 2.11 ισχύει:

Στο σημείο A:

$$f_0 = 80 \sqrt{\frac{2 \cdot 12,67}{0,1 \cdot 12,67^2}} = 100 \text{ Hz}$$

$$TL_A = 20 \log_{10}(2 \cdot 12,67) + 20 \log_{10} 100 - 48 = 20 \text{ dB.}$$

Στο σημείο B:

Επειδή ο κάθε τοίχος στηρίζεται στις άκρες η περιοχή που σχετίζεται με τα σημεία στήριξης είναι μικρότερα από το μισό της υποτιθέμενης επιφάνειας. Άρα πρέπει να προστεθούν 4dB στον υπολογισμό του δείκτη ηχομείωσης.

$$TL_{B1} = 20 + 20 \log_{10}(2500/75) - 6 = 44.5 \text{ dB}$$

$$TL_{B2} = 20 \log_{10} 12,67 + 10 \log_{10} 2,44 + 30 \log_{10} 2500 + 6 - 77 + 4 = 61 \text{ dB,}$$

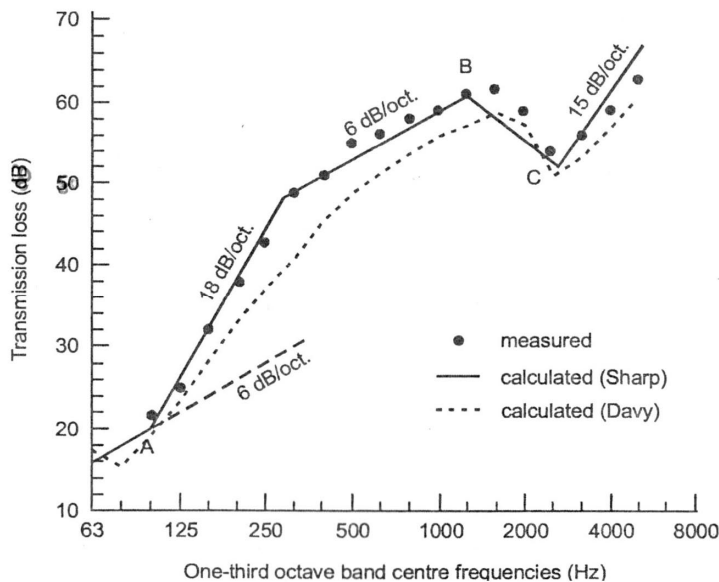
Έτσι $TL_B = 61 \text{ dB}$

Στο σημείο C :

Επειδή δεν υπάρχουν πολλές πληροφορίες, γίνεται η υπόθεση ότι ο παράγοντας απωλειών είναι $n = 0.1$ για κάθε τοίχο.

$$TL_C = 61 + 6 - 10 - 5 = 52 \text{ dB.}$$

Τα αποτελέσματα σχεδιάζονται στο παρακάτω γράφημα.



Σχεδιάγραμμα 2.12 Καμπύλη του δείκτη ηχομείωσης διπλής τοιχοποιίας από γυψοσανίδα με τη μέθοδο Sharp και Davy.

2.12.4. Δείκτης ηχομείωσης διπλών πετασμάτων βάσει της ανάλυσης Davy.

Ο Davy (1990,1991,1993,1998) παρουσίασε μια μέθοδο εκτίμησης του δείκτη διάδοσης διπλής τοιχοποιίας λαμβάνοντας υπόψη τον συντελεστή ακαμψίας, C_M , των κατακόρυφων στοιχείων (σκελετός). Η μέθοδός του θεωρείται πιο πολύπλοκη.

Κάτω από τη συχνότητα συντονισμού του συστήματος μάζα-αέρας-μάζα, f_0 , η διπλή τοιχοποιία συμπεριφέρεται σα μονή τοιχοποιία της ίδιας μάζας. Η διαδικασία υπολογισμού του δείκτη ηχομείωσης μονού τοίχου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του TL.

Πάνω από τη συχνότητα f_0 , η διάδοση από το ένα πέτασμα στο άλλο οφείλεται στην αερόφερτη ενέργεια, η οποία μεταφέρεται μέσω την κοιλότητα, καθώς και στη στερεόφερτη ενέργεια, η οποία μεταφέρεται μέσω του σκελετού. Ο συντελεστής διάδοσης του στερεόφερτου ήχου πάνω από τη συχνότητα f_0 και για όλες τις συχνότητες σύμφωνα με τη ανάλυση του Davy ([4] Davy, 1993) είναι:

$$T_{Fc} = \frac{64p^2c^3D}{\left[g^2 + (4(2\pi \cdot f)^{3/2} m_1 m_2 c C_M - g)^2 \right] b(2\pi \cdot f)^2} \quad (2.61)$$

$$\text{όπου } g = m_1(2\pi f_{c2})^{1/2} + m_2(2\pi f_{c1})^{1/2} \quad (2.61a)$$

και b το κενό μεταξύ των δοκών στήριξης.

Για γραμμική στήριξη του δεύτερου πετάσματος ισχύει:

$$D = \left(1 + \frac{\pi f_{c1} \sigma_1}{4fn_1} \right) \left(1 + \frac{\sigma_2}{2n_2} \sqrt{\frac{f_{c2}}{f}} \right) \quad (2.62)$$

όπου f_{c1} είναι ο χαμηλότερης τάξης συντονισμός που αντιστοιχεί στα δύο πετάσματα και η απόδοση της ακτινοβολίας, σ_1 και σ_2 , υπολογίζονται από τις παρακάτω εξισώσεις. ([5] Maidanik, 1962, όπως διορθώθηκε από Price & Crocker 1970)

Δύο φορές πάνω από τη θεμελιώδη συχνότητα συντονισμού του πετάσματος και κάτω από την κρίσιμη συχνότητα ισχύει:

$$\sigma = \left(\frac{2c^2}{fc^2 A_p} g_1(\xi_c) + \frac{P_c}{f_c A_p} g_2(\xi_c) \right) \gamma \quad \text{όταν ισχύει } 2f_{1,1} < f < 0.99f_c \quad (2.63)$$

όπου

$$\xi_c = \frac{f}{f_c} ,$$

A_p - είναι η περιοχή όλου του πετάσματος ,

P - η περίμετρος του συνολικού μήκους του πετάσματος συν δυο φορές το μήκος όλων των δοκών.

$$g_1(\xi_c) = \frac{4}{\pi^4} \frac{(1 - 2\xi_c^2)}{\xi_c(1 - \xi_c^2)^{1/2}} , \quad \text{όταν } f < \frac{f_c}{2} \quad (2.64a)$$

και

$$g_1(\xi_c) = 0 , \quad \text{όταν } f > \frac{f_c}{2} \quad (2.64\beta)$$

$$g_2(\xi_c) = \frac{1}{4\pi^2} \left[\frac{(1 - \xi_c^2) \log_e \left(\frac{1 + \xi_c}{1 - \xi_c} \right) + 2\xi_0}{(1 - \xi_c^2)^{3/2}} \right] \quad (2.64\gamma)$$

Αν η υπολογιστική απόδοση ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη από τη μονάδα στην εξίσωση 2.62 γίνεται ίση με τη μονάδα.

Όπως προαναφέρθηκε η μονάδα σ, υπολογίζεται όπως και για τη μονή στήριξη των πετασμάτων, με την περίμετρο να είναι ίση με τη συνολική περίμετρο του πετάματος συν δύο φορές το μήκος όλων των σκελετών. Αν το δεύτερο πέτασμα στηρίζεται σημειακά στο σκελετό, η τετραγωνική ρίζα αφαιρείται από τον τελευταίο όρο της εξίσωσης 2.62 και το 2 του παρονομαστή του τελευταίου όρου αντικαθίσταται με 4/π. ([6] Fahy, 1985, σελίδες 94-96).

Η ανάλυση του Davy είναι ανεξάρτητη από τον τρόπο που στηρίζεται το πρώτο πέτασμα και ο όρος 1.8 δεν χρησιμοποιείται στην εξίσωση 2.46.

Στους κοινά χρησιμοποιούμενους μεταλλικούς σκελετούς ο όρος C_M είναι

$C_M = 10^{-6} \text{m}^2 \text{N}^{-1}$ και για τους ξύλινους σκελετούς είναι $C_M = 0$.

Ωστόσο ο Davy ([7], Davy, 1998) προτείνει για τους μεταλλικούς σκελετούς, η ελαστικότητα να τίθεται ίση με μηδέν όπως στους ξύλινους και ο συντελεστής διάδοσης για το στερεόφερτο ήχο T_{FC} , να μειώνεται κατά 10 από την τιμή που προκύπτει από την εξίσωση 2.61 με $C_M = 0$.

Οι μονάδες της μηχανικής ελαστικότητας των σκελετών είναι m^2/N ή είναι το εκτόπισμα ανά N της δύναμης που εφαρμόζεται ανά μονάδα μήκους του σκελετού και σε κανονική διεύθυνση του πετάσματος που στηρίζεται.

Το πεδίο πρόσπτωσης του συντελεστή διάδοσης για αερόφερτο ήχο που διαδίδεται σε διπλό πέτασμα (κάθε πέτασμα έχει επιφάνεια A) και για συχνότητες μεταξύ την f_0 και $0.9f_{c1}$ (η f_{c1} είναι η χαμηλότερης τάξης κρίσιμη συχνότητα και από τα δύο πετάσματα) δίνεται από τη σχέση:

$$T_{Fa} = \frac{1 - \cos^2 \theta_L}{\left[\frac{m_2^2 + m_1^2}{2m_1m_2} + a_1a_2\bar{a} \cos^2 \theta \right] \left[\frac{m_2^2 + m_1^2}{2m_1m_2} + a_1a_2\bar{a} \right]} \quad (2.65\alpha)$$

$$\text{Όπου } a_i = \left[\frac{\pi f m_i}{\rho c} \right] \left[1 - \left(\frac{f}{f_{ci}} \right)^2 \right] \quad (2.65\beta)$$

Και οι οριακές γωνίες ορίζονται από τη σχέση 2.30 και δεν πρέπει να ξεπερνούν τις 80° .

Στην παραπάνω εξίσωση η f_{ci} είναι η κρίσιμη συχνότητα του πετάσματος, ο δείκτης i μπορεί να είναι 1, 2, οι επιφανειακές πυκνότητες των πετασμάτων είναι m_1 και m_2 και a είναι ο συντελεστής απορρόφησης της κοιλότητας.

Ο συντελεστής απορρόφησης συνήθως παίρνει την τιμή της μονάδας όταν στην κοιλότητα τοποθετείται ηχοαπορροφητικό υλικό όπως υαλοβάμβακας ή πετροβάμβακας πάχους 50mm και άνω.

Στις χαμηλές συχνότητες ο μέγιστος συντελεστής απορρόφησης που χρησιμοποιείται στην παραπάνω εξίσωση δεν πρέπει να ξεπερνάει το kd, όπου d είναι το πλάτος της κοιλότητας.

Σε κοιλότητες οι οποίες δεν έχουν απορροφητικό υλικό η τιμή του συντελεστή απορρόφησης α , παίρνει τιμές μεταξύ 0.1 και 0.15. Δεν πρέπει όμως πάλι να ξεπερνάει το k_d .

Σε συχνότητες πάνω από τη $0.9f_{c1}$ ο συντελεστής διάδοσης του αερόφερτου ήχου δίνεται από την εξίσωση :

$$T_{Fa} = \frac{\pi \cdot (\xi_1 + \xi_2) \cdot q_1}{4 \cdot \bar{a}_1^2 \cdot \bar{a}_2^2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot (q_1^2 + q_2^2) \cdot \bar{a}^2}, \text{ όπου} \quad (2.66\alpha)$$

$$\xi_i = \left(\frac{f}{f_{ci}} \right)^{1/2} \text{ με } i = 1, 2 \quad (2.66\beta)$$

$$\bar{a}_i = \frac{\pi f m_i}{\rho c} \quad (2.66\gamma)$$

$$q_1 = \eta_1 \xi_2 + \eta_2 \xi_1 \quad (2.66\delta)$$

$$q_2 = 4(\eta_1 - \eta_2) \quad (2.66\epsilon)$$

Οι ποσότητες η_1, η_2 είναι οι παράγοντες απωλειών των πετασμάτων αντίστοιχα και f είναι η κεντρική συχνότητα της τριτοκτάβας.

Ο ολικός συντελεστής διάδοσης είναι :

$$T_F = T_{Fa} + T_{Fc} \text{ για } f > f_0 \quad (2.67)$$

Η τιμή του ολικού συντελεστή διάδοσης T_F από την παραπάνω εξίσωση (2.67), χρησιμοποιείται μετά στην εξίσωση 2.10α και υπολογίζεται ο δείκτης διάδοσης TL (ή R ίδιο μέγεθος, διαφορετικός συμβολισμός). Η ποσότητα f_0 ορίζεται από την εξίσωση 2.46.

Για τις συχνότητες μεταξύ $2f_0/3$ και f_0 η γραμμική παρεμβολή μεταξύ του αποτελέσματος του TL του μονού πετάσματος στη συχνότητα $2f_0/3$ και του αποτελέσματος του TL του διπλού πετάσματος στη συχνότητα f_0 , πρέπει να γίνεται σε γράφημα του TL και του λογαρίθμου της συχνότητας.

2.12.5. Κατασκευαστικές προϋποθέσεις για τα διπλά χωρίσματα

- Μία ελαφριά κατασκευή διπλού χωρίσματος με κενό 50mm θα αυξήσει την ηχομόνωση στις μεσαίες και ψηλές συχνότητες. Για να επιτευχθεί καλή ηχομόνωση και στις χαμηλές συχνότητες πρέπει το κενό μεταξύ των χωρισμάτων να είναι από 150mm και πάνω.

- Όταν απαιτούνται ψηλές τιμές του δείκτη ηχομείωσης από μια ελαφριά κατασκευή διπλού χωρίσματος, τα δύο κελύφη θα πρέπει να στηρίζονται σε διαφορετικούς σκελετούς. Αυτό κάνει το κάθε χώρισμα του διπλού χωρίσματος να είναι μηχανικά απομονωμένο το ένα με το άλλο.

Διαφορετικά, η μηχανική απομόνωση μπορεί να επιτευχθεί σε κάποιο βαθμό με το να τοποθετούνται τα χωρίσματα ελαστικά σε κοινό σκελετό.

Στους διπλούς τοίχους από τούβλο με κοιλότητα είναι πιο αποτελεσματικό να χρησιμοποιούνται συνδετήρες από ελαφρύ μέταλλο υπό μορφή ελάσματος (τύπου πεταλούδας, «butterfly») παρά μεταλλικοί συνδετήρες με μεγάλο βάρος (εικόνα 2.4).

Η μηχανική γεφύρωση μπορεί να αποφευχθεί και με την ελαστική στήριξη και στερέωση των δύο χωρισμάτων σε δάπεδο και οροφή (σχεδιάγραμμα 2.18), καθώς και με τη δημιουργία αρμού στις πλάκες δαπέδου και οροφής μεταξύ των δύο στοιχείων.

- Σε κατασκευές υψηλών απαιτήσεων όπως ένας τοίχος studio και εφόσον για κάποιο λόγο απαιτείται σύνδεση μεταξύ των δυο τοίχων, τότε πρέπει να χρησιμοποιούνται εύκαμπτα δεσμάτα μεταξύ των δύο τοίχων που αποτελούν τη διπλή τοιχοποιία.

- Στις διπλές τοιχοποιίες από γυψοσανίδα πρέπει να δοθεί προσοχή στο κενό μεταξύ των ορθοστατών. Κενό των ορθοστατών της τάξης του 300-400 mm έχει αποδειχθεί ([8], Rindel and Hoffmeyer, 1991) ότι μειώνουν την απόδοση της διπλής τοιχοποιίας ως προς την ηχομόνωση στις τριτοκτάβες με κεντρική συχνότητες 160 και 200 Hz μέχρι και 13dB. Η απόσταση της τάξης 100-200 mm δε δίνουν τόσο χαμηλά αποτελέσματα στο δείκτη ηχομείωσης.

Παρόλο που οι μικρότερες αποστάσεις μεταξύ των ορθοστατών δίνουν καλύτερα ηχομονωτικά αποτελέσματα στις χαμηλές συχνότητες, συχνότητες κάτω από 200Hz, υπάρχει το κόστος ότι στις συχνότητες μεταξύ 250-2000Hz ελαττώνεται λίγα dB η ηχομονωτική τους απόδοση.

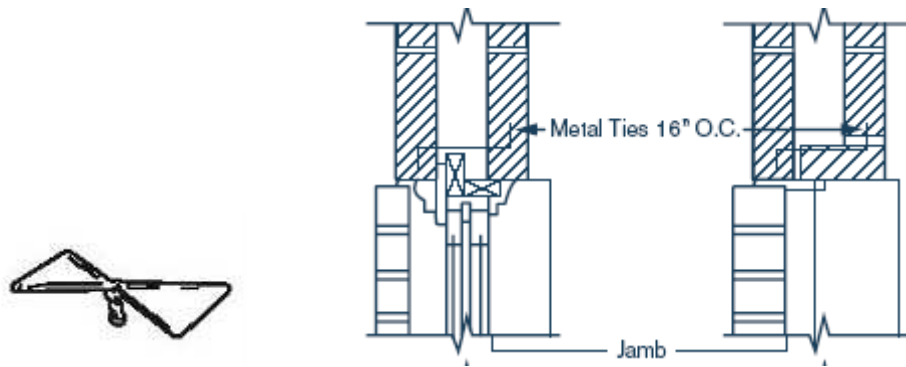
- Σημαντικό επίσης είναι να μην χρησιμοποιείται το ίδιο πάχος στις διπλές τοιχοποιίες καθώς αυξάνεται η κρίσιμη συχνότητα. Όταν τα δύο κελύφη έχουν το ίδιο πάχος, λόγω της κρίσιμης συχνότητας μπορεί να εμφανιστεί σημαντική πτώση του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης στη συχνότητα αυτή. Το φαινόμενο αυτό γίνεται πιο έντονο στα κελύφη με μικρή επιφανειακή πυκνότητα (π.χ. κόντρα πλακέ). Αυτή η παρατήρηση είναι πολύ σημαντική και για τις κατασκευές με διπλό τζάμι. Στις κατασκευές διπλού τζαμιού πρέπει να δίνεται προσοχή στην υγρασία/συμπύκνωση και για το λόγο αυτό αποστραγγιστικές τρύπες είναι απαραίτητες.

- Οι αρμοί των γυψοσανίδων πρέπει να είναι όσο το δυνατό λεπτοί, ομαλοί, να στοκάρονται επιμελώς και να καλύπτονται με ταινία. Όταν ένα χωρίσμα αποτελείται πάνω από μία στρώση γυψοσανίδας, η διαδικασία με τους αρμούς πρέπει να γίνεται σε κάθε στρώση. Οι γυψοσανίδες πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε οι αρμοί δύο διαδοχικών στρώσεων να μη συμπίπτουν. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στη σφράγιση αρμών δαπέδου και οροφής.

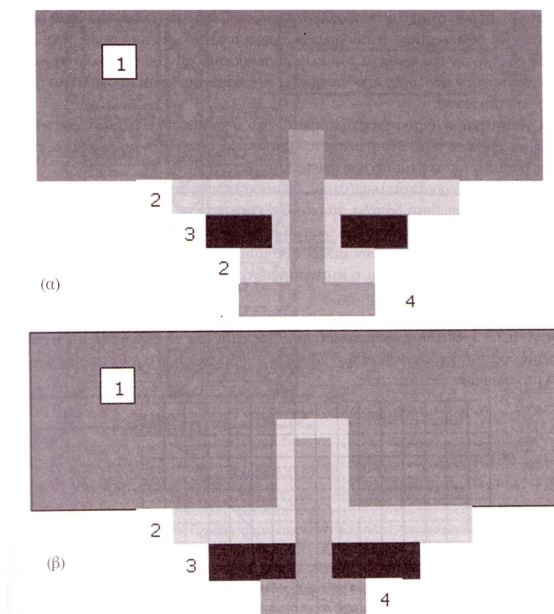
- Ο ακουστικός αρμός ανάγεται στην κατασκευή ιδιαίτερου κτιρίου με χωριστή θεμελίωση, εντός του οποίου κατασκευάζονται οι χώροι, για τους οποίους απαιτείται ισχυρή ηχοπροστασία.

Αρμοί λιγότερο αποτελεσματικοί, δημιουργούνται και με άλλες κατασκευές όπως τα κολυμβητά δάπεδα, τα οποία εξετάζονται παρακάτω.

Σε όλες τις περιπτώσεις, κατά τη διάρκεια της κατασκευής, θα πρέπει να δίνεται προσοχή και να αποφεύγεται στην κοιλότητα να πέφτουν μπάζα ή λάσπη τα οποία μπορούν να λειτουργούν σα γέφυρα μεταξύ των δύο τοίχων και αυτοί να λειτουργήσουν σαν κλειστό κύκλωμα.



Εικόνα 2. 4 Αριστερά συνδετήρας τύπου butterfly , δεξιά συνδετήρας μεταλλικός.



Σχήμα 2.5
Ενδεικτική παράσταση ελαστικής στερέωσης ή ανάρτησης

- 1.πλάκα(π.χ. σκυρόδεμα)
- 2.ειδικό ελαστικό (κατά περίπτωση)
- 3.έλασμα ή σκελετός (κατά περίπτωση)
- 4.βίδα

Σχήμα 2.5

2.13. Υπολογιστική μέθοδος εύρεσης του φαινομένου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης, R'_w , διπλής τοιχοποιίας

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης μιας διπλής τοιχοποιίας με ορυκτοβάμβακα στο διάκενο μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά με τη χρήση του τύπου:

$$R'_w = 50 \cdot \log \frac{m'}{m_0} + 20 \cdot \log \frac{d_L}{d_0} + 56 \text{ dB.} \quad (2.68)$$

Όπου m' - η επιφανειακή μάζα και των δύο κελυφών (Kg/m^2)

m_0 - η τιμή αναφοράς $300\text{kg}/\text{m}^2$

d_L - απόσταση κελυφών σε mm

d_0 - τιμή αναφοράς 10mm.

Στο αρχείο excel “υπολογισμός R'_w και R'_{ges} ” βρίσκεται ο τρόπος υπολογισμού του R'_w της διπλής τοιχοποιίας.
Ένα παράδειγμα χρήσης του αρχείου δίνεται παρακάτω:

δομ.υλικό	γραμμική πυκνότητα (kg/m³)	πάχος(cm)	επιφανειακή πυκνότητα(kg/m²)		τιμή αναφοράς 300(kg/m²)	απόσταση μεταξύ κελυφών(m)			τιμή αναφοράς (m)	Δεικ.ηχομ.
			m'	m' *2		dL				
	m	h	m'	*2	mo				do	R'w
τούβλο(πλήρες)	1800	9	162	324	300	0,05			0,01	71,65
τούβλο(πλήρες)	1800	9	162	324	300	0,1			0,01	77,67
Άλλο υλικό	900	9	81	162	300	0,05			0,01	56,6

Πίνακας 2.9.α λογισμικό φύλλο excel για τον υπολογισμό R'_w διπλής τοιχοποιίας.

Παρατηρήσεις:

Από το παράδειγμα 1 και 2 (τούβλο πλήρες) παρατηρείται το εξής:

- Με το διπλασιασμό της απόστασης των κελυφών επιτυγχάνεται αύξηση του φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης περίπου κατά 6dB.

Από το παράδειγμα 1 και 3 (τούβλο πλήρες-άλλο υλικό) παρατηρείται ότι:

- Στις διπλές τοιχοποιίες, ο διπλασιασμός της μάζας επιτυγχάνει αύξηση του φαινόμενου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης περίπου κατά 15 dB.

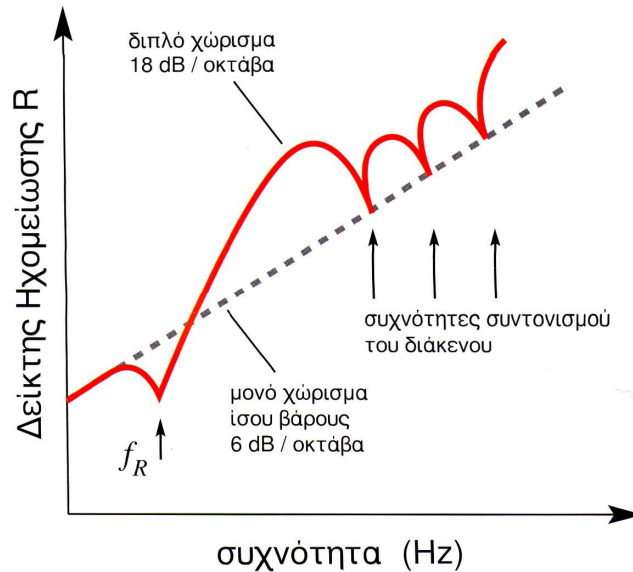
Στις μονές τοιχοποιίες ο διπλασιασμός της μάζας προσφέρει αύξηση του φαινόμενου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης περίπου 7,5dB.

2.14. Μέθοδος υπολογισμού της χαμηλότερης τάξης μηχανικού συντονισμού, f_r , διπλού πετάσματος.

Όπως αναφέρθηκε, στα διπλά οικοδομικά στοιχεία, σημαντικό ρόλο έχει η συχνότητα συντονισμού f_r . Παραπάνω δόθηκε ο ορισμός της χρησιμοποιώντας όμως τον συμβολισμό f_0 .

Η συχνότητα συντονισμού f_r βρίσκεται στην χαμηλή περιοχή συχνοτήτων και δηλώνει το χαμηλότερο όριο της ηχομονωτικής ικανότητας ενός διπλού πετάσματος.

Στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων, λόγω του φαινόμενου συντονισμού των δύο κελυφών, το διπλό πέτασμα στη συχνότητα f_r εμφανίζει σημαντική μείωση της ηχομόνωσης και υστερεί της ηχομονωτικής ικανότητας ενός μονού πετάσματος. Η διαγραμματική απεικόνιση του είναι:



Σχεδιάγραμμα 2.13 Δείκτης ηχομείωσης διπλού χωρίσματος σε σύγκριση με τον αντίστοιχο μονού χωρίσματος ίσου βάρους.

Ο υπολογισμός της συχνότητας συντονισμού διπλών πετασμάτων μπορεί να γίνει βάσει της τοποθέτησης του ηχομονωτικού υλικού στο διάκενο:

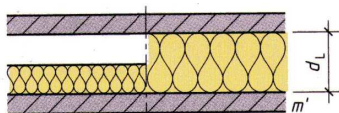
1. όταν είναι ελεύθερα τοποθετημένο
2. όταν είναι συνδεδεμένο με τα δύο κελύφη σε όλη την επιφάνεια.

Ηχομονωτικά ισχύει:

Όσο πιο χαμηλή είναι η συχνότητα συντονισμού των διπλών κελυφών τόσο πιο αποτελεσματική είναι η συμπεριφορά της κατασκευής ως προς την ηχομόνωση.

2.14.1. Υπολογισμός συχνότητας συντονισμού f_R διπλών κελυφών με ελεύθερα τοποθετημένο εύκαμπτο μονωτικό στρώμα

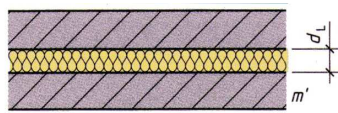
1^η) Περίπτωση
Δύο Εύκαμπτα κελύφη



εικόνα 2.5α

$$f_R = \frac{85}{\sqrt{m'_2 \cdot d_L}} \quad (2.69\alpha)$$

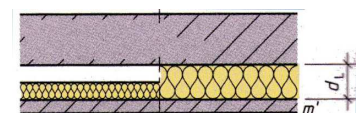
2^η) Περίπτωση
Δύο Δύσκαμπτα κελύφη



εικόνα 2.5β

$$f_R = \frac{340}{\sqrt{m'_2 \cdot d_L}} \quad (2.69\beta)$$

3^η) Περίπτωση
Ένα Εύκαμπτο και ένα Δύσκαμπτο κέλυφος



εικόνα 2.5γ

$$f_R = \frac{60}{\sqrt{m'_2 \cdot d_L}} \quad (2.69\gamma)$$

Εικόνα 2.5α,β,γ Συνδυασμός διπλών κελυφών με ελεύθερα τοποθετημένο το εύκαμπτο μονωτικό στρώμα.

όπου,

m'_2 - η επιφανειακή πυκνότητα του συμπληρωματικού κελύφους ή του μεμονωμένου κελύφους σε περίπτωση που υπάρχουν δύο ίδια κελύφη. Για το λόγο αυτόν, λαμβάνεται υπόψη μόνο η επιφανειακή πυκνότητα του κελύφους του οποίου η συχνότητα συντονισμού είναι δυσμενέστερη από αυτήν του παχύτερου κελύφους.

Και d_L = Η εσωτερική απόσταση των κελυφών σε μέτρα.

Προσοχή δίνεται και στο συμπληρωματικό κέλυφος, το οποίο πρέπει να τοποθετείται στη θορυβώδη πλευρά του οικοδομικού στοιχείου.

Παράδειγμα 9) δύο εύκαμπτα κελύφη

Είδος τοιχοποιίας
Συμπιεσμένες πλάκες

οριακή συχνότητα f_R
απόσταση κελυφών 3cm

οριακή συχνότητα f_R
απόσταση κελυφών 6cm

$$\rho = 700 \text{kg/m}^3$$

$$f_R = \frac{85}{\sqrt{15,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 0,03 \text{m}}}$$

$$f_R = \frac{85}{\sqrt{15,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 0,06 \text{m}}}$$

$$d = 22 \text{mm}$$

$$m' = 700 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,022 \text{ m}$$

$$f_R = 125 \text{Hz}$$

$$f_R = 88 \text{Hz}$$

$$m' = 15,4 \text{ kg/m}^2$$

Παράδειγμα 10) δύο δύσκαμπτα κελύφη

Είδος τοιχοποιίας
Τοιχοποιία

οριακή συχνότητα f_R
απόσταση κελυφών 3cm

οριακή συχνότητα f_R
απόσταση κελυφών 6cm

$$\rho = 1400 \text{kg/m}^3$$

$$f_R = \frac{340}{\sqrt{326 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 0,03 \text{m}}}$$

$$f_R = \frac{340}{\sqrt{326 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 0,06 \text{m}}}$$

$$d = 24 \text{cm}$$

$$m' = 1400 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,24 \text{ m}$$

$$f_R = 108 \text{Hz}$$

$$f_R = 76 \text{Hz}$$

$$m' = 326,4 \text{ kg/m}^2$$

Παράδειγμα 11) ένα εύκαμπτο και ένα δύσκαμπτο κέλυφος

Είδος τοιχοποιίας
Συμπιεσμένες πλάκες

οριακή συχνότητα f_R
απόσταση κελυφών 3cm

οριακή συχνότητα f_R
απόσταση κελυφών 6cm

τοιχοποιία με συμπληρωματικό κέλυφος ξυλόμαλλο-πλάκες ελαφριάς οικοδόμησης

$$\rho = 400 \text{kg/m}^3$$

$$f_R = \frac{60}{\sqrt{20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 0,03 \text{m}}}$$

$$f_R = \frac{60}{\sqrt{20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 0,06 \text{m}}}$$

$$d = 50 \text{mm}$$

$$m' = 400 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,05 \text{ m}$$

$$f_R = 77 \text{Hz}$$

$$f_R = 55 \text{Hz}$$

$m' = 20 \text{ kg/m}^2$

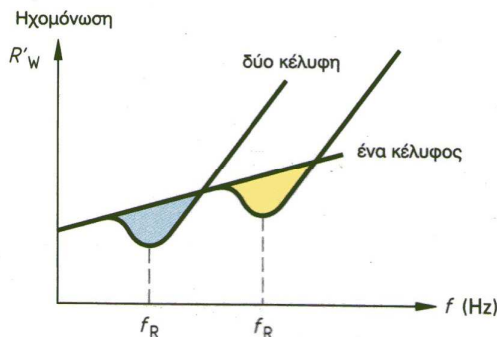
Παρατηρήσεις

Συγκρίνοντας τις περιπτώσεις προκύπτουν τα εξής.

1) Όσο αυξάνεται η απόσταση των κελυφών τόσο μικραίνει η οριακή συχνότητα. Το ίδιο θα μπορούσε να ισχύσει, βάσει των μαθηματικών τύπων που ορίζουν την οριακή συχνότητα, αν αντί της απόστασης αυξανόταν η επιφανειακή μάζα. Και οι δύο συνιστώσες βρίσκονται στον παρονομαστή. Άρα,

2) Όσο αυξάνεται η επιφανειακή μάζα ενός υλικού τόσο μειώνεται η οριακή συχνότητα.

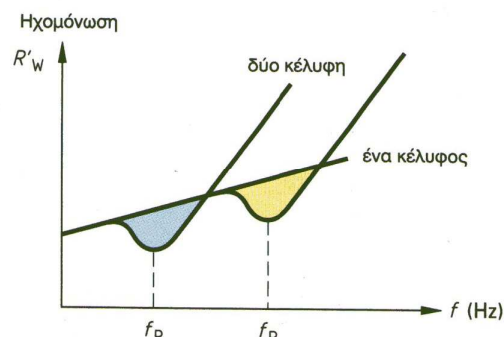
Δύο αντιπροσωπευτικά σχεδιαγράμματα για τα δύο αυτά αξιώματα ακολουθούν παρακάτω:



Σχεδιάγραμμα 2.14α
Οριακή συχνότητα σε σχέση με την επιφανειακή μάζα.

μεγάλη μάζα: μπετόν, τοιχοποιία

μικρή μάζα: Ξυλόμαλλο-γυψοσανίδες



Σχεδιάγραμμα 2.14β
Οριακή συχνότητα σε σχέση με την απόσταση κελυφών.

μεγάλη απόσταση: 20 cm

μικρή απόσταση: 2 cm

Αρχείο excel

Για πιο γρήγορο υπολογισμό της οριακής συχνότητας f_R μπορεί να χρησιμοποιηθεί το αρχείο "υπολογισμός R'_w και R_{ges} sheet1- 2 μέρος " του λογισμικού προγράμματος excel.

2.Συχνότητα συντονισμού FR διπλών οικοδομικών στοιχείων με ελεύθερα τοποθετημένο, εύκαμπτο μονωτικό στρώμα

2.1.Δύο εύκαμπτα κελύφη

τα δεδομένα που χρειάζονται συμπληρώνονται στα κελιά:

$FR = 85/\sqrt{(m^2 \cdot dL)}$
 m^2 = επιφανειακή πυκνότητα συμπληρωματικού κελύφους, ελαφρύτερου κελύφους
 dL = εσωτερική απόσταση κελυφών σε m

δομ.υλικό	γραμμική πυκνότητα(kg/m ³) m	πάχος(mm) h	επιφανειακή πυκνότητα(kg/m ²) m ²	εσωτερική απόσταση κελυφών(m)	FR(HZ)
αλουμίνιο	2700	3	8,1	0,03	172,43
αλουμίνιο	2700	3	8,1	0,06	121,93
Ξύλο	600	10	6	0,03	200,35

Ξύλο	600	10	6		0,06		141,67
Μόλυβδος	11300	5	56,5		0,03		65,29
Μόλυβδος	11300	5	56,5		0,06		46,17
Συμπιεσμένο Hardboard	1000	5	5		0,03		219,47
Hardboard	1000	5	5		0,06		155,19
Άλλο υλικό			0				#ΔΙΑΙΡ/0!

Πίνακας 2.9.β Λογισμικό φύλλο excel για τον υπολογισμό f_R διπλής τοιχοποιίας με ελεύθερα τοποθετημένο το μονωτικό στρώμα.

2.14.2. Υπολογισμός συχνότητας συντονισμού f_R διπλών κελυφών με τη σύνδεση του μονωτικού στρώματος σε όλη την επιφάνεια- επίδραση της δυναμικής ακαμψίας του υλικού.

Όταν το μονωτικό υλικό, που βρίσκεται ενδιάμεσα στα διπλά οικοδομικά στοιχεία και το οποίο είναι συνήθως υαλοβάμβακας ή πετροβάμβακας, συνδέεται με όλη την επιφάνεια των οικοδομικών στοιχείων επηρεάζεται η απόσβεση των ταλαντώσεων και η συχνότητα συντονισμού επηρεάζεται άμεσα από τη δυναμική σκληρότητα του μονωτικού υλικού.

Δυναμική ακαμψία- σκληρότητα υλικού.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των υλικών, τα οποία περιγράφονται στο τέταρτο κεφάλαιο, δηλώνει την ικανότητα του υλικού ως προς την ηχοπροστασία. Το μέγεθος αυτό είναι η δυναμική σκληρότητα και δίνει πληροφορίες:

- i) όταν αναφέρεται σε πάτωμα, για την εσωτερική ηχομόνωση από τον κτυπογενή θόρυβο
- ii) όταν αναφέρεται σε τοίχους και ταβάνια (που κρέμονται ελεύθερα), για την απορρόφηση του ήχου από αυτά.

Με τον όρο δυναμική σκληρότητα εννοείται η ελαστικότητα ενός μονωτικού στρώματος υπό την επίδραση φορτίου όπως για παράδειγμα είναι οι μηχανές, η επίπλωση, το βάδισμα πάνω στο ταβάνι.

Η μαθηματική έκφραση της δυναμικής σκληρότητας είναι:

$$s' = \frac{E_{dyn}}{d_L} \quad , \quad (2.70)$$

όπου s' = η δυναμική σκληρότητα του υλικού σε MN/m³
 E_{dyn} = δυναμική ελαστικότητα
 d_L = πάχος στρώματος του μονωτικού υλικού ή το ενδιάμεσο κενό των κελυφών σε μέτρα.

Όσο μικρότερη είναι η δυναμική σκληρότητα ενός υλικού τόσο πιο αποτελεσματικό είναι αυτό ως προς :

- i) την προστασία από τον ήχο βηματισμού
- ii) την απορρόφηση του ήχου.

Ακολουθεί ο πίνακας που δίνει τις τιμές της δυναμικής σκληρότητας κάποιων αντιπροσωπευτικών μονωτικών στρωμάτων.

Υλικό	Πάχος σε mm	Δυναμική σκληρότητα ελεύθερα τοποθετημένου υλικού σε τοίχους σε MN/m ³	Δυναμική σκληρότητα σε πλωτά πατώματα σε MN/m ³
Ορυκτοβάμβακας	10		20
Γυάλινες ίνες	10		30
Ίνες από κουκούλια	10		35
Πολυστερόλη	10		60...70
Πλάκες ξύλινων ινών	15		150
Πλάκες από φελλό	15		150
Πλάκες από φελλό, ελεύθερα τοποθετημένες	15		550
Ξυλόμαλλο-πλάκες ελαφριάς οικοδόμησης	25		200
Επίστρωμα μαρμαρυγίας	30		170
Επίστρωμα άμμου	40		300
Ψάθες από φελιζόλ	30	3	
Πλάκες ορυκτοβάμβακα	30	4	
Πλάκες από φελιζόλ	20	25...50	
Ξύλινες πλάκες από λεπτές ίνες	20	10	
Αέρας	30	15	
Αέρας	50	10	

Πίνακας 2.10
Δυναμική σκληρότητα-ακαμψία κοινών μονωτικών.

Υπολογισμός f_R

Ο υπολογισμός της συχνότητας συντονισμού διπλών κελυφών με συνδεδεμένο σε όλη την επιφάνεια το μονωτικό στρώμα γίνεται βάση των τριών κατασκευαστικών δυνατοτήτων των διπλών κελυφών και οι αντίστοιχες μαθηματικές εκφράσεις είναι οι εξής:

1^η) περίπτωση

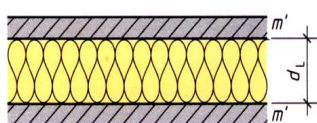
2^η) περίπτωση:

3^η) περίπτωση :

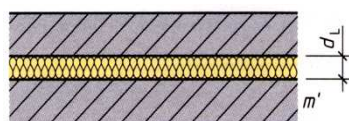
Δύο Εύκαμπτα κελύφη

Δύο Δύσκαμπτα κελύφη

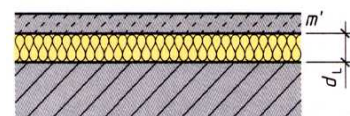
Ένα Εύκαμπτο και ένα Δύσκαμπτο κέλυφος



εικόνα 2.6α



εικόνα 2.6β



εικόνα 2.6γ

$$F_R \approx 225 \sqrt{\frac{s'}{m'_2}} \quad (2.70\alpha)$$

$$F_R \approx 900 \sqrt{\frac{s'}{m'_2}} \quad (2.70\beta)$$

$$F_R \approx 160 \sqrt{\frac{s'}{m'_2}} \quad (2.70\gamma)$$

Εικόνα 2.6α,β,γ συνδυασμός διπλών κελυφών με συνδεδεμένο σε όλη την επιφάνεια το μονωτικό υλικό

όπου ,

s' = δυναμική σκληρότητα σε MN/m^3

m'_2 = επιφανειακή πυκνότητα του λεπτότερου συμπληρωματικού κελύφους σε m .

Παραδείγματα:

Παράδειγμα 12) δύο εύκαμπτα κελύφη

Είδος τοιχοποιίας

Συμπιεσμένες πλάκες

*οριακή συχνότητα f_R
με ενδιάμεσο μονωτικό
μικρής δυναμικής σκληρότητας
(πλάκες ορυκτοβάμβακα)*

*οριακή συχνότητα f_R
με ενδιάμεσο μονωτικό
μεγάλης δυναμικής
σκληρότητας (πολυστερόλη)*

$$\rho = 700 \text{kg/m}^3$$

$$F_R \approx 225 \sqrt{\frac{4 \text{MN/m}^3}{15,4 \text{kg/m}^2}}$$

$$F_R \approx 225 \sqrt{\frac{120 \text{MN/m}^3}{15,4 \text{kg/m}^2}}$$

$$d = 22 \text{mm}$$

$$m' = 700 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,022 \text{ m}$$

$$m' = 15,4 \text{ kg/m}^2$$

$$f_R = 115 \text{Hz}$$

$$f_R = 628 \text{Hz}$$

Παράδειγμα 13) δύο δύσκαμπτα κελύφη

Είδος τοιχοποιίας

Τοιχοποιία

*οριακή συχνότητα f_R
με ενδιάμεσο μονωτικό
μικρής δυναμικής σκληρότητας
(πλάκες ορυκτοβάμβακα)*

*οριακή συχνότητα f_R
με ενδιάμεσο μονωτικό
μεγάλης δυναμικής
σκληρότητας(πολυστερόλη)*

$$\rho = 1400 \text{kg/m}^3$$

$$F_R \approx 900 \sqrt{\frac{4 \text{MN/m}^3}{326 \text{kg/m}^2}}$$

$$F_R \approx 900 \sqrt{\frac{120 \text{MN/m}^3}{326 \text{kg/m}^2}}$$

$$d = 24 \text{cm}$$

$$m' = 1400 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,24 \text{ m}$$

$$m' = 326 \text{ kg/m}^2$$

$$f_R = 98 \text{Hz}$$

$$f_R = 546 \text{Hz}$$

Παράδειγμα 14) ένα εύκαμπτο και ένα δύσκαμπτο κέλυφος

*Είδος τοιχοποιίας
τοιχοποιία
με συμπληρωματικό
κέλυφος
από ξυλλόμαλο-
ελαφριές πλάκες*

*οριακή συχνότητα f_R
με ενδιάμεσο μονωτικό
μικρής δυναμικής σκληρότητας
(πλάκες ορυκτοβάμβακα)*

*οριακή συχνότητα f_R
με ενδιάμεσο μονωτικό
μεγάλης δυναμικής
σκληρότητας(πολυστερόλη)*

$$\rho = 400 \text{ kg/m}^3 \text{ (HWL-Platte)} \quad F_R \approx 160 \sqrt{\frac{4 \text{ MN/m}^3}{20 \text{ kg/m}^2}} \quad F_R \approx 160 \sqrt{\frac{120 \text{ MN/m}^3}{20 \text{ kg/m}^2}}$$

$$d = 50 \text{ mm}$$

$$m' = 400 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,05 \text{ m} \quad f_R = 72 \text{ Hz} \quad f_R = 392 \text{ Hz}$$

$$m' = 20 \text{ kg/m}^2$$

Αρχείο excel

Για περισσότερους και πιο γρήγορους υπολογισμούς, οι υπολογισμοί της συχνότητας συντονισμού f_R διπλών κελυφών με συνδεδεμένο το μονωτικό στρώμα σε όλη την επιφάνεια μπορεί να γίνουν με τη χρήση του αρχείου του λογισμικού excel: " υπολογισμός R'_w και R_{ges} sheet1- 3 μέρος ".

Παρατηρήσεις

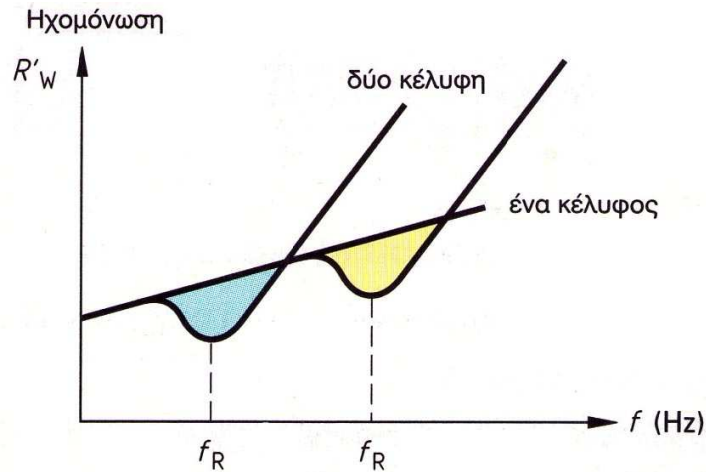
Συγκρίνοντας τα παραδείγματα προκύπτει ότι :

- i) Όταν χρησιμοποιείται εύκαμπτο μονωτικό στρώμα με μικρή δυναμική σκληρότητα στο διάκενο των κελυφών, το οποίο συνδεδεμένο σε όλη την επιφάνεια των κελυφών, επιφέρει σχεδόν την ίδια συχνότητα συντονισμού με το ελεύθερο τοποθετημένο μονωτικό στρώμα.
- ii) Τα μονωτικά στρώματα με μεγάλη δυναμική σκληρότητα, παράγουν ψηλές συχνότητες συντονισμού κάνοντας έτσι τα διπλά οικοδομικά κελύφη να υστερούν σε σχέση με τα μονά.
- iii) Από τις τρεις κατασκευαστικές δυνατότητες παρατηρείται ότι η συχνότητα συντονισμού της κατασκευής διπλών κελυφών με ένα εύκαμπτο και ένα δύσκαμπτο κέλυφος, είναι η πιο χαμηλή από τις άλλες κατασκευές και υπερτερεί έτσι στο χαμηλό συχνотικό εύρος από έναν μονό τοίχο.

Μια σημαντική παρατήρηση ως προς την τοποθέτηση του μονωτικού υλικού στο διάκενο είναι η εξής. Ακόμα και σε μεγάλης επιφανειακής πυκνότητας διπλών πετασμάτων αν στο διάκενο τοποθετηθεί υλικό θερμομονωτικό αλλά όχι ηχοαπορροφητικό, παρατηρείται πτώση του δείκτη ηχομείωσης η οποία μπορεί να οφείλεται και στην γεφύρωση του κενού.

Όπως προαναφέρθηκε όσο χαμηλότερη είναι η συχνότητα συντονισμού ενός διπλού κελύφους τόσο καλύτερη είναι η κατασκευή ηχομονωτικά.

Ένα αντιπροσωπευτικό σχεδιάγραμμα βρίσκεται παρακάτω:



Σχεδιάγραμμα 2.15 Συχνότητα συντονισμού διπλών κελυφών σε συνάρτηση με τη δυναμική σκληρότητα του μονωτικού στρώματος.

f_R ■ το μονωτικό στρώμα του διάκενου έχει μικρή δυναμική σκληρότητα, π.χ. $s' = 4 \text{ MN/m}^3$

f_R ■ το μονωτικό στρώμα του διάκενου έχει μεγάλη δυναμική σκληρότητα, π.χ. $s' = 100 \text{ MN/m}^3$

Συνοψίζοντας από τα παραπάνω παραδείγματα προκύπτει ότι η συχνότητα συντονισμού μειώνεται:

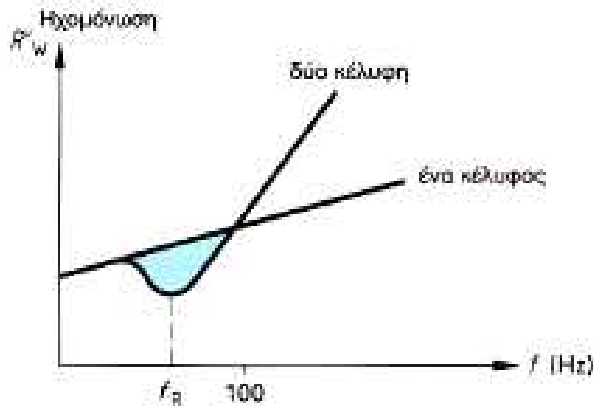
- Όσο πιο μεγάλη επιφανειακή μάζα έχουν τα κελύφη (το m' βρίσκεται στον παρονομαστή)
- Όσο μεγαλύτερη απόσταση έχουν τα δύο κελύφη (το d_L βρίσκεται στον παρονομαστή)
- Όσο μικρότερη είναι η δυναμική σκληρότητα του μονωτικού υλικού που τοποθετείται στο διάκενο.

Η ηχομόνωση μιας κατασκευής έχει σημαντικό ρόλο στην περιοχή των συχνοτήτων από 100 Hz έως 3.150 Hz, στη δομική ακουστική. Για το λόγο αυτό είναι επιθυμητή η συχνότητα συντονισμού να βρίσκεται κάτω από τα 100Hz.

Εν αντιθέσει, όταν ο υπό μελέτη χώρος αφορά επαγγελματικούς χώρους ηχογράφησης οι συχνότητες κάτω από τα 100Hz έχουν σημασία και λαμβάνονται υπόψη, έτσι ώστε να γίνουν επεμβάσεις που θα εμποδίζουν τη μετάδοση των χαμηλών συχνοτήτων.

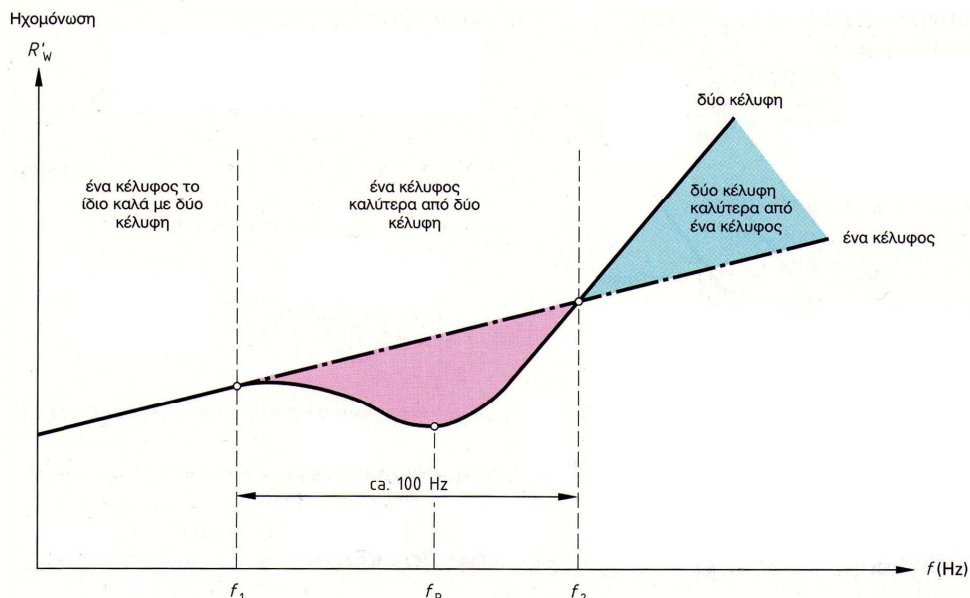
Άρα λαμβάνοντας υπόψη τα τρία αξιώματα που καθιστούν μια κατασκευή διπλών κελυφών καλύτερη ηχομονωτικά, η συχνότητα συντονισμού θα βρίσκεται κάτω από το κατασκευαστικό αξίωμα $f_R < 100 \text{ Hz}$.

Ένα αντίστοιχο σχεδιάγραμμα είναι:



Σχεδιάγραμμα 2.16 Συχνότητα συντονισμού διπλών κελυφών λαμβάνοντας υπόψη και τα τρία αξιώματα για τη βέλτιστη επιλογή.

Μια απλοποιημένη σύγκριση των μονών και των διπλών τοίχων μπορεί να περιγραφεί από το σχεδιάγραμμα 2.17:



Σχεδιάγραμμα 2.17 Σύγκριση φαινομένου δείκτη ηχομείωσης μονού και διπλού κελύφους.

Από το διάγραμμα προκύπτουν τα εξής:

- Μέχρι τη συχνότητα f_1 ηχομονωτικά ένας διπλός και ένας μονός τοίχος είναι ίδιοι.
- Στην περιοχή συχνοτήτων f_1 έως f_2 ο μονός τοίχος υπερτερεί του διπλού λόγω της ύπαρξης της συχνότητας συντονισμού f_R στους διπλούς τοίχους. Κατά τη συχνότητα συντονισμού ένας διπλός τοίχος φτάνει στο ελάχιστο όριο ηχομόνωσής του.
- Από την f_2 συχνότητα και μετά, η οποία στην πράξη βρίσκεται περίπου 100Hz πάνω από την f_R , οι διπλοί τοίχοι έχουν υψηλότερες τιμές φαινομένου δείκτη ηχομόνωσης και υπερτερούν έναντι των μονών.

2.15. Παράθυρα -Πόρτες

Τα παράθυρα και οι θύρες σε έναν τοίχο αποτελούν το σύνθετο χώρισμα και εξετάζονται ως προς την ηχομόνωση τους με τον τρόπο που αναφέρθηκε στην παράγραφο των σύνθετων πετασμάτων.

Τα παράθυρα και οι πόρτες αποτελούν το πιο αδύνατο σημείο μιας σύνθετης τοιχοποιίας. Ο δείκτης ηχομείωσης τους εξαρτάται από το φύλλο, το πλαίσιο και η εφαρμογή τους (στεγανότητα).

Η στεγανότητά τους καθορίζει και το σταθμισμένο δείκτη ηχομείωσης. Όσον αφορά στα παράθυρα, τα ανοιγόμενα είναι πιο εύκολο να στεγανοποιηθούν από ότι τα συρόμενα που έχουν εντοιχισμένο τον μηχανισμό.

Για λόγους ηχομόνωσης αλλά και θερμομόνωσης τα φύλλα κατασκευάζονται διπλά και έτσι εξετάζονται ως σύνθετα διπλά χωρίσματα. Τα χωρίσματα αυτά αν και έχουν τις δικές τους προδιαγραφές ως οικοδομικά στοιχεία, πρέπει πάντα να εξετάζονται ως σύνολα, δηλαδή μαζί με την τοιχοποιία. Αυτό γιατί ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης εξαρτάται από τις λεπτομέρειες της κατασκευής, τα υλικά, τις διαστάσεις και την τοποθέτησή των στοιχείων. Επομένως ως σύνολα θα πρέπει να συνοδεύονται από πιστοποιητικό εργαστηριακών μετρήσεων για πληροφορίες του δείκτη ηχομείωσης.

2.15.1. Παράθυρα – οριακή συχνότητα των παραθύρων

Η μετάδοση του αερόφερτου ήχου μέσα από τα παράθυρα γίνεται όπως η μετάδοση μέσα από τα τοιχώματα. Η ηχομόνωση τους παρουσιάζει κάποιες αποκλίσεις που οφείλονται στις μικρές διαστάσεις των κρυστάλλων, τον τρόπο στήριξή τους στο φύλλο και την κάσα, καθώς και την τοποθέτηση της κάσας στον τοίχο. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ηχομόνωση των παραθύρων είναι:

1. Το πάχος της γυάλινης φέτας
2. Η γωνία πρόσπτωσης του ήχου
3. Η πυκνότητα των αρμών
4. Η συχνότητα του προσπίπτοντος ήχου.

Σημαντική πτώση του δείκτη ηχομείωσης των παραθύρων παρατηρείται λόγω της οριακή συχνότητα-συχνότητα σύμπτωσης, όπως γίνεται και με τους τοίχους σε περίπτωση πλάγιας πρόσπτωσης του ήχου.

Η μείωση του δείκτη ηχομείωσης λόγω της εμφάνισης της οριακής συχνότητας μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη χρήση διπλών τζαμιών, διαφορετικού πάχους μεταξύ τους.

Ωστόσο, αν και τα διπλά παράθυρα θεωρούνται καλύτερα ως προς την ηχομόνωση, στις χαμηλές συχνότητες σε σχέση με τα μονά μπορεί να μη φέρουν κάποια αύξηση του δείκτη, όπου η διάδραση της μάζας του γυαλιού και η ακαμψία του παγιδευμένου αέρα στο διάκενο μεταξύ των φύλων παράγουν μια σειρά από συντονισμούς.

Η χαμηλότερη συχνότητα συντονισμού και ο αντίστοιχος χαμηλός δείκτης διάδοσης δίνονται περίπου από τη σχέση 2.46. Υπάρχουν και άλλοι συντονισμοί του διάκενου που είναι σημαντικές αλλά βρίσκονται συνήθως σε υψηλότερες συχνότητες. Οι συχνότητες αυτές μπορούν να υπολογιστούν από τους τύπους

$$f_n = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\left[\frac{n_x}{L_x} \right]^2 + \left[\frac{n_y}{L_y} \right]^2 + \left[\frac{n_z}{L_z} \right]^2 \right)} \text{ Hz} \quad (2.71)$$

και τη σχέση 2.45

Αναφερόμενοι στη σχέση 2.46 προκύπτει ότι το πάχος του γυαλιού και το διάκενο πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε η συχνότητα συντονισμού f_0 να είναι κάτω από το κατώτατο συχνοτικό εύρος στο οποίο εξετάζεται η ηχομείωση. Κάτω δηλαδή από τη συχνότητα των 100Hz.

Παράδειγμα 15

Ένα διπλό παράθυρο που αποτελείται από γυαλί πάχους 6mm με διάκενο 150mm δίνει $f_0 = 78\text{Hz}$. Ο δείκτης διάδοσης δε προβλέπεται να είναι καλός στις συχνότητες κάτω από $1.15f_0$ ή 90Hz. Στο χαμηλό συχνοτικό εύρος όπου συμβαίνουν αυτοί οι συντονισμοί, ο δείκτης διάδοσης μπορεί να αυξηθεί αν τοποθετηθεί μία κουβέρτα ή ένα πορώδες ακουστικό υλικό στο εσωτερικό μεταξύ των δύο φύλλων που στηρίζουν το τζάμι (Quirt, 1982).

Η οριακή συχνότητα στα μονά τζάμια μπορεί να υπολογιστεί από τη μαθηματική σχέση:

$$f_{Gr} = \frac{12000}{d \cdot \sin^2 \beta} \quad (2.72a)$$

όπου d - το πάχος της φέτας σε mm
και β - η γωνία πρόσκρουσης του ήχου.

Η οριακή συχνότητα στα διπλά τζάμια μπορεί να υπολογιστεί κατά προσέγγιση από τη σχέση:

$$f_{Gr} = 1200 \sqrt{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_L} + \frac{1}{d_2}} \quad (2.72b)$$

όπου d_L - η απόσταση του ενδιάμεσου χώρου των φετών σε mm και
 d_1, d_2 - το πάχος των δύο φετών σε mm.

Παράδειγμα 16:

Απλό τζάμι

Απλό τζάμι πάχους 4mm και γωνία πρόσκρουσης $\beta_1 = 45^\circ$ και $\beta_2 = 90^\circ$

$$f_{Gr} = \frac{12000}{4 \cdot \sin^2 45^\circ} = 6000\text{Hz}$$

$$f_{Gr} = \frac{12000}{4 \cdot \sin^2 90^\circ} = 3000\text{Hz}$$

παράδειγμα 17:

απλό τζάμι πάχους 12mm

και γωνία πρόσκρουσης $\beta = 45^\circ$

$$f_{Gr} = \frac{1200}{12 \cdot \sin^2 45^\circ} = 2000\text{Hz}.$$

Παράδειγμα 18:

Διπλό τζάμι με φέτες $d_1 = 4\text{mm}$ και $d_2 = 8\text{mm}$ και διάκενο $d_L = 12$

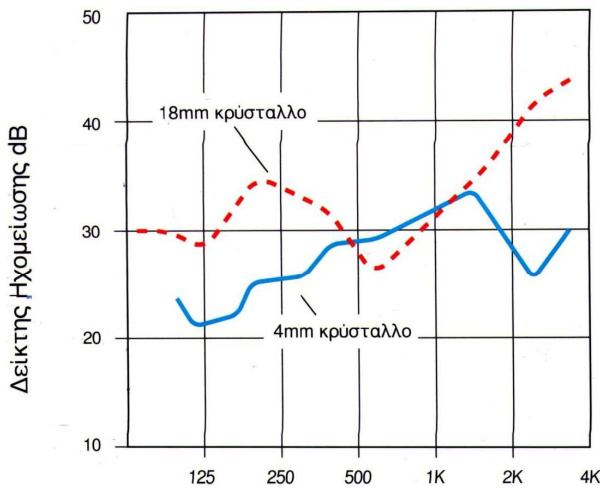
$$f_{Gr} = 1200 \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{1}{12} + \frac{1}{8}} = 812\text{ Hz}.$$

Σημείωση : και στα παράθυρα η λεπτότερη φέτα θα πρέπει να τοποθετείται στη θορυβώδη πλευρά του οικοδομικού στοιχείου.

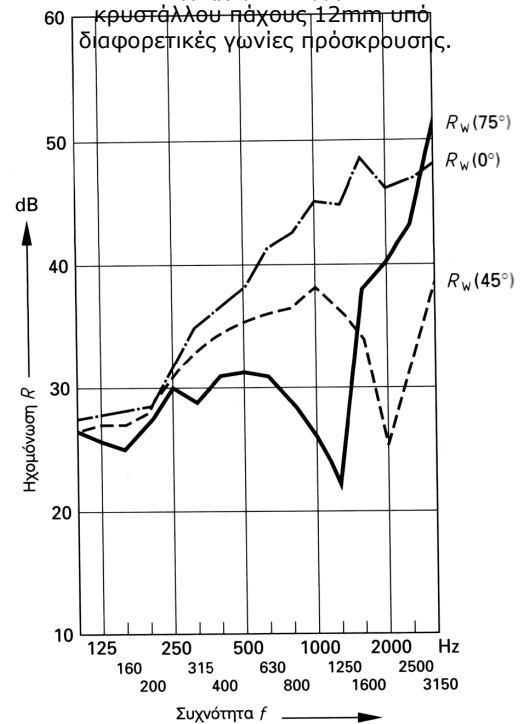
2.15.2. Μονό τζάμι

Ο δείκτης ηχομείωσης μονού παραθύρου ακολουθεί το νόμο της μάζας στις μεσαίες συχνότητες ενώ στις χαμηλές είναι μεγαλύτερος από τον προβλεπόμενο από το νόμο της μάζας. Στις ψηλές συχνότητες παρουσιάζει μια απότομη μείωση λόγω του φαινομένου της σύμπτωσης όπως προαναφέρθηκε. Στα σχεδιαγράμματα που ακολουθούν δίνεται ο δείκτης ηχομείωσης ορισμένων μονών παραθύρων.

Σχεδιάγραμμα 2.18α
Δείκτης ηχομείωσης μονού παραθύρου με κρύσταλλα διαφορετικού πάχους



Σχεδιάγραμμα 2.18β
Δείκτης ηχομείωσης μονού κρυστάλλου πάχους 12mm υπό διαφορετικές γωνίες πρόσκρουσης.



Στο σχεδιάγραμμα 2.18α, οι αποκλίσεις που παρουσιάζει ο δείκτης ηχομείωσης από τον προβλεπόμενο ενός μονού χωρίσματος οφείλεται στις μικρές διαστάσεις των κρυστάλλων οι οποίες επηρεάζουν την ακαμψία με αποτέλεσμα την έντονη εμφάνιση του φαινομένου της σύμπτωσης και τον περιορισμό της ηχομόνωσης. Για το λόγο αυτό ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης δεν αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση του πάχους των κρυστάλλων.

2.15.3. Διπλό τζάμι

Όπως προαναφέρθηκε τα διπλά τζάμια θεωρούνται πιο γερές κατασκευές ως προς την ηχομόνωση αλλά και τη θερμομόνωση. Παράλληλα όμως, λόγω του συντονισμού του διάκενου προκαλούν κάποιους συντονισμούς που μπορεί να ελαττώσει κατά πολύ το δείκτη ηχομείωσης. Αν και το φαινόμενο της σύμπτωσης ελαττώνεται με τη χρήση άνισων παχών της κάθε φέτας του διπλού παραθύρου, η βελτίωση που επιτυγχάνεται καθορίζεται κυρίως από το πάχος του διακένου μεταξύ των κρυστάλλων και λιγότερο από το πάχος των ίδιων των κρυστάλλων.

Ο δείκτης ηχομείωσης αυξάνει περίπου 4,5dB με το διπλασιασμό του διάκενου μεταξύ των φετών σύμφωνα με τη σχέση:

$$\Delta R_w \approx 15 \cdot \log \frac{d_1}{d_o} \quad , \quad (2.73)$$

όπου d_1 = το πάχος της βαριάς φέτας σε mm

d_0 = τιμή αναφοράς 10mm.

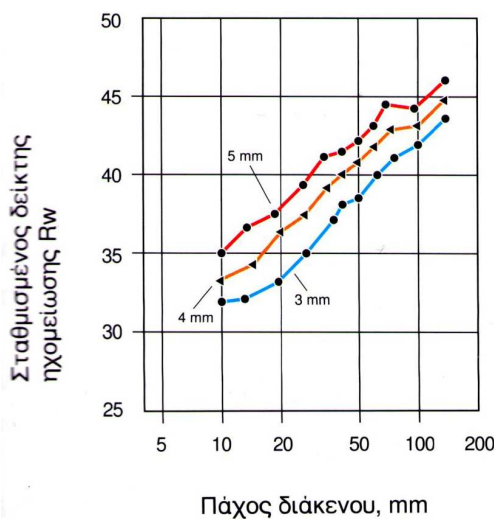
Στα μικρά πάχη του διάκενου η συχνότητα συντονισμού εμφανίζεται ανάλογα και με το πάχος των κρυστάλλων στην περιοχή από 200-400Hz με αποτέλεσμα τη μειωμένη ηχομονωτική ικανότητα.

Το διάκενο των παραθύρων πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 12 mm.

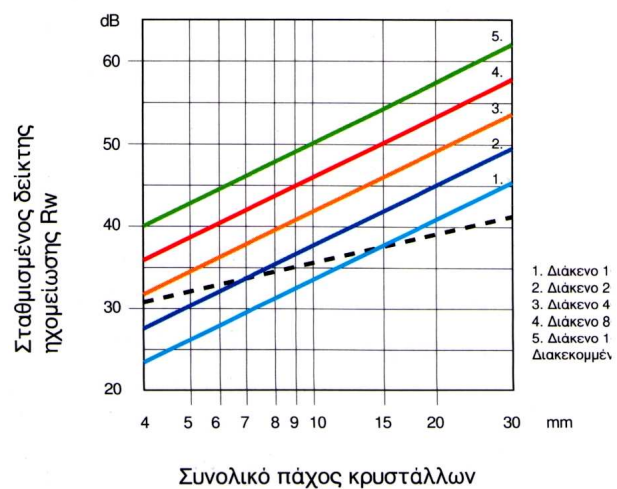
Στις ψηλές συχνότητες υπάρχει το φαινόμενο της σύμπτωσης που μειώνει απότομα το δείκτη ηχομείωσης.

Η χρήση άνισων παχών των φετών είναι απαραίτητη με μία σχέση πάχους 1:2 η οποία θεωρείται η βέλτιστη.

Στο παρακάτω σχήμα δίνεται η ηχομείωση διπλών παραθύρων σε συνάρτηση με το συνολικό πάχος των κρυστάλλων.



Σχεδιάγραμμα 2.19α
Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R_w διπλού παραθύρου για διαφορετικά πάχη κρυστάλλων (σχ.2.19^α)



Σχεδιάγραμμα 2.19β
Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R_w διπλού παραθύρου σε συνάρτηση με το συνολικό πάχος των κρυστάλλων (σχ.2.19^β)

Σημείωση : Τα τριπλά παράθυρα δεν προσφέρουν αυξημένη ηχομόνωση σε σχέση με τα διπλά αντίστοιχων διαστάσεων, πάχους και διάκενου. Αυτό συμβαίνει γιατί το διάκενο μεταξύ των τριών φύλλων είναι μικρό και οι κρύσταλλοι δε λειτουργούν σε διπλό χώρισμα. Αν το διάκενο είναι μεγάλο τότε ένα τριπλό παράθυρο εμφανίζει καλύτερη ηχομόνωση από ένα αντίστοιχο διπλό.

Συνοψίζοντας, κατά την κατασκευή ηχομονωτικών παραθύρων οι βασικοί κανόνες είναι οι εξής:

- Όπου απαιτείται υψηλή ηχομόνωση, τα παράθυρα με τα διπλά κρύσταλλα είναι η καλύτερη επιλογή. Το πάχος και το διάκενο πρέπει να επιλεγούν ανάλογα με τις απαιτήσεις.
- Τα πάχη των κρυστάλλων πρέπει να είναι άνισα, με βέλτιστη επιλογή την αναλογία πάχους 1:2.
- Η λεπτότερη φέτα κρυστάλλου πρέπει να τοποθετείται στη θορυβώδη πλευρά του οικοδομικού στοιχείου.

- Η κάσα και η τοποθέτηση της είναι σημαντικός παράγοντας για την ηχομόνωση. Η στεγανοποίηση καθορίζει και το σταθμισμένο δείκτη ηχομείωσης. Η χρήση ξεχωριστών φύλλων και ειδικά σε ξεχωριστή κάσα αυξάνει σημαντικά την ηχομόνωση λόγω μείωσης των πλευρικών μεταδόσεων.

2.15.4. Υπολογισμός του φαινομένου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης μονών και διπλών παραθύρων

Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής των παραθύρων υπάρχει και η αντίστοιχη μαθηματική σχέση για τον υπολογισμό του φαινομένου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης.

1. Απλά παράθυρα με μονή φέτα

$$R'_w = 10 \cdot \log \frac{d_1}{d_0} + 37 \text{ dB} \tag{2.74\alpha}$$

2. απλό παράθυρο με μονωτικό τζάμι και γεμάτο με αέριο στο διάκενο μεταξύ των φετών

$$R'_w = 10 \cdot \log \frac{d_1}{d_2} + 15 \cdot \log \frac{d_L}{d_o} + 39 \text{dB} + k_R \tag{2.74\beta}$$

3. απλό παράθυρο με μονωτικό τζάμι, σύνδεσης με γεμάτο με αέρα στο διάκενο μεταξύ των φετών

$$R'_w = 10 \cdot \log \frac{d_1}{d_2} + 15 \cdot \log \frac{d_L}{d_o} + 10 \cdot \log \frac{d_2}{d_o} + 46 \text{dB} + k_R \tag{2.74\gamma}$$

4. απλό παράθυρο με μονωτικό τζάμι και γεμάτο με αέρα στο διάκενο μεταξύ των φετών

$$R'_w = 10 \cdot \log \frac{d_1}{d_2} + 15 \cdot \log \frac{d_L}{d_o} + 38 \text{dB} + k_R \tag{2.74\delta}$$

5. συνδεδεμένο παράθυρο

$$R'_w = 10 \cdot \log \frac{d_1}{d_2} + 15 \cdot \log \frac{d_L}{d_o} + 10 \cdot \log \frac{d_2}{d_0} + 39 \text{dB} + k_R \tag{2.74\epsilon}$$

6. παράθυρο πλαισίου

$$R'_w = 10 \cdot \log \frac{d_1}{d_2} + 15 \cdot \log \frac{d_L}{d_o} + 10 \cdot \log \frac{d_2}{d_0} + 39 \text{dB} \tag{2.74\zeta}$$

όπου d_1 = το πάχος της βαριάς φέτας σε mm
 d_2 = το πάχος της λεπτότερης φέτας σε mm
 d_L = ενδιάμεσος χώρος αέρα μεταξύ των φετών
 K_R = διορθωτικός συντελεστής για μεταφορές πλαισίου. Οι τιμές του δίνονται στον παρακάτω πίνακα

Εκτιμήσιμη ηχομόνωση τζαμιού	Διορθωτικός παράγοντας K_R σε dB	
	Για R_w πλαίσιο = 46dB	Για R_w πλαίσιο = 49dB
40	-1,0	-0,5
42	-1,5	-0,8

44	-2,1	-1,2
46	-3,0	-1,8
48	-4,1	-2,5
50	-5,5	-3,5

Πίνακας 2.11
Διορθωτικός παράγοντας K_R .



Αρχείο excel

Για γρήγορους υπολογισμούς μπορεί να χρησιμοποιηθεί το λογισμικό φύλλο R_w παραθύρων.

Κάποια παραδείγματα για τον υπολογισμό του σταθμισμένου φαινομένου δείκτη ηχομείωσης παραθύρων όπως και κάποια παραδείγματα παραθύρων με το δείκτη ηχομείωσης δίνονται στα παρακάτω σχήματα και τον πίνακα:

Παράδειγμα 19

Συνδεδεμένο παράθυρο

- με $d_1 = 8\text{mm}$
- $d_2 = 4\text{mm}$
- $d_L = 25\text{mm}$
- $K_R = 2,1$

Λύση

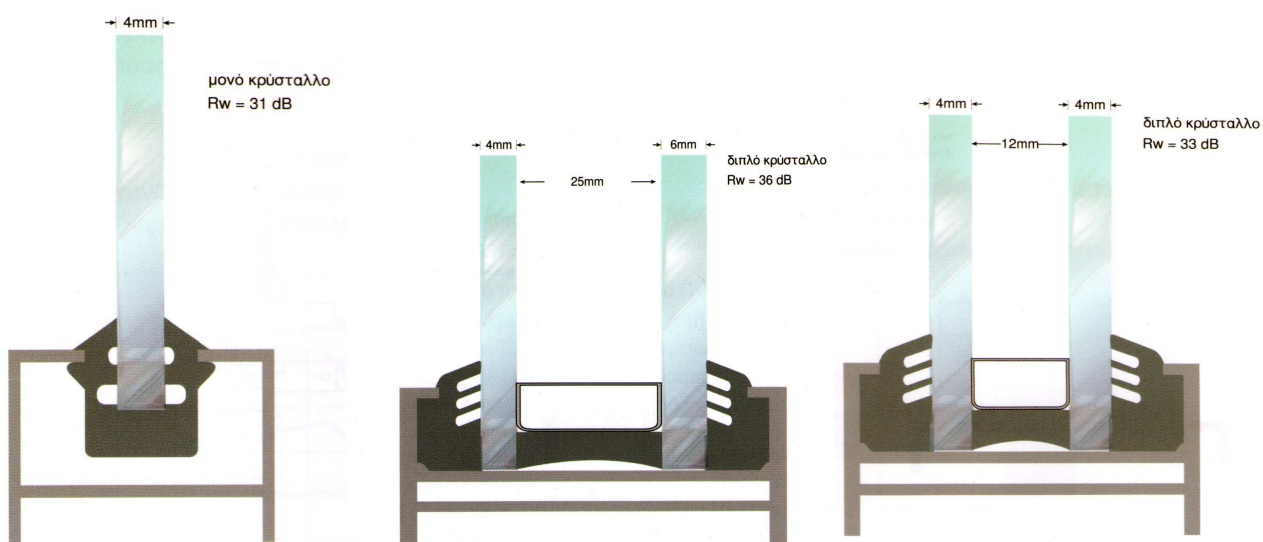
$$R'_w = 10 \cdot \log \frac{8}{10} + 15 \cdot \log \frac{25}{10} + 10 \cdot \log \frac{4}{10} + 39 - 2.1 \Rightarrow R'_w = -1 + 6 - 4 + 39 - 2 \Rightarrow R'_w = 38 \text{ dB.}$$

Ακολουθεί ο πίνακας 2.12 με τα παραδείγματα ανοιγόμενων παραθύρων από μετρήσεις του εργαστηρίου Ηχοτεχνίας Ε.Μ.Π. καθώς και κάποια σχήματα που απεικονίζουν παράθυρα με το δείκτη ηχομείωσης αντίστοιχα.

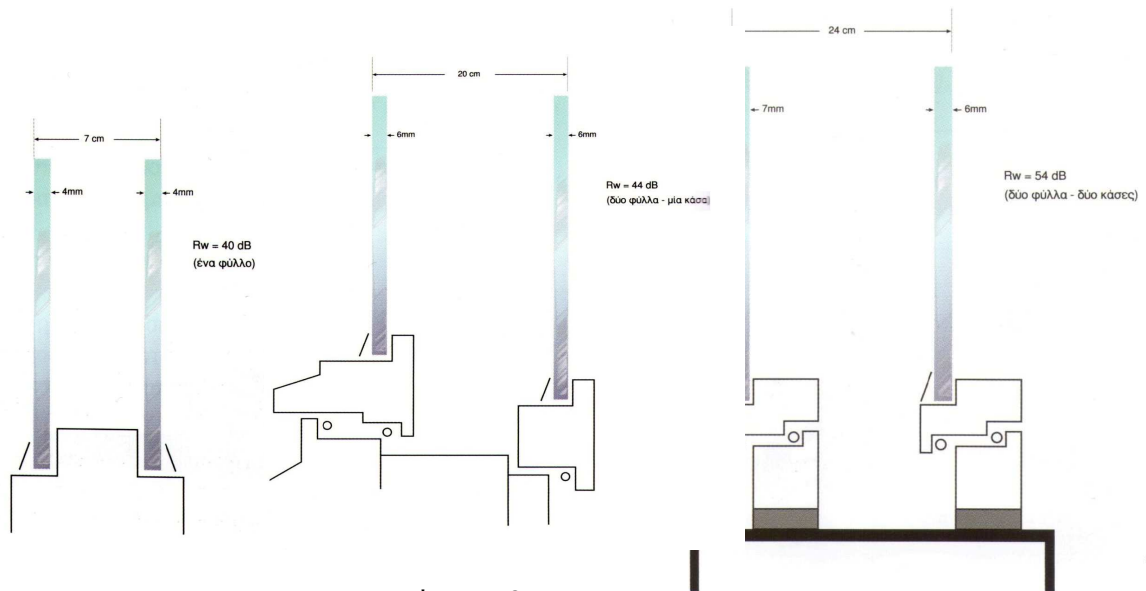
Πάχος α (mm)	Κενό (mm)	Πάχος β (mm)	Σφράγιση	R_w (dB)
2 των 3 mm	15	2 των 5 mm	Τριπλή σειρά ελαστομερών σφράγισης-στεγάνωσης. Μηχανισμός κλεισίματος πολλαπλών σημείων.	39
5	9	2 των 4 mm	Το παράθυρο ασφαλίζει σε δύο σημεία. Σφραγίζει περιμετρικά με δύο λάστιχα. Ειδική διατομή πολυαμιδίου για θερμοδιακοπή.	37
4	9	8	Τριπλή σειρά ελαστικών στεγανότητας. Κλείσιμο δύο σημείων πάνω και κάτω.	36
4	9	6	Τριπλή σειρά ελαστικών στεγανότητας. Κλείσιμο δύο σημείων πάνω και κάτω.	35
4	15	6	Το παράθυρο ασφαλίζει σε δύο σημεία. Σφραγίζει περιμετρικά με δύο λάστιχα.	35

4	16	4	Σφράγιση στο κέντρο του πλαισίου και σε περιμετρικό αρμό με λάστιχο.	32
---	----	---	--	----

Πίνακας 2.12
 παραδείγματα ανοιγόμενων παραθύρων



Εικόνα 2.7α



Εικόνα 2.7β

2.15.5. Πόρτες

Οι πόρτες είναι τα στοιχεία με την πιο αδύνατη ηχομονωτική ικανότητα συνεπώς είναι τα ηχοτεχνικά αδύναμα σημεία για τους τοίχους. Αυτό οφείλεται στους εξής λόγους:

- στο χαμηλό επιφανειακό τους βάρος
- στη μη καλή στεγανοποίηση της εγκοπής της πόρτας
- στη σύνδεση μεταξύ θυρόφυλλου και πατώματος
- στη σύνδεση της κάσας (ή αλλιώς στεφάνη πόρτας) με τα θυρόφυλλα και με τον τοίχο.

Όπως και στις απλές τοιχοποιίες ο δείκτης ηχομείωσης της πόρτας εξαρτάται από την επιφανειακή πυκνότητα του υλικού.

Οι σύνηθες πόρτες δωματίων έχουν επιφανειακή μάζα από 10-20Kg/m². Από το σχεδιάγραμμα 2.8 προκύπτει ότι για αυτό το επιφανειακό βάρος ο δείκτης ηχομείωσης αναμένεται περίπου στα 27dB.

Για αύξηση του δείκτη ηχομείωσης μπορεί να αυξηθεί το επιφανειακό βάρος της πόρτας με γέμισμα των εσωτερικών σωλήνων με ξερή άμμο (παράρτημα Α σχήμα Α.6.ζ.). Έτσι ο δείκτης ηχομείωσης ανεβαίνει στα 37dB. Η αύξηση αυτή δεν επιτεύχθηκε μόνο λόγω της αύξησης της μάζας αλλά κυρίως από το γεγονός ότι ο ηχητικός παλμός προωθείται από κόκκο σε κόκκο και χάνει την έντασή του.

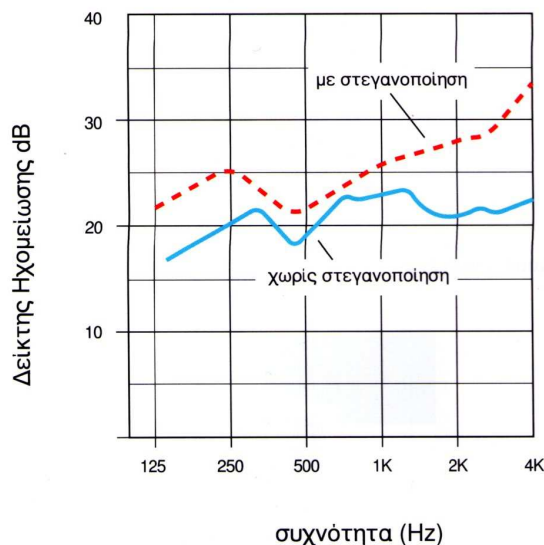
Πόρτες με μεγάλο δείκτη ηχομείωσης είναι επίσης οι πόρτες με δύο κελύφη. Το ενδιαμέσο κενό είναι περίπου 10-15 cm (για αρκετά υψηλές απαιτήσεις). Τα δύο κελύφη μπορούν να αποτελούνται από πλάκες διαφορετικού πάχους (διαφορετική επιφανειακή πυκνότητα). Για επιφανειακή πυκνότητα 30 kg/m² μιας τέτοιας πόρτας ο δείκτης ηχομείωσης μπορεί να είναι από 35- 40 dB. Οι πόρτες αυτές έχουν ψηλές

προδιαγραφές χρήσης (μεγαλύτερη δύναμη) και συντήρησης (π.χ. ενισχυμένη κάλυψη).

Στεγανοποίηση

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην εγκοπή της πόρτας για να μπορεί ο δείκτης ηχομείωσης αυτής να είναι ψηλός. Στο σχεδιάγραμμα 2.20 δίνεται η βελτίωση της ηχομόνωσης μιας πρεσσαριστής πόρτας λόγω της στεγανοποίησης των περιμετρικών κενών.

Το καουτσούκ, λάστιχο, πλαστικές λωρίδες είναι κάποια από τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περιμετρική στεγανοποίηση. Οι ελαστικές λωρίδες στεγανοποίησης φέρνουν αποτελέσματα όταν εφαρμόζονται κυκλικά στην εγκοπή μέσω του περιβλήματος και του κλεισίματος της πόρτας.



Σχεδιάγραμμα 2.20 Επίδραση της περιμετρικής στεγανοποίησης στην ηχομόνωση μιας πόρτας.

- Οι συνήθεις πόρτες από πρεσσαριστό φύλλο, με επιφανειακή πυκνότητα 10-15kg/m² εμφανίζουν δείκτη ηχομείωσης από 17dB ανάλογα με τη στεγανοποίησή τους.
- Συμπαγείς ξύλινες πόρτες (25-40Kg/m²) έχουν δείκτη ηχομείωσης μέχρι 35dB.
- Μεταλλικές πόρτες με φύλλο λαμαρίνας 1-2mm και ηχοαπορροφητικό στο διάκενο έχουν δείκτη ηχομείωσης από 35- 40dB ανάλογα με το πάχος της λαμαρίνας.

Μεγάλη σημασία δίνεται ακόμη και στο θυρόφυλλο με την πληρέστερη στεγανοποίηση της εγκοπής στον ενδιάμεσο χώρο μεταξύ πατώματος και θυρόφυλλου. Σήμερα πλέον δε δημιουργούνται κατώφλια για τις πόρτες και έτσι δεν απαιτείται στεγανοποίηση με άλλον τρόπο.

Η κάτω στεγανοποίηση μπορεί να γίνει:

- με ένα σκέπαστρο στεγανοποίησης από μία λωρίδα καουτσούκ στο κάτω μέρος του θυρόφυλλου. Το μειονέκτημα εδώ είναι η παραγωγή θορύβου κατά τη χρήση της πόρτας.
- Με μία βυθιζόμενη στο πάτωμα στεγανοποίηση κατά το κλείσιμο της πόρτας.

Διάφοροι μέθοδοι στεγανοποίησης του κάτω μέρους θυρών δίνονται στην επόμενη εικόνα 2.8.



εικόνα 2.8 α,β,γ,δ

Μέθοδοι στεγανοποίησης του κάτω μέρους των θυρών. Οι θύρες μπορεί να είναι απλές ή διπλές ανάλογα με τις απαιτήσεις

Η μετάδοση του ήχου που γίνεται από τον χώρο μεταξύ του πλαισίου της πόρτας και του τοίχου μπορεί να εμποδιστεί με γέμισμα από ορυκτοβάμβακα ή με στεγανοποίηση με αφρώδη υλικά.

Για ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις ως προς την ηχομόνωση, χρησιμοποιούνται βαριές πόρτες, σανίδωση με λαμαρίνες οι οποίες δίνουν δείκτη ηχομείωσης από 50dB και πάνω. Αυτές οι πόρτες βρίσκουν εφαρμογή σε τηλεοπτικούς ή ραδιοφωνικούς σταθμούς ή και σε συγκεκριμένους χώρους συνεδριάσεων.

Αν απαιτούνται ακόμα μεγαλύτερες τιμές ηχομόνωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο ξεχωριστές πόρτες.

2.16. Μέθοδοι υπολογισμού του σύνθετου δείκτη ηχομείωσης R_{ges} , συμπεριλαμβανομένων και των ανοιγμάτων

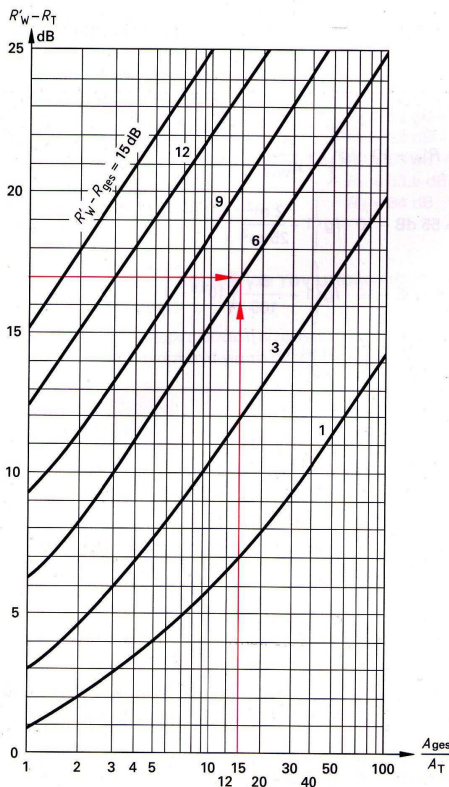
Η συνολική ηχομείωση μονών τοίχων συμπεριλαμβανομένου των ανοιγμάτων όπως πόρτες, παράθυρα τα οποία αποτελούν ως προς την ηχομόνωση το πιο αδύνατο σημείο του τοίχου, μπορεί να εξεταστεί είτε βάσει γραφήματος είτε βάσει υπολογισμών. Στην κατηγορία σύνθετων χωρισμάτων, εκτός από τους τοίχους με τα παράθυρα ή τις πόρτες υπάγονται και οι παρακάτω κατηγορίες:

- Υαλοπέτασμα με τον σκελετό του
- Θύρα ή παράθυρο με το πλαίσιο και το περιμετρικό σφράγισμα
- Χώρισμα με θυρίδες διόδου εγκαταστάσεων
- Χώρισμα με ασθενείς ηχομονωτικά περιοχές, λόγω κατασκευαστικών λαθών κλπ.

2.16.1. Γραφική μέθοδος για τον υπολογισμό του σύνθετου δείκτη ηχομείωσης, R_{ges} , σύνθετης τοιχοποιίας.

Το αντίστοιχο διάγραμμα απεικονίζεται στο σχεδιάγραμμα 2.21. Το διάγραμμα αυτό δείχνει τον υπολογισμό του σύνθετου δείκτη ηχομείωσης οικοδομικών στοιχείων με ανοίγματα.

Οι πληροφορίες που δίνει το διάγραμμα αναλύονται στα παραδείγματα:



Παράδειγμα 20 :

Για να υπολογιστεί ο συνολικός δείκτης ηχομείωσης ενός τοίχου που συμπεριλαμβάνει και πόρτα, R_{ges} , ακολουθείται η εξής διαδικασία. Τα δεδομένα είναι:

Δεδομένα:

- Φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης του τοίχου : $R'_w = 44\text{dB}$
- Δείκτης ηχομείωσης της πόρτας : $R_T = 27\text{ dB}$
- Επιφάνεια τοίχου και πόρτας: $A_{ges} = A_{w+T} = 30\text{ m}^2$
- Επιφάνεια πόρτας : $A_T = 2\text{ m}^2$

Σχεδιάγραμμα 2.21 Σύνθετος δείκτης ηχομείωσης οικοδομικών στοιχείων με ανοίγματα.

1. Υπολογίζεται :

i) Ο λόγος της σύνθετης προς την επιφάνεια της πόρτας
 $A_{w+T}/A_T = 30\text{m}^2 / 2\text{ m}^2 = 15$

ii) Η διαφορά της ηχομόνωσης του τοίχου με την πόρτα:
 $R'_w - R_T = 44 - 27 = 17\text{dB}$

2. Από το διάγραμμα βρίσκεται σε ποια καμπύλη τέμνονται τα δύο αυτά δεδομένα. Η καμπύλη είναι η $R'_w - R_{ges} = 6\text{dB}$.

3. Αν στη σχέση που περιγράφει την καμπύλη αντικατασταθεί η τιμή του R'_w που εξετάζεται προκύπτει:

$$R'_w - R_{ges} = 6\text{dB}$$

Άρα

$$44 - R_{ges} = 6 \Rightarrow R_{ges} = 38\text{dB}.$$

Ο συνολικός δείκτης ηχομείωσης του τοίχου και της πόρτας είναι $R_{ges} = 38\text{dB}$.

Παράδειγμα 21 :

Για τον υπολογισμό του δείκτη ηχομείωσης μια πόρτας έχοντας τα παρακάτω δεδομένα:

$$R'_w = 53\text{dB}$$

$$A_w + A_T = 40 \text{ m}^2$$

$$A_T = 2 \text{ m}^2$$

και επιδιώκοντας ο συνολικός δείκτης ηχομείωσης να είναι $R_{ges} = 46\text{dB}$ υπολογίζεται:

2. Ο λόγος της σύνθετης προς την επιφάνεια της πόρτας

$$A_{w+T}/A_T = 40\text{m}^2 / 2 \text{ m}^2 = 20$$

3. $R'_w - R_{ges} = 53 - 46 = 7 \text{ dB}$.

3. Από το διάγραμμα προκύπτει ότι το αριθμητικό αποτέλεσμα του λόγου των επιφανειών 20 και η καμπύλη $R'_w - R_{ges} = 7 \text{ dB}$ δίνουν την τιμή για τη διαφορά του δείκτη ηχομείωσης του τοίχου με την πόρτα, $R'_w - R_T$, στα 19dB.

4. Αντικαθιστώντας τη δοθείσα τιμή του δείκτη ηχομείωσης του τοίχου στην παραπάνω εξίσωση προκύπτει:

$$R'_w - R_T = 19$$

$$53 - R_T = 19 \Rightarrow R_T = 34 \text{ dB}.$$

Άρα σε έναν τοίχο που συμπεριλαμβάνει και πόρτα με συνολική επιφάνεια $A_w + A_T = 40 \text{ m}^2$, επιφάνεια πόρτας $A_T = 2 \text{ m}^2$, δείκτη ηχομείωσης του τοίχου $R'_w = 53\text{dB}$ και ζητούμενο συνολικό δείκτη ηχομείωσης $R_{ges} = 46\text{dB}$, η πόρτα πρέπει να έχει δείκτη ηχομείωσης της τάξης των 34dB.

2.16.2. Υπολογιστική μέθοδος για τον καθορισμό του συνολικού δείκτη ηχομείωσης σύνθετης τοιχοποιίας R_{ges} βάσει των επιφανειών των επιμέρους στοιχείων

1^{ος} τρόπος

Ο συνολικός δείκτης ηχομείωσης ενός τοίχου με πόρτα ή παράθυρα υπολογίζεται από τη μαθηματική σχέση:

$$R_{ges} = R'_w - 10 \log_{10} \left[1 + \frac{A_T}{A_{w+T}} (10^{R'_w - R_T} - 1) \right] \quad (2.75a)$$

όπου

- R'_w φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης της πόρτας
- R_T δείκτης ηχομείωσης της πόρτας
- A_{w+T} επιφάνεια τοίχου και πόρτας
- A_T επιφάνεια πόρτας

Παράδειγμα 22

Τοίχος με πόρτα

Δεδομένα: $R'_w = 55\text{dB}$

$R_T = 26\text{dB}$

$A_{w+T} = 25\text{m}^2$

$A_T = 2\text{m}^2$

Ζητούμενο R_{ges} .

Λύση:

$$R_{ges} = R'_w - 10 \log \{ 1 + A_T/A_{w+T} * (10^{R'_w - R_T / 10} - 1) \}$$

$$R_{ges} = 55 - 10 \log \{ 1 + 2/25 * (10^{55-26 / 10} - 1) \}$$

$$R_{ges} = 55 - 10 \log \{ 1 + 8/10 * (10^{2,9} - 1) \}$$

$$R_{ges} = 55 - 10 \log 64,47$$

$$R_{ges} = 55 - 18,09$$

$$R_{ges} = 37\text{dB}.$$



Αρχείο excel

Για διαφορετικές τιμές μπορεί να χρησιμοποιηθεί το αρχείο του λογισμικού προγράμματος excel : 'Υπολογισμός του R' w και Rges –sheet2'

Συνολική Ηχομείωση Σύνθετης Τοιχοποιίας Rges

$$R_{ges} = R'_w - 10 \log \{ 1 + A_T / A_{w+T} * (10^{(R'_w - R_T) / 10} - 1) \}$$

R' w = φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης τοίχου

Rt = ηχομόνωση της πόρτας

Aw +t = επιφάνεια τοίχου συμπεριλαμβανομένης της επιφάνειας πόρτας ή παραθύρων

At = επιφάνεια πόρτας ή παραθύρων

Τα δεδομένα συμπληρώνονται στα κελιά

όταν ο δείκτης ηχομείωσης του τοίχου δεν είναι γνωστός

όταν ο δείκτης ηχομείωσης του τοίχου είναι γνωστός

1. γραμμική πυκνότητα τοίχου m	(kg/m ³)	0
2. πάχος τοίχου h	(cm)	0
3. R'w	(dB)	#ΑΠΙΘ!
4. Aw+t	(m ²)	0
5. At	(m ²)	0
6. Rt	(dB)	0
Rges	(dB)	#ΑΠΙΘ!

R'w	(dB)	0
Aw+t	(m ²)	0
At	(m ²)	0
Rt	(dB)	0
Rges	(dB)	#ΔΙΑΠ/Θ!

Πίνακας 2.13 λογισμικό φύλλο excel για τον υπολογισμό σύνθετου δείκτη ηχομείωσης Rges

Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση και γνωρίζοντας το σύνθετο δείκτη ηχομείωσης Rges που επιδιώκεται, μπορεί να υπολογιστεί η ηχομόνωση της πόρτας ή των παραθύρων ως εξής:

$$R_T = R'_w - 10 \log_{10} \left[\frac{A_T}{A_{w+T}} (10^{R'_w - R_{ges} / 10} - 1) + 1 \right] \tag{2.75\beta}$$

Παράδειγμα 23

Δεδομένα:

R' w = 53dB

Rges = 42dB

Aw+t = 15m²

At = 2m²

Λύση:

$$R_T = R'_w - 10 * \log \{ A_{w+T} / A_T * (10^{R'_w - R_{ges} / 10} - 1) + 1 \}$$

$$R_T = 53 - 10 * \log \{ 15/2 * (10^{53-42/10} - 1) + 1 \}$$

$$R_T = 53 - 10 * \log \{ 7,5 * (10^{1,1} - 1) + 1 \}$$

$$R_T = 53 - 10 * \log 87,9$$

$$R_T = 53 - 10 * 1,94$$

$$R_T = 34dB$$

Άρα σε έναν τοίχο με R' w 53 dB και όταν επιδιώκεται ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης να είναι της τάξης των 42 dB, ο δείκτης ηχομείωσης του ανοίγματος (της πόρτας ή του παραθύρου) πρέπει να ανέρχεται στα 34dB.

2^{ος} τρόπος

1. Η μαθηματική σχέση που ορίζει το σύνθετο δείκτη ηχομείωσης μιας σύνθετης τοιχοποιίας, ο οποίος είναι σαν ένας συνολικός σταθμισμένος μέσος της επιφάνειας που περιέχει όλα τα στοιχεία π.χ. ο τοίχος περιέχει πόρτα η παράθυρο ή ένας τοίχος αποτελείται από διαφορετικά υλικά ή ένας τοίχος με σύστημα εξαερισμού, είναι η εξής :

$$R_{ges} = 10 \log_{10} \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_n}{\tau_1 \cdot S_1 + \tau_2 \cdot S_2 + \dots + \tau_n \cdot S_n} \quad (2.76)$$

όπου S_1 - S_n - οι επιφάνειες των δομικών στοιχείων που αποτελούν τη σύνθετη τοιχοποιία,

τ_1 - τ_n - ο δείκτης διάδοσης του αντίστοιχου στοιχείου

$$\tau = 10^{(-TL / 10)} \quad (2.77)$$

Χρησιμοποιώντας το παράδειγμα 25 του κεφαλαίου 2.16.3. ισχύει:

Μια σύνθετη τοιχοποιία έχει εμβαδού 10m^2 .

Ο τοίχος έχει εμβαδόν $S_1=8\text{m}^2$ και δείκτη ηχομείωσης σε ορισμένη ζώνη συχνοτήτων $R_1=45\text{dB}$.

Η θύρα του τοίχου έχει εμβαδόν 2m^2 και δείκτη ηχομείωσης $R_2=20\text{dB}$ στην ίδια ζώνη συχνοτήτων.

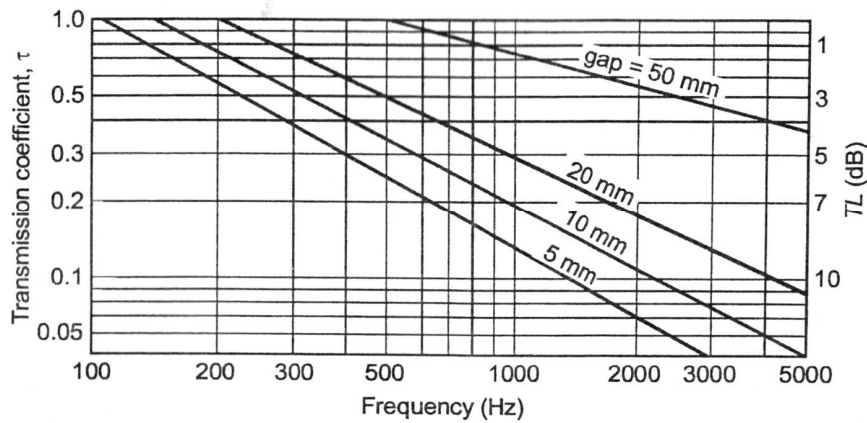
Βάσει του τύπου 2.76:

$$R_{ges} = 10 \log_{10} \frac{S_1 + S_2}{(10^{-R_1/10}) \cdot S_1 + (10^{-R_2/10}) \cdot S_2} = \frac{8 + 2}{(10^{-45/10}) \cdot 8 + (10^{-20/10}) \cdot 2} = 26,93 = 27 \text{ dB.}$$

2. Όταν το ενδιαφέρον βρίσκεται στην επίδραση του κενού γύρω από μία πόρτα ακολουθείται η εξής διαδικασία:

Η επίδραση του κενού γύρω από τις πόρτες ή γύρω από τη βάση κάποιου πετάσματος μπορεί να υπολογιστεί με τη χρήση του σχεδιαγράμματος 2.22, ο οποίος δίνει το συντελεστή διάδοσης ενός κενού σε συνάρτηση με τη συχνότητα και το πλάτος του κενού.

Αν το κενό βρίσκεται μεταξύ μιας επιφάνειας και μιας άλλης κάθετα σε αυτές, για παράδειγμα ένα κενό κάτω από την πόρτα, η επίδραση του πλάτους του κενού πρέπει να διπλασιαστεί λόγω της ανάκλασης (το κενό κάτω από την πόρτα) πριν χρησιμοποιηθεί το σχεδιάγραμμα 2.22 και 2.23 (εξηγείται παρακάτω). Ωστόσο η επίδραση του κενού του πλάτους δε διπλασιάζεται αν οι τιμές του συνολικού δείκτη ηχομείωσης TL υπολογίζονται από την σχέση 2.76.



Σχεδιάγραμμα 2.22 Συντελεστής διάδοσης ενός κενού σε συνάρτηση με τη συχνότητα και το πλάτος του κενού.

Παράδειγμα 24

Να βρεθεί ο δείκτης ηχομείωσης στα 1200Hz μιας πόρτας που η οποία έχει διαστάσεις 2.10X0.9m με κενό από κάτω της 12.5mm. Η πόρτα έχει αρχικά δείκτη ηχομείωσης 30dB ($\tau = 0.001$).

Σύμφωνα με το σχεδιάγραμμα 2.22 το κενό έχει συντελεστή διάδοσης, $\tau = 0.3$ στα 1200Hz.

Σημειώνεται ότι επειδή το πάτωμα λειτουργεί σαν ανακλαστής, η επίδραση του κενού διπλασιάζεται όταν χρησιμοποιείται το σχεδιάγραμμα 2.22 αλλά όχι όταν υπολογίζεται η περιοχή του κενού.

$$\bar{\tau} = \frac{(0.001 \times 2.10 \times 0.90) + (0.3 \times 0.90 \times 0.0125)}{(2.10 \times 0.90) + (0.90 \times 0.0125)} = \frac{0.00189 + 0.003375}{1.890 + 0.01125} = 0.00277.$$

$$TL = 10 \log_{10}(1/0.00277) = 25.6 \text{ dB}.$$

2.16.3. Υπολογισμός του σύνθετου δείκτη ηχομείωσης με τη χρήση πίνακα.

Ένας ακόμη τρόπος για τον υπολογισμό του συνολικού δείκτη ηχομείωσης μιας σύνθετης τοιχοποιίας δίνεται από τον πίνακα 2.14 α,β. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο αυτή πρέπει να είναι γνωστά το εμβαδόν της κάθε επιφάνειας και ο δείκτης ηχομείωσης ανά ζώνη συχνοτήτων του κάθε υλικού στοιχείου. Αν αντί του δείκτη ηχομείωσης ανά ζώνη συχνοτήτων χρησιμοποιηθεί ο σταθμισμένος δείκτης είναι δυνατόν ο πίνακας να οδηγήσει σε σφάλματα.

Στον πίνακα 2.14 α,β, δίνονται οι τιμές του όρου (dB), ο οποίος πρέπει να αφαιρεθεί από το μεγαλύτερο δείκτη ηχομείωσης της σύνθετης τοιχοποιίας δύο υλικών για να υπολογιστεί ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης. Ο όρος αυτός δίνεται ως συνάρτηση της διαφοράς των δεικτών ηχομείωσης και του ποσοστού επιφάνειας που καλύπτει το ασθενέστερο ηχομονωτικά υλικό. Συνήθως το ασθενέστερο ηχομονωτικά υλικό συμβολίζεται με R_2 και S_2 για το εμβαδόν ενώ το ισχυρότερο με R_1 και S_1 αντίστοιχα.

	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	S_2
0,5															
1														0,1	
2												0,1	0,1	0,1	
3											0,1	0,1	0,2	0,2	
4									0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	
5						0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	

6					0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6
7				0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8
8			0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,6	0,8	1
9			0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,6	0,8	1,1	1,3
10		0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,7	1	1,3	1,6
11		0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,9	1,3	1,6	2
12	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	1,1	1,6	2	2,4
13	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	1,4	1,9	2,4	2,9
14	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,7	2,4	2,9	3,4
15	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	2,1	2,8	3,5	4
16	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	1	1,2	1,3	1,4	2,5	3,3	4,1	4,7
17	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,4	1,6	1,7	3	3,9	4,7	5,4
18	0,2	0,5	0,7	0,9	1,2	1,4	1,5	1,7	1,9	2,1	3,5	4,6	5,4	6,1
19	0,3	0,6	0,9	1,2	1,4	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	4,1	5,2	6,2	6,9
20	0,4	0,8	1,1	1,4	1,7	2	2,3	2,5	2,7	3	4,7	6	6,9	7,7
21	0,5	0,9	1,4	1,7	2,1	2,4	2,7	3	3,3	3,5	5,4	6,7	7,8	8,6
22	0,6	1,2	1,7	2,1	2,5	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	6,2	7,6	8,6	9,5
23	0,8	1,4	2	2,5	3	3,4	3,8	4,1	4,4	4,7	6,9	8,4	9,5	10,4
24	0,9	1,7	2,4	3	3,5	4	4,4	4,8	5,1	5,4	7,8	9,3	10,4	11,3
25	1,2	2,1	2,9	3,5	4,1	4,6	5	5,4	5,8	6,2	8,6	10,2	11,3	12,2
26	1,4	2,5	3,4	4,1	4,7	5,3	5,8	6,2	6,6	6,9	9,5	11,1	12,3	13,2
27	1,7	3	4	4,7	5,4	6	6,5	7	7,4	7,8	10,4	12	13,2	14,1
28	2,1	3,5	4,6	5,4	6,2	6,8	7,3	7,8	8,2	8,6	11,3	13	14,2	15,1
29	2,5	4,1	5,3	6,2	6,9	7,6	8,1	8,6	9,1	9,5	12,3	13,9	15,1	16,1
30	3	4,7	6	7	7,8	8,4	9	9,5	10	10,4	13,2	14,9	16,1	17,1
31	3,5	5,4	6,8	7,8	8,6	9,3	9,9	10,4	10,9	11,3	14,2	15,9	17,1	18
32	4,1	6,2	7,6	8,6	9,5	10,2	10,8	11,3	11,8	12,2	15,1	16,8	18,1	19
33	4,7	7	8,4	9,5	10,4	11,1	11,7	12,3	12,8	13,2	16,1	17,8	19,1	20
34	5,4	7,8	9,3	10,4	11,3	12	12,7	13,2	13,7	14,1	17,1	18,8	20	21
35	6,2	8,6	10,2	11,3	12,2	13	13,6	14,2	14,7	15,1	18,1	19,8	21	22
R1-R2 (dB)														

Πίνακας 2.14α

Το ποσοστό της επιφάνειας S₂ δίνεται ως δεκαδικός αριθμός, με τιμές από 0,001 έως 0,05.

	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	S2
0,5					0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	
1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,8	2	
3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,8	1,1	1,5	1,8	2	2,3	2,5	2,8	3	
4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	1,1	1,6	2,1	2,4	2,8	3,1	3,4	3,7	4	
5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	1,6	2,2	2,7	3,2	3,6	4	4,4	4,7	5	
6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	2	2,8	3,4	4	4,5	4,9	5,3	5,7	6	
7	0,9	1,1	1,2	1,3	1,5	2,6	3,4	4,2	4,8	5,3	5,8	6,2	6,6	7	
8	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	3,1	4,1	4,9	5,6	6,2	6,7	7,2	7,6	8	
9	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	3,8	4,9	5,8	6,5	7,1	7,7	8,2	8,6	9	
10	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	4,5	5,7	6,6	7,4	8,1	8,6	9,1	9,6	10	
11	2,3	2,6	2,8	3,1	3,3	5,2	6,5	7,5	8,3	9	9,6	10,1	10,6	11	
12	2,8	3,1	3,4	3,7	3,9	6	7,4	8,4	9,3	10	10,6	11,1	11,6	12	
13	3,3	3,7	4	4,3	4,6	6,8	8,2	9,3	10,2	10,9	11,5	12,1	12,6	13	
14	3,9	4,3	4,7	5	5,3	7,6	9,2	10,3	11,2	11,9	12,5	13,1	13,6	14	
15	4,5	5	5,4	5,7	6,1	8,5	10,1	11,2	12,1	12,9	13,5	14,1	14,6	15	
16	5,2	5,7	6,1	6,5	6,9	9,4	11	12,2	13,1	13,9	14,5	15,1	15,6	16	

17	6	6,5	6,9	7,3	7,7	10,3	12	13,1	14,1	14,8	15,5	16,1	16,6	17
18	6,7	7,3	7,7	8,2	8,6	11,3	12,9	14,1	15,1	15,8	16,5	17	17,5	18
19	7,6	8,1	8,6	9,1	9,5	12,2	13,9	15,1	16	16,8	17,5	18	18,5	19
20	8,4	9	9,5	9,9	10,4	13,2	14,9	16,1	17	17,8	18,5	19	19,5	20
21	9,3	9,9	10,4	10,9	11,3	14,1	15,8	17,1	18	18,8	19,5	20	20,5	21
22	10,2	10,8	11,3	11,8	12,2	15,1	16,8	18,1	19	19,8	20,5	21	21,5	22
23	11,1	11,7	12,3	12,7	13,2	16,1	17,8	19	20	20,8	21,5	22	22,5	23
24	12	12,7	13,2	13,7	14,1	17,1	18,8	20	21	21,8	22,5	23	23,5	24
25	13	13,6	14,2	14,7	15,1	18,1	19,8	21	22	22,8	23,5	24	24,5	25
26	13,9	14,6	15,1	15,6	16,1	19	20,8	22	23	23,8	24,5	25	25,5	26
27	14,9	15,6	16,1	16,6	17,1	20	21,8	23	24	24,8	25,5	26	26,5	27
28	15,9	16,5	17,1	17,6	18,1	21	22,8	24	25	25,8	26,5	27	27,5	28
29	16,9	17,5	18,1	18,6	19	22	23,8	25	26	26,8	27,5	28	28,5	29
30	17,8	18,5	19,1	19,6	20	23	24,8	26	27	27,8	28,5	29	29,5	30
31	18,8	19,5	20,1	20,6	21	24	25,8	27	28	28,8	29,5	30	30,5	31
32	19,8	20,5	21,1	21,6	22	25	26,8	28	29	29,8	30,5	31	31,5	32
33	20,8	21,5	22	22,6	23	26	27,8	29	30	30,8	31,5	32	32,5	33
34	21,8	22,5	23	23,5	24	27	28,8	30	31	31,8	32,4	33	33,5	34
35	22,8	23,5	24	24,5	25	28	29,8	31	32	32,8	33,4	34	34,5	35
R1-R2 (dB)														

Πίνακας 2.14β

Το ποσοστό της επιφάνειας S_2 δίνεται ως δεκαδικός αριθμός, με τιμές από 0,06 έως 1.

Παρατηρήσεις:

Από τους πίνακες 2.14α και 2.14β προκύπτουν τα εξής:

Από τις οριζόντιες στήλες:

- Όσο μεγαλώνει η επιφάνεια του ασθενέστερου ηχομονωτικά στοιχείου, η επιφάνεια s_2 , τόσο αυξάνεται η διαφορά που πρέπει να αφαιρεθεί από το δείκτη ηχομείωσης του ισχυρότερου στοιχείου, R_1 . Αυτό φέρει ως αποτέλεσμα ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης της τοιχοποιίας να μειώνεται.

Από τις κάθετες στήλες:

- Όσο αυξάνεται η διαφορά μεταξύ των δυο οικοδομικών στοιχείων, τόσο αυξάνεται και η διαφορά που πρέπει να αφαιρεθεί από το δείκτη ηχομείωσης του ισχυρότερου οικοδομικού στοιχείου με δείκτη ηχομείωσης R_1 . Αυτό φέρει ως αποτέλεσμα τη μείωση του σύνθετου δείκτη ηχομείωσης της τοιχοποιίας.

Συμπέρασμα

Όταν ένα στοιχείο με χαμηλό δείκτη διάδοσης υπάρχει σε έναν τοίχο με μεγάλο δείκτη διάδοσης μπορεί να μειώσει αισθητά την ηχομονωτική απόδοση του τοίχου. Για το λόγο αυτό ο δείκτης διάδοσης ενός στοιχείου που υπάρχει σε μία τοιχοποιία και την καθιστά σύνθετη πρέπει να είναι αντίστοιχος με το δείκτη διάδοσης του τοίχου.

Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι ο δείκτης διάδοσης μιας πόρτας, ενός παραθύρου ή ενός ανοίγματος π.χ. εξαερισμού, πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ψηλός και η επιφάνεια που καλύπτει όσο το δυνατόν μικρή.

Παράδειγμα 25

Μια σύνθετη τοιχοποιία αποτελείται από έναν εσωτερικό τοίχο με εμβαδόν $S_1=8m^2$ και δείκτη ηχομείωσης σε ορισμένη ζώνη συχνοτήτων $R_1=45dB$ και μία απλή θύρα με εμβαδόν $2m^2$ και δείκτη ηχομείωσης $R_2=20dB$ στην ίδια ζώνη συχνοτήτων. Το εμβαδόν της θύρας δεν έχει συνυπολογιστεί στα $8m^2$.

Αρχικά υπολογίζεται η διαφορά των δεικτών ηχομείωσης των δύο στοιχείων.

$$R_1 - R_2 = 25dB$$

και στη συνέχεια το ποσοστό επιφάνειας του ασθενέστερου στοιχείου s_2 .

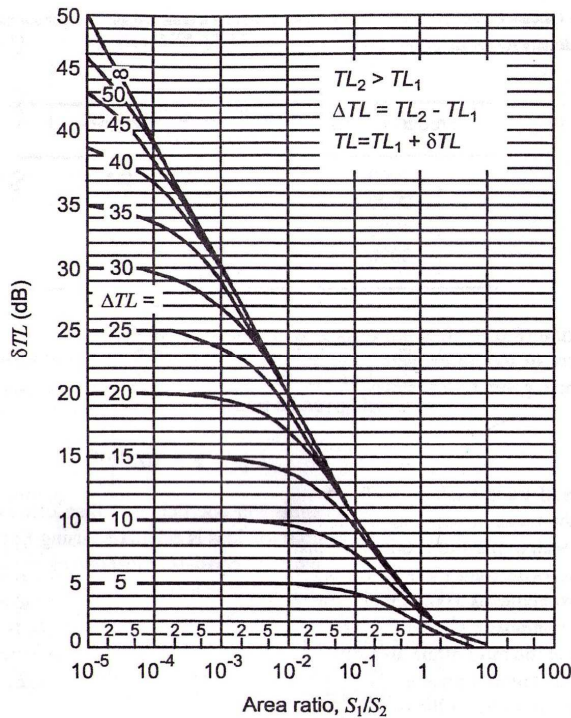
$$S_2 = 2/10 = 0,2.$$

Στον πίνακα 2.14β αναγράφεται το ποσοστό που πρέπει να αφαιρεθεί από το μεγαλύτερο δείκτη ηχομείωσης R_1 .

Το ποσοστό είναι ίσο με $18,1dB$.

Οπότε προκύπτει ότι ο συνολικός δείκτης ηχομείωσης της σύνθετης τοιχοποιίας θα είναι $R_{ges} = R_1 - 18,1 = 45 - 18,1 = 26,9dB$.

Ο υπολογισμός του σύνθετου δείκτη ηχομείωσης μπορεί να υπολογιστεί και με τη χρήση του σχεδιαγράμματος 2.23. Ακολουθείται η ίδια διαδικασία υπολογισμού όπως εξηγήθηκε παραπάνω.



Σχεδιάγραμμα 2.23 Αύξηση του δείκτη διάδοσης δTL που πρέπει να προστεθεί στον μικρότερο δείκτη διάδοσης των δύο στοιχείων για την εκτίμηση του R_{ges} .

Το σχεδιάγραμμα 2.23 δίνει την αύξηση του δείκτη διάδοσης που πρέπει να προστεθεί στον μικρότερο δείκτη διάδοσης των δύο στοιχείων, έτσι ώστε να μπορεί να εκτιμηθεί ο συνολικός δείκτης διάδοσης των δύο στοιχείων που αποτελούν τη σύνθετη τοιχοποιία.

Η αύξηση του δείκτη διάδοσης δTL , δίνεται γραφικά σε συνάρτηση του λόγου της επιφάνειας του στοιχείου με τον χαμηλότερο δείκτη διάδοσης προς την επιφάνεια του στοιχείου με τον ψηλότερο δείκτη διάδοσης καθώς και σε συνάρτηση με τη διαφορά ΔTL μεταξύ των δεικτών διάδοσης των δύο στοιχείων.

Παρατήρηση:

Από το σχεδιάγραμμα 2.23 γίνεται πάλι σαφές ότι ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης της σύνθετης τοιχοποιίας καθορίζεται κυρίως από το δείκτη ηχομείωσης του ασθενέστερου οικοδομικού στοιχείου.

Για την αύξηση του δείκτη ηχομείωσης της σύνθετης τοιχοποιίας πρέπει να ακολουθηθούν οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα που σημειώθηκαν παραπάνω.

2.17. Μετάδοση στερεόφερτου ήχου – κτυπογενή.

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου, στερεόφερτος ήχος ονομάζεται ο ήχος που προκαλείται από τα κύματα μίας μηχανικής διέγερσης. Τα κύματα αυτά με τη σειρά τους διεγείρουν τα δομικά στοιχεία ενός κτίσματος, μέσω των καμπτικών κυμάτων, και η διέγερση των δομικών στοιχείων προκαλεί τα ηχητικά κύματα στον χώρο.

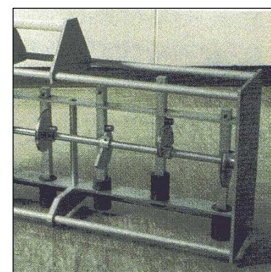
Κτυπογενής ήχος, είναι μια ειδική περίπτωση του στερεόφερτου ήχου και παράγεται όταν ένα οικοδομικό στοιχείο τίθεται άμεσα σε ταλάντωση από κτύπο. Αυτό μπορεί να συμβεί με το κλείσιμο της πόρτας, τη χρήση wc, το τρύπημα ή κάρφωμα στους τοίχους, τη χρήση οικιακών συσκευών, το βάδισμα πάνω στο πάτωμα.

Ο κτυπογενής ήχος⁶ είναι ο πιο ενοχλητικός ήχος που μεταφέρεται, μέσω του σκελετού του κτιρίου, από έναν χώρο σε έναν άλλο. Μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις και με μικρή απόσβεση. Για το λόγο αυτό η προσπάθεια ηχομόνωσής του είναι πολύ σημαντική.

Για τη μέτρηση αξιολόγησης του κτυπογενή ήχου χρησιμοποιούνται, όπως και στον αερόφερτο, δύο δωμάτια. Το δωμάτιο λήψης και το δωμάτιο εκπομπής. Το δωμάτιο εκπομπής βρίσκεται πάνω από το δωμάτιο λήψης.

Η πηγή του κτυπογενή ήχου είναι μία συσκευή, η κτυπογεννήτρια η οποία τοποθετείται πάνω στο εξεταζόμενο ταβάνι.

Το εξεταζόμενο ταβάνι διεγείρεται και μετριέται η στάθμη χωρικής μέσης ηχητικής πίεσης, σε ορισμένη ζώνη συχνοτήτων στο δωμάτιο λήψης.



εικόνα 2.9 κτυπογεννήτρια

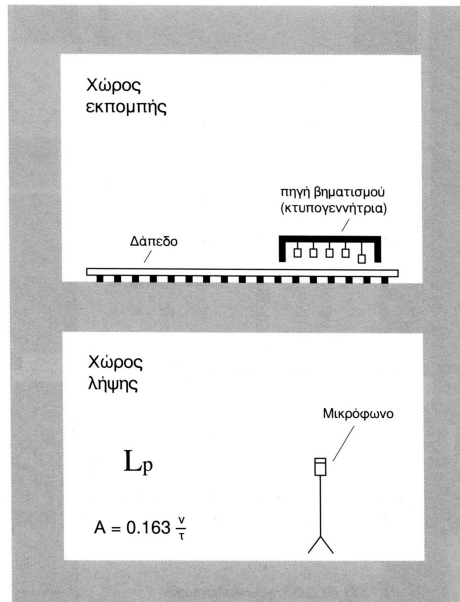
Η κτυπογεννήτρια αποτελείται από πέντε όμοια σφυριά που έχουν βάρος 500gr το καθένα. Μέσω ενός άξονα, τα σφυριά ανυψώνονται και αφήνονται να πέσουν ελεύθερα το καθένα πάνω στο ταβάνι με έναν συγκεκριμένο ρυθμό.

Επειδή η συσκευή αυτή διεγείρει το ταβάνι του δωματίου λήψης, είναι πολύ σημαντικός ο τρόπος που το διεγείρει γιατί από αυτό επηρεάζεται κατά πολύ η στάθμη ηχητικής πίεσης που θα μετρηθεί στο δωμάτιο λήψης.

Οι προδιαγραφές που αφορούν την κατασκευή της, το βάρος της και τη θέση της, το ύψος των σφυριών από το πάτωμα είναι πολύ αυστηρές. Τα μέτρα επίσης που πρέπει να λαμβάνονται εξαρτώνται και από το είδος του δαπέδου, αν αυτό π.χ. έχει μαλακή επίστρωση ή αν είναι ανώμαλο.

2.17.1. Μέθοδος υπολογισμού της κανονικοποιημένης ηχητικής πίεσης του κτυπογενή ήχου, L_n .

⁶ Κάποιες βιβλιογραφίες αναφέρονται στον κτυπογενή ήχο ως ήχο βήματος «δομική φυσική-walter Blasi»



Σχήμα 2.6
Διάταξη μέτρησης ηχομονωτικής ικανότητας από κτυπογενή ήχο.

Για την αξιολόγηση της ηχομόνωσης από τον κτυπογενή ήχο, μετρείται η κανονικοποιημένη ή πρότυπη στάθμη ηχητικής πίεσης του κτυπογενή ήχου στο δωμάτιο λήψης, L_n (normalized impact sound pressure level).

Οι μετρήσεις συχνοτήτων γίνονται σε διαστήματα τριτοκτάβας με κεντρικές συχνότητες από 100-3150Hz.

Γίνονται μετρήσεις της ισοδύναμης στάθμης της ηχητικής πίεσης σε διάφορα σημεία στο δωμάτιο λήψης και υπολογίζεται η μέση τιμή σε κάθε ζώνη συχνοτήτων. Όταν το πεδίο είναι διάχυτο δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στάθμης στα διάφορα σημεία του δωματίου.

Η πρότυπη (κανονικοποιημένη) στάθμη ηχητικής πίεσης του κτυπογενή ήχου, αντιστοιχεί σε μία τιμή αναφοράς της ισοδύναμης επιφάνειας ηχοαπορρόφησης A_0 του δωματίου λήψης και δίνεται από τον παρακάτω τύπο :

$$L_n = L + 10 \cdot \log_{10} \frac{A_0}{A'_0} \quad (2.78)$$

όπου

L_n = η κανονικοποιημένη ή πρότυπη στάθμη ηχητικής πίεσης κτυπογενή ήχου

L = η μετρημένη στάθμη ηχητικής πίεσης στο δωμάτιο λήψης

A_0 = η ισοδύναμη επιφάνεια απορρόφησης ήχου του δωματίου λήψης

A'_0 = η αναφορική επιφάνεια απορρόφησης, η οποία λαμβάνεται ίση προς $10m^2$

Επειδή η ισοδύναμη επιφάνεια απορρόφησης ήχου δεν μπορεί να βρεθεί άμεσα, υπολογίζεται από τη σχέση όγκου του χώρου (δωματίου λήψης) προς το χρόνο αντήχησης αυτού, από τη σχέση

$$A_0 = 0,163 \cdot \frac{V}{T} \quad (2.79)$$

όπου V = ο όγκος του δωματίου λήψης

και T = ο χρόνος αντήχησης σε sec του δωματίου λήψης.

Το μέγεθος A_0 εκφράζει πόσα m^2 επιφάνειας χώρου (τοιχοί, ταβάνι, πάτωμα) με βαθμό απορρόφησης $\alpha_s=1$ αντιστοιχούν στην ίδια απορρόφηση ήχου με αυτή των ήδη υπάρχοντων επιφανειών.

Ένα τυπικό σχεδιάγραμμα της κανονικοποιημένης στάθμης ηχητικής πίεσης κτυπογενή ήχου δίνεται παρακάτω στο σχεδιάγραμμα 2.24.

Εκτός από την παραγωγή ηχητικών κυμάτων λόγω του κτυπογενή ήχου, στο δωμάτιο εκπομπής παράγονται και αερόφερτα ηχητικά κύματα.

Τα αερόφερτα ηχητικά κύματα μεταδίδονται στο δωμάτιο λήψης με τον τρόπο που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο της μετάδοσης αερόφερτου ήχου.

Στην περίπτωση όπου έχουν ληφθεί ηχομωνοτικά μέτρα για τον κτυπογενή ήχο χωρίς να έχουν ληφθεί για τον αερόφερτο, η στάθμη του αερόφερτου ήχου γίνεται συγκρίσιμη με αυτή του κτυπογενή στο δωμάτιο λήψης.

Η ηχομόνωση για τον αερόφερτο ήχο μεταξύ των δωματίων εκπομπής και λήψης πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η στάθμη των ηχητικών κυμάτων που μεταδίδονται αερόφερτα στο δωμάτιο λήψης να είναι 10dB κάτω σε κάθε ζώνη συχνοτήτων από τη στάθμη των ηχητικών κυμάτων που μεταδίδονται στερεόφερτα λόγω του κτυπογενή ήχου.

Αυτό ελέγχεται με τη μέτρηση της στάθμης στον χώρο εκπομπής, τη μέτρηση ή τη γνώση του δείκτη ηχομείωσης R ή του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης R' και τον υπολογισμό της ηχητικής στάθμης του δωματίου λήψης L_2 από τη σχέση 2.14.

Επίσης, δίνεται προσοχή και στη στάθμη θορύβου βάθους του δωματίου λήψης. Σε κάθε ζώνη συχνοτήτων των μετρήσεων, η στάθμη του κτυπογενή ήχου που προέρχεται από το δωμάτιο εκπομπής, πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερη από τη στάθμη του θορύβου βάθους για να αποφεύγονται τα σφάλματα των μετρήσεων. Η συνολική στάθμη που προκύπτει από τον κτυπογενή ήχο και το θόρυβο βάθους πρέπει να είναι τουλάχιστον 6dB (10dB προτιμότερο) μεγαλύτερη από τη στάθμη του θορύβου βάθους. Σε κάθε περίπτωση αφαιρείται ο θόρυβος βάθους σύμφωνα με όσα αναφέρονται στην παράγραφο 2.6.

2.18. Γραφική μέθοδος υπολογισμού της στάθμης του κτυπογενή ήχου

Όπως και στον αερόφερτο ήχο η εκτιμήσιμη ηχομόνωση του κτυπογενή ήχου πρέπει να δίνεται με την τιμή ενός αριθμού.

Τα μονότιμα μεγέθη συμβολίζονται ως $L_{n,w}$, $L'_{n,w}$, $L'_{nT,w}$ (περιγράφεται παρακάτω), όπου το σύμβολο w σημαίνει σταθμισμένος (weighted).

Ο τρόπος αξιολόγησης των μεγεθών αυτών είναι ο ίδιος με την κανονικοποιημένη στάθμη κτυπογενή ήχου. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συγκρίνονται με την καμπύλη αναφοράς η οποία μεταφέρεται ανάλογα με τη ζώνη που εξετάζεται.

Το άθροισμα των δυσμενών αποκλίσεων σε μετρήσεις 16 ζωνών για 1/3 της οκτάβας πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 32dB, ενώ για ζώνες οκτάβας σε 5 μετρήσεις το άθροισμα των δυσμενών αποκλίσεων πρέπει να είναι 10dB.

Δυσμενής απόκλιση σημαίνει το αποτέλεσμα των μετρήσεων να είναι μικρότερο από τις τιμές της καμπύλης αναφοράς. Μόνο οι δυσμενείς αποκλίσεις λαμβάνονται υπόψη. (πρότυπο ΕΛΟΤ 370)

Στη γραφική μέθοδο για τον υπολογισμό της στάθμης του κτυπογενή ήχου μετακινείται η καμπύλη αναφοράς προς τα κάτω ή προς τα πάνω, μέχρι η μέση τιμή όλων των υποδιαίρέσεων της καμπύλης μέτρησης προς την κινούμενη καμπύλη αναφοράς να μην υπερβαίνει τα 2dB.

Η σταθμισμένη κανονικοποιημένη (ή πρότυπη) στάθμη κτυπογενή ήχου, $L_{n,w}$, βρίσκεται σαν ακέραια τιμή στη μετακινούμενη καμπύλη αναφοράς και στο σημείο όπου η συχνότητα είναι 500Hz.

Παράδειγμα 26:

Όγκος δωματίου λήψης είναι : $V = 230m^3$

Ο χρόνος αντήχησης είναι : $T = 0,8 s$

Οι διαστάσεις του δωματίου μήκος/πλάτος/ύψος είναι: 11/ 7/ 3 m.

Οι μετρήσεις της ηχητικής στάθμης πίεσης του δωματίου λήψης καταγράφονται στον πίνακα:

Συχνότητα σε Hz	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
L σε dB	67	66	64	63	62	58	52	47	46	41	38	35	32	30	30	28

Πίνακας 2.15 Τιμές της υπό μέτρησης στάθμης πίεσης του δωματίου λήψης.

Υπολογίζεται η ισοδύναμη επιφάνεια απορρόφησης ήχου A_0 .

$$A_0 = 0,163 * 230m^3/0,8s \approx 47m^2 .$$

Από τον τύπο 2.78 και τις μετρήσεις, υπολογίζεται η κανονικοποιημένη στάθμη του κτυπογενή ήχου σε ζώνες τριτοκτάβας, σύμφωνα με το πρότυπο DIN 522.10.

$$L_n = L + 10 \cdot \log_{10} \frac{A_0}{A'_0}$$

$$L_{n,100} = 67dB + 10 \cdot \log \frac{47m^2}{10m^2} = 67+6,7 = 73,7 dB.$$

$$L_{n,125} = 72,7 \text{ dB}$$

$$L_{n,160} = 70,7 \text{ dB}$$

$$L_{n,200} = 69,7 \text{ dB}$$

$$L_{n,250} = 68,7 \text{ dB}$$

$$L_{n,310} = 64,7 \text{ dB}$$

$$L_{n,400} = 58,7 \text{ dB}$$

$$L_{n,500} = 53,7 \text{ dB}$$

$$L_{n,630} = 52,7 \text{ dB}$$

$$L_{n,800} = 47,7 \text{ dB}$$

$$L_{n,1000} = 44,7 \text{ dB}$$

$$L_{n,1250} = 41,7 \text{ dB}$$

$$L_{n,1600} = 38,7 \text{ dB}$$

$$L_{n,2000} = 36,7 \text{ dB}$$

$$L_{n,2500} = 36,7 \text{ dB}$$

$$L_{n,3150} = 34,7 \text{ dB}$$

Οι τιμές της κανονικοποιημένης στάθμης του κτυπογενή ήχου και οι τιμές της καμπύλης αναφοράς καταχωρούνται στον παρακάτω πίνακα.

Συχνότητα σε Hz	Καμπύλη μέτρησης σε dB	Μετακινούμενη καμπύλη αναφοράς	Διαφορά σε dB των τιμών μέτρησης και των τιμών της καμπύλης αναφοράς
-----------------	------------------------	--------------------------------	--

100	73,3	67	6,7
125	72,2	67	5,7
160	70,7	67	3,7
200	69,7	67	2,7
250	68,7	67	1,7
			$\Sigma 20,5 : 15 = 1,4^7$

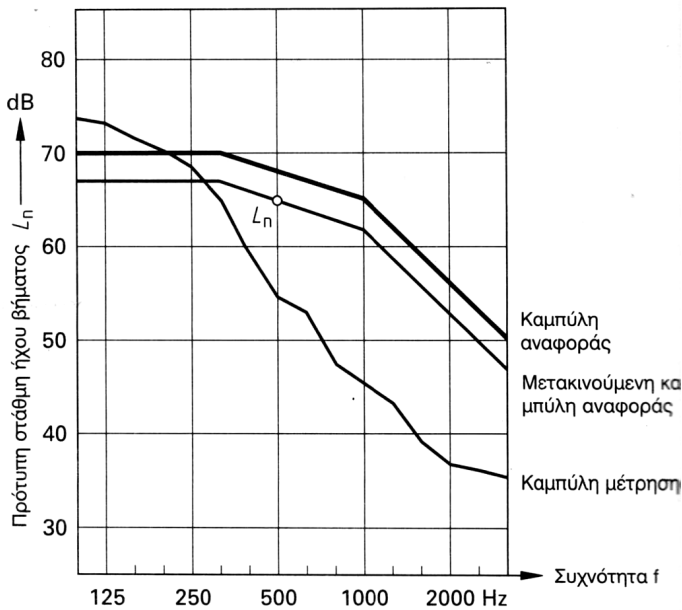
Πίνακας 2.16 Παράδειγμα υπολογισμού της στάθμης κτυπογενή ήχου με τη χρήση της καμπύλης αναφοράς.

Αφού υπολογιστούν οι τιμές της κανονικοποιημένης στάθμης κτυπογενή ήχου L_n , μετακινείται η καμπύλη αναφοράς έτσι ώστε να πληρεί τους κανόνες που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Όπως αναφέρθηκε, η σταθμισμένη κανονικοποιημένη (ή πρότυπη) στάθμη κτυπογενή ήχου, $L'_{n,w}$, βρίσκεται σαν ακέραια τιμή στη μετακινούμενη καμπύλη αναφοράς και στο σημείο όπου η συχνότητα είναι 500Hz.

Η στάθμη ήχου $L'_{n,w}$ στο συγκεκριμένο παράδειγμα ανέρχεται στα 64dB.

Η πορεία της καμπύλης του κτυπογενή ήχου δίνεται παρακάτω:



Σχεδιάγραμμα 2.24

Η πορεία της καμπύλης του κτυπογενή ήχου.

Ηχοτεχνικά ισχύει το εξής:

Όσο περισσότερο μετακινείται η καμπύλη προς τα κάτω, τόσο καλύτερη είναι η ηχομόνωση του ταβανιού ως προς τον κτυπογενή ήχο.

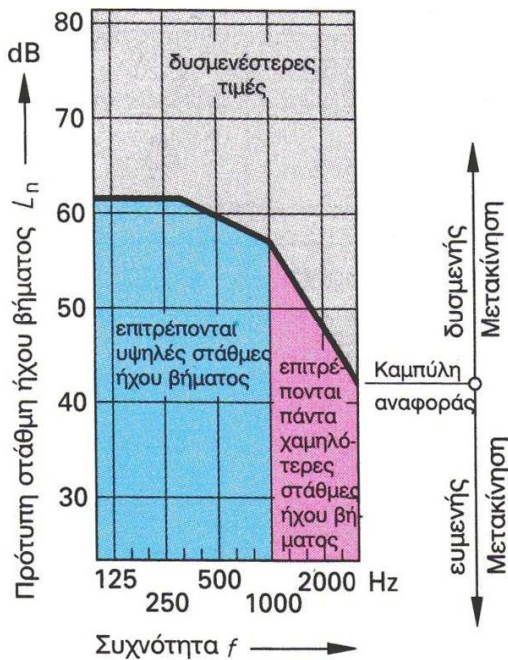
Αντίθετα, η μετακίνηση της καμπύλης προς τα πάνω υποδηλώνει μια ασθενή ηχομόνωση του ταβανιού ως προς τον κτυπογενή ήχο.

2.18.1. Διαφορές του δείκτη ηχομείωσης και της πρότυπης στάθμης κτυπογενή ήχου.

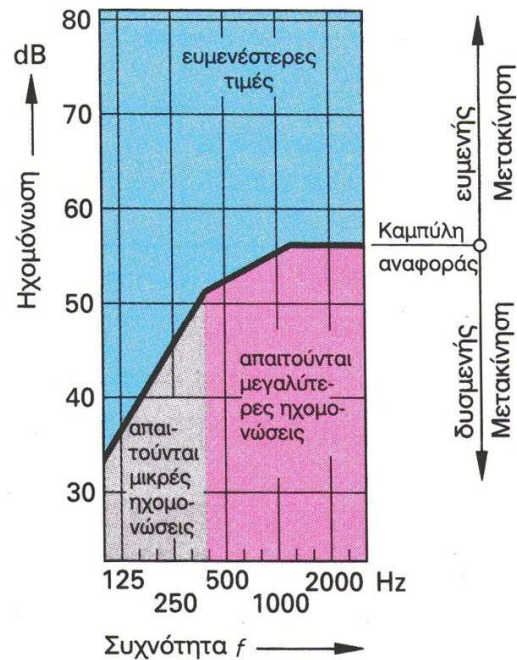
Σε αντίθεση με την καμπύλη της ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου και την τιμή του δείκτη ηχομείωσης R'_{w} , η πορεία της καμπύλης του κτυπογενή ήχου και η εκτιμήσιμη τιμή της κανονικοποιημένης στάθμης κτυπογενή ήχου $L'_{n,w}$ όσο πιο χαμηλές είναι σε dB τόσο καλύτερος είναι ο τοίχος ηχομονωτικά.

⁷ η μέση τιμή όλων των υποδιαιρέσεων της καμπύλης μέτρησης ως προς την κινούμενη καμπύλη αναφοράς δεν υπερβαίνει τα 2dB. Αυτό προκύπτει αν προστεθούν οι τιμές της διαφοράς που προκύπτει από την καμπύλη μέτρησης και την καμπύλη αναφοράς και το άθροισμα της διαφοράς διαιρεθεί με το συνολικό αριθμό συχνοτήτων.

Η τιμή $L'_{n,w}$ δηλώνει τις αναμενόμενες τιμές της στάθμης πίεσης ήχου στις συγκεκριμένες συχνότητες. Για το λόγο αυτό στον κάθετο άξονα δε βρίσκεται η ηχομόνωση αλλά η στάθμη πίεσης κτυπογενή θορύβου.



Σχεδιάγραμμα 2.25α Πρότυπη στάθμη κτυπογενή ήχου.



Σχεδιάγραμμα 2.25β Διάγραμμα δείκτη ηχομείωσης αερόφερτου ήχου.

Στα διαγράμματα 2.25α και 2.25β φαίνεται η αντίθεση που έχουν οι καμπύλες ηχομόνωσης του αερόφερτου και του κτυπογενή ήχου.

Από το διάγραμμα της πρότυπης στάθμης κτυπογενή ήχου φαίνεται ότι:

- Όσο πιο χαμηλή είναι η τιμή $L'_{n,w}$ τόσο καλύτερη είναι η ηχομόνωση από το κτυπογενή ήχο.

Από το διάγραμμα της ηχομόνωσης από αερόφερτο ήχο φαίνεται ότι:

- Όσο πιο ψηλή είναι η τιμή του R'_{w} τόσο καλύτερη είναι η ηχομόνωση από τον αερόφερτο ήχο.

2.19. Μονότιμα μεγέθη κτυπογενή ήχου L'_{nT} , $L'_{n,w}$, $L'_{nT,w}$, $L_{n,sum}$, $L'_{nT,sum}$.

Όπως τα μεγέθη που δηλώνουν την ηχομόνωση από τον αερόφερτο ήχο, έτσι και τα μεγέθη που δηλώνουν την ηχητική στάθμη προστασίας από τον κτυπογενή ήχο ανάλογα με το πρότυπο που τα εξετάζει, δέχονται διαφορετική ονομασία και εξετάζονται σε διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων.

Τα μονότιμα μεγέθη προκύπτουν από τη σύγκριση με τις τιμές αναφοράς στις συχνότητες μέτρησης από 100-3150Hz.

Οι τιμές αναφοράς για τον ορισμό των μονότιμων μεγεθών δίνονται σε ζώνες οκτάβας και τριτοκτάβας στον πίνακα 2.17 με τα αντίστοιχα διαγράμματά τους 2.26^α και 2.26^β.

Ένα μέγεθος που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ηχομόνωσης μεταξύ των δωματίων είναι το L'_{nT} , η τυποποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης κτυπογενή ήχου (standardized impact sound pressure level).

Το μέγεθος αυτό είναι η διαφορά στάθμης, η οποία αντιστοιχεί σε μία τιμή αναφοράς του χρόνου αντήχησης στο δωμάτιο λήψης. Η μαθηματική του σχέση εκφράζεται ως εξής:

$$L'_{nT} = L_i - 10 \log_{10} \frac{T}{T_0} \text{ dB} \tag{2.80}$$

όπου

L_i - η στάθμη ηχητικής πίεσης κτυπογενή ήχου

T - ο χρόνος αντήχησης στο δωμάτιο λήψης

T_0 - ο χρόνος αντήχησης αναφοράς.

Ο χρόνος T δίνεται από τον τύπο 2.43β,

$$A_0 = 0,163 \cdot \frac{V}{T}$$

όπου A_0 είναι η ισοδύναμη επιφάνεια ηχοαπορρόφησης σε m^2

και V είναι ο όγκος του δωματίου λήψης σε m^3 .

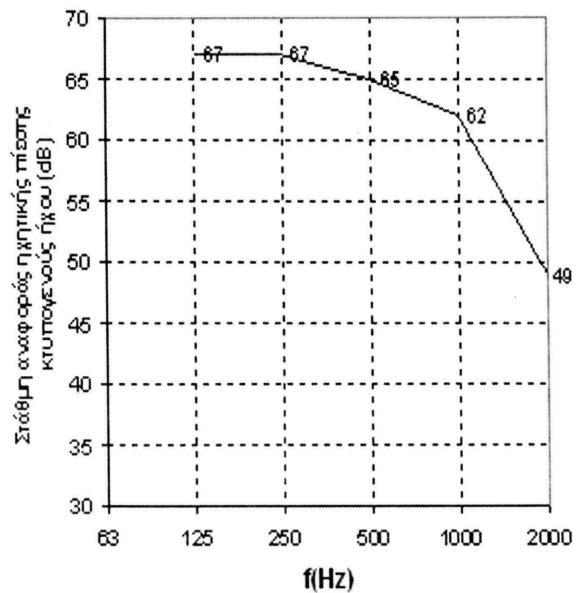
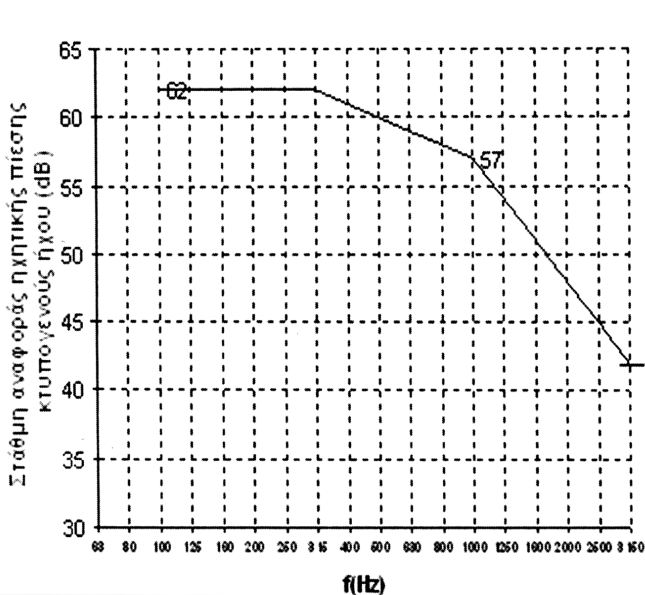
Για συνήθης κατοικίες χρησιμοποιείται ο χρόνος αντήχησης αναφοράς $T_0 = 0.5 \text{ sec}$.

Αυτό γιατί στις κατοικίες με επίπλωση ο χρόνος αντήχησης είναι 0.5 sec, ανεξάρτητα σχεδόν από τον όγκο και τη συχνότητα.

συχνότητα		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Τιμή αναφοράς	Ζώνες 1/3 οκτάβας	62	62	62	62	62	62	61	60	59	58	57	54	51	48	45	42
	Ζώνη οκτάβας	67			67			65			62			49			

Πίνακας 2.17 Τιμές αναφοράς για ζώνες 1/3 οκτάβας και για ζώνες οκτάβας.

Τα αντίστοιχα σχεδιαγράμματα που απεικονίζουν την καμπύλη αναφοράς για ζώνες οκτάβας και 1/3 της οκτάβας βρίσκονται παρακάτω.



Σχεδιάγραμμα 2.26α Καμπύλη αναφοράς για ζώνη 1/3 οκτάβας.

Σχεδιάγραμμα 2.26β Καμπύλη αναφοράς για ζώνη οκτάβας.

Στα πρότυπα ISO χρησιμοποιείται και ο όρος φασματικής προσαρμογής (spectrum adaptation term).

Ο όρος αυτός λαμβάνει υπόψη σημαντικές αποκλίσεις από την καμπύλη αναφοράς σε μεμονωμένες ζώνες συχνοτήτων και συμβολίζεται ως $C_{i,a-b}$, όπου a και b τα όρια των ζωνών που έγιναν οι μετρήσεις.

Η μαθηματική έκφραση του όρου φασματικής προσαρμογής δίνεται από τον τύπο :

$$C_i = L_{n,sum} - 15 - L_{n,w} \quad (2.81)$$

όπου $L_{n,sum}$ το ενεργειακό άθροισμα της στάθμης ηχητικής πίεσης του κτυπογενή ήχου στις ζώνες συχνοτήτων⁸.

Ο ίδιος τύπος ισχύει αν μετριοούνται άλλα μεγέθη όπως $L'_{n,sum}$ και $L'_{n,w}$ ή τα $L'_{nT,sum}$ και $L'_{nT,w}$.

Παρακάτω στον πίνακα 2.18 α και β δίνεται ένα παράδειγμα υπολογισμού του $L_{n,w}$ και C_i .

1. f (Hz)	2. L_n (dB) <u>πλάκα σκυροδέματος 12cm</u>	3. Τιμές καμπύλης αναφοράς σε dB	4. Τιμές καμπύλης αναφοράς σε dB μετατοπισμένη κατά 21dB	5. Δυσμενής απόκλιση σε dB	6. $10^{L_n/10}$
100	67,4	62	83	0,0	5495408,74
125	69,7	62	83	0,0	9332543,01
160	71,4	62	83	0,0	13803842,6
200	71,8	62	83	0,0	15135612,5
250	72,3	62	83	0,0	16982436,5
315	72,7	62	83	0,0	18620871,4
400	73	61	82	0,0	19952623,1
500	73,4	60	81	0,0	21877616,2
630	73,5	59	80	0,0	22387211,4
800	73,7	58	79	0,0	23442288,2
1000	73,9	57	78	0,0	24547089,2
1250	74,1	54	75	0,0	25703957,8
1600	74,3	51	72	2,3	26915348
2000	74,5	48	69	5,5	28183829,3
2500	74,7	45	66	8,7	29512092,3
3150	74,9	42	63	11,9	30902954,3
	$L_{nw}=81$ dB			Άθροισμα 28,4<32	Άθροισμα $S=3,3E+08$, $10\log S=85,2$, $c_i=-11$ (σχέση 2.81)

Πίνακας 2.18α Παραδείγματα υπολογισμού της κανονικοποιημένης στάθμης $L_{n,w}$ και c_i πλάκας σκυροδέματος 12cm χωρίς επίχρισμα. Το δάπεδο σκυροδέματος έχει γραμμική πυκνότητα ίση με 2400kg/m³.

⁸ Η πρόσθεση των σταθμών ηχητικής πίεσης υπολογίζεται από τον τύπο $L_{oL} = 10 * \log_{10}(\sum_i * 10^{L_i/10})$ όπου Σ_i το σύμβολο της άθροισης.

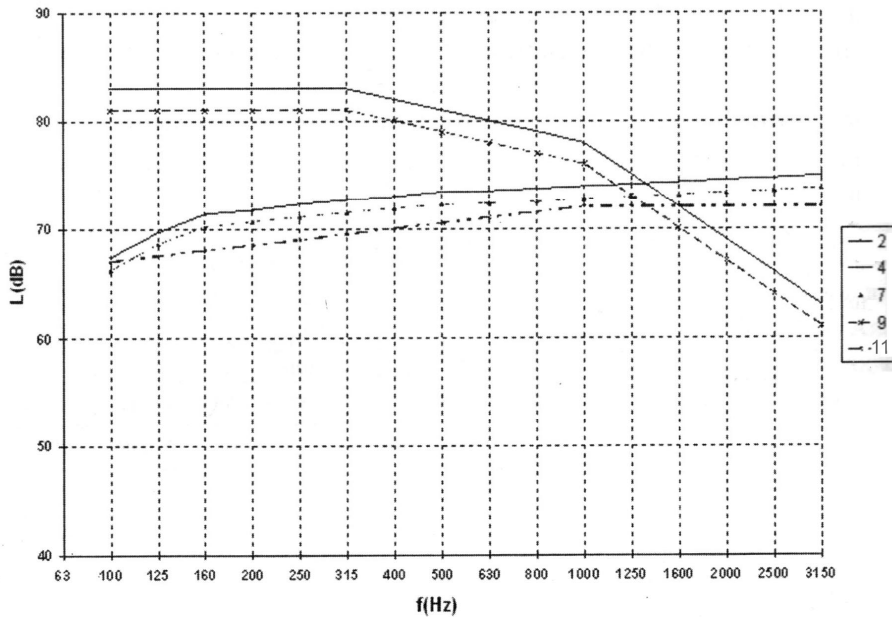
.f (Hz)	7. L_n (dB) πλάκα σκυροδέματος 12cm με επίχρισμα	8. Τιμές καμπύλης αναφοράς σε dB μετατοπισμένη κατά 19 dB	9. Δυσμενής απόκλιση σε dB	$10 \cdot 10^{L_n/10}$	11. Τιμές καμπύλης δαπέδου αναφοράς σε dB
100	66,2	81	0,0	4168694	67
125	68,6	81	0,0	7244360	67,5
160	70,2	81	0,0	10471285	68
200	70,7	81	0,0	11748976	68,5
250	71,1	81	0,0	12882496	69
315	71,5	81	0,0	14125375	69,5
400	71,9	80	0,0	15488166	70
500	72,2	79	0,0	16595869	70,5
630	72,3	78	0,0	16982437	71
800	72,5	77	0,0	17782794	71,5
1000	72,7	76	0,0	18620871	72
1250	72,9	73	0,0	19498446	72
1600	73,1	70	3,1	20417379	72
2000	73,3	67	6,3	21379621	72
2500	73,5	64	9,5	22387211	72
3150	73,7	61	12,7	23442288	72
	$L_{nw}=79$ dB		Άθροισμα 31,6<32	Άθροισμα $S=2,5E+08$, $10\log S=84,0$, $c_i=-10$ (2.81)	

Πίνακας 2.18β Παραδείγματα υπολογισμού της κανονικοποιημένης στάθμης L_{nw} και c_i πλάκας σκυροδέματος 12cm με επίχρισμα 15mm. Το δάπεδο σκυροδέματος έχει γραμμική πυκνότητα ίση με 2400kg/m³.

Ο πίνακας 2.18 α και β, δίνει τις τιμές της κανονικοποιημένης στάθμης ηχητικής πίεσης κτυπογενή ήχου, L_{nw} , του πρότυπου δαπέδου σκυροδέματος πάχους 12cm με και χωρίς επίχρισμα.

Η σταθμισμένη κανονικοποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης κτυπογενή ήχου του πρότυπου δαπέδου ($L_{n,r,0,w}$) θεωρείται ίση με 78dB, με μία εξιδανικευμένη καμπύλη της οποίας οι τιμές δίνονται στη στήλη 11 του πίνακα 2.18α,β.

Ακολουθεί το σχεδιάγραμμα της καμπύλης της κανονικοποιημένης στάθμης κτυπογενή ήχου αυτού του παραδείγματος μαζί με την καμπύλη αναφοράς και τις μετατοπίσεις που δέχεται αυτή.



Σχεδιάγραμμα 2.27 Καμπύλη της κανονικοποιημένης στάθμης ηχητικής πίεσης κτυπογενή ήχου ενός πρότυπου δαπέδου σκυροδέματος πάχους 12cm χωρίς και με επίχρισμα 15mm. Ο αριθμός κάθε καμπύλης είναι αντίστοιχος με τα μεγέθη που περιγράφονται στις αντίστοιχες στήλες του πίνακα 2.18α και β.

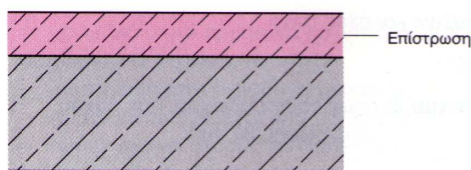
2.20. Επιστρώσεις

Οι μετρήσεις της στάθμης του κτυπογενή ήχου διαφέρουν ανάλογα με το δάπεδο (ταβάνι) που εξετάζεται. Τα ταβάνια συμπεριφέρονται με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με τον τύπο του επιστρώματος που έχουν.

Με τον όρο επίστρωση εννοείται η υποκατασκευή για το κάλυμμα βαδίσματος πάνω από το γυμνό ταβάνι.

Το επίστρωμα μπορεί να αποτελείται από:

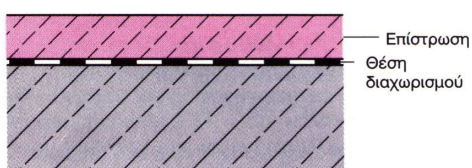
- μια συνδετική επίστρωση, όπου η επίστρωση είναι σταθερά συνδεδεμένη με το φέρον υπόστρωμα



Εικόνα 2. 10 Συνδετική επίστρωση

Αυτή η επίστρωση μπορεί να έχει πάχη μόνο 2- 3 cm. Λόγω της σταθερής σύνδεσης με το υπόστρωμα είναι εύκολο να δημιουργηθούν ρωγμές. Ηχοτεχνικά εξετάζεται ως ένα ενιαίο σώμα με το γυμνό ταβάνι. Η μάζα δηλαδή της επίστρωσης και του ταβανιού συνυπολογίζονται.

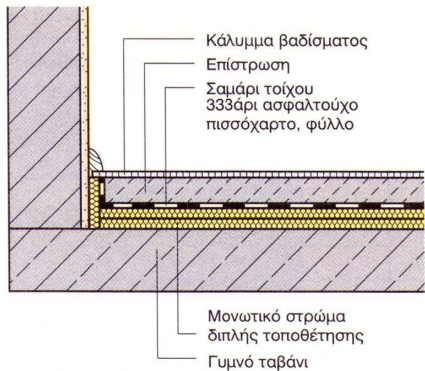
- μια διαχωριστική επίστρωση, όπου η επίστρωση χωρίζεται από το υπόστρωμα (γυμνό ταβάνι) μέσω ενός διαχωριστικού (φύλλου-πισσόχαρτου).



Εικόνα 2. 11 Διαχωριστική επίστρωση

Σε αυτήν την επίστρωση, το ταβάνι και η επίστρωση λειτουργούν αυτόνομα αποκλείοντας έτσι τις ρωγμές τάσης στην επίστρωση. Στον υπολογισμό της ηχομόνωσης από τον αερόφερτο και τον κτυπογενή ήχο η μάζα της επίστρωσης συνυπολογίζεται με τη μάζα του ταβανιού.

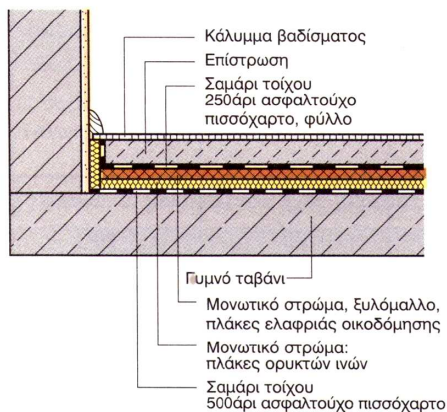
- πλωτά τοποθετημένη, υγρή επίστρωση από διάφορα υλικά (μπετόν, γύψος, χυτή άσφαλτος, κ.λ.π), όπου η επίστρωση είναι κινητά και πλωτά τοποθετημένη πάνω στο υπόστρωμα και δε συνδέεται με το ταβάνι ή τους τοίχους.



Εικόνα 2. 12 Πλωτή υγρή επίστρωση

Η πλωτή επίστρωση επιτυγχάνεται μέσω ενός ελαστικού στρώματος μεταξύ του ταβανιού και της επίστρωσης. Το μονωτικό στρώμα έχει αρχικά ηχομονωτικό χαρακτήρα αλλά λειτουργεί και ως θερμομόνωση. Για να επιτευχθεί η επιθυμητή ηχοπροστασία από τον κτυπογενή ήχο και να αποφευχθούν οι γέφυρες ήχου, το μονωτικό στρώμα πρέπει να είναι διπλής τοποθέτησης και υπό μορφής σταυρού.

- πλωτά τοποθετημένη ξηρή επίστρωση (γυψοσανίδες, πλάκες από κόντρα-πλακέ), όπου η επίστρωση βρίσκεται πάνω σε προκατασκευασμένα στοιχεία, τα οποία μεταδίδουν ισχύ (εγκοπές, ελατήρια) και είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους. Η ξηρή επίστρωση ονομάζεται έτσι επειδή φτιάχνεται ξερά χωρίς να υγραίνεται.



Εικόνα 2. 13 Πλωτή υγρή επίστρωση

Στα πλωτά επιστρώματα (υγρή και ξηρή), για να αναχαιτιστεί η εισχώρηση του φρέσκου κονιάματος της επίστρωσης στο μονωτικό στρώμα, πρέπει μεταξύ της επίστρωσης και του μονωτικού στρώματος να τοποθετείται ένα σαμάρι από πισσόχαρτο ή υπό τη μορφή φύλλου, το οποίο φέρεται πλευρικά μέχρι την επάνω ακμή της λωρίδας του περιθωρίου για να εμποδίζεται η εισχώρηση του κονιάματος. Η τιμή μ του φύλλου, εξετάζεται παρακάτω το μέγεθος αυτό, δεν πρέπει να είναι πολύ ψηλή για αποφεύγεται η συγκέντρωση υγρασίας κάτω από το φύλλο.

Για αυξημένη ηχοπροστασία από τον κτυπογενή ήχο, το διπλά τοποθετημένο μονωτικό στρώμα αποτελείται από δύο στρώματα διαφορετικής ακαμψίας μεταξύ τους. Για παράδειγμα ξυλόμαλλο-πλάκες ελαφριάς δόμησης με $s' = 200 \text{ MN/m}^3$ και ορυκτοβάμβακας με $s' = 30 \text{ MN/m}^3$. Η χρήση ενός 500αριού ασφαλτούχου πισσόχαρτου στο γυμνό ταβάνι προσφέρει ακόμα μεγαλύτερη βελτίωση ηχοπροστατευτικά.

Πλωτή επίστρωση

Από τα είδη των επιστρώσεων σημαντική μόνωση από το κτυπογενή ήχο προσφέρει η πλωτά τοποθετημένη υγρή επίστρωση. Αυτό συμβαίνει γιατί το πλωτό δάπεδο, θεωρείται διπλό χώρισμα όπου τα 2 στοιχεία είναι ικανής μάζας και όσο το δυνατόν ανεξάρτητα μεταξύ τους. Επειδή το επίστρωμα- ταβάνι έχει περιορισμένο πάχος, συγκεκριμένη επιφανειακή πυκνότητα, η ηχοπροστασία από τον κτυπογενή ήχο εξαρτάται πολύ από την ελαστική

εγκατάσταση του επιστρώματος πάνω στο δάπεδο και όχι μόνο από το ίδιο το επίστρωμα.

Το πάνω στοιχείο λέγεται πλωτό (ή κολυμβητό) επειδή “επιπλέει” στο ενδιάμεσο αντικραδασμικό-μονωτικό υλικό χωρίς να στηρίζεται ή να εφάπτεται στο κάτω στοιχείο ή στα πλάγια τοιχώματα.

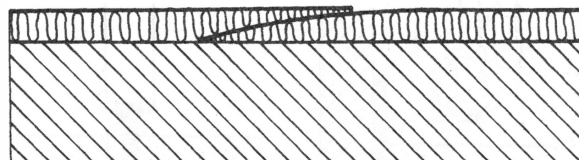
Μερικά από τα ελαστικά στρώματα που χρησιμοποιούνται σε διάφορες κατασκευές πλωτών δαπέδων και έχουν τις κατάλληλες ιδιότητες (αντοχή στη συμπίεση-συγκεκριμένο συντελεστή δυναμικής ακαμψίας) είναι:

- πολυαιθυλένιο, κατάλληλο για κολυμβητά δάπεδα.
- υαλοβάμβακας (πλάκες δαπέδου). Ο υαλοβάμβακας επικαλύπτεται από προστατευτικό στρώμα πολυουρεθάνης για να μη βραχεί όταν γίνεται η επίστρωση της κολυμβητής πλάκας σκυροδέματος.
- ειδικά ελαστομερή (π.χ. νεοπρενίου) ή συνθετικά ελαστικά υλικά κλειστών κυψελίδων (π.χ. sylomer).
- ειδικά ελατήρια κυρίως για τις χαμηλές συχνότητες
- συνδυασμός ελατηρίων και ελαστικών.

Σε περίπτωση που τα χαρακτηριστικά των υλικών και κυρίως των ελατηρίων δεν επαρκούν για μια κατασκευή πλωτού δαπέδου, ανάλογα πάντα με τις απαιτήσεις της κατασκευής, δε θα φέρουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα και είναι δυνατόν ακόμη και να προκληθεί αστάθεια του συστήματος.

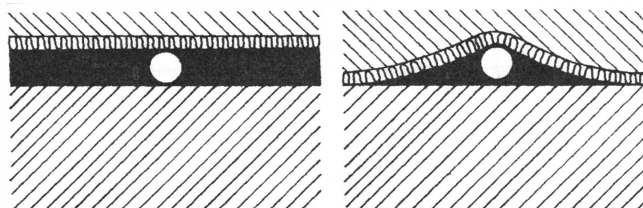
Τα κύρια προβλήματα στην κατασκευή ενός πλωτού δαπέδου είναι τα εξής:

- Δημιουργία ασθενών σημείων στο ελαστικό υπόστρωμα.



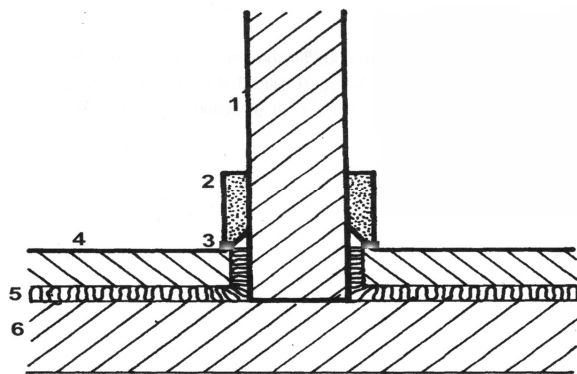
Εικόνα 2.14 Ασθενή σημεία και γεφύρωση του πλωτού δαπέδου.

- Γεφύρωση της κολυμβητής πλάκας με την κυρίως πλάκα λόγω διάτρησης του ελαστικού-μονωτικού στρώματος.
- Γεφύρωση από εγκαταστάσεις, π.χ. σωληνώσεις.



Εικόνα 2.15 Ασθενή σημεία και γεφύρωση του πλωτού δαπέδου από εγκαταστάσεις.

- Γεφύρωση μέσω των πλάγιων τοίχων. Προσοχή δίνεται στο σοβατεπί. Συνήθως το ελαστικό υπόστρωμα επεκτείνεται και στο πλάγιο μέρος του κολυμβητού δαπέδου.

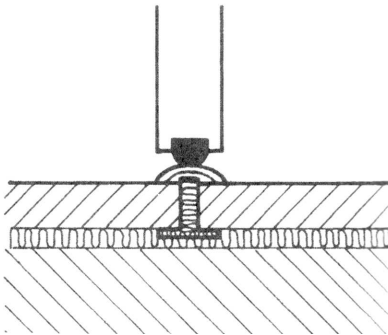


Εικόνα 2.16

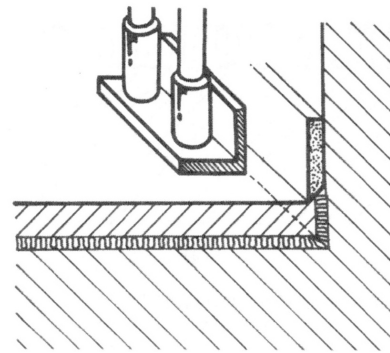
- 1. τοίχος. Το κολυμβητό δάπεδο διακόπτεται εκατέρωθεν του κατακόρυφου χωρίσματος
- 2. Σοβατεπί (δεν εφάπτεται του κολυμβητού)
- 3. ελαστική σφράγιση
- 4. κολυμβητό δάπεδο
- 5. αντικραδασμικό
- 6. φέρουσα πλάκα

Εικόνα 2.16 Απεικόνιση κατασκευής κολυμβητού δαπέδου.

- Κενό μεταξύ δαπέδου και τοίχου αλλά και η δημιουργία ανελαστικού συνδέσμου, λόγω της απροσεξίας στη στεγάνωση αρμού μεταξύ κολυμβητού δαπέδου και τοίχου.
- Σημεία συνένωσης του κολυμβητού δαπέδου με άλλα πλάγια στοιχεία.
- Κατασκευή κολυμβητών κλιμακοστάσιων.



Εικόνα 2.17 Μόνωση περάσματος σωληνώσεων.



Εικόνα 2.18 Διακοπή πλωτού δαπέδου στις θύρες. Το αρμοκάλυπτρο χρησιμεύει και για τη στεγάνωση του κάτω μέρους της πόρτας.

Στον πίνακα παρακάτω, πίνακας 2.19, παρατίθενται άλλες εργαστηριακές μετρήσεις της φαινομενικής κανονικοποιημένης στάθμης ηχητικής πίεσης για κολυμβητά δάπεδα.

κατασκευή	$L'_{n,w}$ (dB)
Κεραμικά πλακίδια πάχους 8mm κολλημένα σε 3 γυψοσανίδες των 12,5mm. Μεταξύ αυτών και της φέρουσας πλάκας σκυροδέματος παρεμβάλλονται φύλλα αφρώδους εξηλασμένου πολυαιθυλενίου πάχους 5mm	57
Κεραμικά πλακίδια πάχους 8mm κολλημένα σε πλάκα σκυροδέματος 50mm. Μεταξύ αυτής της φέρουσας πλάκας σκυροδέματος παρεμβάλλονται φύλλα αφρώδους εξηλασμένου πολυαιθυλενίου πάχους 5mm	55
Κεραμικά πλακίδια πάχους 8mm κολλημένα σε πλάκα σκυροδέματος 50mm. Μεταξύ αυτής και της φέρουσας πλάκας σκυροδέματος παρεμβάλλονται ελαστικά εφέδρανα νεοπρενίου διαστάσεων 6cmX6cm	43

Πίνακας 2.19 Μετρήσεις φαινομενικής σταθμισμένης κανονικοποιημένης στάθμης ηχητικής πίεσης κτυπογενή ήχου κολυμβητών δαπέδων.

Όσον αφορά στις ξύλινες επιστρώσεις σε καδρόνια, η εγκατάσταση μπορεί να είναι η εξής:

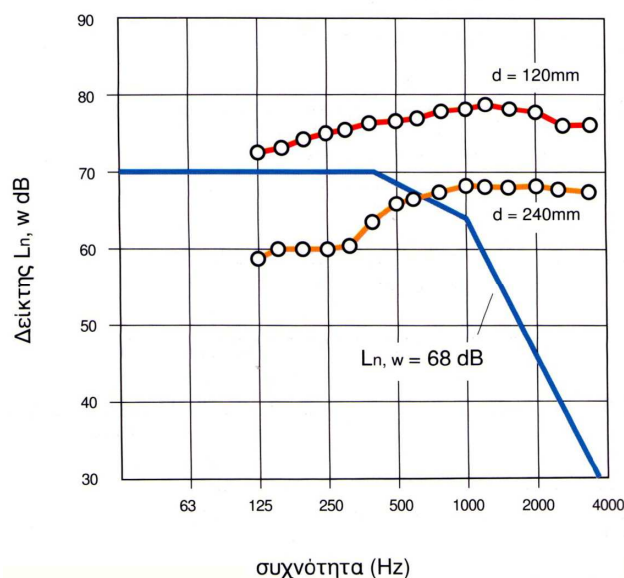
- Ειδικά πέλματα αποτελούμενα από δύο στοιχεία, από τα οποία το ένα καρφώνεται στο δοκάρι και το άλλο στο δάπεδο. Μεταξύ αυτών παρεμβάλεται το ελαστικό στρώμα.
- Σε κολυμβητή πλάκα σκυροδέματος καρφώνονται τα καδρόνια.
- Επίστρωση αντικραδασικών λωρίδων που μπορεί να είναι ελαστικό ή υαλοβάμβακας πάνω στις οποίες τοποθετούνται αλλά δεν καρφώνονται τα καδρόνια. Σε περίπτωση που τα καδρόνια καρφωθούν αντί απλά να εφάπτονται στο δάπεδο δημιουργείται γεφύρωση και χάνεται η ιδιότητα που έχει ένα πλωτό δάπεδο. Σε κάθε περίπτωση τουλάχιστον μεταξύ των καδρονιών τοποθετείται υαλοβάμβακας ή πετροβάμβακας πάχους 2cm.

2.20.1. Ηχομόνωση δαπέδων με επίστρωση και χωρίς επίστρωση

Για την καλύτερη κατανόηση της σημασίας της επίστρωσης σε ένα ταβάνι, παρακάτω περιγράφονται τρία παραδείγματα που δίνουν την κανονικοποιημένη στάθμη κτυπογενή ήχου σε δάπεδα με επίστρωση και χωρίς.

1. Κανονικοποιημένη στάθμη κτυπογενή ήχου $L_{n,w}$ για δάπεδο χωρίς επίστρωση.

Στο διάγραμμα 2.28 δίνεται η ηχομονωτική συμπεριφορά ως προς τον κτυπογενή ήχο πλάκας από μπετόν, για διαφορετικά πάχη της πλάκας, χωρίς επίστρωση. Η σύνηθης πλάκας από μπετόν πάχους 12cm παρουσιάζει χαμηλή ηχομονωτική συμπεριφορά ($L_n < 60dB$).



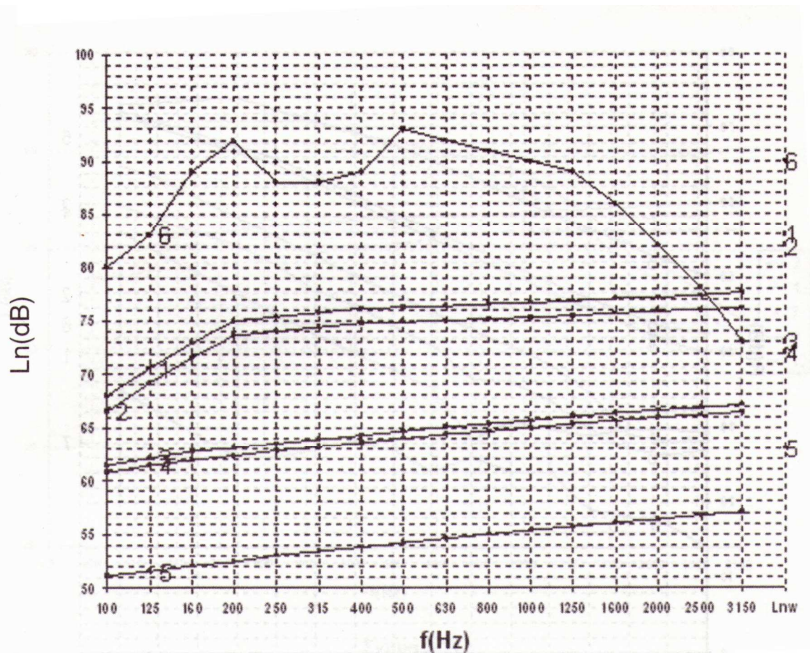
Σχεδιάγραμμα 2.28 Σταθμισμένη στάθμη ηχητικής πίεσης κτυπογενή ήχου για πλάκα από μπετόν διαφορετικού πάχους.

Η ηχομονωτική συμπεριφορά ενός συνηθισμένου δαπέδου χωρίς επιστρώσεις υπολογίζεται σχετικά απλά.

Η κανονικοποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης κτυπογενή ήχου, L_n , αυξάνεται –άρα η ηχομόνωση μειώνεται-περίπου κατά 5dB για κάθε δεκαπλασιασμό της συχνότητας. Αντίθετα, για κάθε διπλασιασμό του πάχους της πλάκας η κανονικοποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης κτυπογενή ήχου, L_n , μειώνεται κατά 10 dB όπου σε αυτήν την περίπτωση η ηχομόνωση αυξάνεται.

Τα συνήθη δάπεδα είναι από πλάκα σκυροδέματος, με επίχρισμα στο κάτω μέρος και στο πάνω μέρος μάρμαρο, πλακάκι ή ξύλο.

Το διάγραμμα κυρίως βαρέως τύπου δαπέδου δίνεται στο παράδειγμα 28.



Σχεδιάγραμμα 2.29 Διάγραμμα κανονικοποιημένης στάθμης ηχητικής πίεσης κτυπογενή ήχου δαπέδων κυρίως βαρέως τύπου.

Για να γίνει σύγκριση δίνεται και η καμπύλη των τιμών της κανονικοποιημένης στάθμης ηχητικής πίεσης κτυπογενή ήχου για δάπεδο ελαφρύ τύπου (μοριοσανίδα). Οι αριθμοί των καμπυλών αντιστοιχούν σε:

1. Δάπεδο από σκυρόδεμα 2400kg/m^3 , 100mm
2. Δάπεδο από σκυρόδεμα 2400kg/m^3 , 100mm με επίχρισμα 15mm
3. Δάπεδο από σκυρόδεμα 2400kg/m^3 , 200mm
4. Δάπεδο από σκυρόδεμα 2400kg/m^3 , 200mm με επίχρισμα 15mm
5. Δάπεδο από σκυρόδεμα 2400kg/m^3 , 400mm
6. Δάπεδο μοριοσανίδας 22mm

Για τα παραδείγματα αυτά, θεωρητικά αποτελέσματα (EN 12354.2, 2000 πίνακας B2) έχουν δώσει μικρότερες τιμές, π.χ. στο δεύτερο παράδειγμα η $L_{n,w}$ προκύπτει να είναι στα 80dB.

Το επίχρισμα του δαπέδου συνυπολογίζεται με τη μάζα του δαπέδου.

Για την επίδραση μάζας και συχνότητας στη συμπεριφορά στα ομοιογενή χωρίσματα έχουν προταθεί οι εξής τύποι:

$$R + L_n = 43 + 30 \log_{10} \frac{f}{1\text{Hz}} \tag{2.82\alpha}$$

όπου f η κεντρική συχνότητα σε ζώνες οκτάβας

$$R + L_n = 38 + 30 \log_{10} \frac{f}{1\text{Hz}} \tag{2.82\beta}$$

όπου f η κεντρική συχνότητα σε ζώνες τριτοκτάβας

$$L_{n,W} = 164 - 35 \log_{10} \left[\frac{m_1}{\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}} \right] \text{dB}, \tag{2.82\gamma}$$

Παρατηρήσεις :

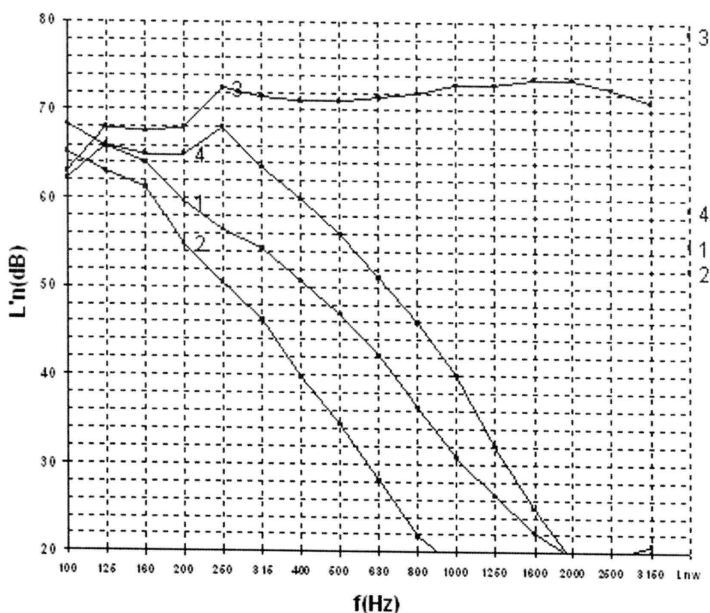
- Τα συνήθη δάπεδα με επίχρισμα στο κάτω μέρος και μάρμαρο ή πλακάκι στο πάνω μέρος, είναι δυνατόν να καλύπτουν τις ακουστικές απαιτήσεις όσον αφορά τον αερόφερτο ήχο (εργαστηριακές μετρήσεις στο ΕΜΠ έδωσαν για πλάκα σκυροδέματος 15cm, $R'_w = 51\text{dB}$) αλλά δεν καλύπτουν τις απαιτήσεις για τον κτυπογενή ήχο.

- Ειδικά στην περίπτωση του ξύλινου πατώματος, το οποίο δεν έχει ηχοαπορροφητικό υλικό στο κενό, λόγω των συντονισμών μετρήθηκε μείωση του R'_w κατά 3dB σε σχέση με την πλάκα σκυροδέματος με μάρμαρο ή πλακάκι. Η σταθμισμένη κανονικοποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης κτυπογενή ήχου για δρύινο πάτωμα μετρήθηκε στα $L'_{n,W} = 65\text{dB}$, τιμή που δεν καλύπτει τις απαιτήσεις ακουστικής άνεσης από κτυπογενή ήχο.

- Η προσθήκη υαλοβάμβακα στο κενό, παρουσίασε σημαντική αύξηση στο δείκτη ηχομείωσης του αερόφερτου ήχου αλλά ελάχιστη αύξηση στον κτυπογενή. Τέτοιου είδους δάπεδα αποφεύγονται γιατί δεν εκπληρώνουν τις απαιτήσεις του κτιριοδομικού κανονισμού.

2. Κανονικοποιημένη στάθμη κτυπογενή ήχου $L_{n,W}$ για δάπεδο με και χωρίς επίστρωση

Παρακάτω δίνεται το διάγραμμα της κανονικοποιημένης στάθμης ηχητικής πίεσης κτυπογενή ήχου δαπέδων με επικάλυψη και χωρίς.



Σχεδιάγραμμα 2.30 Διάγραμμα κανονικοποιημένης στάθμης ηχητικής πίεσης κτυπογενή ήχου για δάπεδα με και χωρίς επικάλυψη.

Όπου:

1. Δάπεδο από μοριοσανίδα 22mm αντικραδαστική επίστρωση κάτω από αυτή, δοκάρι, μοριοσανίδα 19mm, υαλοβάμβακας στο κενό και 1 γυψοσανίδα 12,5mm κάτω από αυτές.

2. Δάπεδο όπως το παραπάνω με επικάλυψη μοκέτας 5mm

3. Δάπεδο από σκυρόδεμα 2300 kg/m³, 150mm με επίχρισμα 15mm

4. Δάπεδο όπως το παραπάνω, με επικάλυψη μοκέτας 5mm.

Το πρώτο παράδειγμα, αν και δε θεωρείται απλό χώρισμα παρατίθεται για να παρατηρηθεί η επίδραση της επικάλυψης. Οι μετρήσεις του τρίτου και του τέταρτου παραδείγματος γίνανε στο εργαστήριο ηχοτεχνίας ΕΜΠ και συμπεριλαμβάνονται και οι πλευρικές μεταδόσεις.

2.21. Δυναμική σκληρότητα μονωτικού στρώματος – συχνότητα συντονισμού ταβανιού και μονωτικού στρώματος

Για την προστασία από το κτυπογενή ήχο σημαντική είναι η ελαστικότητα του μονωτικού στρώματος.

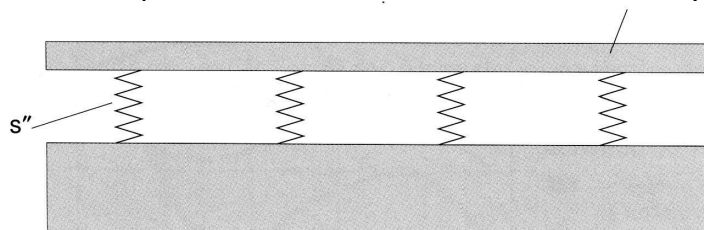
Το μονωτικό στρώμα, που βρίσκεται μεταξύ του πάνω και κάτω στοιχείου, εφόσον είναι εγκατεστημένο, όσο περισσότερο συμπιέζεται τόσο μικρότερη είναι η δυναμική του σκληρότητα.

Όσο μικρότερη είναι η δυναμική σκληρότητα του μονωτικού στρώματος, $s' = \frac{E_{dyn}}{d_L}$,

σχέση (2.70) , τόσο μεγαλύτερη είναι η συνεισφορά του στην ηχοπροστασία από τον κτυπογενή ήχο και μεγαλύτερη η σύντμηση του κάτω από επιβάρυνση.

Η παραμόρφωση του μονωτικού-ελαστικού στρώματος (αντικραδαστικού) λόγω στατικών φορτίων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, έτσι ώστε να διατηρεί την ελαστικότητά του όταν του εφαρμόζονται δυναμικά φορτία.

Το μηχανικό ισοδύναμο του πλωτού δαπέδου δίνεται στο σχήμα 2. 7



Σχήμα 2.7 Μηχανικό ισοδύναμο κολυμβητού δαπέδου.

Αποτελείται από μία μάζα (ίσης επιφανειακής πυκνότητας του άνω δαπέδου), η οποία στηρίζεται σε έναν αριθμό μικρών παράλληλων ελατηρίων.

Η συχνότητα συντονισμού του συστήματος δίνεται από τη σχέση:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.83 a)$$

όπου k - ο συντελεστής δυναμικής σκληρότητας του μονωτικού υλικού
m - η επιφανειακή πυκνότητα του κολυμβητού δαπέδου.

Σε άλλες βιβλιογραφίες η συχνότητα συντονισμού δίνεται από τη σχέση :

$$f_R = 500 \sqrt{\frac{S''}{m''}} \quad (2.83 \beta)$$

όπου

S'' - η δυναμική σκληρότητα του μονωτικού υλικού ανά μονάδα επιφάνειάς του (MN/m^3).

m'' - η επιφανειακή πυκνότητα του κολυμβητού δαπέδου (kg/m^2).

Επίσης, χρησιμοποιείται η σχέση 2.70γ,

$$F_R \approx 160 \sqrt{\frac{s'}{m'_2}} \quad , \quad \text{όπου το δάπεδο με επίστρωση εξετάζεται ως ένα εύκαμπτο και ένα}$$

δύσκαμπτο κέλυφος με μονωτικό στρώμα σε όλη την επιφάνεια.

Σε αυτήν την περίπτωση s' είναι η δυναμική σκληρότητα του μονωτικού στρώματος (MN/m^3) και m'_2 είναι η επιφανειακή μάζα του λεπτότερου, συμπληρωματικού κελύφους.

Συμπέρασμα

Η αποτελεσματικότητα της πλωτής επίστρωσης ως προς την προστασία από τον κτυπογενή ήχο (στις κατοικίες για την αποφυγή του ήχου βήματος πρέπει να χρησιμοποιείται πάντα πλωτή επίστρωση) εξαρτάται από :

- την επιφανειακή μάζα της πλάκας επίστρωσης
- τη δυναμική σκληρότητα του μονωτικού στρώματος
- το πάχος του μονωτικού στρώματος
- το μέγεθος και το πλήθος των ηχητικών γεφυρών στο γυμνό ταβάνι και στον τοίχο. Οι ηχητικές γέφυρες εξετάζονται παρακάτω.

Ακολουθούν τέσσερα παραδείγματα για διαφορετική επιφανειακή μάζα και διαφορετική δυναμική σκληρότητα μονωτικού στρώματος.

Παράδειγμα 27 - ταβάνια με διαφορετική επιφανειακή μάζα

Επίστρωση τσιμέντου (ZE)

$$\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$d = 45\text{mm}$$

$$s' = 20 \text{ MN/m}^3$$

Η επιφανειακή πυκνότητα θα είναι:

$$m' = 2000 \text{ kg/m}^3 * 0,045\text{m}$$

$$m' = 90 \text{ kg/m}^2.$$

Η συχνότητα συντονισμού του εξεταζόμενου ταβανιού θα είναι:

$$f_R = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'}}$$

$$f_R = 160 \sqrt{\frac{20}{90}} = 75,4 \text{ Hz}$$

Παράδειγμα 28- ταβάνια με διαφορετική επιφανειακή μάζα

Το ίδιο με το πρώτο παράδειγμα αλλάζει το πάχος της επίστρωσης
Επίστρωση τσιμέντου (ZE)

$$\begin{aligned}\rho &= 2000 \text{ kg/m}^3 \\ d &= 80\text{mm} \\ s' &= 20 \text{ MN/m}^3\end{aligned}$$

Η επιφανειακή πυκνότητα θα είναι:

$$m' = 2000 \text{ kg/m}^3 * 0,08\text{m}$$

$$m' = 160 \text{ kg/m}^2.$$

Η συχνότητα συντονισμού του εξεταζόμενου ταβανιού θα είναι:

$$f_R = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'}}$$

$$f_R = 160 \sqrt{\frac{20}{160}} = 56,6 \text{ Hz}$$

Συμπέρασμα:

Από τα παραδείγματα προκύπτει το εξής:

1^ο) Όσο μεγαλύτερη είναι η επιφανειακή πυκνότητα της επίστρωσης τόσο χαμηλότερη είναι η συχνότητα συντονισμού και τόσο καλύτερο είναι το ταβάνι ηχομονωτικά ως προς τον κτυπογενή ήχο.

Παράδειγμα 29 - μονωτικά στρώματα με διαφορετική δυναμική σκληρότητα

Επίστρωση τσιμέντου (ZE) με

$$\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$d = 50\text{mm}$$

$$s' = 25 \text{ MN/m}^3 \text{ (π.χ. ορυκτές ίνες)}$$

Η επιφανειακή πυκνότητα θα είναι:

$$m' = 2000 \text{ kg/m}^3 * 0,05\text{m}$$

$$m' = 100 \text{ kg/m}^2.$$

Η συχνότητα συντονισμού του εξεταζόμενου ταβανιού θα είναι:

$$f_R = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'}}$$

$$f_R = 160 \sqrt{\frac{25}{100}} = 80 \text{ Hz}$$

Παράδειγμα 30 - μονωτικά στρώματα με διαφορετική δυναμική σκληρότητα

Το ίδιο με το παράδειγμα 29, αλλάζει η δυναμική σκληρότητα.

Επίστρωση τσιμέντου (ZE) με

$$\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$d = 50\text{mm}$$

$$s' = 150 \text{ MN/m}^3 \text{ (π.χ. πλάκες από φελλό)}$$

Η επιφανειακή πυκνότητα θα είναι:

$$m' = 2000 \text{ kg/m}^3 * 0,05\text{m}$$

$$m' = 100 \text{ kg/m}^2.$$

Η συχνότητα συντονισμού του εξεταζόμενου ταβανιού θα είναι:

$$f_R = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'}}$$

$$f_R = 160 \sqrt{\frac{150}{100}} = 196 \text{ Hz}$$

Συμπέρασμα:

Από τα παραδείγματα προκύπτει ότι:

2°) Όσο μικρότερη είναι η δυναμική σκληρότητα s' του μονωτικού στρώματος, τόσο χαμηλότερη είναι η συχνότητα συντονισμού και τόσο πιο αποτελεσματική είναι η προστασία ως προς τον κτυπογενή ήχο που προσφέρει το μονωτικό στρώμα. Η συχνότητα συντονισμού θα πρέπει να βρίσκεται κάτω από τα 100Hz.

2.22. Ισοδύναμα εκτιμήσιμη, πρότυπη στάθμη ήχου βήματος $L_{n,W,eq}$

Επειδή οι επιστρώσεις διαφέρουν και τα ταβάνια δε συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο, για να εκφραστεί αυτή η διαφορετικότητα εισάγεται ο όρος:

Ισοδύναμα εκτιμήσιμη, πρότυπη στάθμη ήχου βήματος , $L_{n,W,eq}$.

Η μείωση της στάθμης ήχου, η οποία προκαλείται από επιστρώσεις αλλά και από διάφορα κυρίως ελαστικά καλύματα, όπως χαλιά, ονομάζεται βελτιωμένος ήχος βήματος και συμβολίζεται ως $\Delta L_{W,R}$.

Ισχύει η σχέση :

$$L'_{n,W,R} = L_{n,W,eq,R} - \Delta L_{W,R}, \quad (2.84)$$

όπου

$L_{n,W,eq,R}$ - η ισοδύναμα εκτιμήσιμη πρότυπη στάθμη κτυπογενή ήχου, η οποία δίνει πληροφορίες για τη συμπεριφορά του κτυπογενή ήχου πάνω σε ταβάνι που δεν έχει επίστρωση.

$L'_{n,W,eq,R}$ - εκτιμήσιμη πρότυπη στάθμη κτυπογενή ήχου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Δείκτες

n = πρότυπο,

W = τιμή,

R = τιμή υπολογισμού.

$\Delta L_{W,R}$ = βελτιωμένος ήχος βήματος, η βελτίωση προκαλείται είτε μέσω επιστρώματος είτε μέσω καλύμματος.

Ο βελτιωμένος ήχος βήματος ενός πλωτού (κολυμβητού) δαπέδου σε σχέση με το αντίστοιχο μη πλωτό για συχνότητες πάνω από τη συχνότητα συντονισμού δίνεται προσεγγιστικά και από τον τύπο:

$$\Delta L_w = 40 \log_{10} \left(\frac{f}{f_R} \right) \text{ dB} \quad (2.85)$$

όπου f_R είναι η συχνότητα συντονισμού του συστήματος δάπεδο-ελαστικό στρώμα.

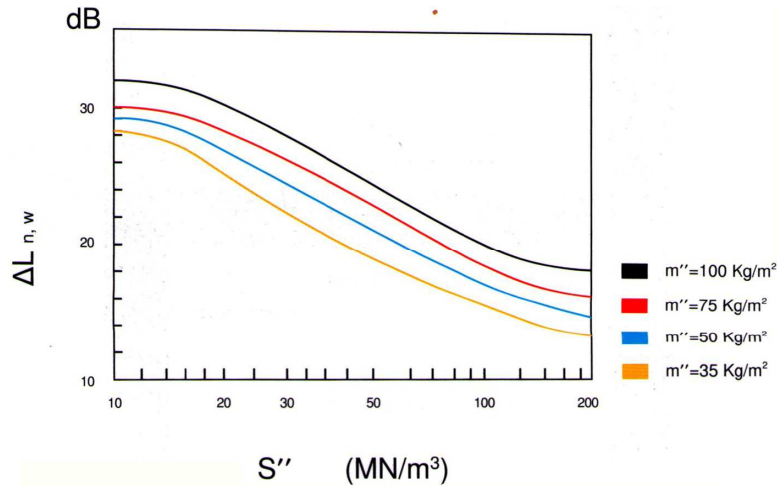
Στη σχέση 2.85 είναι ασφαλέστερο να χρησιμοποιείται αντί για 40 ο συντελεστής 35, εκτός αν το πλωτό δάπεδο που εξετάζεται είναι με ξηρή επίστρωση.

Η βελτίωση ΔL της ηχομόνωσης που επιτυγχάνεται με το πλωτό δάπεδο εξαρτάται:

- από τη δυναμική σκληρότητα s' του αντικραδασμικού-μονωτικού στρώματος και
- την επιφανειακή πυκνότητα του δαπέδου (ταβανιού).

Προσεγγιστικά με τη χρήση του διαγράμματος 2.31 η βελτίωση ΔL μπορεί να εκτιμηθεί όταν είναι γνωστή η δυναμική σκληρότητα του μονωτικού στρώματος.

Όπως αναφέρθηκε στο συμπέρασμα των παραδειγμάτων 28 και 29, όσο μικρότερη είναι η δυναμική σκληρότητα του υλικού (όσο πιο μαλακό είναι το υλικό) τόσο μεγαλύτερη είναι η βελτίωση ΔL της ηχομόνωσης.



Σχεδιάγραμμα 2.31 Αναμενόμενη βελτίωση $\Delta L_{n,w}$ της ηχομόνωσης πλωτών δαπέδων σε συνάρτηση με τη δυναμική σκληρότητα S'' του μονωτικού στρώματος και της επιφανειακής μάζας της πλάκας του ταβανιού.

2.22.1. Υπολογισμός της στάθμης του κτυπογενή ήχου πριν από την κατασκευή του οικοδομήματος

Στην πράξη είναι χρήσιμο να είναι γνωστή η στάθμη κτυπογενή ήχου στον χώρο κάτω από το ταβάνι, πριν από την κατασκευή του οικοδομήματος. Αυτό προϋποθέτει να βρεθούν η ισοδύναμη εκτιμήσιμη πρότυπη στάθμη κτυπογενή ήχου $L_{n,W,eq,R}$ και ο βελτιωμένος ήχος βήματος $\Delta L_{W,R}$.

Για τον υπολογισμό του $L_{n,W,eq,R}$ σε ταβάνια από οπλισμένο σκυρόδεμα ισχύει ο τύπος :

$$L_{n,W,eq,R} = -35 \cdot \log_{10} \cdot m' + 164 \quad (2.86)$$

Παράδειγμα 31

Πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους $d=20\text{cm}$

$$m' = 2300 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,2 \text{ m}$$

$$m' = 460 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{άρα: } L_{n,W,eq,R} = -35 \cdot \log_{10} \cdot m' + 164 \text{ dB} = -35 \cdot \log_{10} \cdot 460 + 164 \text{ dB} = 70 \text{ dB.}$$

Ακολουθούν οι σχετικοί πίνακες που δίνουν πληροφορίες για τις τιμές της ισοδύναμης πρότυπης στάθμης ήχου βήματος $L_{n,W,eq,R}$ και τις τιμές του βελτιωμένου βήματος $\Delta L_{W,R}$.

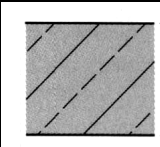
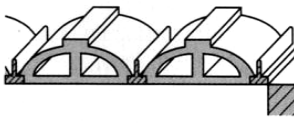
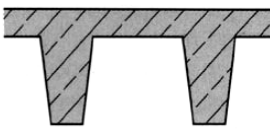
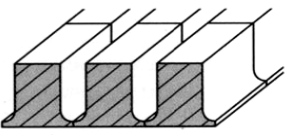
Πάχος της πλάκας από μπετόν σε cm	Επιφανειακή μάζα του συμπαγές ταβανιού χωρίς επίστρωση και σοβά Kg/m ²	L _{n,W,eq,R} σε dB	
		χωρίς εύκαμπτο επίστρωμα	με εύκαμπτο επίστρωμα
5	135	86	75
6	160	85	74
7,5	190	84	74
9	225	82	73
11	270	79	73
13	325	77	72
15	375	74	71
18	450	71	69
21	530	69	67
25	625	67	65

Πίνακας 2.20 Ισοδύναμη εκτιμήσιμη πρότυπη στάθμη κτυπογενή ήχου L_{n,W,eq,R}

Αύξηση της επιφανειακής πυκνότητας του ταβανιού μπορεί να επιτευχθεί αν προστεθούν άμεσα η επιφανειακή πυκνότητα του σοβά του ταβανιού, της συνδετικής επίστρωσης καθώς και της επίστρωσης σε διαχωριστικό στρώμα.

Υλικό επίστρωσης	ΔL _{w,R} σε dB	
Τσιμέντο, γύψος, μαγνησία με επιφανειακή μάζα m ≥ 70 kg/m ² και επιστρώσεις από χυτή ασφαλτο* με επιφανειακή πυκνότητα m ≥ 45 kg/m ² και δυναμική σκληρότητα του μονωτικού στρώματος στο διάκενο s' = 50 MN/m ³	20	
Η βελτίωση που προκαλείται από την επίστρωση της χυτή ασφάλτου είναι κατά 2 dB ψηλότερη ανάλογα με τη δυναμική σκληρότητα του μονωτικού στρώματος	s' = 40 MN/m ³	22
	s' = 30 MN/m ³	24
	s' = 20 MN/m ³	26
	s' = 15 MN/m ³	27
	s' = 10 MN/m ³	30
Εύκαμπτο, τοποθετημένο σε ξύλινη βάση- δάπεδο από συμπιεσμένες πλάκες με τουλάχιστον 30 mm μονωτικό υλικό μεταξύ των ξύλινων στηριγμάτων	24	
Ξυλόμαλλο -πλάκες ελαφριάς οικοδόμησης 25mm με οροκτοβάμβακα από κάτω 10mm	34	
Κάλυψη παρκέτου:	20mm φελλός	6
	7mm ασφαλτο	15
	25 mm ξυλόμαλλο- πλάκα ελαφριάς οικοδόμησης	17
PVC- , συνδετικές καλύψεις από λινέλαιο	13	
PVC- , συνδετική κάλυψη με υπόστρωμα αφρώδους υλικού	16	
Χαλιά: Ινώδες υλικό d = 5 mm	20	
Χαλιά : d = 8 mm	κάτω πλευρά χωρίς αφρώδες υλικό	24
	κάτω πλευρά με αφρώδες υλικό	28

Πίνακας 2.21 Βελτιωμένος ήχος βήματος ΔL_{w,R}

Είδος ταβανιού	Κατασκευή	Επιφανειακή πυκνότητα kg/m^2	Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w (dB)	Ισοδύναμη πρότυπη στάθμη ήχου βήματος $L_{n,W,eq}$ (dB)
Πλάκες ταβανιού από οπλισμένο σκυρόδεμα $m = 2500 kg/m^3$	 $d=120\text{ mm}$ $d=140\text{ mm}$ $d=160\text{ mm}$ $d=180\text{ mm}$ $d=200\text{ mm}$ $d=220\text{ mm}$	300	50	77
		350	51	75
		400	53	73
		450	54	71
		500	55	69
		550	56	68
		Ταβάνι με κοίλα μέρη, Ταβάνι με έτοιμα κοίλα μέρη		200
300	50			78
Ταβάνι με νευρώσεις/ενισχύσεις		250	48	76
Ταβάνι με ασφάλινα μέρη		250	48	80
		300	50	78

Πίνακας 2.22 Ηχοπροστασία των συμπαγών γυμνών ταβανιών χωρίς επίστρωμα δαπέδου.

Παραδείγματα Υπολογισμών ταβανιών

Παράδειγμα 32

Έτοιμο ταβάνι με δοκάρια με επιφανειακή πυκνότητα $m'=200kg/m^2$.

Η ισοδύναμη σταθμισμένη κανονικοποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης κτυπογενή ήχου είναι $L_{n,W,eq}=84dB$.

Η δομή πατώματος είναι:

Στρώση από τσιμέντο (ΖΕ) πάχους $d=50mm$

Μόνωση :πλάκα HWL πάχους $d=25mm$ από κάτω ορυκτοβάμβακας $d=10mm$.

Λύση:

Σύμφωνα με τον πίνακα 2.21 για τις τιμές του βελτιωμένου ήχου βήματος προκύπτει ότι:

$$L'_{n,W,R} = L_{n,W,eq} - \Delta L_{w,R}$$

$$L'_{n,W,R} = 84dB - 34 dB$$

$$L'_{n,W,R} = 50dB.$$

(Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του DIN 4109 η κανονικοποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης του συγκεκριμένου ταβανιού πληρεί τις προϋποθέσεις ανώτατη επιτρεπόμενη τιμή $L'_{n,W,R}=53db$).

Παράδειγμα 33

Ταβάνι από ασάλι με επιφανειακή πυκνότητα $m'=250kg/m^2$

Δομή του πατώματος :

Παρκέ πάτωμα στα 7mm ασφαλτούχα στρώση.

Λύση σύμφωνα με τις τιμές του πίνακα 2.21 και 2.22:

$$L'_{n,W,R} = L_{n,W,eq} - \Delta L_{W,R}$$

$$L'_{n,W,R} = 80\text{dB} - 15\text{ dB}$$

$$L'_{n,W,R} = 65\text{ dB.}$$

(Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του DIN 4109 η κανονικοποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης του συγκεκριμένου ταβανιού δεν πλήρη τις προϋποθέσεις - ανώτατη επιτρεπόμενη τιμή $L'_{n,W,R}=53\text{db}$).

Παράδειγμα 34

Υπολογίζεται η σταθμισμένη κανονικοποιημένη στάθμη ήχου βήματος.

Πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος $d=18\text{cm}$ με γραμμική πυκνότητα $\rho=2300\text{Kg/m}^3$

Πλωτά τοποθετημένη επίστρωση με δυναμική σκληρότητα του μονωτικού υλικού $s' = 20\text{MN/m}^3$

Πάτωμα :

$d=8\text{mm}$, αφρώδης κάτω πλευρά.

λύση:

Σύμφωνα με τη σχέση $2.86 L_{n,W,eq,R} = -35 \cdot \log_{10} m' + 164\text{ dB}$

$$m' = 2300\text{Kg/m}^3 \cdot 0,18\text{m}$$

$$m' = 414\text{ kg/m}^2$$

$$L_{n,W,eq,R} = -35 \cdot \log_{10} 414 + 164$$

$$L_{n,W,eq,R} = 72\text{ dB (Γυμνό ταβάνι)}$$

Σύμφωνα με τον πίνακα 2.21 βελτιωμένος ήχος βήματος για το μονωτικό στρώμα είναι :

$\Delta L_{W,R} = 26\text{dB}$ και για το πάτωμα είναι $\Delta L_{W,R} = 28\text{dB}$.

Άρα :

$$L'_{n,W,R} = L_{n,W,eq} - \max \Delta L_{W,R}$$

$$L'_{n,W,R} = 72\text{dB} - 28\text{dB}$$

$$L'_{n,W,R} = 44\text{ dB.}$$

(Πληρεί τις προϋποθέσεις του DIN 4109 ανώτατη επιτρεπόμενη τιμή $L'_{n,W,R}=53\text{db}$).

2.22.2.1. Ταβάνια με ξύλινα δοκάρια

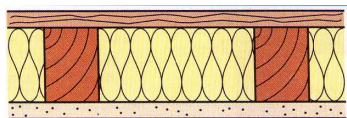
Τα ταβάνια με ξύλινα δοκάρια δίνουν μικρή ηχομόνωση ως προς τον κτυπογενή ήχο λόγω της μικρής επιφανειακής μάζας που έχουν.

Αν το ταβάνι έχει κατασκευαστεί να έχει ξύλινο δοκάρι από τη αρχή, είναι σχετικά εύκολη η βελτίωση του ως προς την ηχομόνωση.

Σε ήδη υπάρχοντα όμως ταβάνια υπάρχουν αρκετοί προβληματισμοί λόγω των μικρών μεγεθών των δοκαριών, καθώς και της κάλυψης του δαπέδου που δεν μπορεί να αλλάξει.

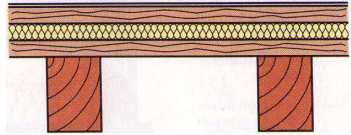
Κατασκευές με ξύλινα δοκάρια

1. ταβάνια με ξύλινα δοκάρια με πάνω και κάτω σανίδωση. Τα ξύλινα δοκάρια δεν είναι ορατά.



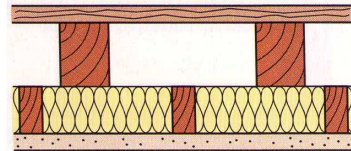
Εικόνα 2.19α Κλειστό ταβάνι με ξύλινα δοκάρια.

2. ταβάνια με ξύλινα δοκάρια με ένα ή πολλά κέλυφη πάνω από τη φέρουσα κατασκευή. Τα ξύλινα δοκάρια είναι ορατά από κάτω



Εικόνα 2.19β Ταβάνι με ξύλινα δοκάρια ανοιχτό από κάτω.

3. ταβάνια με ξύλινα δοκάρια με κατασκευή διπλού κέλυφους πάνω. Το κάτω ελαφρύ κέλυφος είναι στερεωμένο σε ξεχωριστά τοποθετημένα ξύλινα υποστηλώματα, υποκέλυφος. Τα ξύλινα δοκάρια δεν είναι ορατά.



Εικόνα 2.19γ Ταβάνι με ξύλινα δοκάρια με διπλό κέλυφος.

Τα ταβάνια με ξύλινα δοκάρια μπορούν να χωριστούν σε τρία μέρη:

2. *Βατή κάλυψη*. Είναι το τελευταίο ορατό στρώμα. Μπορεί να αποτελείται από ξύλο, φελλό, τάπητα, πλακάκια. Ο βελτιωμένος ήχος βήματος σε αυτό το μέρος συμβολίζεται $\Delta L_{w,H2}$

3. *Δόμηση*. Εννοούνται όλα τα στρώματα πάνω από τη θέση των δοκαριών. Ο βελτιωμένος ήχος βήματος εδώ συμβολίζεται ως $\Delta L_{w,H}$

4. *Γυμνό ταβάνι*. Είναι τα ξύλινα δοκάρια συμπεριλαμβανομένης και της σανίδωσης στην κάτω πλευρά. Εδώ η ισοδύναμη εκτιμήσιμη πρότυπη στάθμη ήχου βήματος είναι $L_{n,W,eq,H}$.

2.22.2.2. Υπολογισμός της ηχομόνωσης από τον κτυπογενή ήχο για τα ξύλινα δοκάρια.

Για τον υπολογισμό της ηχομόνωσης στα ταβάνια με ξύλινα δοκάρια ισχύουν οι εξής τύποι:

Για γυμνό ταβάνι-δόμηση-βατή κάλυψη:

$$L'_{n,W} = L_{n,W,eq,H} - \Delta L_{w,H} - \Delta L_{w,H2} \quad (2.87 \alpha)$$

Με βατή κάλυψη:

$$L'_{n,W,eq} = L_{n,W,eq,H} - \Delta L_{w,H} \quad (2,87 \beta)$$

(ίδια με 2.84)

Χωρίς βατή κάλυψη :

$$R'_w \approx 115 - L'_{n,W} \quad (2.87\gamma)$$

Παράδειγμα 35:

Γυμνό ταβάνι με $L_{n, w, eq, H} = 95\text{dB}$

Δόμηση με $\Delta L_{w, H} = 27\text{dB}$

Βατή κάλυψη (τάπητας) με $\Delta L_{w, H2} = 20\text{ dB}$

Άρα :

$$L'_{n, w} = L_{n, w, eq, H} - \Delta L_{w, H} - \Delta L_{w, H2}$$

$$L'_{n, w} = 95 - 27 - 20$$

$$L'_{n, w} = 48\text{ dB.}$$

Αν δεν είχε βατή κάλυψη ο δείκτης ηχομείωσης αερόφερτου ήχου θα ήταν:

$$R'_{w} \approx 115 - L'_{n, w}$$

$$R'_{w} = 67\text{dB.}$$

2.23. Ηχητικές γέφυρες

Ηχητικές γέφυρες δημιουργούνται όταν συνδέεται το υλικό της επίστρωσης με τους τοίχους και με το γυμνό ταβάνι.

Η ύπαρξη ηχητικών γεφυρών μειώνει σημαντικά την ηχομονωτική ικανότητα των δαπέδων.

Ηχομονωτικά, χειρότερο αποτέλεσμα επιφέρουν οι ηχητικές γέφυρες που δημιουργούνται μεταξύ της επίστρωσης και του γυμνού ταβανιού-δαπέδου.

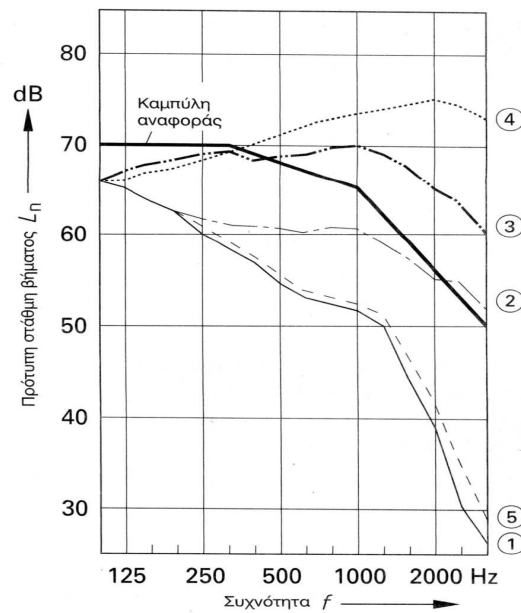
Η αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού εξαρτάται από τον τρόπο παραγωγής της ηχητικής γέφυρας.

Η ηχητική γέφυρα μεταξύ της επίστρωσης και του τοίχου αποφεύγεται αν κατά την τοποθέτηση της μονωτικής λωρίδας περιθωρίου η επιφάνεια είναι μεγαλύτερη από την επιφάνεια της επίστρωσης.

Η ηχητική γέφυρα που δημιουργείται μεταξύ της επίστρωσης και του γυμνού ταβανιού μπορεί να αποφευχθεί με τους εξής τρόπους:

1. το μονωτικό στρώμα πρέπει να είναι διπλής τοποθέτησης και υπό μορφή σταυρού έτσι ώστε να ελλατώνονται οι ανοιχτοί αρμοί
2. το μονωτικό στρώμα πρέπει να καλύπτεται με ένα διαχωριστικό στρώμα το οποίο δε θα επιτρέπει τη διείσδυση της υγρασίας, δε θα καταστρέφεται από αυτήν, δε θα αφήνει ατμούς να το διαπεράσουν (μικρή τιμή μ-το μέγεθος μ, αναλύεται στο τέταρτο κεφάλαιο) και θα αντέχει σε μηχανική επιβάρυνση.

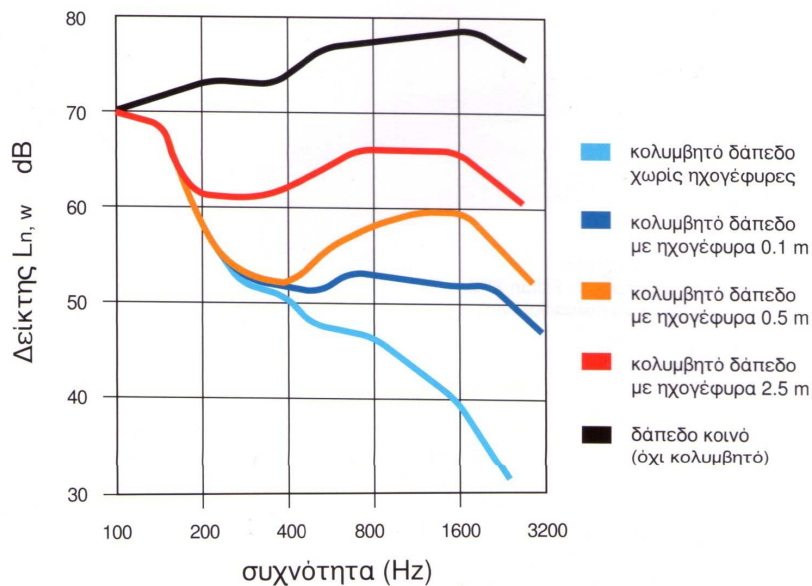
Στο διάγραμμα 2.32 δίνονται οι καμπύλες της κανονικοποιημένης στάθμης ηχητικής πίεσης του κτυπογενή ήχου για ταβάνια με και χωρίς ηχητικές γέφυρες.



Σχεδιάγραμμα 2.32 Επίδραση των ηχητικών γεφυρών στην κανονικοποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης κτυπογενή ήχου.

1. Ταβάνι χωρίς γέφυρες ήχου
2. Ταβάνι με μία γέφυρα ήχου (περίπου 3cm)
3. Ταβάνι με 10 γέφυρες ήχου
4. Ταβάνι χωρίς πλωτή επίστρωση
5. Ταβάνι με 10 γέφυρες ήχου αλλά με 500άρι ασφαλτούχο πισσόχαρτο μεταξύ γυμνού ταβανιού και μονωτικού στρώματος.

Άλλο ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της επίδρασης των ηχητικών γεφυρών στα πλωτά δάπεδα δίνεται στο σχεδιάγραμμα 2.33.



Σχεδιάγραμμα 2.33 Επίδραση ηχογεφυρών στην ηχομονωτική ικανότητα πλωτού δαπέδου.

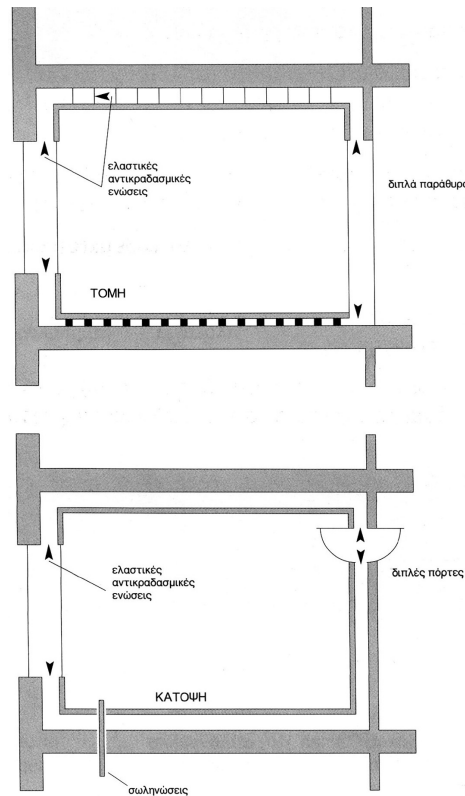
2.24. Ασυνεχής κατασκευή (δωμάτιο σε δωμάτιο)

Τα κύρια προβλήματα μιας κατασκευής που προκαλούνται από τις πλευρικές μεταδόσεις ελαχιστοποιούνται ή εξαλείφονται αν η κατασκευή είναι "δωμάτιο σε δωμάτιο".

Σε αυτήν την κατασκευή το εσωτερικό δωμάτιο δε συνδέεται πουθενά με το εξωτερικό. Είναι μια ασυνεχής κατασκευή η οποία εξασφαλίζει αποτελεσματικό έλεγχο τόσο του κτυπογενή αλλά και του αερόφερτου ήχου.

Χρησιμοποιείται για επίτευξη ψηλής ηχομόνωσης ειδικών χώρων (αίθουσα συναυλιών) και χώρων εξαιρετικά ψηλού θορύβου.

Μια τέτοια κατασκευή απεικονίζεται στο σχήμα 2.8



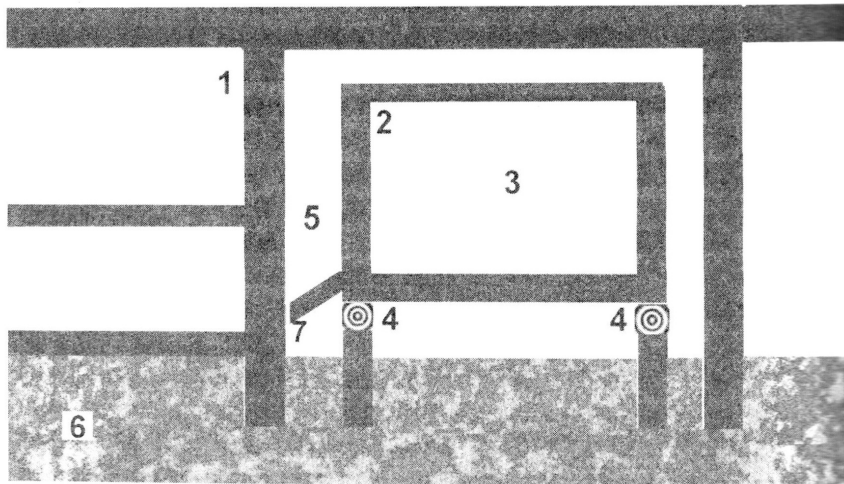
Σχήμα 2.8 Σχηματική απεικόνιση ασυνεχούς κατασκευής.

Τα βασικά χαρακτηριστικά της συσκευής αυτής είναι :

- κατασκευάζεται σε κολυμβητό δάπεδο
- οι εσωτερικοί τοίχοι πατούν ελαστικά στο κολυμβητό δάπεδο, στηρίζονται ελαστικά στους εξωτερικούς, δε φτάνουν μέχρι την οροφή και επισφραγίζονται περιμετρικά με ελαστικό υλικό
- κατασκευάζεται ελαστικά αναρτημένη ψευδοροφή που περιμετρικά σφραγίζεται με ελαστικό υλικό
- τοποθετούνται διπλές πόρτες που η κάθε μία στηρίζεται σε ξεχωριστό τοίχο

- χρησιμοποιούνται διπλά παράθυρα που το κάθε φύλλο στηρίζεται σε διαφορετικό τοίχο
- όλες οι σωληνώσεις (νερού, ηλεκτρικού κτλ) μονώνονται με ελαστικό υλικό και στηρίζονται ελαστικά με ειδικούς αναρτήρες.

Μια ακόμα απεικόνιση της κατασκευής δωμάτιο σε δωμάτιο δίνεται παρακάτω:

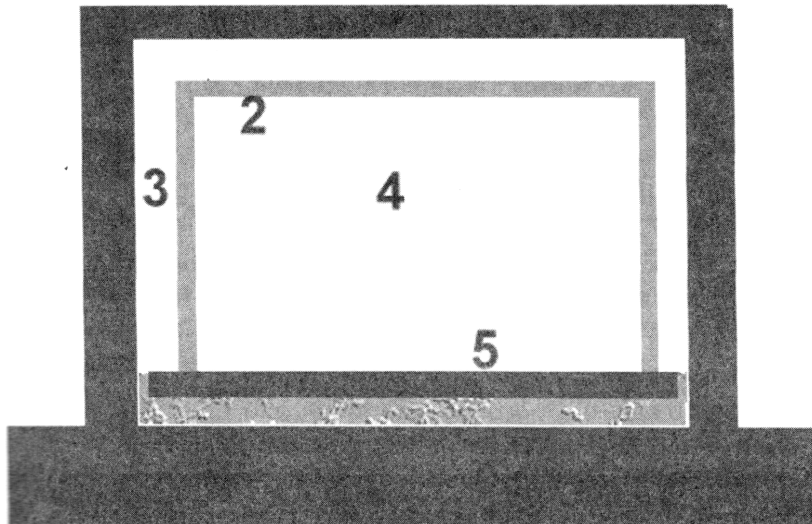


Σχήμα 2.9 Αρχή της βασικής κατασκευής δωμάτιο μέσα σε δωμάτιο.

- 1: εξωτερικό κέλυφος
- 2: εσωτερικό κέλυφος
- 3: προστατευόμενος χώρος
- 4: αντικραδασμική στήριξη (για την απομόνωση κραδασμών ή στερεόφερτου θόρυβου)
- 5: στο κενό τοποθετείται πετροβάμβακας
- 6: έδαφος
- 7: αρμός

Τα θεμέλια των δύο τοιχωμάτων δε συνδέονται. Αν σε τέτοιου είδους κατασκευές αποφευχθούν τα σφάλματα όπως είναι οι ηχητικές γέφυρες, οι μη μονωμένες διατρήσεις διέλευσης εγκαταστάσεων (ηλεκτισμού, αερισμού) καθώς και η ύπαρξη πλευρικών μεταδόσεων, αναμένεται ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης μεταξύ των δύο δωματίων να είναι 85dB.

Η απεικόνιση της κατασκευής δωμάτιο σε δωμάτιο όταν το εσωτερικό κέλυφος είναι από ελαφριά κατασκευή δίνεται παρακάτω.



Σχήμα 2.10 Δωμάτιο σε δωμάτιο , εσωτερικό κέλυφος από ελαφριά κατασκευή.

- 1: εξωτερικό κέλυφος (σκυρόδεμα)
- 2: εσωτερικό κέλυφος (ελαφριά επένδυση)
- 3: στο κενό τοποθετείται υαλοβάμβακας
- 4: προστατευόμενος χώρος
- 5: κολυμβητό δάπεδο.

Ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης και η στάθμη του κτυπογενή ήχου της κατασκευής με τέτοιο εσωτερικό δωμάτιο, εξαρτάται από το είδος του εξωτερικού κελύφους. Έτσι :

- όταν το εξωτερικό κέλυφος και οι περιβάλλοντες χώροι έχουν επενδύσεις στους χώρους, ψευδοροφή και κολυμβητό δάπεδο και ανάλογα με το πάχος του εξωτερικού κελύφους οι τιμές του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης κυμαίνονται από 65-75dB ενώ η στάθμη του κτυπογενή ήχου δεν υπερβαίνει τα 30dB.

- όταν οι περιβάλλοντες χώροι δεν έχουν κολυμβητό δάπεδο και το πάχος των πλακών είναι το συνηθισμένο, οι τιμές του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης μειώνονται σε σχέση με την προηγούμενη κατασκευή και η στάθμη του κτυπογενή ήχου θα είναι άνω των 50dB.

- όταν δεν υπάρχουν επενδύσεις στους χώρους ούτε ψευδοροφή ο αναμενόμενος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης θα είναι κοντά στα 60dB.

2.25. Ηχομονωτική Βελτιστοποίηση φέρουσας τοιχοποιίας-επενδύσεις-ψευδοροφές.

Αρκετές φορές είναι απαραίτητη η αύξηση της ηχομόνωσης ενός ήδη υπάρχοντος τοίχου.

Η αύξηση αυτή μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους:

- i) με τη προσθήκη ενός βαρύ στοιχείου,
- ii) με την προσθήκη ενός ελαφρύ στοιχείου σε κάποια απόσταση από το υπάρχον διαχωριστικό στοιχείο, όταν δεν απαιτείται ιδιαίτερα μεγάλη ενίσχυση.

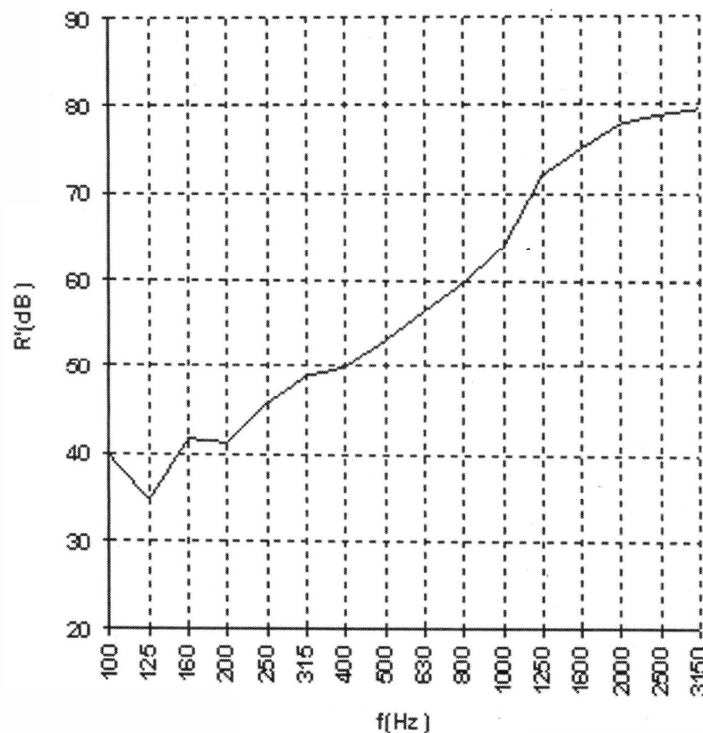
Η πιο σύνηθες κατασκευή βελτιστοποίησης της ηχομόνωσης αποτελείται από το πρόσθετο στοιχείο 2 γυψοσανίδων σε σκελετό 5-6cm, με υαλοβάμβακα ή άλλο ηχοαπορροφητικό υλικό ενδιάμεσα του τοίχου και της γυψοσανίδας.

Οι εργαστηριακές μετρήσεις δίνουν τιμές για τη βελτίωση του δείκτη ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου ΔR_w ίσες προς 12-13dB⁹. Οι ζώνες συχνοτήτων στις οποίες έγιναν οι μετρήσεις δίνονται στον πίνακα 2.23.

F(Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
ΔR (dB)	6,6	2,6	9,3	6	6,8	7,6	6,5	7,2	8,3	9,1	10,7	16,5	17,2	18,3	17,7	16,7

Πίνακας 2.23 ΔR πρόσθετου στοιχείου επένδυσης 2 γυψοσανίδων.

Το αντίστοιχο διάγραμμα είναι το ακόλουθο :



Σχεδιάγραμμα 2.34

Τυπική καμπύλη φαινομένου δείκτη ηχομείωσης στοιχείου υγρής δόμησης με προσθήκη ελαφρύ στοιχείου 2 γυψοσανίδων.

Στην περιοχή της κρίσιμης συχνότητας της γυψοσανίδας, ο δείκτης επηρεάζεται από τη μείωση που προκαλεί η γυψοσανίδα. Ο $\Delta R'_w$ αναμένεται στα 8 dB.

Η βελτίωση του δείκτη ηχομείωσης μέσω της προσθήκης μιας επένδυσης αναμένεται να είναι σημαντική αν ληφθούν τα παρακάτω μέτρα:

- Μη στήριξη του σκελετού των γυψοσανίδων στο βαρύ στοιχείο.
- Ελαστική στερέωση στο δάπεδο και στην οροφή. Όταν το δάπεδο είναι πλωτό, η στήριξη των γυψοσανίδων γίνεται σε αυτό.

⁹ Η βελτίωση του δείκτη ηχομείωσης που θα επιφέρει η επένδυση σε ένα συμπαγή τοίχο είναι περίπου 8dB για τοιχοποιίες με δείκτη ηχομείωσης άνω των 45dB. Σε τοιχοποιίες με δείκτη ηχομείωσης κάτω των 45dB, η επένδυση θα επιφέρει αύξηση της τάξης των 12-15 dB.

- τοποθέτηση κάποιου πορώδους(πετροβάμβακας-υαλοβάμβακας) πίσω από τις γυψοσανίδες-πάνω στο σκελετό τους- έτσι ώστε να υπάρχει απόσβεση των ταλαντώσεων.

- ιδιαίτερη προσοχή στη σφράγιση των ενώσεων με τα πλευρικά στοιχεία.

Το πρόσθετο στοιχείο καλό είναι να είναι εύκαμπτο, έτσι ώστε η συχνότητα σύμπτωσης να είναι ψηλή $f_R > 2500$ Hz.

Όταν η βελτιστοποίηση αφορά σε ένα ελαφρύ στοιχείο (γυψοσανίδες) το οποίο επενδύεται σε ένα βαρύ, όπως το παράδειγμα, λόγω της αυξημένης μάζας του βασικού στοιχείου η συχνότητα συντονισμού του συστήματος μετατοπίζεται στις πολύ χαμηλές συχνότητες. Αυτό είναι πλεονέκτημα για την ηχομόνωση.

Η βελτίωση που προέρχεται αν τηρηθούν τα παραπάνω μέτρα, μπορεί να αυξηθεί και άλλο αν:

- αυξηθεί περαιτέρω η επιφανειακή πυκνότητα του πρόσθετου στοιχείου- αύξηση των αριθμών της γυψοσανίδας

- αυξηθεί η απόσταση μεταξύ του βασικού στοιχείου και της επένδυσης.

2.25.1. Πίνακες βελτίωσης του δείκτη ηχομείωσης

Στον πίνακα παρακάτω δίνονται κάποιες ενδεικτικές τιμές βελτίωσης του δείκτη ηχομείωσης με επενδύσεις βάσει του πρότυπου EN 12354.1,2000, πίνακας D1.

Πρόσθετο στοιχείο	ΔR (dB) σε ζώνες οκτάβας (Hz)						ΔR_w dB
	63	125	250	500	1K	2K	
Βασικό στοιχείο 100mm συμπαγή τούβλα από γύψο, 80 kg/m²							
12,5 mm γυψοσανίδα, 44 mm κενό με πετροβάμβακα σε επαφή, χωρίς σκελετό	0	2	14	23	24	19	18
12,5 mm γυψοσανίδα, 73 mm κενό με 50 mm πετροβάμβακα ξύλινος σκελετός	2	8	15	23	25	21	21
12,5 mm γυψοσανίδα, 60 mm κενό με 50 mm πετροβάμβακα μεταλλικός σκελετός χωρίς επαφή με τον τοίχο	2	8	15	24	25	20	21
Βασικό στοιχείο 175 mm πορώδης σκυρόδεμα με σοβά, 135 kg/m²							
12,5 mm γυψοσανίδα, 40 mm πετροβάμβακα, μεταλλικός σκελετός	3	12	14	15	17	15	15
35 mm πορώδης σκυρόδεμα, 50 mm πετροβάμβακας, χωρίς σκελετό	3	11	14	16	14	13	14
Βασικό στοιχείο συμπαγή τούβλα από πυριτικό ασβέστιο 100 mm, 180 kg/m²							
2 mm x 12,5 mm γυψοσανίδες, 20mm αφρώδες υλικό χωρίς σκελετό	2	5	19	30	41	42	23
Βασικό στοιχείο διάτρητα τούβλα 300 mm με σοβά, 240 kg/m²							
15mm τσιμεντοσοβάς 30mm πετροβάμβακας, χωρίς σκελετό	0	-4	5	9	11	15	7
15mm τσιμεντοσοβάς 30mm πετροβάμβακας, χωρίς σκελετό	0	-5	5	8	10	14	6

Πίνακας 2.24 Τιμές βελτίωσης του δείκτη ηχομείωσης για τοιχοποιίες με επενδύσεις.

Πρόσθετο στοιχείο	ΔR (dB) σε ζώνες οκτάβας (Hz)						ΔR _w
	63	125	250	500	1000	2000	dB
Βασικό στοιχείο 175mm πορώδες σκυρόδεμα με σοβά, 135 kg/m²							
12,5 mm γυψοσανίδα, 40mm πετροβάμβακας, μεταλλικός σκελετός	0	6	12	14	14	14	13
35 mm πορώδες σκυρόδεμα, 50 mm πετροβάμβακας, χωρίς σκελετός	0	5	8	13	11	13	12
Βασικό στοιχείο διάτρητα τούβλα 300 mm με σοβά, 240 kg/m²							
15 mm τιμεντοσοβάς 30 mm πετροβάμβακας, χωρίς σκελετό	0	-3	5	10	12	13	6
15 mm τιμεντοσοβάς 30 mm πετροβάμβακας, χωρίς σκελετό	0	-3	6	10	12	15	5

Πίνακας 2.25 Ενδεικτικές τιμές βελτίωσης του δείκτη ηχομείωσης πλευρικής μετάδοσης με επενδύσεις βάσει του πρότυπου EN 12354.1, 2000, πίνακας D2.

Ο παρακάτω πίνακας δίνει πληροφορίες για τη βελτίωση του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης ενός βαρέους στοιχείου από ελαφρύ πρόσθετο στοιχείο, σε κανονική απόσταση μεταξύ τους και όταν ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης του βασικού στοιχείου κυμαίνεται μεταξύ 40-60dB.

Η βελτίωση εξαρτάται από το δείκτη ηχομείωσης και τη συχνότητα συντονισμού του βασικού στοιχείου.

Συχνότητα συντονισμού f ₀ (Hz) βάσει της σχέσης $f_0 \approx 60 \sqrt{\left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}\right) \cdot \frac{1}{d}}$ *	Βελτίωση του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης R _w σε dB
<80	35 - R _w / 2
100	32 - R _w / 2
125	30 - R _w / 2
160	28 - R _w / 2
200	-1
250	-3
315	-5
400	-7
500	-9
630-1600	-10
> 1600	-5

Πίνακας 2.26 Βελτίωση σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης

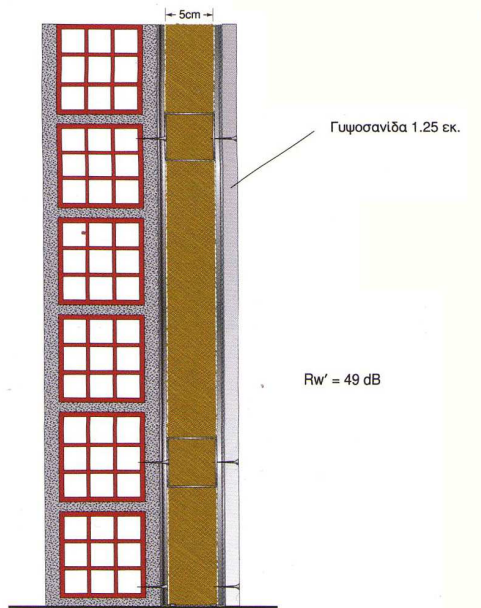
* στην εξίσωση της πρώτης στήλης του πίνακα 2.26, m₁ και m₂ είναι οι επιφανειακές πυκνότητες (kg/m²) των στοιχείων και d η μεταξύ τους απόσταση σε m.

- για f₀ < 200 Hz, R_w>0db
- αν γίνει παρεμβολή πρέπει να είναι γραμμική ως προς το λογάριθμο της συχνότητας.
- R_w είναι ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης (dB) του βασικού στοιχείου.

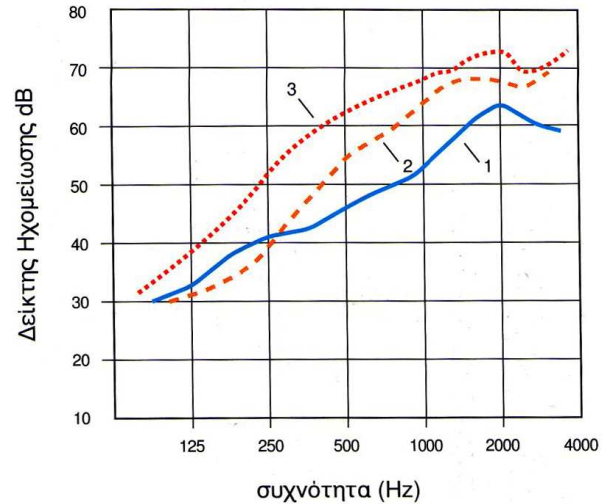
Παρατήρηση

Από τον πίνακα 2.24 φαίνεται ότι μεγάλες βελτιώσεις επιτυγχάνονται κυρίως σε ασθενή στοιχεία.

Άλλο ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα βελτιστοποίησης της τοιχοποιίας δίνεται στο σχεδιάγραμμα 2.35 με την αντίστοιχη εικόνα.



Εικόνα 2.20
Βελτίωση ηχομόνωσης
υφιστάμενου χωρίσματος.



Σχεδιάγραμμα 2.35
Δείκτης ηχομείωσης βελτιωμένων ηχομονωτικά
κατασκευών.

1. τοιχοποιία πάχους 15cm και επιφανειακή μάζα 200Kg/m²
2. Ο ίδιος τοίχος με πρόσθετη γυψοσανίδα πάχους 1.25cm, σε απόσταση 6cm χωρίς ηχοαπορροφητικό
3. Η ίδια κατασκευή με το 2^ο παράδειγμα με ηχοαπορροφητικό υλικό στο διάκενο.

Παρατήρηση

Από το σχεδιάγραμμα 2.35 φαίνεται η σημασία της απόστασης και του ηχοαπορροφητικού υλικού μεταξύ του βασικού στοιχείου και του πρόσθετου. Η σημαντική αύξηση του κενού ουσιαστικά δημιουργεί ένα δευτερεύοντα χώρο.

Έχει αποδειχτεί ότι επιφέρει μεγαλύτερη ηχομονωτική συμπεριφορά όταν η επένδυση δε γίνεται μόνο στο διαχωριστικό στοιχείο αλλά και στα πλευρικά στοιχεία έτσι ώστε να μειώνονται οι πλευρικές μεταδόσεις.

2.25.2. Ψευδοροφές

Άλλη μία επένδυση βελτιστοποίησης της ήδη υπάρχουσας τοιχοποιίας είναι οι ψευδοροφές.

Αυτές συνήθως αποτελούνται από 2 ή 1(σπάνια) γυψοσανίδες σε απόσταση από την οροφή με πορώδες υλικό στο διάκενο μεταξύ τους.

Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται στον τρόπο στήριξης της ψευδοροφής για να αποφεύγονται οι ηχητικές γέφυρες.

Μερικοί τρόποι στερέωσης της ψευδοροφής, με διαφορετικό βαθμό αποσύζευξης, δίνονται παρακάτω:

1^{ος} τρόπος

Σκελετός γυψοσανίδας στερεωμένος στην οροφή πάχους 10cm, με 2 γυψοσανίδες και με ηχοαπορροφητικό υλικό (υαλοβάμβακας-πετροβάμβακας) στο διάκενο.

Εργαστηριακά, η κατασκευή αυτή δίνει τιμές για τη βελτίωση του δείκτη ηχομείωσης της τάξης των 12dB. Στην πράξη όμως λόγω των πλευρικών μεταδόσεων η βελτίωση δεν υπερβαίνει τα 4dB.

Η βελτίωση της σταθμισμένης κανονικοποιημένης στάθμης ηχητικής πίεσης του κτυπογενή ήχου (μείωση δηλαδή αυτής) στην πράξη κυμαίνεται από 4-8dB.

Η κατασκευή αυτή ενδεικνύεται μόνο σε περιπτώσεις όπου οι πλευρικές μεταδόσεις είναι μειωμένες ή αν είναι απαραίτητη η ανάρτηση βαρέων συσκευών από την οροφή.

2^{ος} τρόπος

Κατασκευή ίδια με το πρώτο παράδειγμα, αλλά με αυξημένη την απόσταση μεταξύ του βασικού στοιχείου και της επένδυσης, της τάξης του ενός μέτρου.

Έτσι μπορούν οι τιμές βελτίωσης που αναφέρθηκαν στο πρώτο παράδειγμα στην πράξη να αυξηθούν κατά 2,5 φορές αν είναι μειωμένες και οι πλευρικές μεταδόσεις.

3^{ος} τρόπος

Προσθήκη αντικραδασμικού υλικού στο μεταλλικό σκελετό.

Αυτό επιδρά κυρίως στις μεσαίες και ψηλές συχνότητες και προκαλεί αύξηση της βελτίωσης.

4^{ος} τρόπος

Μεταλλικός σκελετός γυψοσανίδας, ο οποίος αναρτάται σε ένα γερό σύστημα, το οποίο είναι ο συνδυασμός ελατηρίων και αντικραδασμικού ελαστικού. Το σύστημα είναι ικανό να αντέχει τα φορτία που θα αναρτηθούν αργότερα από την ψευδοροφή. Το κενό που δημιουργείται από αυτήν την ανάρτηση είναι περίπου 25 cm. Το κενό αυτό επιφέρει ψηλές τιμές του δείκτη ηχομείωσης και της πρότυπης στάθμης κτυπογενή θορύβου.

Στην πράξη αναμένεται η βελτίωση του δείκτη ηχομείωσης να είναι στα 12dB αν είναι περιορισμένες οι πλευρικές μεταδόσεις και η βελτίωση στην ηχομόνωση του κτυπογενή ήχου αναμένεται να είναι της τάξης των 20dB.

Η κατασκευή αυτή χρησιμοποιείται όπου οι απαιτήσεις της ηχομόνωσης είναι μεγάλες και το κόστος της είναι ψηλό.

Χαρακτηριστικό αυτών των κατασκευών είναι η βελτίωση του δείκτη ηχομείωσης και η ελάττωση των πλευρικών μεταδόσεων με ελαφρά στοιχεία καθώς και η απώλεια του αντίστοιχου όγκου.

Σε αυτές τις κατασκευές πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μη δημιουργούνται ασθενή σημεία και να μην υπάρχει διακοπή της συνέχειας. Αν η διακοπή είναι απαραίτητη, όπως από μια ηλεκτρική εγκατάσταση, το στόμιο πρέπει να σφραγίζεται καλά. Είναι καλό οι μηχανολογικές εγκαταστάσεις (π.χ. κλιματισμός) να γίνεται μεταξύ της ηχομονωτικής επένδυσης και οποιασδήποτε ηχοαπορροφητικής επένδυσης που μπορεί να γίνει στον χώρο αυτό για λόγους ακουστικής.

2.26. Μετάδοση εξωτερικού θορύβου στο εσωτερικό ενός χώρου.

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου σε μία ηχομονωτική μελέτη είναι θεμιτό να εξετάζεται ο θόρυβος, ο οποίος προέρχεται από εξωτερικές πηγές και δεν αναπαράγεται μέσα στον χώρο. Οι πηγές θορύβου μπορεί να είναι είτε γραμμικές είτε σημειακές. Σημειακή πηγή μπορεί να θεωρηθεί ένα οποιοδήποτε στάσιμο μηχάνημα που παράγει θόρυβο.

Γραμμική πηγή, μπορεί να αποτελεί ο θόρυβος της οδικής κυκλοφορίας.

Η εσωτερική στάθμη θορύβου σε έναν χώρο, η οποία δημιουργείται λόγω εξωτερικής πηγής θορύβου μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$L_2 = L_1 - R + 10 \cdot \log \frac{S}{A} + 10 \cdot \log(\cos \theta) + 6 \quad (10) \quad (2.88)$$

όπου R - ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης της πρόσοψης του χώρου

A - η ισοδύναμη επιφάνεια ηχοαπορρόφησης του χώρου λήψης

L₂ - η στάθμη πίεσης στο εσωτερικό του σπιτιού.

L₁ - η στάθμη πίεσης της εξωτερικής πηγής στην πρόσοψη του σπιτιού

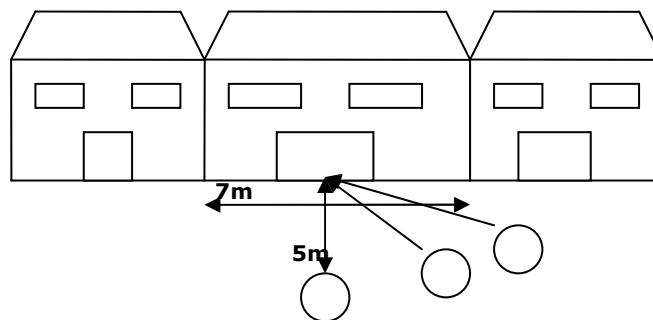
S - η ολική επιφάνεια της πρόσοψης του χώρου

θ - η γωνία πρόσπτωσης του θορύβου στην πρόσοψη του σπιτιού.

Παράδειγμα 36

1. Για σημειακή πηγή

Στο ένα μέτρο από την πρόσοψη ενός σπιτιού, μετρήθηκε η στάθμη πίεσης θορύβου μιας σημειακής πηγής. Πρέπει να βρεθεί η στάθμη πίεσης στο εσωτερικό του μπροστινού δωματίου, όταν η σημειακή πηγή βρίσκεται σε διάφορες γωνίες πρόσπτωσης .



Σχήμα 2.11 Γραμμική πηγή σε απόσταση 5 m σε τρεις διαφορετικές μοίρες (θέσεις) από την πρόσοψη ενός σπιτιού.

Δεδομένα.

¹⁰ στον τύπο 2.88 ο αριθμός 6 εξηγείται με το νόμο του αντίστροφου τετραγώνου της πίεσης με την απόσταση, περιγράφεται παρακάτω.

- Ο μπροστινός τοίχος του σπιτιού αποτελείται από μονό τούβλο 125mm, δυο παράθυρα πάχους 6mm έκαστος, μία ξύλινη πόρτα.
- Οι διαστάσεις του σπιτιού είναι :

Lx Ly Lz
7 5 3

Άρα,

- ο συνολικός όγκος είναι : $V = 7 \cdot 5 \cdot 3 = 105 \text{ m}^3$
 - η συνολική επιφάνεια : $S_{ολική} = 7 \cdot 3 = 21 \text{ m}^2$
 - η επιφάνεια της πόρτας είναι : $S_{πόρτας} = 1,54 \text{ m}^2$
 - η επιφάνεια του παραθύρου είναι: $S_{παραθύρου} = 1,4 \text{ m}^2$
- Άρα η επιφάνεια του τοίχου που αποτελείται από τα τούβλα είναι:
 $S_{τοιχου} = 21 - 1,54 - 1,4 = 18,06 \text{ m}^2$.

- Ο δείκτης ηχομείωσης των υλικών της πρόσοψης του σπιτιού ανά οκτάβα είναι:

Δείκτης ηχομείωσης ανά οκτάβα των υλικών της πρόσοψης του σπιτιού.		Hz
Single leaf brick, plastered on both sides	125mm	R(dB)
single glass in heavy frames	6 mm	R(dB)
harddoor wooden	54mm	R(dB)

Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
R(dB)	30	36	37	40	46	54	57	59
R(dB)	17	11	24	28	32	27	35	39
R(dB)	15	20	25	22	27	31	35	35

Πίνακας 2.27 Δείκτες ηχομείωσης των οικοδομικών στοιχείων του παραδείγματος.

- ο χρόνος αντήχησης του μπροστινού δωματίου είναι $R_T = 1 \text{ sec}$.

Λύση

1. Αρχικά υπολογίζεται η στάθμη πίεσης της σημειακής πηγής στα 5 μέτρα. (τα 5 m είναι η απόσταση αναφοράς που χρησιμοποιείται συνήθως στον οδικό θόρυβο).

Η σχέση που χρησιμοποιείται είναι:

$$L_{ps} = L_p + 20 \cdot \log\left(\frac{r1}{r2}\right), \quad (2.89)$$

όπου L_p – η στάθμη πίεσης της σημειακής πηγής στο 1m.

L_{ps} – η στάθμη πίεσης της σημειακής πηγής στα 5m.

$r1$ – η απόσταση της πηγής από την πρόσοψη του σπιτιού όπου έγιναν οι μετρήσεις.

$r2$ – η απόσταση της πηγής από την πρόσοψη του σπιτιού στα 5m.

Τα αποτελέσματα καταχωρούνται στον πίνακα 2.28

Στάθμη πίεσης της σημειακής πηγής	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L _p (1m)	78,00	75,00	75,00	65,00	62,00	58,00	54,00	50,00
L _{ps} (5m)	64,02	61,02	61,02	51,02	48,02	44,02	40,02	36,02

Πίνακας 2.28 Στάθμη πίεσης στο 1m από την πρόσοψη και στα 5m από την πρόσοψη.

Η στάθμη πίεσης L_p στο 1m είναι 69.80 dB(A).

Η στάθμη πίεσης L_{ps} στα 5m είναι 55,82 dB(A)

2. Υπολογίζεται η ισοδύναμη επιφάνεια ηχοαπορρόφηση (A) του χώρου λήψης.

Χρησιμοποιείται η σχέση

$$A = 0,163 \cdot \frac{V}{RT} , \quad (2.43\beta),$$

όπου V - ο όγκος του μπροστινού δωματίου (m³) και
R_T - ο χρόνος αντήχησής του (sec).

$$A = 0,163 \cdot \frac{105}{1} = 17,11 \text{ m}^2 .$$

3. Υπολογίζεται ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης της τοιχοποιίας ανα οκτάβα.

$$\text{Χρησιμοποιείται η σχέση } R_{ol} = 10 \cdot \log \frac{1}{\tau_{ολικό}} , \quad (2.10\alpha)$$

όπου τ_{ολικό} ο συνολικός δείκτης διάδοσης και δίνεται από τη σχέση

$$\tau_{ολικό} = \frac{\tau_1 \cdot S_1 + \tau_2 \cdot S_2 + \dots + \tau_n \cdot S_n}{S_{ολικό}} \quad (\text{προκύπτει από τη σχέση 2.76}).$$

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα και για τη ζώνη συχνοτήτων των 63 Hz, ο συνολικός δείκτης διάδοσης, τ, θα είναι:

$$T_{ολικό} (63\text{Hz}) = S_{\text{πόρτας}} * 10^{(-0,1 * R_{\text{πόρτας στα 63Hz}})} + S_{\text{παραθύρου}} * 10^{(-0,1 * R_{\text{παραθύρου στα 63Hz}})} + S_{\text{τοιχίου}} * 10^{(-0,1 * R_{\text{τοιχίου στα 63Hz}})}$$

Ο σύνθετος δείκτης της μπροστινής τοιχοποιίας ανά οκτάβα είναι:

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
R_{τοιχίου}	30	36	37	40	46	54	57	59
R_{παραθύρου}	17	11	24	28	32	27	35	39
R_{πόρτας}	15	20	25	22	27	31	35	35
R_{ολικό}	25,7	24,3	34	34,1	39	39,3	45,6	47,1

Πίνακας

2.29 Δείκτες ηχομείωσης των οικοδομικών στοιχείων και ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης της πρόσοψης.

4. Υπολογίζεται η στάθμη πίεσης (L_2) στο εσωτερικό του σπιτιού ανά οκτάβα και για κάθε γωνία πρόσπτωσης καθώς και η μετατροπή των στάθμεων πίεσης σε dB(A).

Χρησιμοποιείται η σχέση 2.88,

$$L_2 = L_1 - R + 10 \cdot \log \frac{S}{A} + 10 \cdot \log(\cos \theta) + 6,$$

όπου L_2 - η στάθμη πίεσης στο εσωτερικό του σπιτιού

L_1 - η στάθμη πίεσης στα 5 m

R - ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης R_{01} .

Για τον υπολογισμό dB(A) χρησιμοποιείται ο παράγοντας φίλτρου A.

Παράγοντας Φίλτρου

Curve A	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1
---------	-------	-------	------	------	---	-----	---	------

Πίνακας 2.30 τιμές του φίλτρου A

Π.χ. Η στάθμη πίεσης σε dB της σημειακής πηγής στα 5m από την πρόσοψη του σπιτιού, στη συχνότητα των 63Hz, είναι 64 dB. Η μετατροπή της στάθμης πίεσης σε dB(A) είναι: $64 - 26,2 = 37,8$ dB(A).

Προσθέτωντας λογαριθμικά τις στάθμες πίεσης σε dB(A) προκύπτει η συνολική στάθμη έντασης της πηγής ανα τη γωνία που μας ενδιαφέρει.

Roi	25,1	24,1	33,2	33,6	38,7	39,3	45,5	47	Συνολική Στάθμη πίεσης σε dB(A)
$10 \cdot \log S/A$	3	3	3	3	3	3	3	3	dB(A)
$L_p(5m)$	64	61	61	51	48	44	40	36	56
$L_2(45^\circ)$	44	42	32	22	14	10	0	-6	29
$L_2(0^\circ)$	45	44	34	24	16	12	1	-4	31

Πίνακας 2.31 Η στάθμη πίεσης στο εσωτερικό του μπροστινού δωματίου όταν ο θόρυβος προσπίπτει από γωνία 45° και 0°.



Υπολογισμός της στάθμης πίεσης στο ε

Αρχείο excel

Στο αρχείο του λογισμικού προγράμματος excel " υπολογισμός της στάθμης πίεσης στο εσωτερικό ενός χώρου όταν η πηγή είναι ένας εξωτερικός θορύβου ", ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει τις μοίρες όπου προσπίπτει ο θόρυβος στην πρόσοψη του υπό μελέτη χώρου, ο οποίος θόρυβος προέρχεται από σημειακή πηγή.

Γνωρίζοντας την επιτρεπτή στάθμη θορύβου (L_2) που επιθυμείται να υπάρχει στο μπροστινό δωμάτιο και πραγματοποιώντας μετρήσεις για την εύρεση της ισοδύναμης στάθμης πίεσης dB(A) του εξωτερικού θορύβου, βάσει της 2.88, υπολογίζεται ο απαιτούμενος σύνθετος δείκτης ηχομείωσης του οικοδομικού στοιχείου που αποτελεί την πρόσοψη, έτσι ώστε να παρέχεται στον μπροστινό χώρο η επιθυμητή ακουστική άνεση.

2. Για γραμμική πηγή

Για τον υπολογισμό της στάθμης έντασης στο εσωτερικό ενός χώρου που προκαλείται από μια εξωτερική γραμμική πηγή θορύβου, όπως ένας αυτοκινητόδρομος, ακολουθούνται τα ίδια βήματα με τη σημειακή πηγή. Αλλάζει μόνο ο υπολογισμός της στάθμης πίεσης της απόστασης, όπου στη περίπτωση της γραμμικής πηγής είναι:

$$L_{ps} = L_p + 10 \cdot \log\left(\frac{r_1}{r_2}\right). \quad (2.90)$$

Νόμος του αντίστροφου τετραγώνου

Ο νόμος του αντίστροφου τετραγώνου αναφέρεται στη σχέση της έντασης μιας ηχητικής πηγής και της απόστασης αυτής από την πηγή.

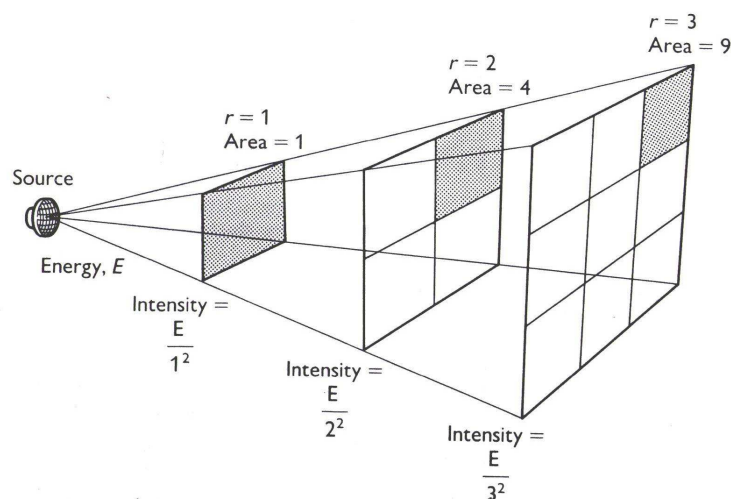
Ως παράδειγμα χρησιμοποιείται η πιο απλή μορφή της ηχητικής πηγής που είναι η σημειακή πηγή, στην οποία γίνεται η παραδοχή ότι η συνολική ηχητική ενέργεια που εκπέμπει είναι σημείο.

Όταν μια σημειακή πηγή εκπέμπει ηχητική ενέργεια στον αέρα προς όλες τις κατευθύνσεις, ο ήχος απλώνεται σφαιρικά και η ένταση σε κάθε σημείο εξαρτάται από την επιφάνεια της σφαίρας σε κάθε σημείο.

Από τη γεωμετρία, η επιφάνεια της σφαίρας ισούται με $4\pi r^2$ όπου r είναι η ακτίνα της σφαίρας.

Στο σχήμα 2.12 δίνεται η σχέση της απόστασης με την ηχητική ένταση μιας σφαιρικής σημειακής πηγής.

Η ηχητική ένταση σε κάθε σημείο είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης.



Σχήμα 2.12 Σχέση της ηχητικής έντασης μιας σημειακής πηγής που εκπέμπει σφαιρικά με την απόσταση.

Η ηχητική ένταση I_1 στην περιοχή r_1 είναι
$$\frac{1}{4\pi r_1^2} \quad (2.91)$$

Η ηχητική ένταση I_2 στην περιοχή r_2 είναι
$$\frac{1}{4\pi r_2^2}$$

Η σχέση που συνδέει την ηχητική ένταση με την ηχητική πίεση είναι η εξής:

$$P = c \cdot I \tag{2.92}$$

όπου c - η ταχύτητα ήχου στον αέρα (314m/sec)

Υπολογίζοντας τη διαφορά των ηχητικών στάθμεων των πιέσεων των αποστάσεων r_1 και r_2 προκύπτει:

$$\Delta L = 10 \log_{10} P_1 - 10 \log_{10} P_2 = 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2}, \text{ αντικαθιστώντας την πίεση με την ηχητική}$$

ένταση προκύπτει:

$$\Delta L = 10 \log_{10} \frac{I_1}{I_2}.$$

Σύμφωνα με το νόμο του αντίστροφου τετραγώνου $I = \frac{1}{4\pi r^2}$, η διαφορά της στάθμης πίεσης σε δύο σημεία είναι :

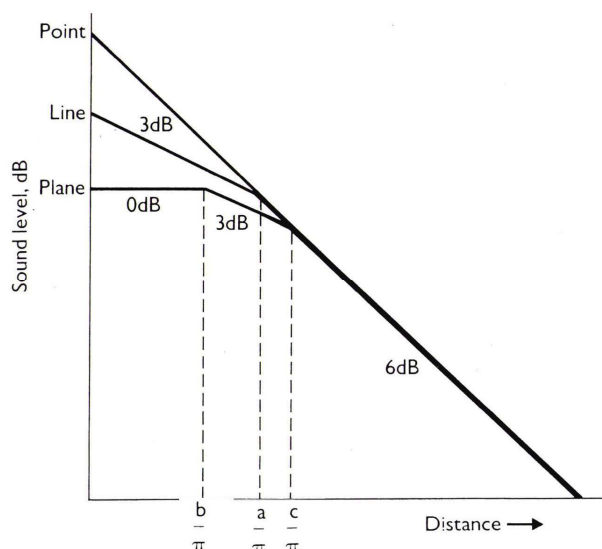
$$\Delta L = 10 \log_{10} \frac{r_1^2}{r_2^2}.$$

Για κάθε διπλασιασμό της απόστασης θα ισχύει $r_2 = 2 r_1$. Άρα η διαφορά της στάθμης πίεσης στα δύο σημεία είναι:

$$\Delta L = 10 \log_{10} \frac{2^2}{1^2} = 10 \log_{10}(4) = 6 \text{ dB}.$$

Συνεπώς, η στάθμη της ηχητικής πίεσης μιας σημειακής πηγής ελαττώνεται κατά 6 dB όσο η απόσταση διπλασιάζεται.

Στο διάγραμμα 2.36 δίνεται η σχέση της ηχητικής στάθμης με την απόσταση των τριών κατηγοριών των πηγών θορύβου. Της σημειακής, της γραμμικής και της "plane" πηγής. Ως Plane, «επίπεδη», πηγή μπορεί να θεωρηθεί ένας τοίχος, μία πόρτα. Για να συγκριθούν οι τρεις πηγές στο σχεδιάγραμμα, κάθε πηγή έχει την ίδια ηχητική δύναμη.



Σχεδιάγραμμα 2.36 Σχέση στάθμης ηχητικής πίεσης σημειακής, γραμμικής και plane πηγής με τον διπλασιασμό της απόστασης.

Όπως παρατηρείται στις μακρινές αποστάσεις η στάθμη της ηχητικής πίεσης μειώνεται κατά 6 dB ανα διπλασιασμό της απόστασης και για τις τρεις ηχητικές πηγές.

Για τη γραμμική πηγή, όταν η απόσταση είναι a/π , όπου a/π ισούται με το με το μήκος της γραμμικής πηγής διαιρούμενο κατά π , η στάθμη ηχητικής πίεσης μειώνεται κατά 3dB με το διπλασιασμό της απόστασης. Μετά από αυτήν την απόσταση η γραμμική πηγή συμπεριφέρεται ως σημειακή.

Για τη σημειακή πηγή, σε απόσταση ίση με τη μικρότερη διάσταση της «plane» πηγής διαιρούμενη κατά π , η απόσταση b/c , η στάθμη της ηχητικής πίεσης παραμένει σταθερή. Σε απόσταση c/π , που αντιστοιχεί στην απόσταση της μεγαλύτερης διάστασης της «Plane» πηγής διαιρούμενη κατά π , η στάθμη της ηχητικής πίεσης μειώνεται κατά 3dB με το διπλασιασμό της απόστασης. Σε αυτήν την περιοχή $[\frac{b}{\pi}, \frac{c}{\pi}]$, η «plane» πηγή αντιδρά ως γραμμική. Μετά από αυτήν την απόσταση η «Plane» πηγή συμπεριφέρεται ως σημειακή.

Κεφάλαιο 3. Προδιαγραφές ηχομόνωσης

3.1. Προδιαγραφές

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα κριτήρια των προδιαγραφών της ηχομόνωσης ως προς τον αερόφερτο και τον κτυπογενή θόρυβο καθώς και ως προς το θόρυβο που προέρχεται εξωτερικά των κτιρίων.

Τα κριτήρια των προδιαγραφών κατηγοριοποιούνται στις εξής ομάδες:

- Στις καμπύλες θορύβου: NC, NR, RC, NCB, RNC, PNC, BBC, IBA, AES οι οποίες δίνουν πληροφορίες για τις επιθυμητές στάθμες θορύβου ανάλογα με τις απαιτήσεις του υπό μελέτη χώρου.
- Στους σχετικούς πίνακες, που δίνουν πληροφορίες για τις επιθυμητές στάθμες του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης R'_w και της σταθμισμένης κανονικοποιημένης στάθμης του κτυπογενή ήχου $L'_{n,w}$, ανάλογα με τον χώρο που εξετάζεται.
- Στον ελληνικό κτιριοδομικό κανονισμό.

Οι προδιαγραφές της ηχομόνωσης γίνονται σύμφωνα με τα κριτήρια όπου εξετάζεται και υπακούουν στη νομοθεσία της κάθε χώρας. Η νομοθεσία βασίζεται και στην οικοδομική κατασκευή των κτιρίων της κάθε χώρας.

Για την Ελλάδα ισχύει το άρθρο 12 του κτιριοδομικού κανονισμού. Το συγκεκριμένο άρθρο δίνει τις απαιτούμενες τιμές ηχομόνωσης ως προς τον αερόφερτο και το κτυπογενή θόρυβο και τις απαιτήσεις προστασίας από εξωτερικούς θορύβους, με στόχο την ακουστική άνεση στο εσωτερικό των κτιρίων.

3.2. Κριτήρια προδιαγραφών των καμπύλων NR, NC, PNC, RC, NCB, RNC, BBC, IBA

Ένα σημαντικό κεφάλαιο στον έλεγχο του θορύβου αποτελούν τα κριτήρια του θορύβου, τα οποία παρέχουν πληροφορίες για το ποσοστό του θορύβου που είναι ανεκτός σε έναν χώρο.

Αν και για τον καθορισμό της επιθυμητής στάθμης θορύβου σε διάφορους χώρους χρησιμοποιείται η παράμετρος L_A (dB(A)), η οποία είναι εύκολο να μετρηθεί και απαιτεί χαμηλό κόστος και εύχρηστα μηχανήματα, η μέθοδος αυτή παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι δε δίνει ένδειξη ως προς το ποια συχνότητα δεν τηρεί τις απαιτήσεις που καθιστούν έναν χώρο άνετο ως προς την προστασία από το θόρυβο.

Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν τα κριτήρια των καμπυλών.

Με βάση αυτά τα κριτήρια είναι δυνατόν να σχεδιαστούν σχετικοί χώροι που απαιτούν μείωση του εσωτερικού θορύβου και τους καθιστούν κατάλληλους ως προς τη χρήση τους. Για παράδειγμα χώροι διδασκαλίας, ακροατηρίου, στούντιο ηχογραφήσεων καθώς και άλλοι εργασιακοί χώροι και ιδιωτικοί.

Όταν ένας χώρος σχεδιάζεται ακουστικά είναι πιο πρακτικό να ορίζεται όλο το φασματικό εύρος και να χαρακτηρίζεται αν παρέχει ακουστική άνεση ως προς το θόρυβο με την τιμή ενός αριθμού.

Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται σταθμισμένες καμπύλες, οι οποίες δίνουν πληροφορίες για όλο το φάσμα με την τιμή ενός αριθμού.

Πέντε σταθμισμένες καμπύλες χρησιμοποιούνται σήμερα περισσότερο και είναι οι εξής:

1. η καμπύλη NR – noise rating.
2. η καμπύλη NC – noise criteria.
3. η καμπύλη RC- room criteria.
4. η καμπύλη NCB- balanced noise criteria.
5. η καμπύλη RNC – room noise criteria.

Υπάρχουν και άλλες σταθμισμένες καμπύλες που αποτελούν κριτήριο για τη μείωση του θορύβου και προέκυψαν για συγκεκριμένες απαιτήσεις οι οποίες όμως δεν υιοθετήθηκαν από όλους στον χώρο της οικοδομικής ακουστικής. Παρόλα αυτά εξετάζονται στο συγκεκριμένο κεφάλαιο.

Οι πρότυπες καμπύλες που παρέχουν κατάλληλα συστήματα αναπτύχθηκαν στις αρχές του '50 και βασίζονται στις καμπύλες ίσης ακουστότητας του ανθρώπινου αυτιού στις ηχητικές στάθμες που ορίζονται σε κάθε οκτάβα. Σήμερα οι πιο γνωστές είναι οι NC καμπύλες που αναπτύχθηκαν από τον Beranek και οι NR καμπύλες που αναπτύχθηκαν από τους Kosten and Van Os.

3.2.1. Καμπύλες NR (noise rating)

Οι καμπύλες NR χρησιμοποιούνται από το Διεθνή πρότυπο οργανισμό (International Standards Organization) για όλες τις χρήσεις αλλά συγκεκριμένα για τον περιβαλλοντικό και βιομηχανικό έλεγχο θορύβου.

Η στάθμη οποιουδήποτε θορύβου της καμπύλης NR σε κάθε μπάντα οκτάβας μπορεί να υπολογιστεί αλγεβρικά.

Η στάθμη θορύβου είναι ίση με τη στάθμη της ψηλότερης οκτάβας NR_B η οποία ορίζεται ως:

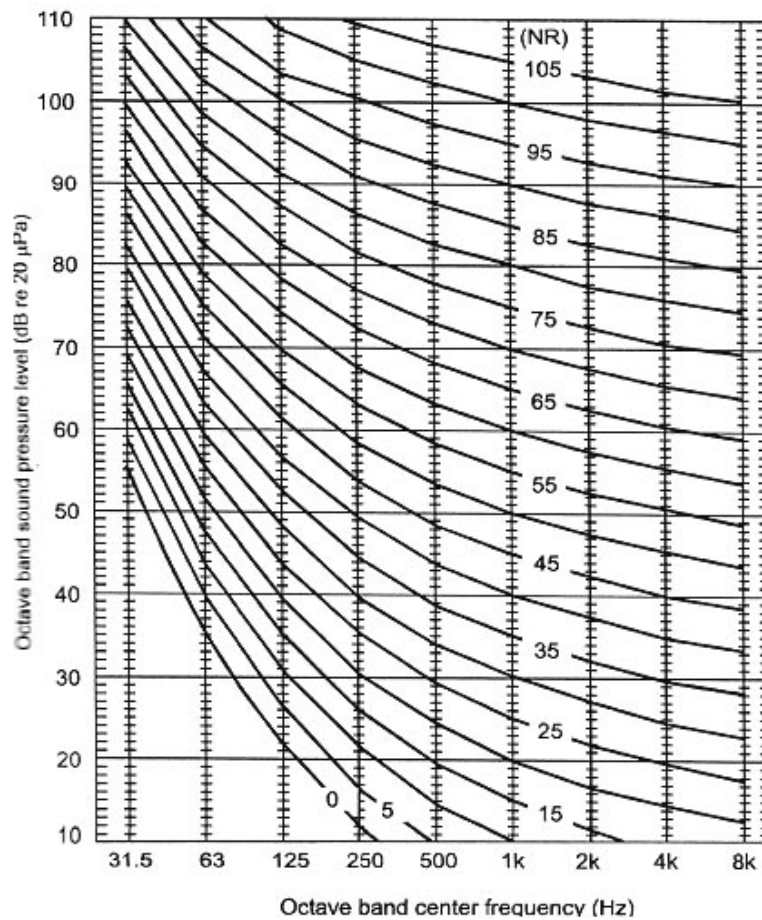
$$NR_B = \frac{L_{pB} - A_B}{B_B} \tag{3.1}$$

όπου ,
τα A_B και B_B δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Κεντρικές συχνότητες οκτάβας (Hz)	A_B	B_B
31.5	55.4	0.681
63	35.5	0.790
125	22.0	0.870
250	12.0	0.930
500	4.8	0.974
1000	0.0	1.000
2000	-3.5	1.015
4000	-6.1	1.025
8000	-8.0	1.030

Πίνακας 3.1 Συντελεστές A_B και B_B για τον υπολογισμό της καμπύλης NR_B .

Ωστόσο, πέρα από την εξίσωση 3.1 κυρίως χρησιμοποιούνται οι καμπύλες που προκύπτουν από την εξίσωση.



Σχεδιάγραμμα 3.1 Καμπύλες NR

Οι καμπύλες NR ορίζονται σε ένα διάγραμμα στάθμης ηχητικής πίεσης σε συνάρτηση με τη συχνότητα, σε ζώνες οκτάβας. Γίνονται μετρήσεις σε ένα εύρος συχνοτήτων σε ζώνες οκτάβας, από 31,5 Hz-8 kHz, τα σημεία τοποθετούνται στο διάγραμμα και χαράζεται η καμπύλη.

Το όνομα της κάθε καμπύλης ορίζεται από την τιμή της στάθμης της ηχητικής πίεσης στη ζώνη οκτάβας με κεντρική συχνότητα στα 1000Hz.

Ακολουθεί ο πίνακας τιμών των καμπύλων NR για κάθε οκτάβα.

Συχνότητα(Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NR100	123	115	109	105	102	100	98	96	95
NR95	120	111	105	100	97	95	93	91	90
NR90	117	107	100	96	92	90	88	86	85
NR85	113	103	96	91	87	85	83	81	80
NR80	110	99	91	86	82	80	78	76	74
NR75	106	95	87	82	78	75	73	71	69
NR70	103	91	83	77	73	70	68	66	64
NR65	100	87	78	72	68	65	62	61	59
NR60	96	83	74	68	63	60	57	55	54
NR55	93	79	70	63	58	55	52	50	49
NR50	89	75	65	59	53	50	47	45	43
NR45	86	71	61	54	48	45	42	40	38
NR40	83	67	57	49	44	40	37	35	33
NR35	79	63	52	45	39	35	32	30	28

NR30	76	59	48	40	34	30	27	25	23
NR25	72	55	44	35	29	25	22	20	18
NR20	69	51	39	31	24	20	17	14	13
NR15	66	47	35	26	19	15	12	9	7
NR10	62	43	31	21	15	10	7	4	2
NR5	59	39	26	17	10	5	2	-1	-3
NR0	55	35	22	12	5	0	-4	-6	-8

Πίνακας 3.2 Πίνακας τιμών των καμπύλων NR για κάθε οκτάβα.

3.2.2. Καμπύλες NC (noise criteria)

Οι καμπύλες NC αναπτύχθηκαν λόγω της ανάγκης να οριστεί η επιτρεπτή στάθμη θορύβου σε έναν χώρο όταν όλες οι συσκευές λειτουργούν.

Χρησιμοποιούνται κατά πολύ από τη δομική κατασκευαστική βιομηχανία αν και οι καμπύλες NCB φέρουν καλύτερα αποτελέσματα και έχουν ευρεία χρήση.

Οι καμπύλες NC δεν ορίζονται στην κεντρική οκτάβα 31.5 Hz για αυτό δεν χρησιμοποιούνται για τους θορύβους που βρίσκονται στις πολύ χαμηλές συχνότητες.

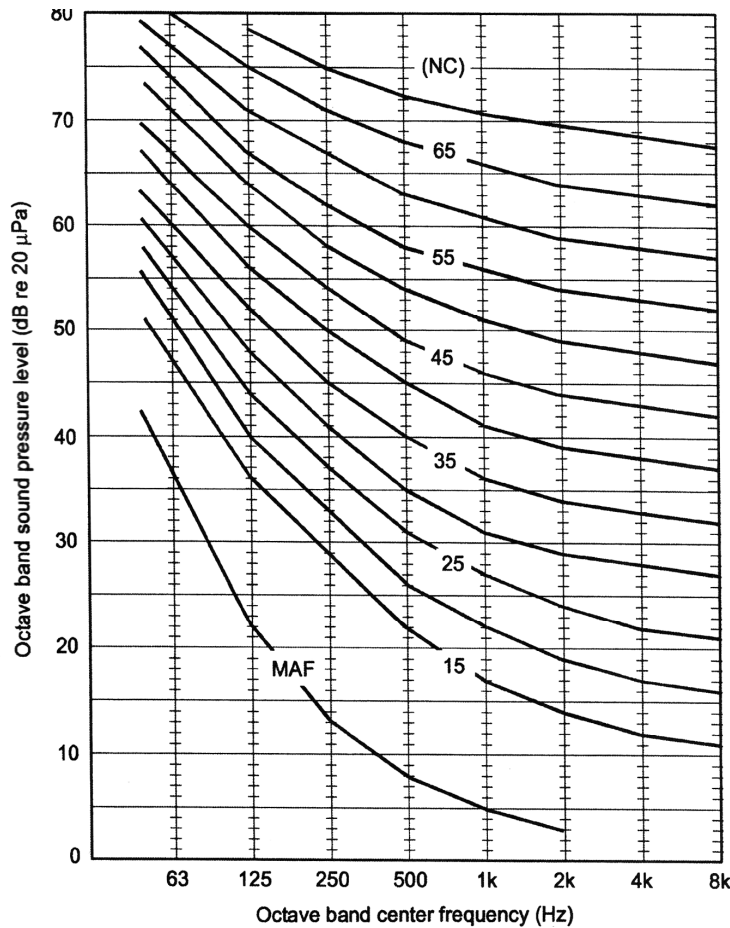
Επίσης, ως κριτήριο δεν είναι πολύ αυστηρό για τις ζώνες συχνοτήτων από τα 2000 Hz και άνω, καθώς και δε δίνει πιστά αποτελέσματα ως προς την προστασία από το θόρυβο που προέρχεται από τον κλιματισμό σε έναν χώρο.

Για το λόγο αυτό θεωρείται ακατάλληλο ως κριτήριο για εσωτερικούς θορύβους.

Οι καμπύλες NC ορίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως οι καμπύλες NR σε διαφορετικό όμως εύρος ζωνών συχνοτήτων, από 63-8KHz.

Το αντίστοιχο σχεδιάγραμμα δίνεται παρακάτω.

Η απλότητα της διαδικασίας του ορισμού των καμπυλών NC είναι που τις καθιστά ακόμα ευρεία γνωστές και χρησιμοποιούνται περισσότερο από άλλα κριτήρια που είναι πιο αυστηρά και δίνουν πιο πιστά αποτελέσματα.



Σχεδιάγραμμα 3.2 Διάγραμμα NC καμπύλες.

Ακολουθεί ο πίνακας τιμών των καμπύλων NC για κάθε οκτάβα.

Συχνότητα(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NC65	80	75	71	68	66	64	63	62
NC60	77	71	67	63	61	59	58	57
NC55	74	67	62	58	56	54	53	52
NC50	71	64	58	54	51	49	48	47
NC45	67	60	54	49	46	44	43	42
NC40	64	57	50	45	41	39	38	37
NC35	60	52	45	40	36	34	33	32
NC30	57	48	41	35	31	29	28	27
NC25	54	44	37	31	27	24	22	21
NC20	51	40	33	26	22	19	17	16
NC15	47	36	29	22	17	14	12	11

Πίνακας 3.3 Πίνακας τιμών των καμπύλων NC για κάθε οκτάβα.

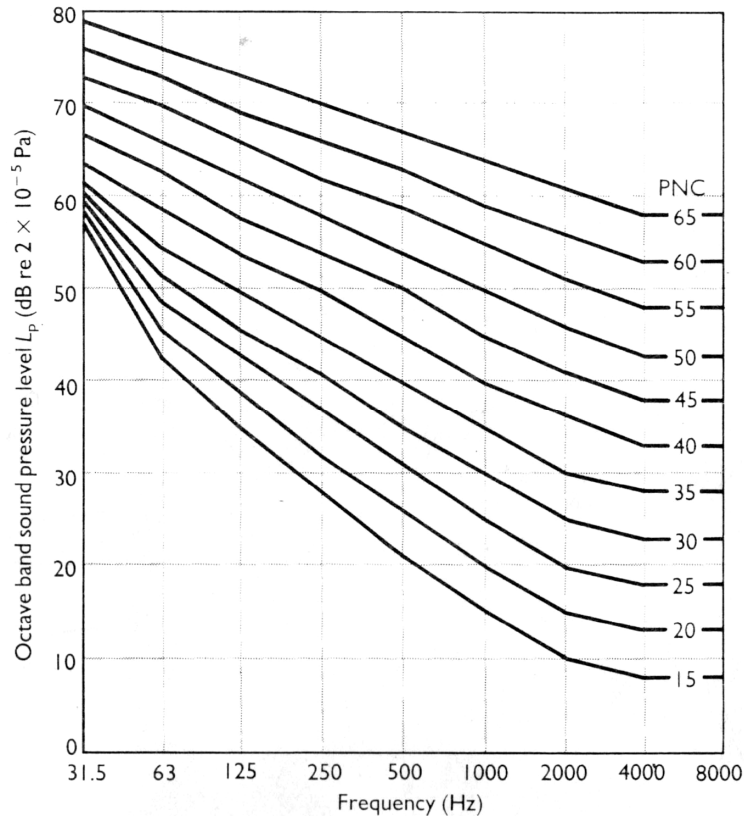
3.2.3. Καμπύλες PNC (preferred noise criteria) και η σύγκρισή τους με τις καμπύλες NR, NC.

Στα σχεδιαγράμματα 3.1 και 3.2 δίνονται οι τιμές της στάθμης της ηχητικής πίεσης των οκτάβων των καμπύλων NC, NR.

Κάποιες παρατηρήσεις που έγιναν για τα συστήματα αυτά ήταν ότι το φάσμα που έδιναν για την προστασία από το θόρυβο, έφερε ως αποτέλεσμα έναν μακρόσυρτο χαμηλής έντασης θόρυβο στις χαμηλές συχνότητες και ένα σφύριγμα στις ψηλές.

Για το λόγο αυτό ο Beranek εξέλιξε ένα άλλο σύστημα, το PNC (preferred noise criteria-προτιμώμενο κριτήριο θορύβου), στη δεκαετία του '70 , το οποίο έδινε αντικειμενικά πιο αποδεκτά αποτελέσματα στο φάσμα, μειώνοντας την ηχητική στάθμη στις χαμηλές και ψηλές συχνότητες.

Οι καμπύλες PNC βρίσκονται στο σχεδιάγραμμα 3.3.

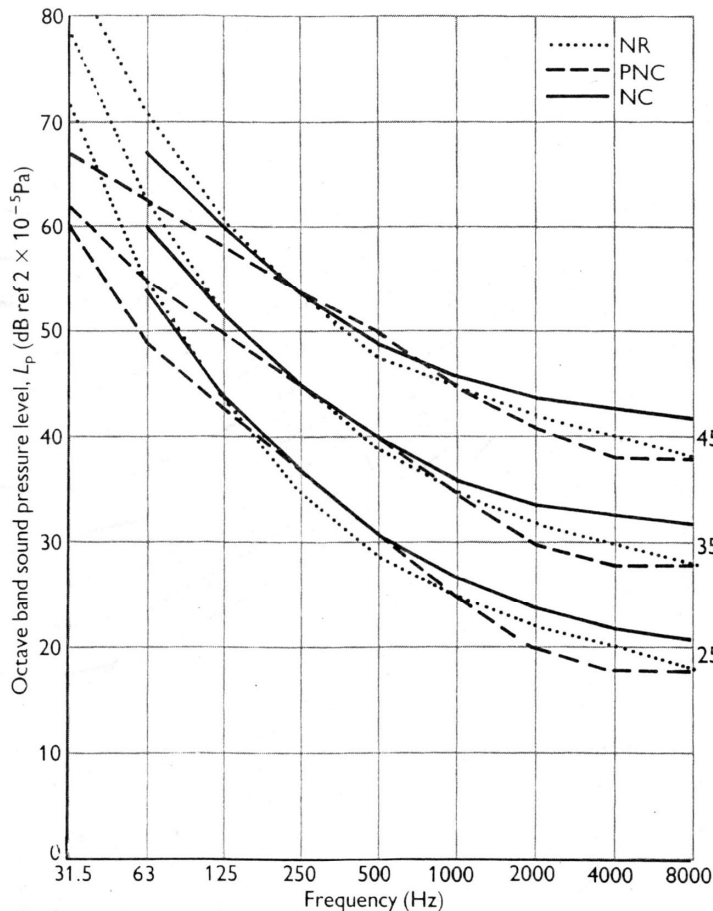


Σχεδιάγραμμα 3.3 PNC καμπύλες.

Frequency	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
PNC65	79	76	73	70	67	64	61	58	58	dB
PNC60	76	73	69	66	63	59	56	53	53	dB
PNC55	73	70	66	62	59	55	51	48	48	dB
PNC50	70	66	62	58	54	50	46	43	43	dB
PNC45	67	63	58	54	50	45	41	38	38	dB
PNC40	64	59	54	50	45	40	35	33	33	dB
PNC35	62	55	50	45	40	35	30	28	28	dB
PNC30	61	52	46	41	35	30	25	23	23	dB
PNC25	60	49	43	37	31	25	20	18	18	dB
PNC20	59	46	39	32	26	20	15	13	13	dB
PNC15	58	43	35	28	21	15	10	8	8	dB

Πίνακας 3.4 Πίνακας τιμών PNC καμπύλων.

Παρακάτω δίνεται το σχεδιάγραμμα σύγκρισης των τριών καμπύλων (NR, NC, PNC) και οι τιμές των καμπύλων τους.



Σχεδιάγραμμα 3.4 Σύγκριση των καμπυλών NC, NR, PNC .

Frequency	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
NC25		54	44	37	31	27	24	22	21	dB
NR25	75	55	44	35	29	25	22	20	18	dB
PNC25	60	49	43	37	31	25	20	18	18	dB
NC35		60	52	45	40	36	34	33	32	dB
NR35	79	63	52	45	39	35	32	30	28	dB
PNC35	62	55	50	45	40	35	30	28	28	dB
NC45		67	60	54	49	46	44	43	42	dB
NR45	86	71	61	54	48	45	42	40	38	dB
PNC45	67	63	58	54	50	45	41	38	38	dB

Πίνακας 3.5 πίνακας τιμών των καμπύλων.

Παρόλα αυτά, τα συστήματα που υιοθετήθηκαν από την οικοδομική ακουστική συμπεριλαμβανομένης και της μηχανικής μελέτης για χώρους που εξαερίζονται είναι τα NC και NR συστήματα.

Οι διαφορές των δύο συστημάτων (NC,NR) είναι οι εξής:

- 1) στις χαμηλές συχνότητες οι ηχητικές στάθμες της NR καμπύλης είναι ψηλότερες από τις στάθμες της ισοδύναμης καμπύλης NC.

- 2) στις ψηλές συχνότητες οι ηχητικές στάθμες της NR καμπύλης είναι χαμηλότερες από τις στάθμες της ισοδύναμης καμπύλης NC.
- 3) οι στάθμες της NC καμπύλης ορίζονται στο συχνοτικό εύρος 63Hz - 8KHz, ενώ οι στάθμες της NR καμπύλης ορίζονται στο συχνοτικό εύρος μεταξύ 31.5-8KHz.
- 4) οι στάθμες της NR καμπύλης παράγονται από μία φόρμουλα και είναι εφικτό να αναπαρασταθεί οποιαδήποτε ηχητική στάθμη από μία τιμή της NR καμπύλης. Σε αντίθεση με αυτό, οι NC καμπύλες ορίζονται από τα βήματα των πέντε (π.χ. NC 30, NC35, NC40). Εφόσον η διαφορά μεταξύ των καμπυλών δεν είναι 5dB σε ολόκληρο το φάσμα (π.χ στα 63Hz η τιμή της NC35 καμπύλης είναι 60dB και η NC30 είναι στα 57dB) δεν είναι δυνατόν να οριστούν ενδιάμεσες στάθμες από την τιμή της NC καμπύλης.

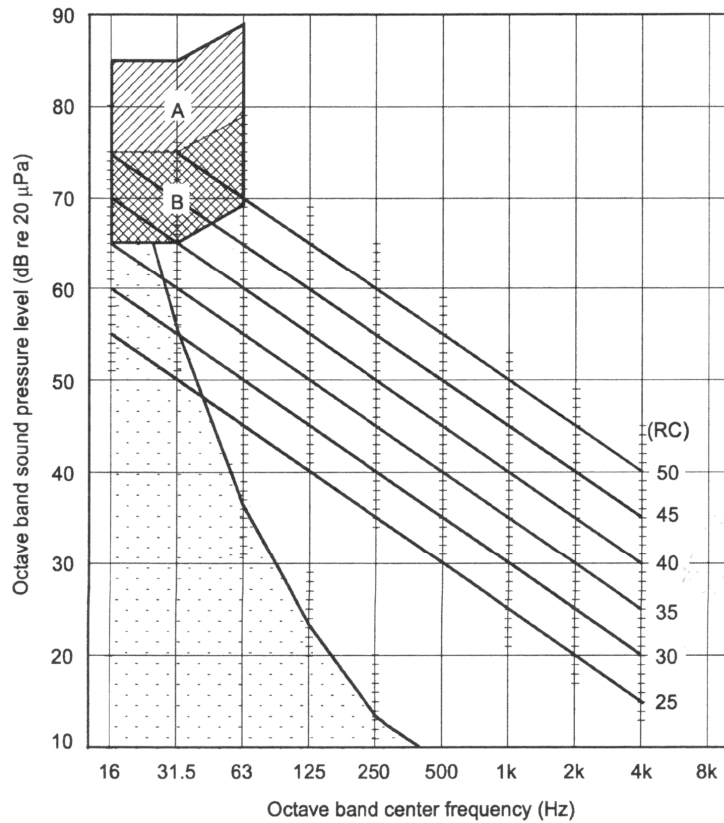
Το γεγονός ότι οι στάθμες της NR καμπύλης είναι πιο ψηλές από αυτές της καμπύλης NC στις χαμηλές συχνότητες, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι αν ένας χώρος μελετηθεί με τα κριτήρια της NR καμπύλης, μπορεί να χρησιμοποιηθούν πιο κοντοί εξασθενηστές (attenuators) μια που το μέγεθος αυτών εξαρτάται από τις απαιτήσεις τις χαμηλότερης συχνότητας.

3.2.4. Καμπύλες RC (room criteria)

Οι καμπύλες RC αναπτύχθηκαν για να αντικαταστήσουν το κριτήριο NC για τους κατειλημμένους χώρους που έχουν εξαερισμό. Οι καμπύλες RC συμπεριλαμβάνουν και τις ζώνες οκτάβας στα 16Hz και 31,5Hz παρόλο που συνήθως τα 16Hz δεν συμπεριλαμβάνονται σε άλλες μετρήσεις.

Ο λόγος που μελετάει τις ζώνες συχνοτήτων των 16Hz και 31,5 Hz είναι γιατί κάποιοι θόρυβοι, αν η στάθμη τους είναι από 70dB και πάνω, ακόμα και αν δεν ακούγονται γίνονται αισθητοί από τις δονήσεις, ειδικά σε ελαφριού τύπου κατασκευές και προκαλούν αυτό το τρίψιμο ή βόμβο στα παράθυρα, τις πόρτες κ.τ.λ.

Το αντίστοιχο σχεδιάγραμμα των καμπυλών RC δίνεται παρακάτω.



Σχεδιάγραμμα 3.5 RC καμπύλες.

Οι καμπύλες RC σχεδιάζονται με τον εξής τρόπο.

Κάθε καμπύλη παίρνει το όνομά της από τη στάθμη ηχητικής πίεσης στα 1000 Hz. Αν η καμπύλη είναι η RC50 τότε στα 1000 Hz η στάθμη ηχητικής πίεσης θα είναι 50dB.

Όσο μειώνεται η συχνότητα, η στάθμη της ηχητικής πίεσης αυξάνεται κατά 5dB. Όσο αυξάνεται η συχνότητα, η στάθμη της ηχητικής πίεσης μειώνεται κατά 5dB.

Για παράδειγμα οι στάθμες της ηχητικής πίεσης της καμπύλης RC50, για το συχνοτικό εύρος από 63 Hz -4 KHz, θα είναι:

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
RC 50	70 dB	65 dB	60 dB	55 dB	50 dB	45 dB	40 dB

Πίνακας 3.6 Οι τιμές της καμπύλης RC50 για το συχνοτικό εύρος από 63 Hz- 4 kHz.

Με τον ίδιο τρόπο σχεδιάζονται και οι υπόλοιπες καμπύλες RC.

Παρατηρήσεις

Αν σε οποιαδήποτε μπάντα κάτω από τα 500Hz, η στάθμη ξεπεράσει την καμπύλη RC πάνω από 5dB τότε ο ήχος χαρακτηρίζεται ως μακρόσυρτος και χαμηλής έντασης-«rumbly».(π.χ.RC 29 R-όπου R είναι rumply)

Αν σε οποιαδήποτε μπάντα πάνω από τα 500Hz, η στάθμη ξεπεράσει την καμπύλη RC πάνω από 3dB τότε ο θόρυβος χαρακτηρίζεται ως σφυριχτός-«hissy».

Αν τίποτα από τα δύο παραπάνω δε συμβαίνει, τότε ο ήχος χαρακτηρίζεται ως ουδέτερος-«neutral». (π.χ. RC 29 N- όπου N είναι neutral)

Αν η στάθμη ηχητικής πίεσης οποιασδήποτε μπάντας μεταξύ των 16Hz και 63Hz βρίσκεται στην περιοχή του γραφήματος με τις διασταυρούμενες γραμμές, μπορεί να δημιουργηθεί αισθητή δόνηση στους τοίχους και τα ταβάνια, καθώς και τριψίματα από τα έπιπλα που βρίσκονται στον χώρο. Σε τέτοιες περιπτώσεις ο θόρυβος συμβολίζεται ως RV (π.χ. RC 29(RV)).

Η στάθμη L_B της κεντρικής συχνότητας της μπάντας που αποτελεί μια συγκεκριμένη RC καμπύλη δίνεται από τη σχέση:

$$L_B = RC + \frac{5}{0.3} + \log_{10} \left(\frac{1000}{f} \right) \quad (3.2)$$

Οι καμπύλες RC αναπαριστούν το φάσμα του λιγότερο ενοχλητικού θορύβου για αυτό και ορίζονται μέχρι την καμπύλη RC50.

Αντιθέτως, οι καμπύλες NR και NC χρησιμοποιούνται για να ορίσουν πιο ψηλά όρια της επιτρεπτής στάθμης θορύβου και δεν αναπαριστούν απαραίτητα το φάσμα του ελάχιστου ενοχλητικού θορύβου. Για παράδειγμα σε ένα γραφείο όπου πρέπει η ομιλία να είναι ξεκάθαρη ο θόρυβος βάθους πρέπει να οριστεί. Οι καμπύλες NC και NR θα δώσουν πληροφορίες για το φάσμα του θορύβου το οποίο θα κάνει τον θόρυβο να είναι είτε πολύ μακρόσυρτος και χαμηλής έντασης «rumbly» είτε πολύ «σφυριχτός» «hissy». Αντιθέτως, αν χρησιμοποιηθεί το κριτήριο RC η ακουστική άνεση του χώρου ως προς το θόρυβο θα είναι λιγότερο ενοχλητική.



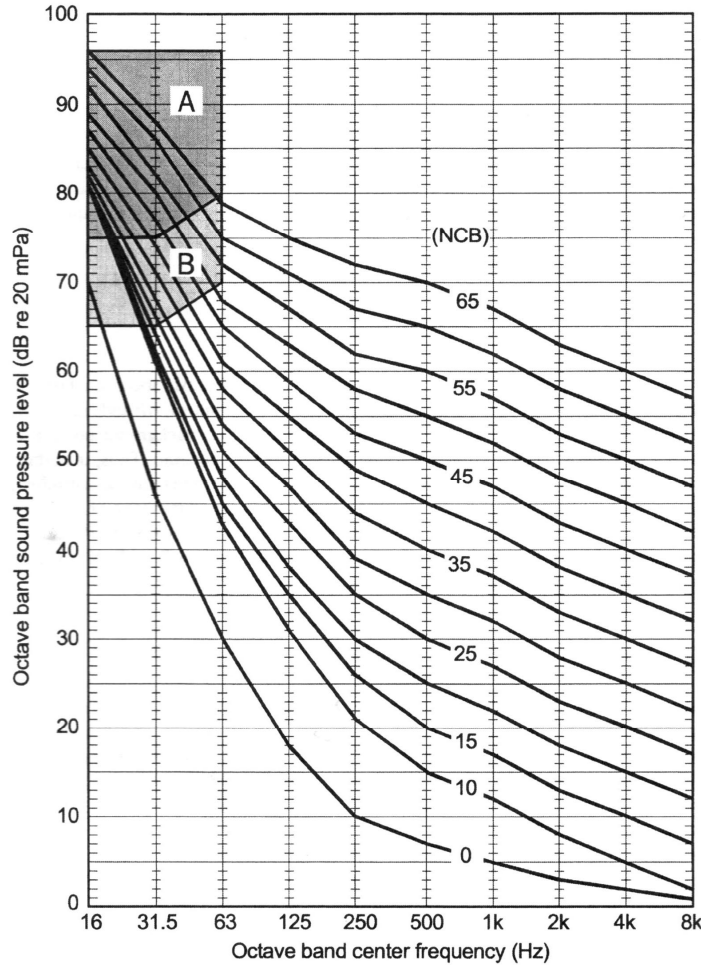
NC RC

Αρχείο excel

Οι τιμές των καμπύλων NC, NR και RC δίνονται στο αρχείο excel « NC-RC».

3.2.5. Καμπύλες NCB (balanced noise criteria)

Οι καμπύλες NCB χρησιμοποιούνται για να δώσουν τα επιτρεπτά όρια θορύβου σε κατειλημμένους χώρους συμπεριλαμβανομένου του εξαιρισμού και άλλων περιβαλλοντικών θορύβων.



Σχεδιάγραμμα 3.6 NCB καμπύλες.

Οι καμπύλες NCB αναπτύχθηκαν για να αντικαταστήσουν τις καμπύλες NC. Πληροφορίες για τις καμπύλες NCB δίνονται στο Αμερικάνικο Εθνικό Πρότυπο (American National Standard) ANSI S12.2-1995 -Criteria for evaluating room noise- 'κριτήρια για την εκτίμηση του θορύβου σε δωμάτια'.

Ο μονότιμος αριθμός της καμπύλης NCB είναι ίδιος με τον SIL (Speech Interference Level) ενός θορύβου, με τις ίδιες ζώνες οκτάβας. Ο SIL ενός θορύβου είναι ο αριθμητικός μέσος της στάθμης των dB στις ζώνες συχνοτήτων 500Hz, 1kHz, 2kHz, 4kHz.

Για να οριστεί αν ένας θόρυβος ηχεί σα "βόμβος", η στάθμη πίεσης του υπό μελέτη θορύβου σχεδιάζεται σε ζώνες οκτάβας, στο ίδιο σχεδιάγραμμα με ένα σετ NCB καμπύλων. Αν οποιαδήποτε τιμή στην οκτάβα των 500 Hz ή σε χαμηλότερη, υπερβαίνει πάνω από 3dB την αντίστοιχη καμπύλη NCB, τότε ο θόρυβος χαρακτηρίζεται ως "βουβός ή βόμβος".

Για να οριστεί αν ένας θόρυβος είναι "σφυριχτός" παρατηρείται αν η ηχητική στάθμη σε ζώνες οκτάβας μεταξύ 1000Hz και 8000Hz ξεπεράσουν την καμπύλη NCB.

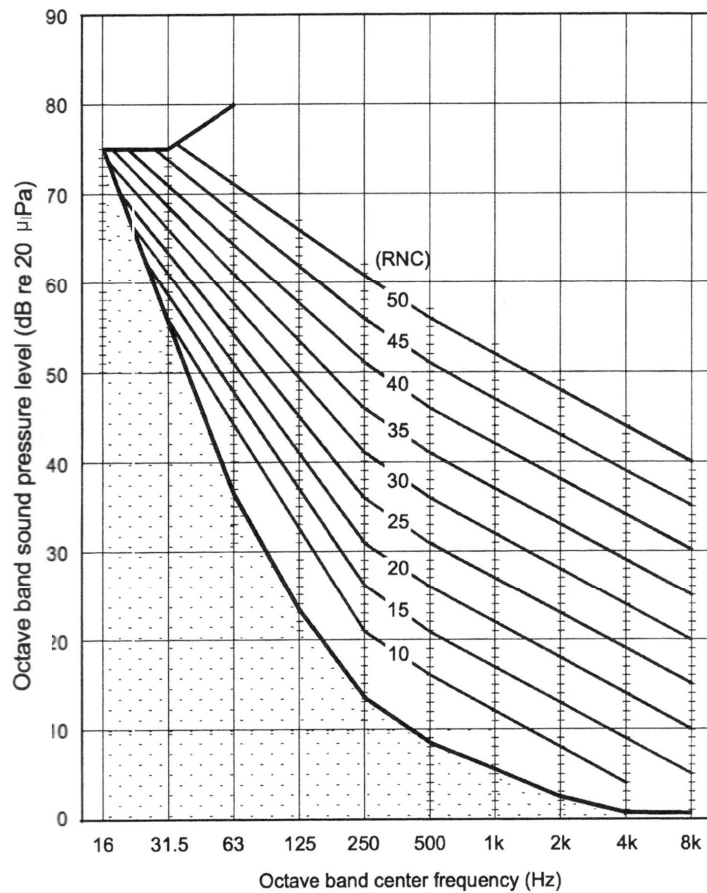
3.2.6 Καμπύλες RNC (room noise criteria)

Οι RC και NCB καμπύλες έχουν κάποιους περιορισμούς που μπορεί να καταλήξουν σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Οι καμπύλες RC θέτουν τα κριτήριά τους κάτω από το ακουστικό φάσμα και αυτό γίνεται για να προστατέψουν από όποιες αναταραχές που προκαλούν θόρυβο, στις χαμηλές συχνότητες, με στάθμη που μπορεί να φτάσει τα 10dB σε συγχρονισμό με το θόρυβο του εξαιρισμού. Ωστόσο όμως αν ακολουθηθούν οι προδιαγραφές των RC καμπύλων μπορεί άσκοπα να καταδικαστεί ένα καλό

σύστημα εξαερισμού HVAC, π.χ. τέτοιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συναυλιακούς χώρους, απαιτώντας άσκοπη εξασθένιση θορύβου στάθμης 10dB και πάνω.

Από την άλλη μεριά, οι NCB καμπύλες προορίζονται για πιο «ανεκτικούς» σχεδιασμούς όσον αφορά στην προστασία από τα HVAC συστήματα. Δεν καθιστούν ανεπαρκή την προστασία από ένα φτωχό σχεδιασμένο σύστημα το οποίο παράγει υψηλές στάθμες θορύβου στις χαμηλές συχνότητες.

Οι RNC καμπύλες αναπτύχθηκαν από τον Schomer, (το έτος 2000), με σκοπό να βρεθεί ένας τρόπος να αντιμετωπιστούν τα παραπάνω προβλήματα και έχουν ως πεδίο εφαρμογής το θόρυβο από τα συστήματα αερισμού- κλιματισμού.



Σχεδιάγραμμα 3.7 RNC καμπύλες.

Το κριτήριο αυτό παρουσιάζει πολυπλοκότητα στο να οριστεί και για το λόγο αυτό δε γίνεται εύκολα αποδεκτό.

Η πολυπλοκότητα βρίσκεται στον προσδιορισμό των διορθωτικών όρων που πρέπει να προστεθούν στις μετρημένες τιμές της κάθε ζώνης οκτάβας στις μπάντες των 31.5 Hz , 63 Hz και 125Hz έτσι ώστε οι τιμές να παραστηθούν γραφικά.

Για τους θορύβους που ακτινοβολούνται από τον αγωγό του εξαερισμού χωρίς πολλούς στροβιλισμούς ο διορθωτικός όρος είναι 0.

Σε περίπτωση που ο θόρυβος είναι πολύ ψηλός, ο διορθωτικός όρος στα 31.5Hz είναι και 4dB ή και 12dB.

Ο διορθωτικός όρος στα 125 Hz είναι κυρίως 0 αν όμως υπάρχει αρκετός θόρυβος από τον εξαερισμό μπορεί να είναι και 2dB.

Στη συνέχεια μια ευθεία γραμμή σχεδιάζεται στο γράφημα ανάμεσα από τις διορθωμένες τιμές των ζωνών 31Hz και 125Hz και έτσι προκύπτει η διορθωμένη τιμή στα 63Hz.

Η τιμή στα 16Hz δε σχεδιάζεται όταν υπάρχει αρκετός θόρυβος.

Περισσότερες πληροφορίες για το διορθωτικό όρο στις μπάντες των 31.5 Hz και 125Hz δίνονται από τον Schomer(2000).

Περίληπτικά, ο διορθωτικός όρος υπολογίζεται από τις μετρήσεις της στάθμης ηχητικής πίεσης, L_i , ενός μεγάλου αριθμού ζωνών οκτάβας από 16Hz-8kHz, σε συγκεκριμένο χρόνο (π.χ.20 second). Οι ρυθμίσεις του χρόνου είναι στην κατάσταση «γρήγορο» και η δειγματοληψία γίνεται μεταξύ 50 και 100ms.

Ο μέσος όρος της στάθμης της ηχητικής πίεσης, L_m , υπολογίζεται από το μέσο όρο όλων των μετρημένων σταθμών σε dB στην κάθε οκτάβα.

Ο μέσος όρος της ενέργειας, L_{eq} , υπολογίζεται για κάθε μπάντα οκτάβας από τη μαθηματική σχέση:

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{L_i/10} \right] \quad (3.3)$$

οι διορθωτικοί όροι για τις μπάντες των 31.5Hz και 125Hz που πρέπει να προστεθούν στις μετρήσεις L_{eq} είναι αντίστοιχα οι Δ_{31} και Δ_{125} και υπολογίζονται για κάθε μπάντα χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$\Delta = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{(L_i - L_m)/\delta} \right] + L_m - L_{eq} \quad (3.4)$$

όπου,

$\delta=5$ για την μπάντα των 31.5Hz

$\delta=8$ για την μπάντα των 125Hz και

N είναι ο αριθμός των μετρήσεων που γίνονται σε κάθε μπάντα.

Ο θόρυβος θεωρείται ότι βρίσκεται σε ανεκτά όρια αν ο όρος Δ για την μπάντα των 31.5 Hz είναι μικρότερος από 0.1dB.

Σε αυτήν την περίπτωση οι μετρήσεις κάθε μπάντας σχεδιάζονται στο σεντ καμπυλών RNC στο συχνοτικό εύρος από 16Hz-8kHz χωρίς να συμπεριληφθεί καμία διόρθωση στις μετρήσεις της κάθε μπάντας.

Οι πληροφορίες για τις RNC καμπύλες δίνονται ως εξής : RNC41-(63dB).

Σε αυτό το παράδειγμα η υψηλότερη καμπύλη RNC που διατέμνεται είναι η RNC41 και αυτό συμβαίνει στα 63Hz.

3.2.7. Καμπύλες BBC/IBA

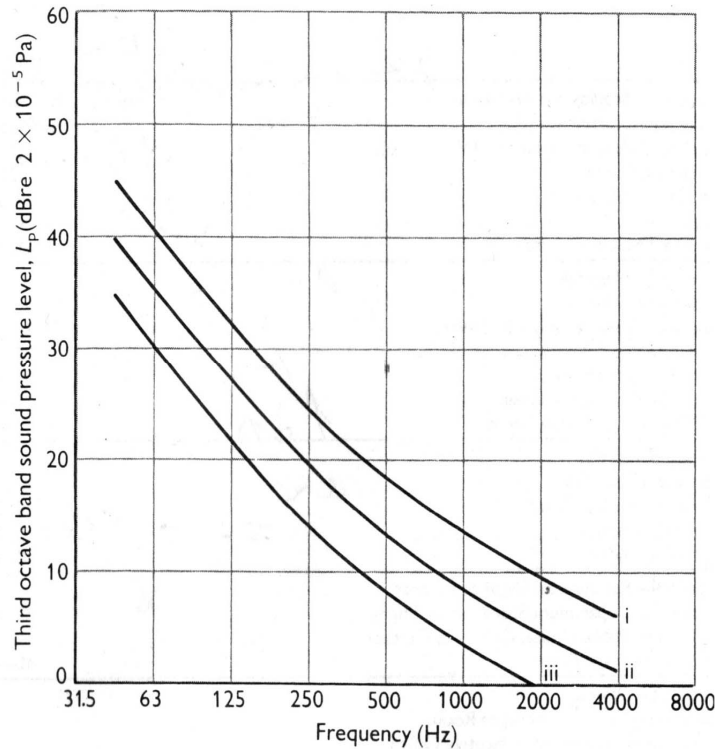
Εκτός από τα ευρέως χρησιμοποιούμενα κριτήρια των καμπυλών NC, NR, RC, υπάρχουν κάποιοι οργανισμοί που χρησιμοποιούν δικά τους κριτήρια, τα οποία προέκυψαν μέσω της εμπειρίας και της γνώσης των ακουστικών απαιτήσεων των χώρων.

Δύο οργανισμοί οι οποίοι ειδικεύονται σε χώρους studio ηχογραφήσεων και χώρους αναμετάδοσης είναι οι BBC και IBA . Οι οργανισμοί αυτοί καθιέρωσαν τα δικά τους κριτήρια όσον αφορά στο θόρυβο βάθους.

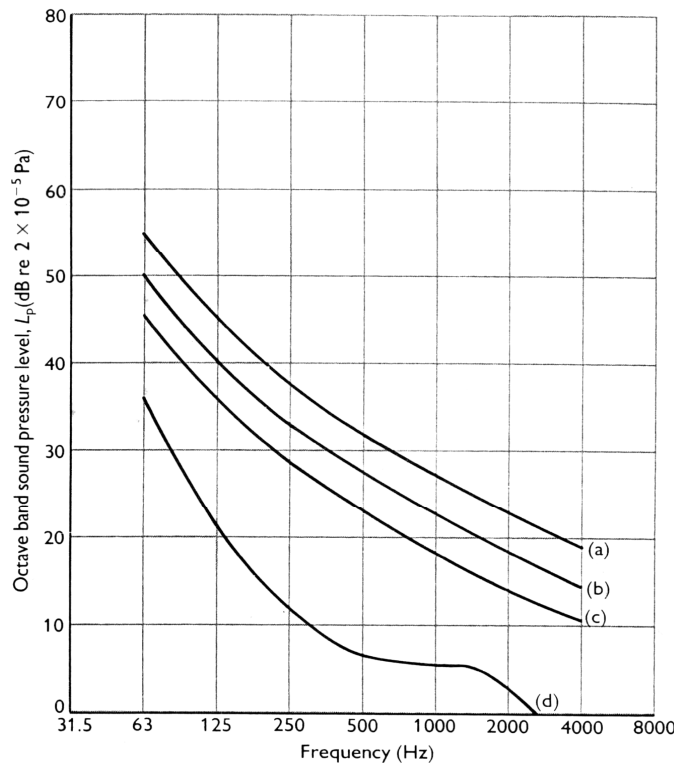
Τα BBC κριτήρια κάνουν τον διαχωρισμό μεταξύ:

- i) των θορύβων που προέρχονται από εγκαταστάσεις εξαερισμού και θέρμανσης, όπου προκύπτουν τα κριτήρια του σχεδιαγράμματος 3.8 και

ii) των θορύβων που προέρχονται είτε από άλλες πηγές μέσα στον χώρο, π.χ. ρολόι ή τρόλεϋ της κάμερας είτε από εξωτερικούς θόρυβους όπως αυτοκινητόδρομος ή κάποιος άλλος στερεόφερτος ήχος. Από αυτόν το διαχωρισμό προκύπτουν τα κριτήρια του σχεδιαγράμματος 3.9



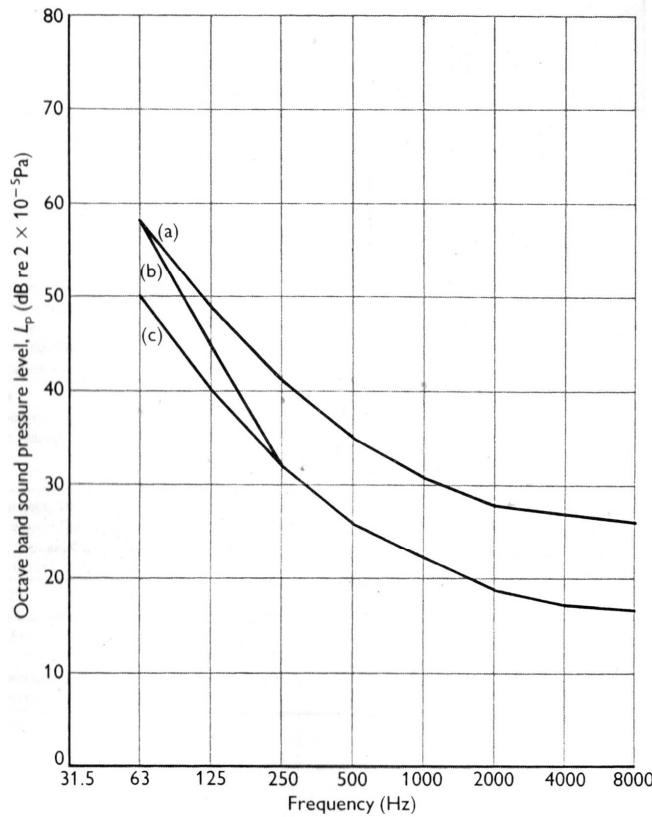
Σχεδιάγραμμα 3.8 Κριτήρια BBC για τον ανώτατο ανεκτό θόρυβο βάθους σε studio, σε διάστημα τριτοκτάβας, όταν ο θόρυβος βάθους οφείλεται σε εγκαταστάσεις εξαιρισμού: (i) ραδιόφωνο (ii) ραδιόφωνο, ομιλίες, ρεσιτάλ, τηλεόραση, (iii) ραδιόφωνο θεατρικές αφηγήσεις



Σχεδιάγραμμα 3.9 Κριτήρια BBC για το επιτρεπτό όριο θορύβου βάθους σε studio, σε διάστημα οκτάβας, όταν ο θόρυβος βάθους οφείλεται σε διάφορες πηγές: (a) studio για ελαφρύ τύπου ψυχαγωγία, (b) studio ήχου (εκτός από

θεατρικές αφηγήσεις), (c) studio ήχου για θεατρικές αφηγήσεις, (d) όριο ακοής για συνεχές φάσμα θορύβου (Robinson and Whittle 1964).

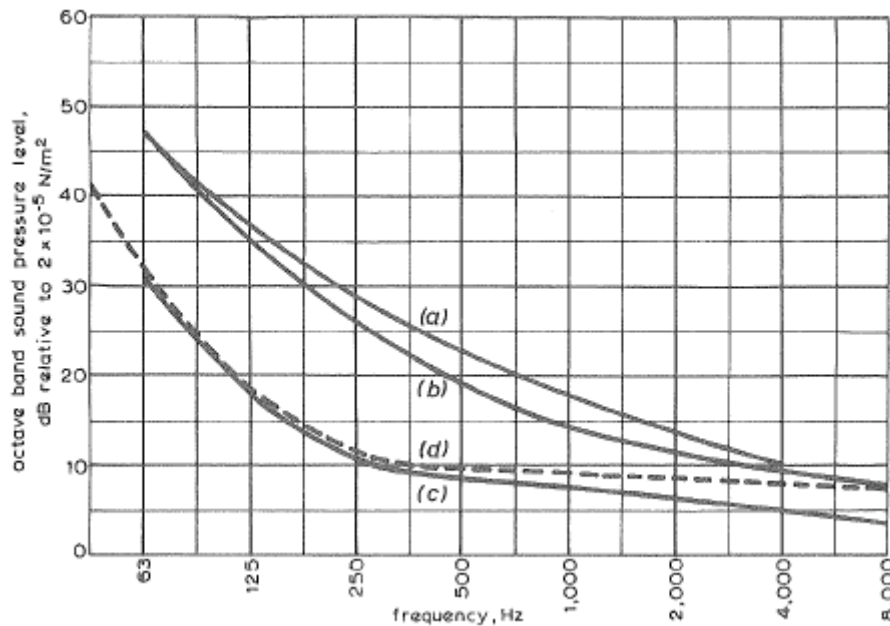
Τα IBA κριτήρια βασίζονται στις NC καμπύλες και δίνονται σε διαστήματα οκτάβας.



(a) studio σε δωμάτια με εξαερισμό (κατηγορία a),
 (b) studio σε δωμάτιο με εξαερισμό (κατηγορία b),
 (c) δωμάτια ελέγχου-control rooms- για επεξεργασία με μόνιτορ , περιέχουν και θαλάμους.

Σχεδιάγραμμα 3.10 IBA Κριτήρια για τοπικούς ραδιοφωνικούς σταθμούς

Παρακάτω δίνεται το σχεδιάγραμμα 3.10.β., το οποίο εμπεριέχει διαφορετικά κριτήρια επιτρεπτών στάθμεων θορύβου βάθους.



Σχεδιάγραμμα 3.10.β. Επιτρεπτές στάθμες θορύβου βάθους σε στούντιο ήχου.

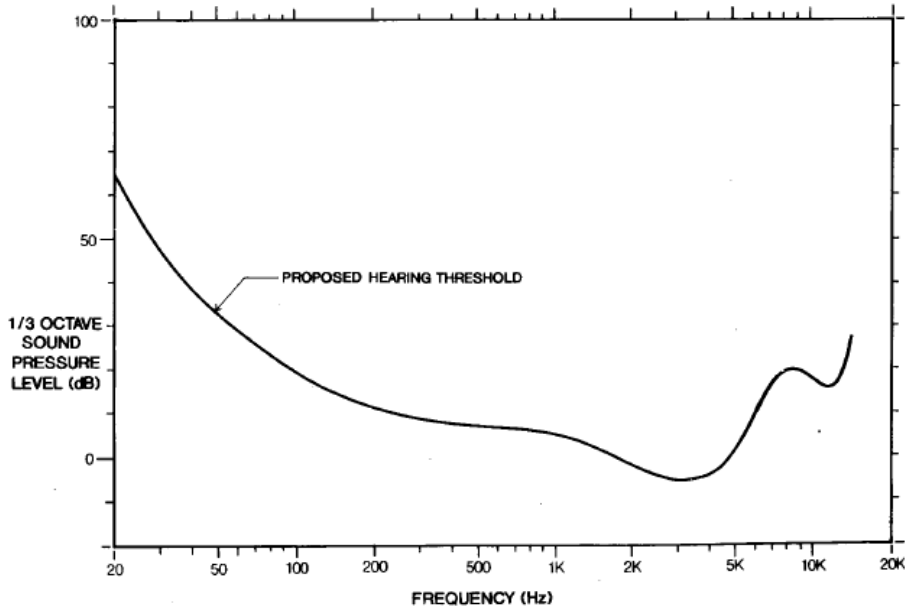
Καμπύλη: (a) BBC Sound drama
 (b) Kosten and van Os
 (c) Kuhl
 (d) Oirt

3.2.8. Προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου ακουστότητας θορύβου για χώρους ηχογράφησης, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του AES οργανισμού.

Η AES (Audio Engineering Society) ανέπτυξε ως οργανισμός μία διαφορετική μέθοδο για την εύρεση της επιθυμητής στάθμης θορύβου σε χώρους ηχογράφησης. Θεωρώντας τα κριτήρια NC, RC, PNC ανακριβή στις περισσότερες περιπτώσεις όσον αφορά την επιθυμητή ένταση του θορύβου βάθους, δημιούργησαν την προτεινόμενη καμπύλη του κατωφλίου ακουστότητας του θορύβου (proposed hearing threshold). Το κριτήριο της στάθμης του θορύβου ονομάζεται dBT και δηλώνει πόσα dB βρίσκεται ο υπό μελέτη θόρυβος πάνω ή κάτω από το προτεινόμενο όριο, την προτεινόμενη καμπύλη. Για παράδειγμα όταν ένας χώρος χαρακτηρίζεται ως 0 dBT ή χαμηλότερα σημαίνει ότι στο συγκεκριμένο χώρο δε θα υπάρχει καθόλου θόρυβος, όταν το ηχογραφημένο υλικό αναπαράγεται στην ίδια στάθμη με τη στάθμη που είχε όταν ηχογραφήθηκε. Η διαφορά του συγκεκριμένου κριτηρίου είναι ότι η καμπύλη προέρχεται κατευθείαν από τη σύγκριση με το χαμηλότερο όριο ακουστότητας και σε ζώνες τριτοκτάβας. Παρακάτω δίνονται οι τιμές και η προτεινόμενη καμπύλη ορίου ακουστότητας θορύβου.

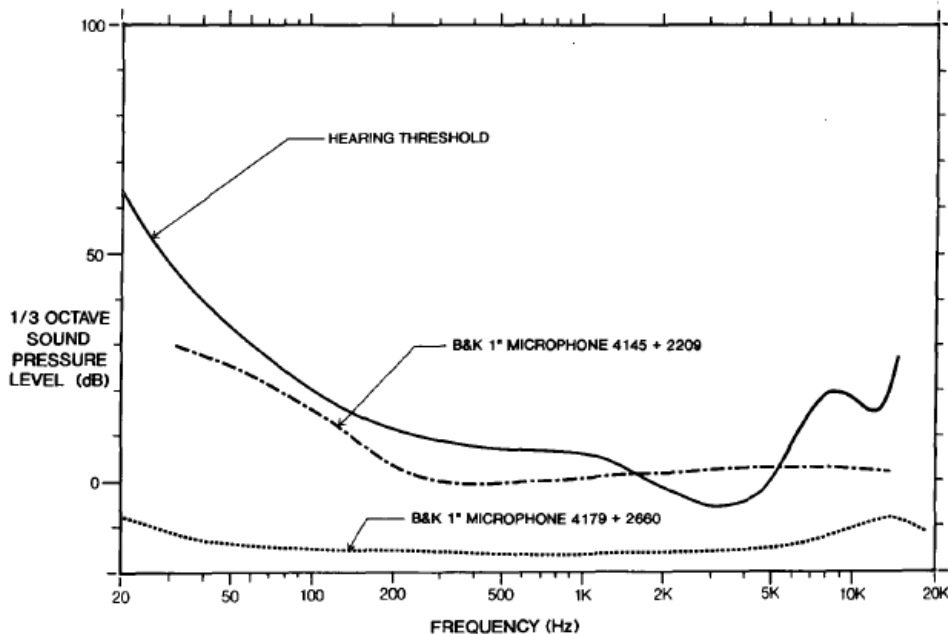
Συχνότητα	Στάθμη πίεσης ήχου σε dBspl	Συχνότητα	Στάθμη πίεσης ήχου σε dBspl
20	64	630	7,3
25	55,4	800	7,2
31.5	46,4	1000	7,2
40	40,7	1250	6,0
50	34,7	1600	2,6
63	29,6	2000	-0,4
80	24,9	2500	-3,2
100	20,9	3150	-5,4
125	17,7	4000	-4,9
160	14,3	5000	-0,6
200	12,3	6300	10,0
250	10,3	8000	19,3
315	9,6	10000	20,7
400	8,4	12500	15,5
500	7,6	15000	28,6

Πίνακας 3.6.2. Τιμές προτεινόμενης καμπύλης κατωφλίου ακουστότητας θορύβου σύμφωνα με τον οργανισμό AES.

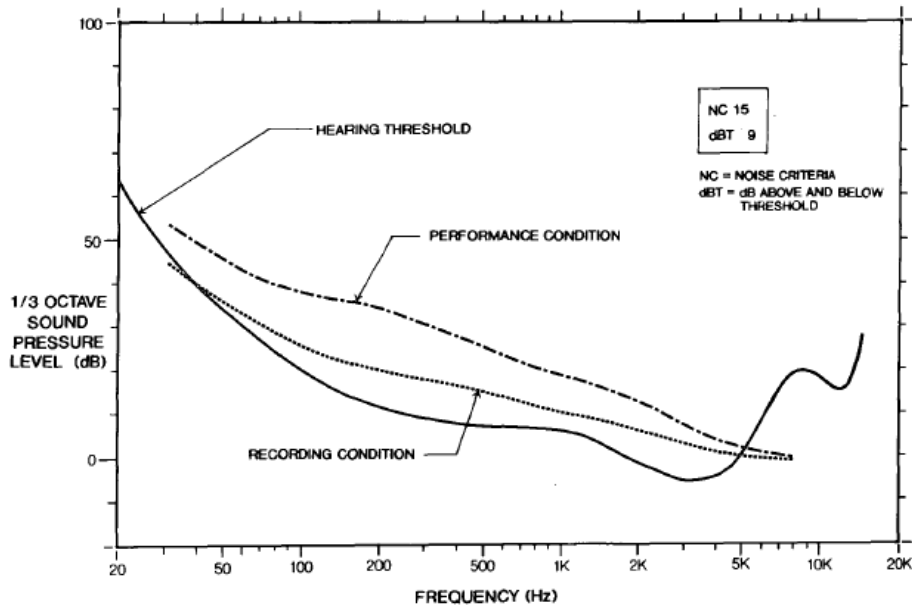


Σχεδιάγραμμα 3.11.α. Προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου ακουστότητας θορύβου σύμφωνα με τον οργανισμό AES

Οι προδιαγραφές ενός χώρου που τίθενται από την προτεινόμενη καμπύλη θορύβου, σύμφωνα με τα κριτήρια που θέτει ο οργανισμός AES (Audio engineering Society), είναι πιο αυστηρά από τα προηγούμενα κριτήρια θορύβου. Μελετώντας τα παρακάτω διαγράμματα γίνεται κατανοητές οι απαιτήσεις του συγκεκριμένου κριτηρίου.



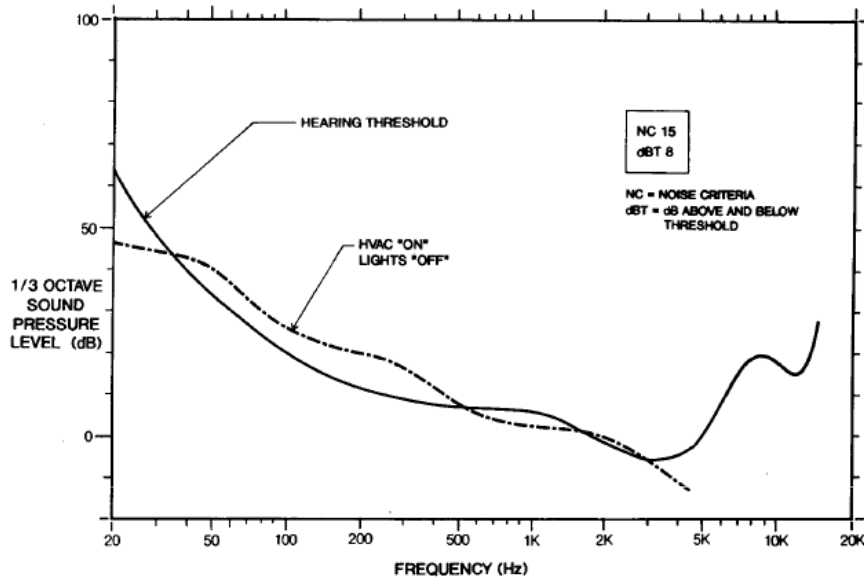
Σχεδιάγραμμα 3.11.β. Σύγκριση μεταξύ της προτεινόμενης καμπύλης θορύβου και του θορύβου που παράγουν τα μικρόφωνα B&K. Τα μικρόφωνα που χρησιμοποιούνται για μετρήσεις θορύβου πρέπει να παράγουν πολύ χαμηλές στάθμες θορύβου. Η σειρά των μικροφώνων B&K 4145 υπερβαίνουν το όριο της καμπύλης του κατωφλίου θορύβου στο συχνοτικό εύρος 1,5kHz -5kHz, καθιστώντας τα ανεπαρκή για μία ακριβής και αυστηρή μέτρηση.



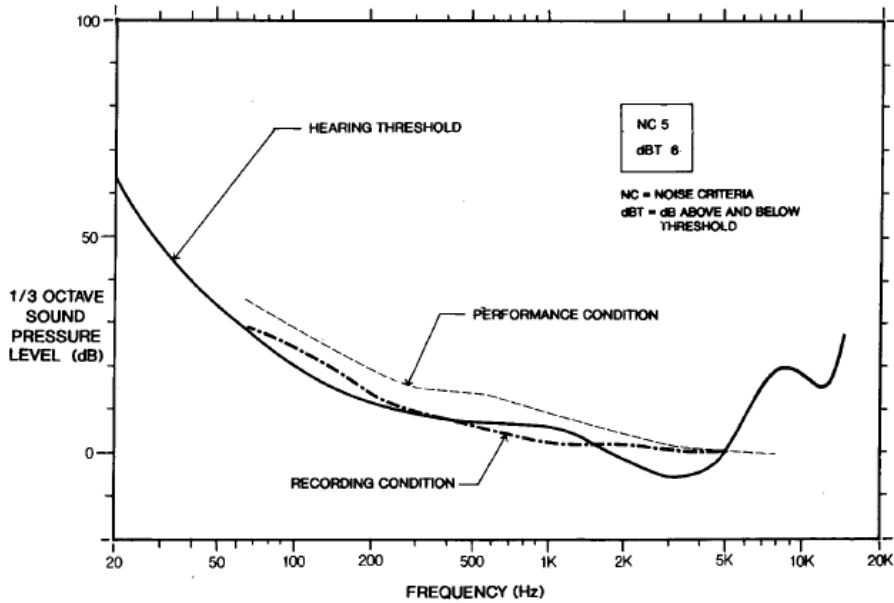
Σχεδιάγραμμα 3.11.γ. Σύγκριση μεταξύ της στάθμης θορύβου του Royce Hall με την προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου του θορύβου. Η αίθουσα χρησιμοποιείται για εγγραφές συμφωνικής μουσικής και μουσικής κινηματογράφου. Οι μετρήσεις έγιναν με τα μικρόφωνα 4145 B&K. Παρόλο που τα συγκεκριμένα μικρόφωνα παράγουν θόρυβο στο εύρος 1-5kHz, λόγω της υψηλής στάθμης που επικρατεί στην αίθουσα, το γεγονός αυτό δεν αποτελεί κάποιο πρόβλημα.

Η στάθμη θορύβου της αίθουσας είναι πιο ψηλή κατά την διάρκεια της αναπαραγωγής της μουσικής από ότι κατά τη διάρκεια της ηχογράφησης.

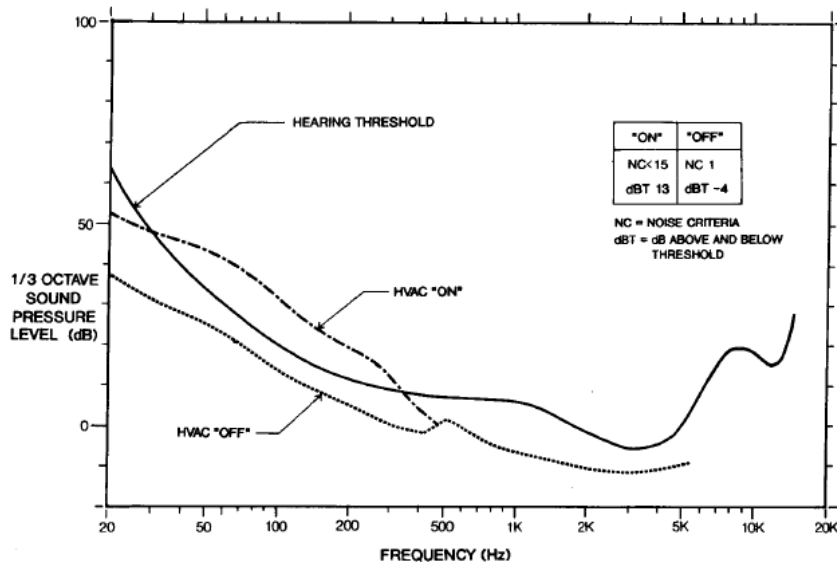
Εντούτοις, κατά τη διάρκεια ηχογραφήσεων ο χώρος περιγράφεται από την καμπύλη NC15 και απέχει από την προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου θορύβου 9dB. Η στάθμη θορύβου είναι ακουστή στο μεγαλύτερο συχνοτικό εύρος.



Σχεδιάγραμμα 3.11.δ. Σύγκριση του θορύβου βάθους του Davies Symphony Hall, με την προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου θορύβου AES. Ο χώρος χρησιμοποιείται για ηχογραφήσεις συμφωνικής μουσικής. Κατά τη διάρκεια της ηχογράφησης το σύστημα εξαερισμού είναι σε λειτουργία και τα φώτα είναι κλειστά. Ο χώρος περιγράφεται από την καμπύλη NC15 και απέχει από την προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου θορύβου 8dB. Στο συχνοτικό εύρος από 35-500 Hz ο θόρυβος γίνεται αντιληπτός από το ανθρώπινο αυτί ως βόμβος. Με τα δεδομένα όπου η ηχογράφηση λαμβάνει χώρα, η στάθμη θορύβου θεωρείται ανεκτή στα γενικά πλαίσια.



Σχεδιάγραμμα 3.11.ε. Σύγκριση του θορύβου βάθους του Meyerson Symphony Hall, η οποία περιγράφεται με την καμπύλη NC5, με την προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου θορύβου AES. Μεταξύ των 2 KHz- 6 KHz, από τη φάση της ηχογράφησης γίνεται κατανοητή η στάθμη θορύβου που παράγουν τα μικρόφωνα τα Bruel and Kjaer 4145 μικρόφωνα. Στο υπόλοιπο συχνοτικό εύρος, σε συνθήκες ηχογράφησης, ο χώρος είναι πολύ κοντά με την προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου θορύβου υποδηλώνοντας έτσι έναν χώρο με σχεδόν καθόλου θόρυβο.



Σχεδιάγραμμα 3.11.ζ. Σύγκριση του θορύβου βάθους του Skywalker scoring stage, όταν ο εξαερισμός είναι σε λειτουργία και μη λειτουργία, με την προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου θορύβου AES. Και οι δύο μετρήσεις έγιναν με μικρόφωνα ultra low noise 4179. Όταν το σύστημα του εξαερισμού λειτουργεί η καμπύλη που περιγράφει τον χώρο είναι η NC15 και η απόσταση από την προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου ακουστότητας θορύβου (προτεινόμενη καμπύλη από AES) είναι στα 13dB. Όταν το σύστημα του εξαερισμού είναι κλειστό ο χώρος περιγράφεται από την καμπύλη NC 1 και η απόσταση από την προτεινόμενη καμπύλη AES. Το αποτέλεσμα , όταν ο εξαερισμός είναι κλειστός, είναι ένας χώρος με καθόλου θόρυβο. Ο χώρος αυτός εκτός από αίθουσα μουσικής κινηματογράφου, λόγω καλής ακουστικής χρησιμοποιείται για ηχογράφησης γνωστών καλλιτεχνών.

3.3 Πίνακες που ορίζουν τις επιθυμητές στάθμες των κριτηρίων των καμπυλών NR, NC, RC .

Όσον αφορά στις στάθμες ηχητικής πίεσης σε έναν χώρο μπορεί να γίνει η εξής διάκριση σε τρεις κατηγορίες :

1. η επιθυμητή στάθμη (ανώτατο όριο) που καθορίζεται από τα κριτήρια ακουστικής άνεσης από το θόρυβο ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται ο χώρος. (πίνακας 3.7, 3,8)
2. η στάθμη η οποία αναμένεται να υπάρξει στο χώρο αυτό. Η στάθμη αυτή είναι απαραίτητη να είναι γνωστή έτσι ώστε να μπορεί να καθοριστεί η ηχοπροστασία των γειτονικών χώρων. (πίνακας 3.9)
3. η στάθμη η οποία μετρείται σε έναν χώρο σε συγκεκριμένη στιγμή και συνθήκες.

Οι πίνακες που δίνουν πληροφορίες για τις επιθυμητές στάθμες των καμπυλών NC, NR, RC είναι οι πίνακες 3.7, 3.8.

Χρήση χώρου	L _A -dB(A)	NR -dB	NC- dB	RC- dB	Υποκειμενική Αίσθηση
Αίθουσα συναυλιών, μελοδράματος, <u>studio ηχογράφησης</u> ή εκπομπής ομιλίας, μεγάλες συνεδριακές αίθουσες, μεγάλα θέατρα, υπνοδωμάτια σε ήσυχη περιοχή	20 -30	10 - 20	10 - 20	15 -20	Πολύ ήσυχος χώρος
Studio τηλεόρασης, <u>studio ηχογράφησης</u> , μικρά συνεδριακά, αίθουσες διδασκαλίας, βιβλιοθήκες, δωμάτια σε ξενοδοχεία, κατοικίες, νοσοκομειακοί θάλαμοι, διευθυντικά γραφεία	30 - 35	25	25	25 - 30	
Καθιστικά, αίθουσα πολλαπλών χρήσεων, μικρές αίθουσες συσκέψεων, διδασκαλίας, βιβλιοθήκες, γραφεία, νοσοκομειακοί θάλαμοι.	35 - 40	30	30	30	Ήσυχος χώρος
Εργαστήρια(ανάλογα με τις εργασίες), εσπιατόρια, μπαρ ξενοδοχείων	40 - 45	35	35	35	
Εργαστήρια(ανάλογα με τις εργασίες), χώροι υποδοχής, κτίρια αεροδρομίων, καταστήματα	45 - 50	40	40	40	Μέτρια θορυβώδης
Καφενεία, εσπιατόρια, γραφεία σε ανοιχτό χώρο	50 - 55	40	35 - 45	35 - 40	
Κουζίνες, σουπερμάρκετ, πλυντήρια	55 - 65	50 - 55	50 - 55	50	Θορυβώδης

Πίνακας 3.7 Σύγκριση επιθυμητών τιμών με τα κριτήρια AS2107 -1977 office Buildings.CIBSE Guide.Beranek(1971). ASHRAE Handbook: 1991, Ελληνικός Κτιριοδομικός Κανονισμός άρθρο 12.

Μέρος 1ο-στούντιο και αίθουσες συναθροίσεων	NC/NR δείκτης
Μετάδοση ήχου (θεατρικού έργου)	15
Μετάδοση ήχου(γενικά),τηλεόραση(γενικά), στούντιο ηχογράφησης	20
Τηλεόραση (στούντιο ακροατηρίου)	25
Αίθουσα συναυλιών, θέατρο	20-25
Αμφιθέατρο διαλέξεων, σινεμά	25-30
Μέρος 2ο-Νοσοκομεία	
Δωμάτιο μετρητή ακουστικής οξύτητας	20-25
Αίθουσα εγχειρήσεων, μονόκλινος θάλαμος	30-35
Θάλαμος με πολλές κλίνες, δωμάτιο αναμονής	35
Διάδρομος, εργαστήρια	35-40
Δωμάτιο καθαριότητας, τουαλέτες, κουζίνα	35-45
Δωμάτιο προσωπικού, δωμάτιο ανάπαυσης	30-40
Μέρος 3ο-ξενοδοχεία	
Μονόκλινο, σουίτα	20-30
Μεγάλος χώρος για δεξιώσεις, αίθουσα συνεστιάσεων	30-35
Διάδρομος, αίθουσα αναμονής	35-40
Κουζίνα, αίθουσα καθαρισμού ρούχων	40-45
Μέρος 4-εστιατόρια, μαγαζιά, αποθήκες	
Εστιατόρια, πολυκατάστημα	35-40
Κέντρα διασκέδασης, πανδοχείο, καφετέρια, καντίνα, καταστήματα	40-45
Μέρος 5ο- γραφεία	
Αίθουσα συσκέψεων, μεγάλη αίθουσα διάσκεψης	25-30
Μικρή αίθουσα διάσκεψης, διοικητικό γραφείο, δωμάτιο υποδοχής	30-35
Γραφείο υπάλληλου	35
Ανοικτό γραφείο σχεδιασμού, γραφείο με υπολογιστές	35-40
Μέρος 6ο- δημόσια κτίρια	
δικαστήριο	25-30
Αίθουσα σύναξης	25-30
Βιβλιοθήκη, τράπεζα, μουσείο	30-35
Καθαριστήριο, τουαλέτες	35-45
Πισίνα, γυμναστήριο	40-50
Γκαραζ, παρκινγκ	55
Μέρος 7ο- εκκλησιαστικά και ακαδημαϊκά κτίρια	
εκκλησία	25-30
Αίθουσα σχολείου, αμφιθέατρο διαλέξεων	25-30
Αίθουσα εργαστηρίων	35-40
Διάδρομος, γυμναστήριο	35-45
Μέρος 8ο- βιομηχανία	
Αποθήκη εμπορευμάτων, γκαραζ	45-50
Εργοτάξιο-με ελαφρύ μηχανισμό	45-55
Εργοτάξιο-με βαρύ μηχανισμό	50-65
Μέρος 9ο- ιδιωτική αστική κατοικία	
Δωμάτιο ανάπαυσης	25
σαλόνι	30

Πίνακας 3.8 Τιμές για τις επιθυμητές στάθμες των καμπυλών NC/NR διάφορων χώρων.

Ο πίνακας 3.9 είναι ενδεικτικός και δίνει πληροφορίες για την αναμενόμενη στάθμη πίεσης από διάφορες πηγές ήχου.

P (Pa)	LA dB(A)	ε	Ενδεικτική περιγραφή πηγών
200	140	5	Κινητήρας jet σε απόσταση 20 m
112	135	5	
63,2	130	5	
35,6	125	5	Όριο πόνου
20,0	120	4	Συναυλίες rock κοντά στα ηχεία, δοκιμή κινητήρα jet σε απόσταση 25 m
11,2	115	4	Κέντρο διασκέδασης κοντά στα ηχεία
6,32	110	4	Χώρος εφεδρικού ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους χωρίς ειδικά μέτρα
3,56	105	4	Disco
2,00	100	3	Αερόσφουρα σε απόσταση 1m
1,12	95	3	Τρομπέτα σε χώρο δοκιμών
0,63	90	3	Θορυβώδες εργοστάσιο
0,36	85	3	Βαριά οδική κυκλοφορία σε απόσταση περίπου 10 μέτρων
0,200	80	2	Μηχανοστάσια, δυνατή ομιλία σε απόσταση ενός μέτρου, Χώροι συγκέντρωσης κοινού
0,063	70	2	Θορυβώδες γραφείο
0,036	65	2	Κανονική ομιλία σε απόσταση 1m
0,020	60	1	Ήσυχο γραφείο
0,0112	55	1	Κανονική ομιλία σε απόσταση 1m
0,0063	50	1	Ήσυχο εστιατόριο
0,0036	45	1	Οικιστική περιοχή τη νύχτα
0,0020	40	1	Ήσυχη βιβλιοθήκη
0,0011	35	0	όριο εσωτερικού κατοικίας από θόρυβο οδικής κυκλοφορίας
0,00063	30	0	Ήσυχο υπνοδωμάτιο στην εξοχή
0,00036	25	0	Κανονική αναπνοή σε απόσταση 1m
0,00020	20	0	Studio ηχογράφησης
0,00011	15	0	
0,00006	10	0	Ανηχοικός θάλαμος μετρήσεων
0,00004	5	0	
0,00002	0	0	Όριο ακοής

Πίνακας 3.9 Ενδεικτικές στάθμες ηχητικών πιέσεων.

3.4 Επιτρεπόμενες στάθμες του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης R'_w και της σταθμισμένης κανονικοποιημένης στάθμης του κτυπογενή ήχου $L'_{n,w}$ βάσει το είδος του κτιρίου.

Στους ακόλουθους πίνακες δίνεται η απαιτούμενη τιμή της ηχομόνωσης, ως προς τον αερόφερτο και τον κτυπογενή θόρυβο, ορισμένων οικοδομικών στοιχείων σε δημόσια και ιδιωτικά κτίρια.

Οι πίνακες που δίνουν πληροφορίες για τις επιτρεπόμενες στάθμες πίεσης αποτελούν κριτήρια ηχομόνωσης ως προς τον αερόφερτο και κτυπογενή ήχο.

1. Διαμερίσματα/ εργασιακοί χώροι

Γραμμή	Οικοδομικά στοιχεία	Απαιτούμενες τιμές R'_{w} (dB)	Απαιτούμενες τιμές $L'_{n,w}$ (dB)	Παρατηρήσεις
1. Σπίτια ισογείου με διαμερίσματα και εργασιακούς χώρους				
1.	Ταβάνια			
	Ταβάνια κάτω από γενικά χρησιμοποιούμενους χώρους σκεπής, π.χ. στεγνωτήρια, αποθηκευτικοί χώροι καθώς και οι προσβάσεις προς τους χώρους αυτούς.	53	53	Σε κτίρια, με όχι περισσότερα από δύο διαμερίσματα ανέρχονται οι απαιτήσεις σε $R'_{w} = 52\text{dB}$ και $L'_{n,w} = 63\text{dB}$
	Διαχωριστικά ταβάνια διαμερισμάτων (επίσης και διαχωριστικές σκάλες διαμερισμάτων) και ταβάνια μεταξύ ξένων εργασιακών χώρων ή άλλων χώρων παρόμοιας χρήσης.	54	53	Σε κτίρια, με όχι περισσότερα από δύο διαμερίσματα ανέρχονται οι απαιτήσεις σε $R'_{w} = 52\text{dB}$
	Ταβάνια πάνω από κελάρια, διαδρόμους σπιτιών, κλιμακοστάσια κάτω από χώρους παραμονής.	52	53	Η απαίτηση $L'_{n,w}$ δεν ισχύει μόνο για τη μετάδοση του ήχου από βήματα σε ξένους χώρους παραμονής. Τα ελαστικά καλύμματα δαπέδου δεν πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην απαίτηση.
	Ταβάνια πάνω από εξόδους, εισόδους γκαράζ και παρόμοια κάτω από χώρους παραμονής.	55	53	
	Ταβάνια πάνω / κάτω από χώρους για παιχνίδια ή παρόμοιες ομαδικές δραστηριότητες.	55	46	Λόγω της ενισχυμένης μετάδοσης χαμηλών συχνοτήτων μπορεί να απαιτούνται επιπλέον μέτρα για τη μόνωση από τον ήχο στερεών σωμάτων
	Ταβάνια κάτω από ταράτσες και θεωρεία πάνω από χώρους παραμονής.		53	
	Ταβάνια κάτω από στοές		53	Η απαίτηση ισχύει μόνο ενάντια σε ξένους εργασιακούς χώρους
	Ταβάνια και σκάλες εντός διαμερισμάτων, που εκτείνονται σε πάνω από δύο ορόφους.		53	Η απαίτηση ισχύει μόνο ενάντια σε ξένους εργασιακούς χώρους. Τα ελαστικά καλύμματα δαπέδου δεν πρέπει να συνυπολογίζονται κατά την απόδειξη της μόνωσης από τον ήχο βήματος
	Ταβάνια κάτω από μπάνιο και WC.	54	53	
Ταβάνια κάτω από διαδρόμους σπιτιών.		53		
	Σκάλες	Σκάλες και πλατύσκαλα.	58	Καθόλου αποκλίσεις όσον

11.					αφορά στις σκάλες, σε κτίρια με ανσανσερ και σε σκάλες κτιρίων, που δεν έχουν πάνω από δύο διαμερίσματα
	Τοίχοι				
12.		Διαχωριστικοί τοίχοι διαμερισμάτων και τοίχοι μεταξύ ξένων εργασιακών χώρων.	53		
13.		Τοίχοι κλιμακοστασίων και τοίχοι δίπλα από διαδρόμους σπιτιών.	52		Για τοίχους με πόρτες ισχύει η απαίτηση $R'_w = R'_i(\text{πόρτας}) + 15 \text{ dB}$
14.		Τοίχοι δίπλα από εισόδους / εξόδους γκαράζ	55		
15.		Τοίχοι χώρων για παιχνίδια ή παρόμοιες ομαδικές δραστηριότητες.	55		
16.	Πόρτες	Πόρτες οι οποίες οδηγούν από διαδρόμους σπιτιών ή κλιμακοστάσια σε διαδρόμους και προθάλαμους διαμερισμάτων, σπιτιών ή άλλων εργασιακών χώρων.	27		
17.		Πόρτες οι οποίες οδηγούν άμεσα από διαδρόμους σπιτιών ή κλιμακοστάσια σε καθιστικούς χώρους διαμερισμάτων- εκτός από διαδρόμους και προθαλάμους.	37		

Πίνακας 3.10 Απαιτούμενες τιμές του σταθμισμένου φαινομένου δείκτη ηχομείωσης R'_w και του σταθμισμένου δείκτη κτυπογενή θορύβου $L'_{n,w}$ για διαμερίσματα και εργασιακούς χώρους.

3. Μονοκατοικίες / Διπλοκατοικίες/ σειρά κατοικιών

Γραμμή	Οικοδομικά στοιχεία	Απαιτούμενες τιμές R'_w (dB)	Απαιτούμενες τιμές $L'_{n,w}$ (dB)	Παρατηρήσεις
2. Μονοκατοικίες/Διπλοκατοικίες και μονοκατοικίες/ σειρά κατοικιών				
18.	Ταβάνια Ταβάνια		48	
19.	Ταβάνια κάτω ή πάνω από πισίνες, χώρους για παιχνίδι ή παρόμοιες δραστηριότητες για προστασία χώρων ύπνου.		53	Σε διαχωριστικούς τοίχους σπιτιών μονού κελύφους δεν πρέπει να συνυπολογίζονται κατά την απόδειξη των απαιτήσεων τα ελαστικά καλύμματα δαπέδου.
20.	Τοίχοι Διαχωριστικοί τοίχοι σπιτιών	57		
21.	Ταβάνια Ταβάνια	54	53	
22.	Ταβάνια κάτω ή πάνω από πισίνες, χώρους για παιχνίδι ή παρόμοιες δραστηριότητες για προστασία χώρων ύπνου.	55	46	Λόγω της ενισχυμένης μετάδοσης χαμηλών συχνοτήτων μπορεί να χρειαστούν επιπλέον μέτρα για τη μόνωση από ήχο στερεών σωμάτων
23.	Σκάλες και πλατύσκαλα.		58	Καθόλου απαιτήσεις όσον αφορά σε σκάλες κτιρίων με ασανσέρ
24.	Ταβάνια κάτω από διαδρόμους.		53	Η απαίτηση ισχύει μόνο για μετάδοση ήχου στερεών σωμάτων σε ξένους καθιστικούς χώρους.
25.	Ταβάνια κάτω από μπάνιο και WC χωρίς ή με στέγνωμα δαπέδου.	54	53	
26.	Τοίχοι Τοίχοι μεταξύ χώρων διανυκτέρευσης, διαδρόμων και χώρων διανυκτέρευσης.	47		
27.	Πόρτες Πόρτες μεταξύ διαδρόμων και χώρων διανυκτέρευσης.	32		

Πίνακας 3.11 Απαιτούμενες τιμές του σταθμισμένου φαινομένου δείκτη ηχομείωσης R'_w και του σταθμισμένου δείκτη κτυπογενή θορύβου $L'_{n,w}$ για διαμερίσματα (μονοκατοικίες/διπλοκατοικίες) και εργασιακούς χώρους.

4. Νοσοκομεία / σανατόρια

Γραμμή	Οικοδομικά στοιχεία	Απαιτούμενες τιμές R'_w (dB)	Απαιτούμενες τιμές $L'_{n,w}$ (dB)	Παρατηρήσεις
3. Νοσοκομεία, σανατόρια				
28.	Ταβάνια			
	Ταβάνια	54	53	
	Ταβάνια πάνω / κάτω από χώρους για παιχνίδια ή παρόμοιες ομαδικές δραστηριότητες.	55	48	Λόγω της ενισχυμένης μετάδοσης χαμηλών συχνοτήτων μπορεί να απαιτούνται επιπλέον μέτρα για τη μόνωση από τον ήχο στερεών σωμάτων
	Σκάλες και πλατύσκαλα.		58	Καμία απαίτηση όσον αφορά στις σκάλες σε κτίρια με ασανσερ.
	Ταβάνια κάτω από διαδρόμους.		53	
	Ταβάνια κάτω από μπάνιο και WC χωρίς ή με στέγνωμα δαπέδου.	54	53	Ισχύει μόνο για τη μόνωση από ήχο βήματος από ξένους εργασιακούς χώρους.
33.	Τοίχοι			
	Τοίχοι μεταξύ: 1)χώρων διαμονής αρρώστων, αίθουσες έρευνας και ομιλιών 2)διαδρόμων και αυτών των χώρων	47		
	Τοίχοι μεταξύ: 1)χώρων επιχειρήσεων και διαπραγματεύσεων 2) διαδρόμων και αυτών των χώρων	47		
35	Τοίχοι μεταξύ χώρων εντατικής φροντίδας και διαδρόμους προς αυτούς τους χώρους.	37		
36.	Πόρτες			
	Πόρτες μεταξύ ερευνητικών χώρων και αισθουσών ομιλιών και διάδρομοι προς αυτούς τους χώρους.	37		
37.	Πόρτες μεταξύ: 1) διαδρόμων και χώρων διαμονής αρρώστων 2)χώρων επιχειρήσεων και διαπραγματεύσεων 3)διαδρόμων προς αυτούς τους χώρους	32		
38.	Ταβάνια			
	Ταβάνια μεταξύ χώρων διδασκαλίας και άλλων παρόμοιων χώρων.	55	53	
39.	Ταβάνια κάτω από διαδρόμους.		53	Η απαίτηση ισχύει μόνο για τη μετάδοση ενάντια σε ξένους καθιστικούς

					χώρους.
40.		Ταβάνια μεταξύ χώρων διδασκαλίας και άλλων παρόμοιων χώρων και "ιδιαίτερα θορυβώδων" χώρων π.χ. αθλητικές αίθουσες, μουσικές αίθουσες.	55	46	Λόγω της ενισχυμένης μετάδοσης χαμηλών συχνοτήτων μπορεί να απαιτούνται επιπλέον μέτρα για τη μόνωση από τον ήχο στερεών σωμάτων
41.	Τοίχοι	Τοίχοι μεταξύ χώρων διδασκαλίας ή παρόμοιων χώρων.	47		
42.		Τοίχοι μεταξύ χώρων διδασκαλίας ή παρόμοιων χώρων και διάδρομοι.	47		
43.		Τοίχοι μεταξύ χώρων διδασκαλίας ή παρόμοιων χώρων και σκάλες.	52		
44.		Τοίχοι μεταξύ χώρων διδασκαλίας και άλλων παρόμοιων χώρων και "ιδιαίτερα θορυβώδων" χώρων π.χ. αθλητικές αίθουσες, μουσικές αίθουσες.	55		
45.	Πόρτες	Πόρτες μεταξύ χώρων διδασκαλίας ή παρόμοιων χώρων και διάδρομοι.	32		

Πίνακας 3.12 Απαιτούμενες τιμές του σταθμισμένου φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης R'_w και του σταθμισμένου δείκτη κτυπογενή θορύβου $L'_{n,w}$ για νοσοκομείο/ σανατόρια.

Γραμμή	Πηγή θορύβων	Είδος χώρου που χρειάζεται προστασία	
		Καθιστικοί χώροι και χώροι ύπνου	Χώροι διδασκαλίας και εργασιακοί
		Μέγιστη Στάθμη πίεσης ήχου σε dB	Μέγιστη Στάθμη πίεσης ήχου σε dB
1	Υδραυλικές εγκαταστάσεις (ύδρευση και αποχεύτηση)	35	35
2	Υπόλοιπες οικιακές τεχνικές εγκαταστάσεις	30	35
3	Ημερ.λειτουργία: 6εώς 22.00	35	35
4	Νυχτ.λειτουργία:22.00 εώς 6.00	25	35

Πίνακας 3.13 Μέγιστες τιμές πίεσης ήχου σε dB για την προστασία από οικιακές εγκαταστάσεις και συσκευές.

Οι παρακάτω πίνακες δίνουν πληροφορίες για τις απαιτούμενες τιμές R'_w των εξωτερικών οικοδομικών στοιχείων.

Γραμμή	Περιοχή στάθμης ήχου	Πρότυπο στάθμη εξωτερικού ήχου σε dB(A)	Είδη χώρων		
			Χώροι για ύπνο σε νοσοκομεία και σανατόρια	Καθιστικοί χώροι σε διαμερίσματα, χώροι διανυκτέρευσης σε καταλύματα, χώροι διδασκαλίας και παρόμοια	Χώροι γραφείων και παρόμοιοι
1	I	έως 55	35	30	
2	II	56 έως 60	35	30	30
3	III	61 έως 65	40	35	30
4	IV	66 έως 70	45	40	35
5	V	71 έως 75	50	45	40
6	VI	76 έως 80	Σύμφωνα με τα τοπικά δεδομένα	50	45
7	VII	> 80	Σύμφωνα με τα τοπικά δεδομένα	Σύμφωνα με τα τοπικά δεδομένα	50

Πίνακας 3.14 Απαιτήσεις ηχομόνωσης αερόφερτου ήχου των εξωτερικών δομικών στοιχείων.

Διορθωτικές τιμές για την απαιτούμενη προκύπτουσα ηχομόνωση σύμφωνα με τον πίνακα 3.13 σε συνάρτηση με τη σχέση A_{w+F}/A_G , όπου A_{w+F} εξωτερική επιφάνεια τοίχου, A_G βασική επιφάνεια αντίστοιχου καθιστικού χώρου									
A_{w+F}/A_G	2,5	2	1,6	1,3	1	0,8	0,6	0,5	0,4
Διορθωτικές τιμές	+5	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3

Ο πίνακας 3.15 αντιστοιχεί σε κτίρια με ύψος περίπου 2,5m και μήκος $\geq 3,5$ m.

Γραμμή	Απαιτ. $R'_{w, res}$ σε dB	Ηχομονώσεις για συνδυασμούς τοίχων/παραθύρων σε $\frac{dB}{dB}$ με τμήματα επιφανειών παραθύρων σε %.					
		10%	20%	30%	40%	50%	60%
1	30	30/25	30/25	35/25	35/25	50/25	30/30
2	35	35/30 40/25	35/30	35/32 40/30	40/30	40/32 50/30	45/32
3	40	40/32 45/30	40/35	45/35	45/35	40/37 60/35	40/37
4	45	45/37 50/35	45/40 50/37	50/40	50/40	50/42 60/40	60/42
5	50	55/40	55/42	55/45	55/45	60/45	

Πίνακας 3.15 Απαιτούμενη ηχομόνωση των εξωτερικών σύνθετων τοίχων.

3.5. Ελληνικός Κτιριοδομικός κανονισμός

Το άρθρο 12 του κτιριοδομικού κανονισμού πληροφορεί για τις απαιτήσεις της ηχομόνωσης, από τον αερόφερτο και τον κτυπογενή θόρυβο, στον ελλαδικό χώρο. Ο κτιριοδομικός κανονισμός, θέτει τα κριτήρια για τις κατώτατες απαιτούμενες τιμές του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης R'_w και τις ανώτατες τιμές της σταθμισμένης κανονικοποιημένης στάθμης $L'_{w, n}$, ανάλογα με το είδος και τη χρήση του κτιρίου. Στόχος του συγκεκριμένου κανονισμού είναι το εκάστωτε κτίριο να μπορεί να χαρακτηριστεί ως προς την ακουστική άνεση που προσφέρει.

Τα είδη των κτιρίων κατηγοριοποιούνται σε συγκεκριμένες ομάδες σε σχέση με τη χρήση τους, π.χ. κατοικία, εμπόριο, συνάθροιση, κοινόβιο, κ.τ.λ.

Τα κτίρια ως προς την ακουστική τους άνεση διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

i) *Κτίρια ακουστικής άνεσης Α (ψηλής ακουστικής άνεσης)*. Οι απαιτήσεις της ηχομόνωσης από τον αερόφερτο και στρερεόφερτο θόρυβο είναι οι πιο αυστηρές.

ii) *Κτίρια ακουστικής άνεσης Β (κανονικής ακουστικής άνεσης)*. Οι απαιτήσεις ηχομόνωσης από τον αερόφερτο και τον κτυπογενή θόρυβο είναι λιγότερο αυστηρές σε σχέση με τις απαιτήσεις των κτιρίων Α.

iii) *Κτίρια ακουστικής άνεσης Γ*. Στην κατηγορία αυτή συγκαταλλέγονται όλα τα κτίρια που δεν πληρούν τις προϋποθέσεις των απαιτήσεων της ακουστικής άνεσης των κτιρίων Α, Β και χαρακτηρίζονται ως κτίρια χαμηλής ακουστικής άνεσης.

Ο κτιριοδομικός κανονισμός θέτει επίσης τα κριτήρια για την ηχοπροστασία από τους αερόφερτους εξωτερικούς θορύβους καθώς και τους αερόφερτους θορύβους που παράγονται από εγκαταστάσεις.

Στις περιπτώσεις αυτές τα κριτήρια εκφράζονται με τις ανώτατες επιτρεπόμενες τιμές της στάθμης σε dB(A) . Συγκεκριμένα για την προστασία από τον εξωτερικό θόρυβο χρησιμοποιείται η ωριαία ισοδύναμη ηχοστάθμη $L_{eq,hr}$ ενώ για την προστασία από το θόρυβο των εγκαταστάσεων χρησιμοποιείται η στάθμη πίεσης L_p .

Ο πίνακας με τα κριτήρια της ηχομόνωσης για τα κτίρια Α « ψηλής ακουστικής άνεσης » είναι ο ακόλουθος.

ΕΙΔΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ	ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΠΟ ΓΕΙΤΟΝΙΚΟ ΧΩΡΟ ΚΥΡΙΑΣ Η ΒΟΗΘΗΤΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ. ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΠΟ ΧΩΡΟΥΣ ΚΟΙΝΗΣ ΧΡΗΣΗΣ (ΠΑΡ. 4.1)	ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ (ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ) ΑΠΟ ΑΛΛΟ ΧΩΡΟ ΚΥΡΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ (ΠΑΡ. 4.2)	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} dB	$L'_{n,w}$ dB	R'_{w} dB	$L'_{n,w}$ dB	$L_{Aeq,h}$ dB(A)	L_{pA} dB (A)	R'_{w} dB	R'_{w} dB	$L'_{n,w}$ 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)

πίνακας 3.16 Κριτήρια ηχομόνωσης για τα κτίρια Α.

Ο πίνακας με τα κριτήρια της ηχομόνωσης για τα κτίρια Β « κανονικής ακουστικής άνεσης » είναι ο ακόλουθος.

ΕΙΔΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ	ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΠΟ ΓΕΙΤΟΝΙΚΟ ΧΩΡΟ ΚΥΡΙΑΣ Ή ΒΟΗΘΗΤΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ. ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΠΟ ΧΩΡΟΥΣ ΚΟΙΝΗΣ ΧΡΗΣΗΣ (ΠΑΡ. 4.1)		ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ (ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ) ΑΠΟ ΑΛΛΟ ΧΩΡΟ ΚΥΡΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ (ΠΑΡ. 4.2)		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 dB	$L'_{a,w}$ dB	R'_w dB	$L'_{a,w}$ dB	$L_{Aeq,h}$ dB (A)	L_{pA} dB (A)	R'_w dB	R'_w dB	$L'_{a,w}$ 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	-	53	50
ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗ - ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	60	45	60	48	(25)	(25)	-	(62)	(45)

Πίνακας 3.17 Κριτήρια ηχομόνωσης για τα κτίρια Β.

Η διαδικασία επιλογής των κατάλληλων κριτηρίων (στήλες του πίνακα Α,Β του άρθρου 12) σε σχέση με τον υπό μελέτη χώρο, για την προστασία από το θόρυβο που δημιουργείται εσωτερικά, είναι η εξής.

Αρχικά επιλέγεται το είδος κτιρίου που εξετάζεται, από την πρώτη στήλη. Στη συνέχεια επιλέγονται οι χώροι όπου βρίσκονται τα οριζόντια ή κάθετα οικοδομικά στοιχεία που εξετάζονται, από τις στήλες 2,3,5,6. Περισσότερες πληροφορίες για τις κατηγοριοποιήσεις των συνορεύοντων χώρων που διαχωρίζονται από τα οικοδομικών στοιχεία, ο ενδιαφερόμενος πρέπει να ανατρέψει στο αντίστοιχο άρθρο.

Σε ήδη υπάρχοντες χώρους, οι μετρούμενες στάθμες πίεσης συγκρίνονται με τα κριτήρια του κανονισμού και χαρακτηρίζεται ο χώρος αντίστοιχα.

Κεφάλαιο 4. Φυσικές και Μηχανικές Ιδιότητες Υλικών. Τρόπος παραγωγής των υλικών.

Στο κεφάλαιο αυτό, εξετάζονται οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των υλικών καθώς και ο τρόπος παραγωγής ορισμένων από αυτών.

Τα υλικά τα οποία εξετάζονται είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως:

- i) οικοδομικά υλικά,
- ii) θερμομονωτικά- ηχομονωτικά υλικά.

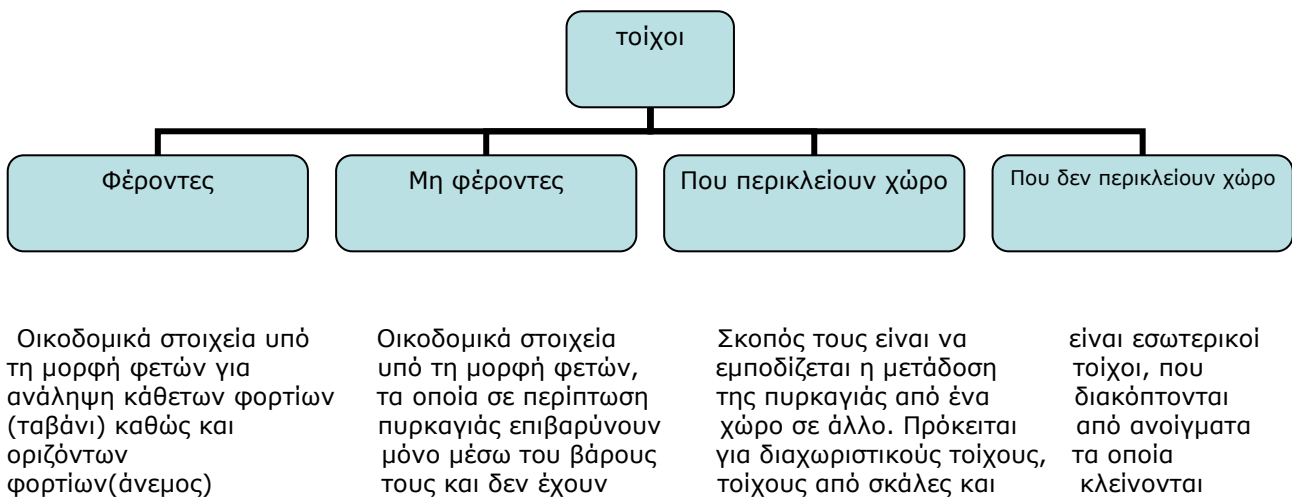
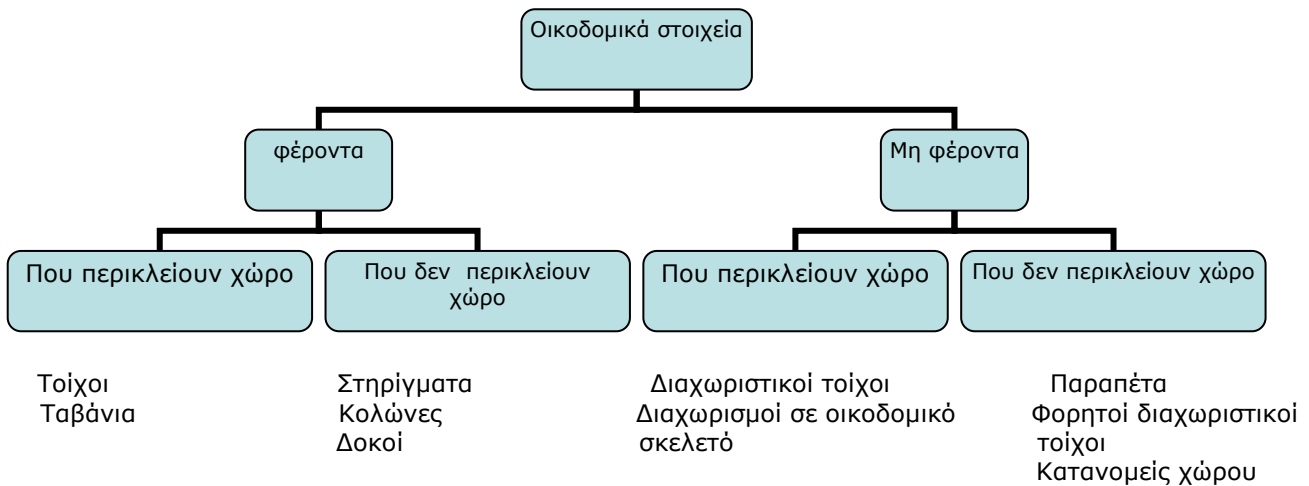
Στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι η κατανόηση της φύσης των υλικών και ο λόγος ο οποίος καθιστά κάθε ένα από αυτά κατάλληλο στις αντίστοιχες εφαρμογές.

4.1. Οικοδομικά υλικά

Όσον αφορά στα οικοδομικά υλικά είναι σημαντικό να γίνει ο διαχωρισμός τους ως προς τη λειτουργία τους έτσι ώστε να είναι πιο κατανοητή η χρήση τους.

Πολλά οικοδομικά υλικά αποτελούν τα οικοδομικά στοιχεία, τα οποία είναι κατασκευές με καθορισμένο ρόλο μέσα στο οικοδόμημα.

Οικοδομικά στοιχεία



<p>αντιστηρικτική λειτουργία. Τα ανεμοφορτία πρέπει να τα μεταφέρουν σε φέροντα οικοδομικά στοιχεία</p>	<p>παρόμοια. Τα ανοίγματα λαμβάνονται υπόψη με την προϋπόθεση μιας πυροπροστασίας, τουλάχιστον τριών πλευρών.</p>	<p>με πυροπροστατευτικές απολήξεις διαφορετικής τάξης πυραντίστασης (κανονικές πόρτες δωματίων)</p>
---	---	---

Διάγραμμα 4.1 Διαχωρισμός οικοδομικών στοιχείων.

Τα υλικά που μπορεί να αποτελούν τα παραπάνω και εξετάζονται στη συνέχεια είναι:

- 1.το ξύλο
- 2.το μπετόν
- 3.το ασφάλι
- 4.το αλουμίνιο
- 5.το γυαλί
- 6.τα πλαστικά
- 7.τα στοιχεία ξηράς δόμησης, γυψοσανίδες-τσιμεντοσανίδες.
- 8.τα τούβλα
- 9.το YTong ή το alfa block

Εκτός από τα οικοδομικά υλικά εξετάζονται και τα θερμο-ηχομονωτικά υλικά.

4.2. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των υλικών (τεχνικά χαρακτηριστικά)

Για την κατανόηση των υλικών και για τη σωστή χρήση τους, οι ιδιότητες τους χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Τις φυσικές και τις μηχανικές ιδιότητες.

Φυσικές ιδιότητες:

Στις φυσικές ιδιότητες των υλικών κατατάσσονται το χρώμα, η πυκνότητα, η ειδική θερμότητα, ο συντελεστής θερμικής διαστολής, η θερμική αγωγιμότητα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η αντοχή και η σκληρότητα. Κύριας σημασίας για την επιλογή των υλικών ανάλογα με τις απαιτήσεις είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η θερμική αγωγιμότητα και η πυκνότητα.

Μηχανικές ιδιότητες:

Για τη γνώση της συμπεριφοράς του υλικού κατά την εφαρμογή του πρέπει να είναι γνωστές οι μηχανικές ιδιότητές του (αντοχή σε εφελκυσμό, θλίψη, κάμψη, κρούση, σχίσση). Για τον έλεγχο των μηχανικών ιδιοτήτων τα υλικά υποβάλλονται σε πρότυπες (STANDARD) εργαστηριακές δοκιμασίες.

Για την σωστή επιλογή ενός υλικού το σημαντικότερο κριτήριο αποτελούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του. Αφενός γιατί δίνονται πληροφορίες για τη φύση του ίδιου του υλικού και αφετέρου γιατί γίνεται κατανοητή η χρησιμότητά του. Τα πλέον σύνηθη τεχνικά χαρακτηριστικά ενός υλικού που ενδιαφέρουν, είναι τα εξής:

- αντοχή σε εφελκυσμό (kp/cm²)
- αντοχή σε κάμψη (kp/cm²)
- μέτρο ελαστικότητας (N/mm²)
- αντοχή σε θλίψη (kp/cm²)
- συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ(Kcal/mh°C)

- βαθμός διαπερατότητας συνολικής ενέργειας g
- ειδική θερμότητα c (J/mk)
- αντίσταση στην υδρατμοδιαπερότητα (μ)
- ειδικό βάρος (gr/cm^3)
- ξηρό φαινόμενο βάρος ρ (Kg/m^3)
- συστολή /διαστολή (mm/m)
- η πυραντοχή του υλικού.
- περιβαλλοντική- ενεργειακή συμπεριφορά (οικολογικό)
- Δείκτης ηχομείωσης
- Συντελεστής ηχοαπορρόφησης

Στο εμπόριο, συνήθως τα υλικά δε συνοδεύονται με την περιγραφή των φυσικών και τεχνικών χαρακτηριστικών τους. Η εύρεση περαιτέρω πληροφοριών, πλην του κόστους και των διαστάσεων, είναι στην κρίση του εκάστωτε αγοραστή-ενδιαφερόμενου.

Κάθε ένα από τα παραπάνω χαρακτηριστικά εκφράζεται με τα αντίστοιχα μεγέθη, τα οποία εξετάζονται βάσει συγκεκριμένων κανονισμών προτύπων και έχουν καθιερωθεί από σχετικούς οργανισμούς, όπως A.S.T.M. και D.I.N.

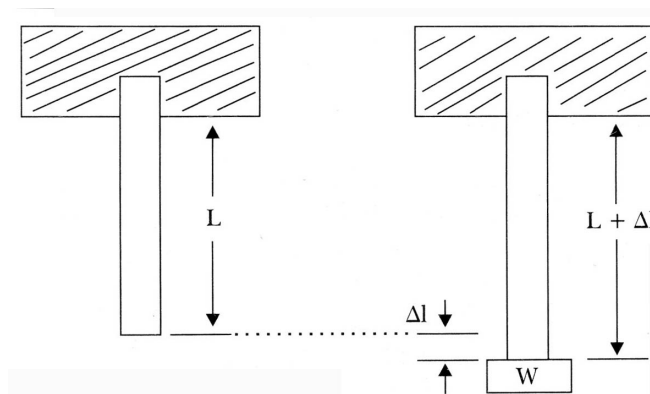
Τα μεγέθη που εκφράζουν τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι:

4.2.1. Μέτρο ελαστικότητας / τάση εφελκυσμού

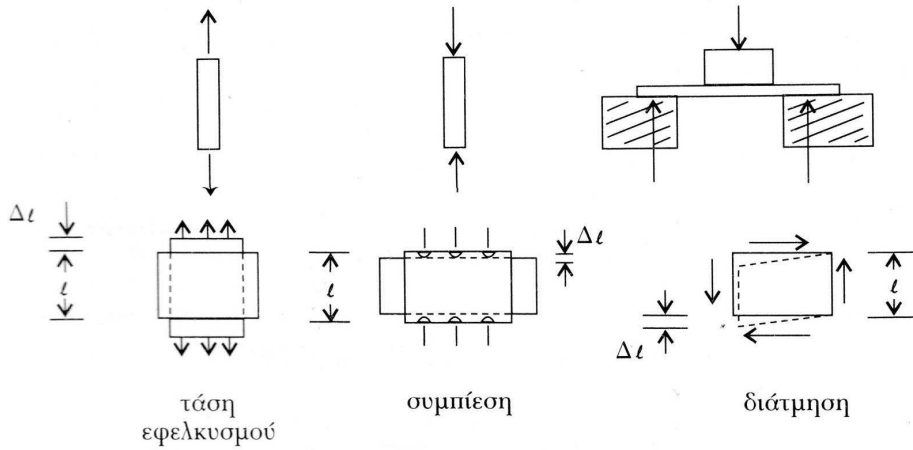
Όταν τα υλικά χρησιμοποιούνται σε μηχανισμούς ή κατασκευές, υπόκεινται στην επίδραση δυνάμεων.

Σε πολλές εφαρμογές τα υλικά υποβάλλονται σε δυναμικές φορτίσεις. Τα φορτία εφαρμόζονται απότομα, μεταβάλλονται γρήγορα στο μέγεθος και υπάρχουν διαδοχικές φορτίσεις και αποφορτίσεις όπου ο τύπος της φόρτισης αλλάζει π.χ. τάση-συμπίεση.

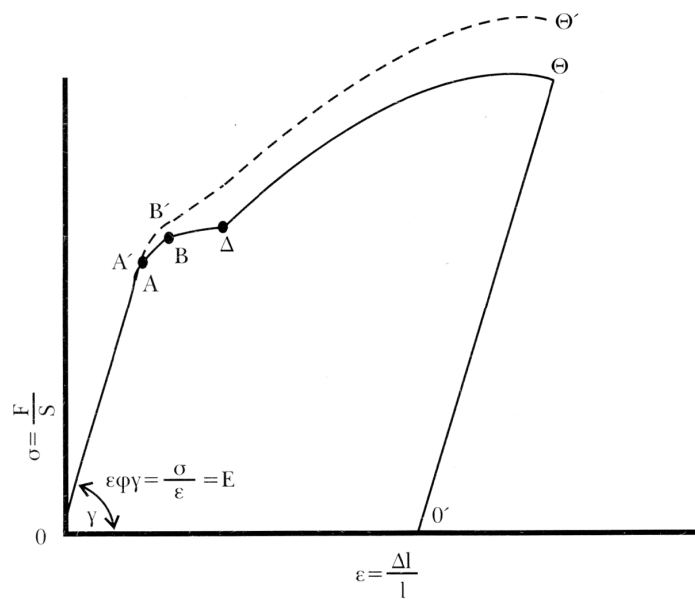
Οι δυνάμεις αυτές φέρνουν ως αποτέλεσμα κάποια παραμόρφωση η οποία είναι γνωστή ως παραμόρφωση επιμήκυνσης και τάση επιμήκυνσης. Για παράδειγμα στο σχήμα 4.1, από μία ράβδο ομοιόμορφης διατομής κρεμιέται ένα βάρος W το οποίο προκαλεί επιμήκυνση Δl στη ράβδο ίση με $\epsilon = \Delta l/l$.



Σχήμα 4.1 Τάση επιμήκυνσης ράβδου ομοιόμορφης διατομής.



Σχήμα 4.2 Άλλοι τύποι τάσεων και παραμορφώσεων.



Σχεδιάγραμμα 4.2 Διάγραμμα τάσεις επιμήκυνσης. Θεωρητικά (ΑΒΔΘ) και αληθής (Α'Β'Θ').

Στα υλικά μέχρι μια ορισμένη φόρτιση (Α) η τάση είναι ανάλογη της επιμήκυνσης. Η τάση κατά την οποία η αναλογία αυτή σταματάει να υπάρχει ονομάζεται όριο αναλογίας.

Μέχρι το όριο αναλογίας, το υλικό υπακούει στο νόμο του HOOKE ο οποίος καθορίζει ότι μέσα στα όρια της ελαστικότητας των υλικών η τάση είναι ανάλογη προς την επιμήκυνση.

Ο λόγος τάση προς επιμήκυνση μέσα στην περιοχή της ελαστικότητας ονομάζεται συντελεστής Young ή μέτρο ελαστικότητας:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ (Kp/cm}^2\text{)}. \tag{4.1}$$

Σε κάθε υλικό η τιμή του μέτρου ελαστικότητας του Young είναι σταθερή. Αποτελεί μέτρο αντοχής του υλικού και δίνει την ικανότητα του υλικού συγκεκριμένης διατομής να αντιστέκεται στην παραμόρφωση όταν φορτιστεί.

Μέχρι μια συγκεκριμένη τάση, όταν αφαιρεθεί το φορτίο που εφαρμόζεται, το δείγμα επιστρέφει στο αρχικό του μήκος.

Από τάση μηδέν μέχρι το σημείο όπου επιστρέφει η συμπεριφορά του υλικού είναι ελαστική.

Η μεγαλύτερη τάση για την οποία υπάρχει αληθινή ελαστική συμπεριφορά ονομάζεται όριο ελαστικότητας (B).

Για ορισμένα υλικά το όριο ελαστικότητας και το όριο αναλογίας είναι σχεδόν τα ίδια. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως το όριο ελαστικότητας είναι λίγο μεγαλύτερο από το όριο αναλογίας.

Το ποσό της ενέργειας που μπορεί να απορροφήσει η μονάδα όγκου του υλικού στην περιοχή της ελαστικότητας λέγεται ελαστικότητα.

Η ενέργεια είναι το γινόμενο της δύναμης επί την απόσταση, άρα στο παράδειγμα αυτό η περιοχή κάτω από την καμπύλη της τάσης – επιμήκυνσης μέχρι το όριο ελαστικότητας είναι ίση με :

$$\frac{Kp}{cm^2} \times \frac{cm}{cm} = \frac{cm \cdot kp}{cm^3}$$

Η ενέργεια της ελαστικότητας είναι δυναμική ενέργεια, άρα κατά την αποφόρτιση του υλικού παύει να υπάρχει.

Η επιμήκυνση που γίνεται μετά το όριο ελαστικότητας ονομάζεται πλαστική.

Τάση εφελκυσμού

Εφελκυσμός είναι το φαινόμενο εκείνο, όπου το δοκίμιο τείνει αρχικά να μηκυνθεί και μετά πιθανώς να διασπαστεί (υποστεί θραύση) υπό την επενέργεια δυο ίσων και αντίθετων δυνάμεων που ενεργούν στα αντίθετα άκρα του ή υπό την επενέργεια μιας δύναμης που ενεργεί στο ένα άκρο όταν το άλλο άκρο είναι πακτωμένο (σταθερά συνδεδεμένο) με κάποιο σώμα.

Στο σχεδιάγραμμα 4.2 στον οριζόντιο άξονα βρίσκεται η ειδική επιμήκυνση ϵ . Στον κατακόρυφο άξονα είναι η τάση εφελκυσμού :

$$\sigma = \frac{F}{S} \left(\frac{kp}{cm^2} \right) \quad (4.2)$$

όπου F- η δύναμη εφελκυσμού σε kp και
S₀- η αρχική διατομή του δοκιμίου σε cm².

Στο τμήμα OA (σχήμα 4.2) η τάση εφελκυσμού είναι ανάλογη της ειδικής επιμήκυνσης και η μαθηματική έκφραση είναι ο νόμος του HOOKE,

$$\sigma = \epsilon \cdot E \cdot \left(\frac{kp}{cm^2} \right) \quad (4.2 \beta)$$

όπου E το μέτρο ελαστικότητας.

Πάνω από το όριο ελαστικότητας εμφανίζεται μόνιμη παραμόρφωση και η τάση στο σημείο Δ ονομάζεται όριο διαρροής.

Μετά το σημείο Δ η επιμήκυνση είναι πλαστική.

Το σημείο Θ ονομάζεται όριο θράυσης και είναι η μεγαλύτερη τάση εφελκυσμού πριν τη θράυση του δοκιμίου.

Το όριο θραύσης μετριέται σε kp/cm^2 και υπολογίζεται συγκρίνοντας την αρχική και την τελική διατομή του δοκιμίου.

4.2.2. Αντοχή σε θλίψη

Θλίψη είναι το φαινόμενο εκείνο κατά το οποίο το δοκίμιο τείνει αρχικά να βραχυνθεί (μειώσει το μήκος του) και μετά πιθανώς να συνθλίβει (υποστεί θραύση) υπό την επενέργεια δύο ίσων και αντίθετων δυνάμεων που ενεργούν στα αντίθετα άκρα του ή υπό την επενέργεια μιας δύναμης που ενεργεί στο ένα άκρο όταν το άλλο είναι πακτωμένο με κάποιο σώμα. Η μονάδα μέτρησης της αντοχής σε θλίψη είναι (kp/cm^2).

Για παράδειγμα το σκυρόδεμα είναι ένα υλικό το οποίο παρουσιάζει μεγάλη θλιπτική αντοχή και συνεργαζόμενο αρμονικά με το χάλυβα που παρουσιάζει μεγάλη εφελκυστική αντοχή προκύπτει το οπλισμένο σκυρόδεμα.

Για τα λίθινα προϊόντα η μέτρηση της αντοχής σε θλίψη γίνεται σε υδραυλική πρέσσα. Δοκιμάζονται φυσικοί λίθοι που λαξεύονται σε κύβους με πλευρά από 2 μέχρι 30 cm. Τα δοκίμια πιέζονται μέχρι να σπάσουν. Ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνει όσο το υλικό είναι ανομοιομόρφο και όσο οι φορτίσεις είναι επαναλαμβανόμενες. Οι μονάδες μέτρησης οι οποίες περιγράφουν την αντοχή σε θλίψη είναι : kp/cm^2 .

4.2.3. Θερμότητα / συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας

Η θερμότητα μεταφέρεται με τρεις τρόπους.

i) μέσω της αγωγιμότητας (μετάδοση θερμότητας από μόριο σε μόριο- π.χ. ακουμπώντας μια θερμική μεταλική ράβδο)

ii) μέσω της μεταφοράς (π.χ. από τα θερμαινόμενα καλοριφερ στο χώρο)

iii) μέσω της ακτινοβολίας, μπορεί να μεταδοθεί μέσω χώρων, κενών αέρος ή μη. Οι θερμικές ακτίνες έχουν διάφορα μήκη κύματος και δεν εξαρτώνται από την ύλη. Ένα μέρος της θερμικής ακτινοβολίας ανακλάται και ένα μέρος απορροφάτε. Ανάλογα με την κατασκευή η ανάκλαση και η απορρόφηση χρησιμοποιούνται για να δώσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Όταν μεταδίδεται η θερμότητα, η θερμοκρασία θ είναι συνάρτηση των συντεταγμένων του χώρου και του χρόνου $\theta = t(x, y, z, t)$.

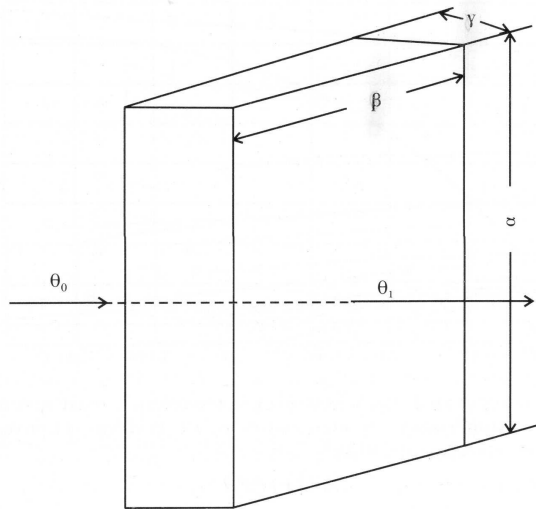
Όταν η θερμότητα απομακρύνεται, τότε κάθε σημείο του χώρου έχει σταθερά θερμοκρασία εξαρτώμενη από τη θέση του. Τα σημεία που έχουν την ίδια θερμοκρασία σχηματίζουν μια ισοθερμική επιφάνεια.

Η ενέργεια μεταδίδεται από επιφάνεια μεγαλύτερης θερμοκρασίας σε άλλη μικρότερης θερμοκρασίας κατά διεύθυνση κάθετη προς αυτήν.

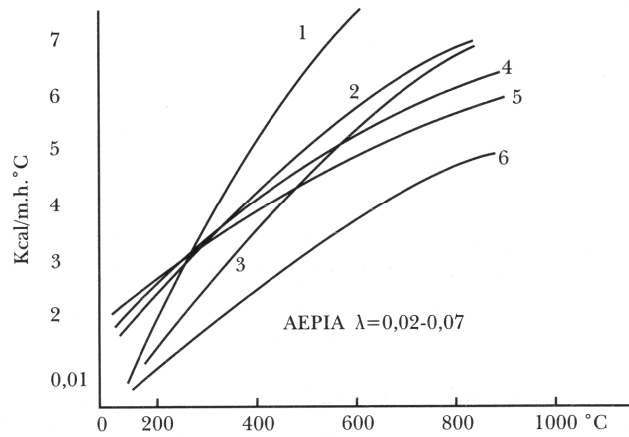
Η ταχύτητα μετάδοσης της θερμότητας είναι συνάρτηση της διαφοράς στάθμης ενέργειας μεταξύ των επιφανειών, της μεταξύ τους απόστασης και της ιδιότητας του μεταξύ αυτών υλικού.

Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται θερμική αγωγιμότητα ή συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας $\lambda = \text{Kcal/m h } ^\circ\text{C}$ (ικανότητα διέλευσης της θερμότητας).

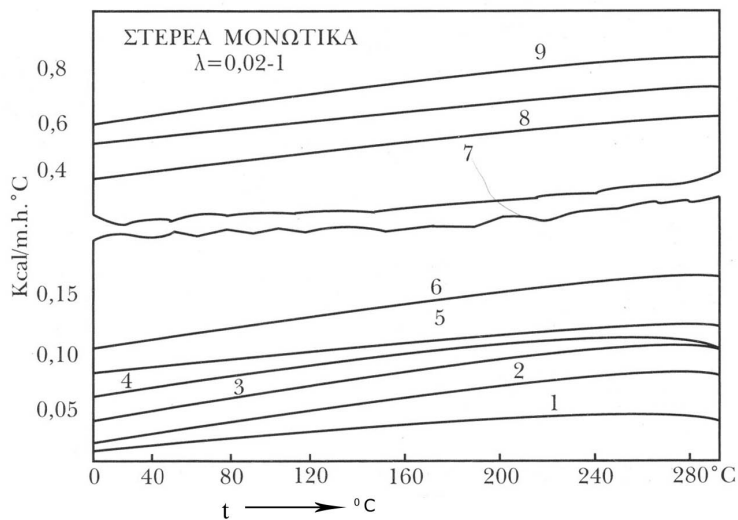
Η θερμική αγωγιμότητα εξαρτάται κυρίως από το υλικό αλλά και την πίεση και τη θερμοκρασία.



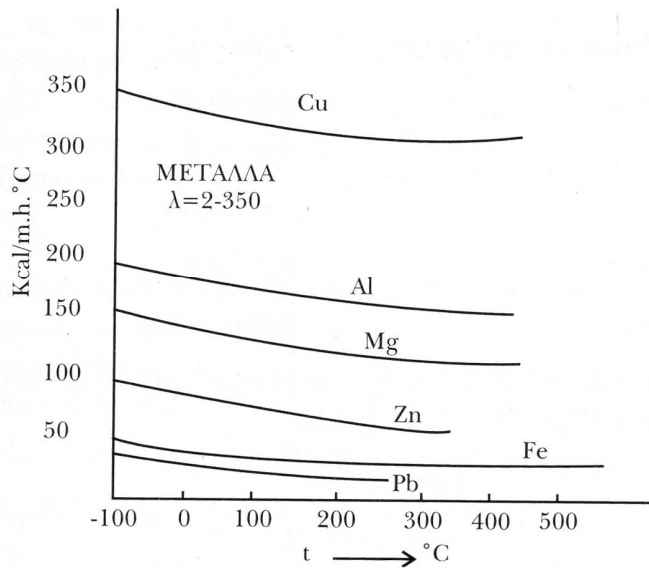
Εικόνα 4.1 Διέλευση θερμότητας.



Σχεδιάγραμμα 4.3
 1. υδρατμός, 2. οξυγόνο, 3. CO₂,
 4. αέρα, 5. άζωτο, 6. αργό.



Σχεδιάγραμμα 4.4 Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας στερεών μονωτικών (λ=0,02-1) 1. αέρας, 2. σκωριοβάμβακας (ε=0,16 gr/cm³), 3. σκωριοβάμβακας (ε=0,2), 4. μαγνησία 85%, 5. πορώδη τούβλα, 6. τούβλα (ε= 1,67), 7. τούβλα σκωριοσιμέντου, 8. πυρότουβλα, 9. γυαλότουβλα. Αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.



Σχεδιάγραμμα 4.5 Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας μετάλλων(λ=2-350) Ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Από το σχήμα της εικόνας 4.1:

$$Q = \frac{(\theta_o - \theta_1) \cdot \alpha \cdot \beta}{\gamma} \cdot \lambda \text{Kcal} / h \Rightarrow$$

$$Q = \frac{\Delta\theta \cdot m^2}{m} \cdot \lambda \text{Kcal} / h \Rightarrow$$

$$Q = \Delta\theta \cdot m \cdot \lambda \text{Kcal} / h \Rightarrow$$

$$\lambda = \frac{Q \text{kcal}}{\Delta\theta \cdot m \cdot h}$$

Η μεταβολή του λ με τη θερμοκρασία είναι γραμμική και δίδεται από τον τύπο:

$$\lambda = \lambda_0(1 + \beta\theta) \tag{4.3}$$

Η τιμή της θερμικής αγωγιμότητας δίνει σε W_s τη θερμότητα η οποία διέρχεται σε κατάσταση αδράνειας (διαρκή θέρμανση) και σε 1 sec μέσα από $1m^2$ ενός στρώματος υλικού με πάχος $1m$, όταν η διαφορά θερμοκρασίας στις δύο επιφάνειες των οικοδομοκόων τμημάτων ανάρχεται σε 1Kelvin ($1K \equiv 1^\circ C$).

Η μονάδα μέτρησης είναι $W \cdot s \cdot m / s \cdot K = W / mK$ (με μετατροπές, ανάλογα με το εξεταζόμενο υλικό οι μονάδες μέτρησης είναι $\text{kcal}/m h^\circ C$)

- Όσο μεγαλύτερο είναι το λ τόσο μεγαλύτερη η αγωγιμότητα.
- Όσο μικρότερο είναι το λ τόσο καλύτερη η θερμομόνωση.

Η θερμική αγωγιμότητα εξαρτάται από τέσσερις παράγοντες:

i) την πυκνότητα του υλικού.

Τα υλικά με μικρή πυκνότητα συνήθως έχουν πολλούς πόρους οι οποίοι καλυτερεύουν τη θερμική αγωγιμότητα. Ο αέρας έχει πολύ καλή αγωγιμότητα ($\lambda = 0.02 \text{ W/mK}$)

ii) το είδος το μέγεθος και την κατανομή πόρων.

Οι στρογγυλοί, σφαιροειδείς πόροι είναι καλύτεροι από τους επιμήκεις. Πολλοί μικροί πόροι είναι καλύτερα από λίγους μεγάλους. Η ισομερής κατανομή είναι καλύτερη από τη συσσώρευση πόρων.

iv) το ποσοστό υγρασίας του υλικού.

Η υγρασία χειροτερεύει τη θερμική αγωγιμότητα.

Το ποσοστό της υγρασίας του υλικού βρίσκεται συναρτήσει της δόμης του υλικού (πόροι, σύνθεση), τη θέση που έχει στην κατασκευή (παροχή αέρα) καθώς και τις κλιματολογικές απαιτήσεις (εσωτερικά-εξωτερικά)

iv) τη θερμοκρασία του υλικού.

Όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασία ενός υλικού τόσο χειρότερη είναι η θερμική αγωγιμότητα. Σύμφωνα με το πρότυπο DIN 4108 ο καθορισμός της θερμικής αγωγιμότητας βρίσκεται στους +10 °C.

Η θερμότητα που μεταδίδεται μέσω ακτινοβολίας εκτός από τη θερμοκρασία εξαρτάται και

- i) από το συντελεστή θερμικής ακτινοβολίας (ϵ) του θερμού σώματος,
- ii) το συντελεστή θερμικής απορρόφησης (α) του θερμόμενου σώματος καθώς και
- iii) από τις επιφάνειες αυτού.

Εκτός από τα στέρεα σώματα ακτινοβολούν και τα αέρια. Αυτά ονομάζονται καπναέρια, είναι άχρωμα και η ακτινοβολία τους εξαρτάται από τη σύνταξη των μορίων τους.

Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας με τις ιδιότητες των μονωτικών:

Συντελεστής $\alpha(=\epsilon)$ ορισμένων χρωμάτων	
Λευκό ελαιόχρωμα	0.1-0.2
Στιλβωμένα μέταλλα	0.04-0.5
Χρώμα αργιλίου(αλουμινόχρωμα)	0.2-0.4
Γαλβανισμένο μέταλλο στιλπνό	0.2-0.25
Γαλβανισμένο μέταλλο οξειδωμένο	0.25-0.3
Μέλαν άνθρακος	0.9-0.95
Πυρότουβλα	0.8-0.9
Μαύρα χρώματα	0.9-0.99
Κόκκινα τούβλα	0.7-0.8
Κεραμίδια κόκκινα	0.65-0.75

Πίνακας 4.1 Συντελεστής θερμικής απορρόφησης ορισμένων υλικών.

Ο πίνακας με τις μέσες τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ορισμένων υλικών δίνεται παρακάτω.

Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας $\lambda = \text{kcal/m} \cdot \text{h} \cdot \text{grad} (= 2,8 \text{cal/cm} \cdot \text{sec} \cdot \text{grad})$	
Χαλκός - 330	Λεβητόλιθος -1-3
Αργίλιο - 175	Μάρμαρο και μπετόν -1,1
Ψευδάργυρος - 100	Άμμος υγρή - 1
Κασσίτερος - 55	Γυαλί -0,64

Νικέλιο - 50	Χώμα υγρό -0,56
Χάλυβας - 40	Χιόνι - 0,4
Ξύλα// ίνες - 0,35 ^A	Αμιάντος -0,1
Άμμος ξηρή και χαλίκι- 0,2	Μάλλινη τσόχα - 0,045
Τούβλα ξηρά - 0,2-0,4	Alfoil - 0,04
Ξύλα κάθετα στις ίνες - 0,2	Φελλός - 0,035
Άνθρακας - 0,16	Υαλέριο - 0,03
Ελαστικό και δέρμα - 0,14	Αφρώδη πλαστικά - 0,2-0,03
Χώμα ξηρό - 0,12	Πάγος 2-3

Πίνακας 4.2 Μέση τιμή του συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας ορισμένων υλικών.

Συνήθως στα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός υλικού, ο παράγοντας ο οποίος δίνει πληροφορίες για τη θερμομόνωση του υλικού, είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας.

Ωστόσο, δύο ακόμη σημαντικοί παράγοντες που δίνουν πληροφορίες για τη θερμομονωτική ικανότητα των υλικών είναι :

- i) η αντίσταση θερμοδιαφυγής (1/Λ).
Η μονάδα μέτρησης είναι [m² K/W].

Όταν εξετάζεται ένα οικοδομικό στοιχείο δεν καθορίζεται το ποσοστό θερμικής ενέργειας που διαπερνάει αυτό, αλλά το πόσο μεγάλη είναι η αντίσταση που εμποδίζει τη διέλευση της θερμότητας.

Όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση ενός οικοδομικού τμήματος τόσο πιο αποτελεσματική είναι η μόνωση.

- ii) ο συντελεστής θερμοδιαπερατότητας k (τιμή-k).

Ο συντελεστής θερμοδιαπερατότητας δίνει πληροφορίες για τη συνολική μεταφορά της θερμικής ενέργειας από τον έναν χώρο μέσω ενός οικοδομικού τμήματος και ξανά προς το συνορεύοντα χώρο.

Πιο συγκεκριμένα, δίνει πληροφορίες για την ποσότητα της θερμικής ενέργειας η οποία περνάει ανά δευτερόλεπτο μέσα από 1m² ενός στρώματος υλικού με πάχος s (σε μέτρα) σε διαρκή κατάσταση θέρμανσης.

Αυτό συμβαίνει όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα του χώρου και του εξωτερικού αέρα ανέρχεται σε 1K.

Στο συντελεστή k περιέχονται ο αριθμός θερμοδιαφυγής Λ και οι αριθμοί θερμικής μετάβασης α_i και α_o.

Ο συντελεστής θερμικής μετάβασης εκφράζει τη θερμότητα (σε Ws) η οποία εναλλάσσεται ανα δευτερόλεπτο (s) μεταξύ επιφάνειας 1m² ενός στερεού υλικού και του περιβάλλοντος αέρα όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα και της επιφάνειας του υλικού είναι 1K.

Η μετάβαση αυτή γίνεται με ακτινοβολία α_s και μεταφορά α_κ.

Όσο μικρότερη είναι η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας τόσο μεγαλύτερη είναι η εξοικονόμηση ενέργειας.

Ακολουθεί ο πίνακας με τις ελάχιστες τιμές της αντίστασης της θερμοδιαφυγής και τις μέγιστες τιμές του συντελεστή θερμοδιαπερατότητας ορισμένων οικοδομικών στοιχείων και ο πίνακας με τις αντίστοιχες τιμές για ελαφριά οικοδομικά τμήματα.

Οικοδομικό στοιχείο		Αντίσταση θερμοδιαφυγής(1/Λ) R _λ		Συντελεστής θερμοπερατότητας K	
		Στο μέσο	Σε δυσμενή θέση m ² K/W	Στο μέσο	Σε δυσμενή θέση m ² K/W
Εξωτερικοί τοίχοι	γενικά	0,55		1,39	
	Για μεμονωμένα οικοδομικά στοιχεία μικρής επιφάνειας(π.χ.ορθοστάτες)	0,47		1,56	1,47
Διαχωριστικοί τοίχοι	Σε κτίρια χωρίς θέρμανση	0,25		1,96	
	Σε κτίρια με θέρμανση	0,07		3,03	
Διαχωριστικά ταβάνια	Γενικά	0,35		1,64	
	Σε κτίρια γραφείων με κεντρική θέρμανση	0,17		2,38	
Κάτω τελείωμα καθιστικού που δεν έχει από κάτω υπόγειο	Άμεσα στη γη			0,93	
	Στη γη αλλά μέσω ενός μη αεριζόμενου κενού χώρου	0,90		0,81	
Ταβάνια κάτω από άκτιστους χώρους σκεπών		0,90	0,45	0,90	1,52
Ταβάνια υπογείων		0,90	0,45	0,81	1,27
Ταβάνια που απομονώνουν τα καθιστικά από τον εξωτερικό αέρα	Προς τα κάτω	1,75	1,30	0,51 -	0,66-
	Προς τα πάνω	1,10	0,80	0,79	1,03

Πίνακας 4.3α Ελάχιστες τιμές της αντίστασης θερμοδιαφυγής 1/Λ και μέγιστες τιμές συντελεστών θερμοπερατότητας k, εξαιρούμενων των ελαφρών οικοδομικών στοιχείων με m' ≤ 300 kg/m².

Επιφανειακή μάζα των πλευρικών οικοδομικών τμημάτων(με μονωτικό στρώμα ή χωρίς)	Αντίσταση θερμοδιαφυγής 1/Λ του οικοδομικού τμήματος m ² K/W	Συντελεστές θερμοδιαπερατότητας k του οικοδομικού τμήματος W/ m ² k	
		Τμήματα χωρίς εξωτερικό στρώμα, αεριζόμενο από πίσω W/ m ² K	Τμήματα με εξωτερικό στρώμα, αεριζόμενο από πίσω W/m ² K
0	1,75	0,52	0,51
20	1,40	0,64	0,62
50	1,10	0,79	0,76
100	0,80	1,03	0,99
150	0,65	1,22	1,16
200	0,60	1,30	1,23
300	0,55	1,39	1,32

Πίνακας 4.3β Ελάχιστες τιμές της αντίστασης θερμοδιαφυγής 1/Λ και μέγιστες τιμές συντελεστών θερμοπερατότητας k, για ελαφριά οικοδομικά στοιχεία με m' ≤ 300 kg/m².

Οι πίνακες 4.4α, 4.4β, 4.4γ δίνουν τις χαρακτηριστικές τιμές θερμικής αγωγιμότητας και τον παράγοντα αντίστασης υδρατμών ορισμένων υλικών

Δομικό υλικό	Πυκνότητα kg/m ³	Θερμική αγωγιμότητα λ _R W/mK	Παράγοντας αντίστασης διάχυσης υδατμών μ	Δομικό υλικό	Πυκνότητα kg/m ³	Θερμική αγωγιμότητα λ _R W/mK	Παράγοντας αντίστασης διάχυσης υδατμών μ
Σοβάδες, επίστρώσεις				Μπετόν			
Ασβεστοκονίαμα, ασβεστοσιμεντοκονίαμα, υδραυλικό ασβεστοκονίαμα	1800	0,87	15 / 35	νορμάλ μπετόν οπλισμένο, μη οπλισμένο	2400	2,1	70/ 150
Ασβεστοκονίαμα, γυψοκονίαμα με συμπλήρωμα άμμου, Ασβέστης-άνυδρο κονίαμα	1400	0,7	10	Ελαφρύ μπετόν με κλειστή άρθρωση DIN4219 DIN4226	800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1800	0,39, 0,44, 0,49, 0,55, 0,62, 0,70, 0,79, 0,89, 1,01, 1,31	70/ 150
Γυψοκονίαμα χωρίς συμπλήρωμα άμμου	1200	0,35	10	Ελαφρύ μπετόν από φυσική ελαφρόπετρα	500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200	0,15, 0,18, 0,20, 0,24, 0,27, 0,32, 0,44	5/ 15
Ελαφρύ κόνιαμα LM 21/ LM36	700/1000	0,21/ 0,36	15/35	Ελαφρύ μπετόν από άργιλλο	500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200	0,18, 0,20, 0,23, 0,26, 0,30, 0,35, 0,46	5/ 15
Τσιμεντοκονίαμα, Επίστρωση τσιμέντου	2000	1,4	15/35	Δομικές Πλάκες			
Άνυδρη επίστρωση	2100	1,2		Δομικές Πλάκες από μπετόν με φυσσαλίδες, φυσιολογικό, πάχος			
Επίστρωση χυτής ασφάλτου	2300	0,9	Ξ	αρμών, φυσιολογικό κόνιαμα	500, 600, 700, 800	0,22, 0,24, 0,27, 0,29	5/10
Θερμομονωτικός σοβάς	500	0,2	5/ 20	Δομικές πλάκες τοίχου από γύψο DIN 1863	600, 750, 900	0,29, 0,35, 0,41,	5/10
σοβάς τεχνητής ρητίνης	1100	0,7	50/200	Γυψοσανίδες	900	0,21	8

Πίνακας 4.4a Χαρακτηριστικές τιμές θερμικής αγωγιμότητας και παράγοντα αντίστασης υδατμών ορισμένων υλικών.

Δομικό υλικό	Πυκνότητα kg/m ³	Θερμική αγωγιμότητα λ _R W/mK	Παράγοντας αντίστασης διάχυσης υδρατμών μ	Δομικό υλικό	Πυκνότητα kg/m ³	Θερμική αγωγιμότητα λ _R W/mK	Παράγοντας αντίστασης διάχυσης υδρατμών μ
τούβλα				Μονωτικά υλικά			
γεμάτα τούβλα,διάρρητα τούβλα,κεραμικά τούβλα	1800,2000,2200	0,81/0,96/1,21	50/100	Ξυλόμαλλο-πλάκες ελαφριάς δόμησης DiN 1101 με d1>=25m m και d2 =15mm	360, για d1480 για d2 570	0,09/0,15	2/10
Γεμάτα κεραμίδια,Διάρρητα κεραμίδια DIN 105	1200,1400,1600,1800,2000	0,50/0,58/0,68/0,81/0,96	5/10	πλάκες ελαφριάς δόμησης πολλών στρωμάτων	\$0,15	0,04(δεν συμπεριλαμβάνονται στρώματα από ξυλόμαλλο με d<10mm)	20/50
Ελαφρά διάρρητα κεραμίδια με οπές A και B DIN 105	700,800,900,1000	0,36/0,39/0,42/0,45	5/10	πλάκες WLGr από φελλό 045/050/055	80/bis/500	0,045/0,050/0,055	5/10
Ελαφρά διάρρητα κεραμίδια με κανονικό κονίαμα DIN 105	700,800,900,1000	0,30/0,33/0,36/0,39	5/10	Αφρώδες υλικό WLGr από πολυστερόλη 025/030/035/040	\$30	0,025/0,030/0,035/0,040	30/70
Τούβλα από ασβέστη - άμμο DIN 106	1000,1200,1400,1600,1800,2000,2200	0,50/0,56/0,70/0,79/0,99/1,11/1,31	από1000-1400 :5/10 από 1600-2200: 15/25	Αφρώδες υλικό WLGr από πολυουρεθάνη 020/025/030/035	\$30	0,020/0,025/0,030/0,035	30/100
Καλυμμένα τούβλα DIN 398	1000,1200,1400,1600,1800,2000	0,47/0,52/0,58/0,64/0,70/0,76	70/100	Αφρώδες υλικό WLGr από φαινολη-ρητίνη 030/035/040/045	\$30, για 045 είναι:0,045	0,030/0,035/0,040	10/50
λίθοι από μπετόν με φουσαλίδες, με κανονικό κονίαμα DIN 4165	400,500,600,700,800	0,20/0,22/0,24/0,27/0,29	5/10				
λίθοι από μπετόν με φουσαλίδες, με λεπτό κονίαμα DIN 4165	400,500,600,700,800	0,15/0,17/0,20/0,23/0,27	5/10	Μεταλλικός και φυτικός WLGr ινώδη μονωτικά υλικά 030/035/040/045	8/bis/0,045	0,030/0,035/0,040	1

λίθοι από ελαφρύ μπετόν με πορώδη συμπληρώματα με 2 καμάρες, 3καμάρες,4 καμάρες	500,600,700,800,900,1000,1200	0,29/0,32/0,35/0,39 /0,44/0,49/0,60	5/10	περλίτης	≤100	0,06	8
Τούβλα από ελαφρύ μπετόν DIN 18152	500,600,700,800,900,1000,1200,1400,1600,1800,2000	0,32/0,34/0,37/0,40 /0,43/0,46/0,54/0,63/0,74/0,87/0,99	από 500-1400:5/10, από 1600-2000 είναι: 10/15	μίκια	≤100	0,07	
Τούβλα από φυσική ελαφρόπετρα ή άργιλλο	500,600,700,800,900,1000,1200,1400,1600,1800,2000	0,29/0,32/0,35/0,39 /0,43/0,46/0,54/0,63/0,74/0,87/0,99	από 500-1400:5/10, από 1600-2000 είναι: 10/15	άργιλλος	≤400	0,16	

Πίνακας 4.4β Χαρακτηριστικές τιμές θερμικής αγωγιμότητας και παράγοντα αντίστασης υδρατμών ορισμένων υλικών.

Δομικό υλικό	Πυκνότητα kg/m ³	Θερμική αγωγιμότητα λ _R W/mK	Παράγοντας αντίστασης διάχυσης υδρατμών μ	Δομικό υλικό	Πυκνότητα kg/m ³	Θερμική αγωγιμότητα λ _R W/mK	Παράγοντας αντίστασης διάχυσης υδρατμών μ
Ξύλο και ξύλινα προϊόντα				Επιστρώματα			
έλατο,πεύκο	600	0,13	40	λινέλαιο	100	0,12	
Δρυς,οξυά	800	0,2	40	τεχνητά επιστρώματα (PVC)	1500	0,23	
ξύλο φραγμών	800	0,15	50/400	Μαστίχα ασφάλτου d>=7mm	2000	0,7	∞
ξύλινες ινώδεις πλάκες	1000	0,17	70	πισσάσφαλτος	1200	0,17	10000/80000
ξύλινες ελαφρά ινώδεις πλάκες	≤300	0,06/≤400	5/0,07	πλαστικό-πισσάσφαλτος			20000/60000
Άλλα δομικά υλικά							
αέρας	1,293	0,02	1	αμμόλιθος,ασβέστης	2600	2,3	
νερό	1,011	0,64		ενωμένα πατώματα			2,1
πλακάκια	2000	1		ασάλι	7860	60	
γυαλί	2500	0,8		χαλκός	8900	380	
γρανίτης,βασάλτης,μάρμαρο	2800	35		αλουμίνιο	2700	200	∞

Πίνακας 4.4γ Χαρακτηριστικές τιμές θερμικής αγωγιμότητας και παράγοντα αντίστασης υδρατμών ορισμένων υλικών.

Σημείωση:

Από τους πίνακες 4.4 α,β,γ, γίνεται σαφές ότι όσο αυξάνεται η πυκνότητα του κάθε υλικού τόσο αυξάνεται και ο συντελεστής της θερμικής του αγωγιμότητα. Όπως προαναφέρθηκε όσο μεγαλύτερο είναι το λ (συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας) τόσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα.

4.2.4. Βαθμός διαπερατότητας συνολικής ενέργειας g.

Ο βαθμός διαπερατότητας συνολικής ενέργειας αφορά στα οικοδομικά τμήματα που είναι διαφανή και αφήνουν το φως να περνάει. Τέτοια είναι τα παράθυρα και οι μπαλκονόπορτες.

Αποτέλεσμα αυτού είναι η θερμότητα να διαπερνάει αυτά τα οικοδομικά στοιχεία με τη μορφή θερμικής ακτινοβολίας.

Το ποσοστό της ενέργειας το οποίο διαπερνά τα στοιχεία ονομάζεται βαθμός διαπερατότητας και συμβολίζεται με το γράμμα g.

Ένας βαθμός 0,7 σημαίνει ότι το 70% της ενέργειας της θερμότητας περνάει μέσα από το οικοδομικό αυτό στοιχείο.

Βαθμός διαπερατότητας συνολικής ενέργειας g για τα τζάμια	
τζάμι	g
Διπλό τζάμι από διαφανές γυαλί	0,8
Τριπλό τζάμι από διαφανές γυαλί	0,7
Γυάλινα οικοδομικά στοιχεία	0,6
Πολλαπλό τζάμι με γυαλιά ειδικού τύπου(θερμοπροστατευτικό από τον ήλιο)	0,2-0,8

Πίνακας 4.5 Βαθμός διαπερατότητας g τζαμιών.

Η απόδειξη θερμοπροστασίας κατά το πρότυπο DIN 4108 λαμβάνει υπόψη μόνο τα φυσικά οικοδομικά μεγέθη.

4.2.5. Ειδική θερμότητα c (j/mK)

Η ειδική θερμότητα είναι το ποσό της θερμότητας ανά μονάδα μάζας, το οποίον απαιτείται για να ανυψωθεί η θερμοκρασία της μάζας κατά ένα βαθμό Κελσίου ή Kelvin.

Η σχέση μεταξύ της θερμότητας και της μεταβολής της θερμοκρασίας, εκφράζεται συνήθως με την παρακάτω μορφή (σχέση 3.4), όπου Q είναι η ποσότητα θερμότητας που προσφέρεται ή αφαιρείται από ένα σώμα μάζας m, το c είναι η ειδική θερμότητα του σώματος, και το ΔT είναι η μεταβολή στη θερμοκρασία του.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \tag{4.4}$$

ΕΙΔΙΚΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΕΣ ΣΕ cal.gr⁻¹ .grad⁻¹

Νερό	1.00
Πάγος	0.50
Έδαφος	0.22
Οινόπνευμα	0.58
Σίδηρος	0.033
Χαλκός	0.092
Υδράργυρος	0.033
Μόλυβδος	0.031

Πίνακας 4.6 Ειδικές θερμότητες ορισμένων στοιχείων.

4.2.6. Υγρασία / Αντίσταση στην υδρατμοδιαπερότητα μ

Ένα μόριο νερού έχει μέγεθος 10^{-5} mm ενώ ένα μόριο υδρατμών έχει μέγεθος 10^{-7} mm.

Όταν οι πόροι των οικοδομικών στοιχείων είναι τόσο μικροί ώστε κανένα μόριο νερού δεν τους διαπερνά, το οικοδομικό στοιχείο ονομάζεται υδατοστεγές.

Κάποια υδατοστεγή οικοδομικά στοιχεία είναι το μπετόν, τα τούβλα, τα κεραμίδια και συγκεκριμένα υλικά στεγανοποίησης όπως ασφαλτούχοι χρωματισμοί και πλαστικά φύλλα.

Τα υδατοστεγή υλικά δεν είναι στεγανά ως προς τους υδρατμούς και γι αυτό το λόγο χαρακτηρίζονται και ως φρένο υδρατμών.

Όταν ένα υλικό δεν έχει καθόλου πόρους, έτσι ώστε ούτε τα μόρια των υδρατμών να μην μπορούν να το διαπεράσουν, το υλικό χαρακτηρίζεται ως φράγμα υδρατμών.

Παράγοντας αντίστασης διάχυσης των υδρατμών ή αντίσταση στην υδρατμοδιαπερότητα μ.

Ο παράγοντας αντίστασης διάχυσης των υδρατμών, είναι μια χαρακτηριστική τιμή ειδική για κάθε υλικό που δηλώνει μια αναλογία χωρίς διάσταση.

Δείχνει πόσο ψηλότερη είναι η αντίσταση του κάθε υλικού στη διάχυση των υδρατμών από την αντίσταση που παρουσιάζει ο αέρας με το ίδιο πάχος στρώματος. Διαφορετικά, σημαίνει ότι 1cm του οικοδομικού στοιχείου παρουσιάζει το ίδιο μεγάλη αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών με την αντίσταση ενός στρώματος αέρα πάχους 100cm.

Οι τιμές του παράγοντα μ δεν είναι σταθερές αλλά εξαρτώνται από την περιεχόμενη υγρασία του οικοδομικού υλικού.

Για υλικά που χαρακτηρίζονται ως φρένο υδρατμών ισχύει : τιμή μ από 10.000-100.000

Για υλικά που χαρακτηρίζονται ως φράγμα υδρατμών ισχύει: τιμή μ = ∞.
(πίνακες 4.4^α 4.4β 4.4γ)

Έλεγχος ως προς την υδροαπορροφητικότητα, υδροπερατότητα.

Ένα δομικό υλικό ανάλογα με το αν διαθέτει πόρους ή όχι ή περιέχει υλικά τα οποία αντιδρούν με το νερό, αντίστοιχα απορροφά και το νερό. Με την απορρόφηση νερού το υλικό διογκώνεται και δημιουργούνται τάσεις. Οι τάσεις αυτές αυξάνουν όταν υπάρχει παγετός γιατί ο πάγος μπορεί να ασκήσει πιέσεις 2000 ατμοσφαιρών και να καταστρέψει το βρεγμένο υλικό. Ταυτόχρονα η υγρασία βοηθάει στην ανάπτυξη μικροοργανισμών που προκαλούν διάβρωση του υλικού.

Η μακροζωία ενός οικοδομικού υλικού εξαρτάται από το πόσο απορροφά νερό. Για τον έλεγχο της υδροαπορρόφησης γίνεται η εξής διαδικασία:

Αρχικά ζυγίζεται το υλικό όταν είναι στεγνό. Στη συνέχεια αφήνεται στο νερό για 100 ώρες. Όταν βγει από το νερό, σκουπίζεται επιφανειακά και το νερό που στάζει ζυγίζεται. Η αύξηση του βάρους % είναι η υδροαπορροφητικότητά του.

Για τον έλεγχο της υδροπερατότητας πάνω στο αδρανές υλικό στερεώνεται με ασφαλτό ένας σωλήνας ο οποίος περιέχει νερό. Το νερό πιέζεται με άζωτο από φιάλη και σημειώνεται ο ρυθμός ελάττωσης του ύψους του νερού στο σωλήνα.

4.2.7. Ειδικό βάρος/ Η σχέση του με τη θερμοχωρητικότητα των υλικών

Με τον όρο ειδικό βάρος χαρακτηρίζεται το βάρος (σε γραμμάρια της μονάδας του όγκου -1 cm³) κάποιου σώματος, ή ο λόγος του βάρους ενός σώματος προς τον όγκο

αυτού ή προς το βάρος ίσου όγκου απεσταγμένου ύδατος και θερμοκρασίας 4 βαθμών κελσίου.

Όταν, για παράδειγμα, ο σίδηρος έχει ειδικό βάρος 7 εννοείται ότι το 1 κυβ. εκατοστό αυτού ζυγίζει 7 γραμμάρια βάρους.

Εάν όμως πρέπει να υπολογιστεί η πυκνότητα του σιδήρου λαμβάνοντας 1 κυβικό εκατοστό του όγκου, πρέπει να διαιρεθεί η μάζα ενός κυβικού εκατοστού που είναι ίση με 7 γραμμάρια (μάζας) δια της μάζας του ενός κυβικού εκατοστού ύδατος απεσταγμένου σε θερμοκρασία 4° C, το οποίο λαμβάνεται ως μονάδα μάζας και ισούται με 1 γραμμάριο (μάζας).

Κατά την έννοια της μάζας και όχι του βάρους θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι το (σχετικό) ειδικό βάρος είναι ένα μέτρο της πυκνότητας μιας ουσίας.

Ορίζεται ως ο λόγος της πυκνότητας της ουσίας προς την πυκνότητα μιας ουσίας αναφοράς. Είναι αδιάστατο μέγεθος και γι' αυτό έχει την ιδιότητα να έχει την ίδια τιμή ανεξάρτητα από το σύστημα μονάδων που θα χρησιμοποιηθεί για την έκφραση της πυκνότητας της ουσίας.

Σαν ουσία αναφοράς για υγρά και στερεά χρησιμοποιείται συνήθως το νερό. Έτσι το σχετικό ειδικό βάρος μιας ουσίας, είναι ο λόγος της πυκνότητάς της προς την πυκνότητα του νερού.

Για το σχετικό ειδικό βάρος των αερίων, σαν ουσία αναφοράς χρησιμοποιείται συχνά ο αέρας. Για να οριστεί με ακρίβεια το ειδικό βάρος ενός υλικού, πρέπει να καθοριστούν οι θερμοκρασίες στις οποίες μετρούνται οι πυκνότητες του υλικού και της ουσίας αναφοράς. Για παράδειγμα όταν το ειδικό βάρος είναι 1.243_{\pm}^{20} ,

σημαίνει ότι το ειδικό βάρος της ουσίας στους 20°C ως προς αυτό του νερού στους 4°C είναι 1,24.

Τρόπος εξέτασης ειδικού βάρους χαλικιού και άμμου.

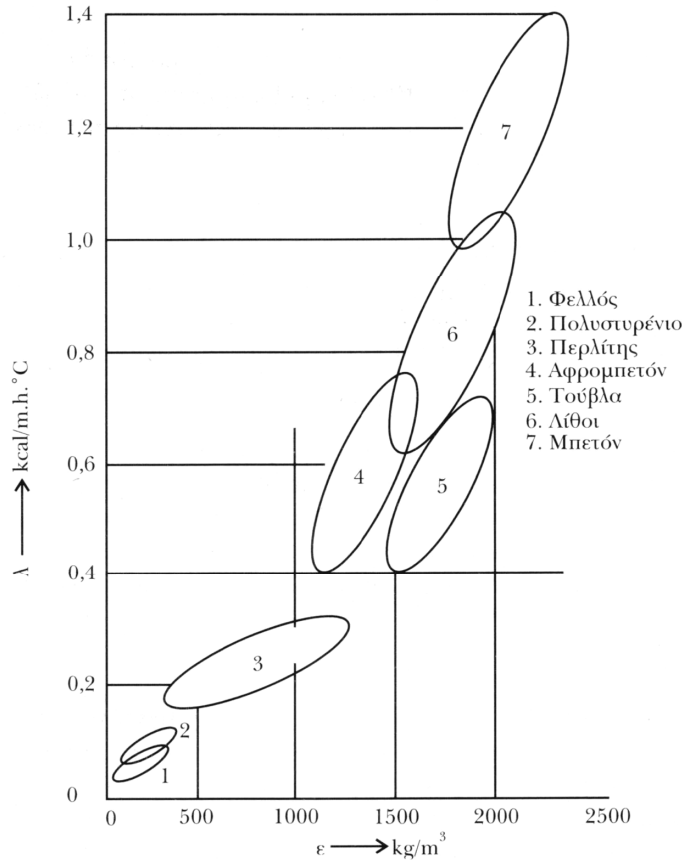
Ένα δοχείο με εσωτερικές διαστάσεις 20*20*20 αρχικά ζυγίζεται. Στη συνέχεια γεμίζεται με ελεύθερη πτώση χαλικιών ως την επιφάνειά του. Αν χρειαστεί αφαιρούνται ή προστίθενται στην επιφάνεια χαλίκια. Ξαναζυγίζεται το δοχείο και έτσι υπάρχει το βάρος των 8 λίτρων χαλικιού. Αν η διαφορά μεταξύ των δύο ζυγίσεων είναι μικρή και το βάρος είναι 16χιλιόγραμμα, το φαινόμενο ειδικό βάρος είναι $16/8=2 \text{ Kg/dm}^3$.

Αν είναι άμμος το εξεταζόμενο υλικό χρησιμοποιείται μικρότερο δοχείο και προστίθεται πρώτα νερό στο δοχείο και μετά η άμμος με τη μέθοδο της ανάδευσης.

Σχέση με τη θερμοχωρητικότητα

Το αυξημένο ειδικό βάρος αυξάνει τη θερμοχωρητικότητα και έτσι χρησιμοποιούνται πιο ανθεκτικά πλαίσια και στηρίγματα των υλικών, τα οποία βαραίνουν ακόμα πιο πολύ την κατασκευή.

Με αύξηση του ειδικού βάρους του υλικού, ελαττώνεται ο όγκος αερίων που περιέχει και συνεπώς αυξάνεται η θερμική αγωγιμότητα του υλικού. Χάνεται δηλαδή η θερμομονωτική ικανότητα του. Το διάγραμμα δίνει τη σχέση του ειδικού βάρους κάποιων υλικών και του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.



Σχεδιάγραμμα 4.6 Σχέση ειδικού βάρους ορισμένων υλικών με το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.

4.2.8. Ξηρό φαινομενικό βάρος ή ξηρή πυκνότητα

Είναι ο λόγος του ξηρού βάρους προς τον ξηρό όγκο, όταν το ποσοστό της υγρασίας είναι 0%.

$$p_o = \frac{W_o}{V_o} \tag{4.5}$$

όπου

p_o - η ξηρή πυκνότητα (gr/cm^3)

W_o - το ξηρό βάρος (gr)

V_o - ο ξηρός όγκος (cm^3)

4.2.9.1. Πυροπροστασία-πυραντίσταση των υλικών

Πυροπροστασία είναι η προσπάθεια ελαχιστοποίησης της ζημιάς που μπορεί να προκληθεί από μία φωτιά. Συνεπώς η επιλογή του κατάλληλου οικοδομικού και θερμομονωτικού υλικού είναι σημαντική για την προστασία της κατασκευής και των ανθρώπων που βρίσκονται σε αυτήν.

Σύμφωνα με το πρότυπο DIN τα υλικά έχουν χωριστεί σε δύο κατηγορίες ως προς την πυραντίστασή τους:

- οικοδομικά υλικά: **DIN 4102 Μέρος 1^ο**.

- οικοδομικά στοιχεία: **DIN 4102 Μέρος 2^ο**.

Μέρος 1° Μη εύφλεκτα και εύφλεκτα υλικά

Στο πρώτο μέρος κατά DIN, κατατάσσονται και διαχωρίζονται τα υλικά τα οποία είναι μη εύφλεκτα και εύφλεκτα.

Μη εύφλεκτα

Τα μη εύφλεκτα υλικά βρίσκονται στην τάξη οικοδομικών υλικών A.

Η κατηγορία αυτή περιέχει υλικά τα οποία δεν μπορούν να αναφλεγούν και δεν θεωρούνται πυροφορτίο.

Πυροφορτίο είναι το σύνολο των εύφλεκτων υλικών ενός οικοδομήματος σύμφωνα με την τιμή καύσης τους (Kh/m^2).

Η τάξη A χωρίζεται σε:

- **A1 τάξη:** στην τάξη αυτή ανήκουν τα υλικά τα οποία δε χρειάζονται καμία περαιτέρω απόδειξη ότι δεν αναφλέγονται, π.χ. άμμος, χαλίκι, μπετόν, ασφάλι, αφρώδη υλικά.
- **A2 τάξη:** στην τάξη αυτή βρίσκονται τα υλικά των οποίων τα συστατικά μέρη δεν είναι εύφλεκτα αλλά περιέχουν στη σύστασή τους μικρές ποσότητες εύφλεκτων ουσιών.
Κάποια από τα υλικά αυτά είναι: πολυστερόλη-μπετόν, πλάκες γυψοσανίδας με πυροπροστασία πάχους 12,5mm και άνω.
Εκτός από τις πλάκες πυροπροστασίας από γυψοσανίδα, για τα υλικά που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία χρειάζεται απόδειξη.

Τα υλικά της τάξης A, αν και δεν αποτελούν κίνδυνο στο να δημιουργήσουν πυρκαγιά δρουν παθητικά κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς με το να αλλάζει το σχήμα τους μέσω της θερμότητας, να μεγαλώνει ο όγκος τους και να ασκούν πίεση στα άλλα οικοδομικά στοιχεία.

Λόγω των χημικών αντιδράσεων που γίνονται κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς οι φυσικές ιδιότητες των υλικών αλλάζουν καθώς και δημιουργούνται νέα υλικά με διαφορετικές ιδιότητες.

Εύφλεκτα οικοδομικά υλικά

Οι παράγοντες που καθιστούν ένα οικοδομικό υλικό εύφλεκτο είναι οι εξής:

- Ο χρόνος όπου αναφλέγεται ένα οικοδομικό υλικό. Ο χρόνος δηλαδή που μεσολαβεί μέχρι το υλικό να αρχίσει να καίγεται.
- Το πόσο πολύ καίγεται το υλικό. Σε ποιο βαθμό καταστρέφεται λόγω της φωτιάς (στατική).
- Η εξέλιξη του καπνού στο υλικό, δηλαδή αν εμποδίζει στην κατάσβεση της φωτιάς.

Τα εύφλεκτα οικοδομικά υλικά κατατάσσονται στην τάξη B.

Η τάξη B διαχωρίζεται σε:

- **B1 τάξη:** εδώ ανήκουν τα υλικά που αναφλέγονται δύσκολα και έχουν την ιδιότητα να σταματούν να καίγονται μετά τον παραμερισμό της θερμικής πηγής. Κάποια τέτοια υλικά είναι οι πλάκες πυροπροστασίας γυψοσανίδας GFK πάχους μικρότερο από 12,5mm, μεταλλικά συνδεδεμένες πλάκες από ξυλόμαλλο (πλάκες ΗΣΛ), ξύλο επεξεργασμένο με πυροπροστατευτικά μέσα.
- **B2 τάξη:** είναι τα οικοδομικά υλικά που αναφλέγονται κανονικά. Τα υλικά αυτά αμφισβητούνται αν θα έπρεπε να θεωρούνται οικοδομικά υλικά όπως π.χ. τα ξύλινα υλικά.
- **B3 τάξη:** εδώ ανήκουν τα οικοδομικά υλικά που αναφλέγονται εύκολα. Τα οικοδομικά υλικά Β3 τάξης είναι το άχυρο (αχυρένια σκεπή), τα αφρώδη πλαστικά που χρησιμοποιούνται στη θερμομόνωση και ηχομόνωση, το χαρτί που είναι μονωτικό υλικό όπως επίσης και τα αποθηκευτικά υλικά όπως το άχυρο, το χόρτο και το βαμβάκι.

Μέρος 2^ο Τάξεις πυραντίστασης

Στο μέρος αυτό τα υλικά διαχωρίζονται σε πυροανασταλτικά και πυρίμαχα. Στην πρώτη κατηγορία η σήμανση για τα υλικά είναι F και ακολουθεί η ώρα σε λεπτά όπου αντιστέκονται στη φωτιά και εκπληρώνουν τον σκοπό τους ως οικοδομικά στοιχεία, π.χ. F30-60. Στη δεύτερη κατηγορία τα υλικά συμβολίζονται πάλι με το γράμμα F αλλά η διάρκεια τους αλλάζει και είναι F90-180.

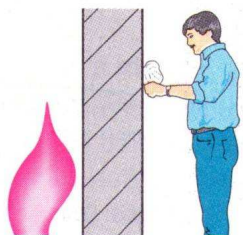
Τα οικοδομικά στοιχεία κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τη λειτουργία τους. Έτσι υπάρχει :

i) Η στατική φέρουσα λειτουργία

Τα οικοδομικά στοιχεία που επιβαρύνονται στατικά πρέπει στον καθορισμένο χρόνο να μην επιτρέπουν την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Δεν πρέπει υπό την ανάληψη φορτίου κατά τη διάρκεια αυτού του χρόνου και την επιβάρυνση της θερμοκρασίας να σπάσει. Στα ασφάλινα στηρίγματα η θερμοκρασία δεν πρέπει να ξεπεράσει την κρίσιμη θερμοκρασία η οποία είναι στους 500° C.

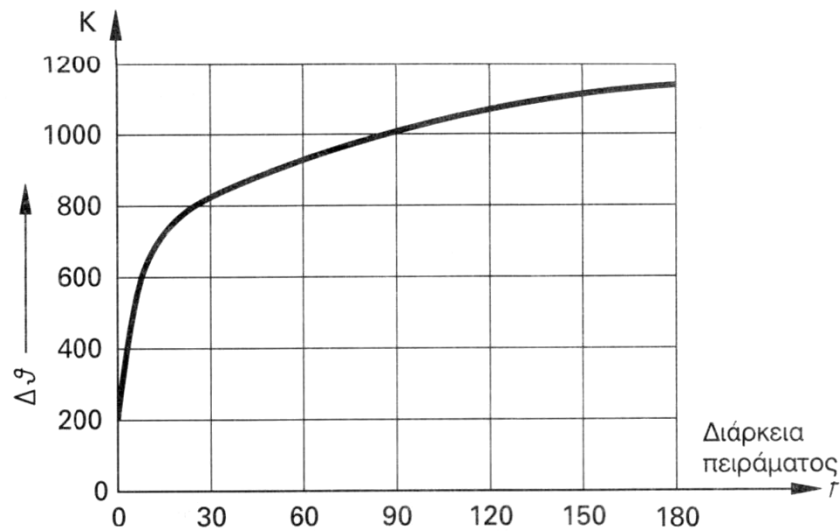
ii) Μη φέροντα που περικλείουν το χώρο

Σε αυτήν την κατηγορία τα στοιχεία δεν πρέπει να καταρρέουν από το ίδιο τους το φορτίο. Πρέπει να εμποδίζουν τη μετάδοση της πυρκαγιάς. Ως παράδειγμα χρησιμοποιείται μία τοιχοποιία. Από τη μία πλευρά της υπάρχει πυρκαγιά και στην αντίθετη πλευρά τοποθετείται στην επιφάνεια της τοιχοποιίας ένας επίδεσμος. Ο επίδεσμος δεν πρέπει να αναφλεγεί. Η θερμοκρασία του τοίχου κατά τη διάρκεια αυτού του χρόνου δεν πρέπει να ξεπεράσει σε κανένα σημείο τους 180° C, ενώ στη μέση του τοίχου δεν πρέπει η θερμοκρασία να ξεπεράσει τους 140° C.



Εικόνα 4.2 Έλεγχος πυροπροστασίας σε μη φέροντα οικοδομικά στοιχεία.

Για τον καθορισμό της διάρκειας πυραντίστασης, τα δοκιμαστικά υλικά τοποθετούνται σε ένα φλεγόμενο χώρο και υπόκεινται στις θερμοκρασίες όπως φαίνεται στο διάγραμμα παρακάτω.



Σχεδιάγραμμα 4.7 Πορεία της χρονικής καμπύλης θερμοκρασίας μιας μονάδας (ETK).

Στον κάθετο άξονα δε βρίσκεται η θερμοκρασία αλλά η διαφορά θερμοκρασίας μετά την πυρκαγιά και πριν.

θ = η θερμοκρασία χώρου πυρκαγιάς

θ_0 = η θερμοκρασία των δοκιμαστικών σωμάτων στην αρχή του πειράματος σε $^{\circ}\text{C}$

$\Delta\theta = \theta - \theta_0$ = αύξηση της θερμοκρασίας σε περίπτωση πυρκαγιάς

t = χρόνος επιβάρυνσης σε λεπτά.

Από το πρώτο μέρος του πρότυπου DIN για την τάξη των υλικών που τα καθιστά εύφλεκτα ή μη, δεν μπορεί να κατανοηθεί πλήρως ένα υλικό ως προς την πυραντίστασή του.

Παράδειγμα αποτελεί το ασάλι το οποίο αν και βρίσκεται στην τάξη A1, δεν ξεκινάει ποτέ μια πυρκαγιά και δεν αποτελεί πυροφορτίο, όταν τεθεί σε υψηλές θερμοκρασίες καταρρέει απροειδοποίητα σαν χαρτόνι.

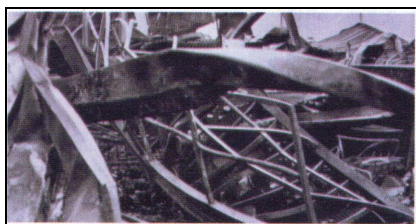
Η θερμοκρασία όπου συμβαίνει αυτό ονομάζεται κρίσιμη θερμοκρασία και είναι το όριο ρευστοποίησης του ασαλιού το οποίο πέφτει στην υπάρχουσα τάση μέσω της επίδρασης της θερμότητας.

Για το ασάλι η θερμοκρασία αυτή είναι 500°C και ξεπερνάει αυτή τη θερμοκρασία περίπου μετά από 6 λεπτά. Λόγω του ότι το ασάλι χάνει τη μοριακή του σύσταση και λόγω της μεγάλης θερμοαγωγιμότητας του ($\lambda=60\text{W/mK}$) δεν κατατάσσεται ούτε στην χαμηλότερη τάξη πυραντίστασης που είναι η F30.

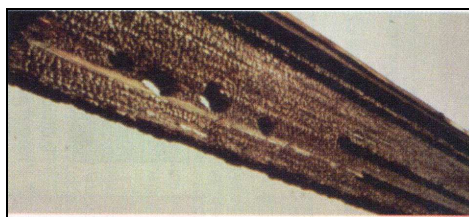
Το ασάλι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δομικό υλικό αν δεν έχει κάποιου είδους πυροπροστασία.

Η πυροπροστασία μπορεί να γίνει είτε με πυροπροστατευτικά χρώματα ή με μπετόν ή με επένδυση.

Αντιθέτως, το ξύλο το οποίο ανήκει στην κατηγορία B2 καίγεται με ταχύτητα 1mm/min και κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς, δεν προκαλείται αλλαγή στη μοριακή του σύσταση. Ανάλογα με τη διατομή του ξύλου αλλάζει και η τάξη πυραντίστασής του. Όσο πιο μεγάλη είναι η διατομή τόσο πιο πολύ είναι ο χρόνος πυραντίστασης.



Εικόνα 4.3α Ατσάλινη κατασκευή χωρίς πυροπροστασία μετά από πυρκαϊά



Εικόνα 4.3β Ξύλινο δοκάρι μετά από πυρκαϊά

Ακολουθεί το σχεδιάγραμμα των δύο μερών κατάταξης των υλικών σύμφωνα με το πρότυπο DIN.

Πυροσυμπεριφορά οικοδομικών υλικών Μέρος 1 DIN 4102

Πυροσυμπεριφορά οικοδομικών στοιχείων Μέρος 2 DIN 4102

Μη εύφλεκτα οικοδομικά υλικά τάξης A		Εύφλεκτα οικοδομικά υλικά τάξης B			Τάξεις πυραντίστασης F		
A1	A2	B1	B2	B3	Πυρανασταλτικό F30-60	πυρίμαχο F 90-180	
Μη εύφλεκτα οικοδομικά υλικά χωρίς ή με μικρή ποσότητα οργανικών συστατικών	Μη εύφλεκτα οικοδομικά υλικά, που περιέχουν εύφλεκτα, συχνά οργανικά συστατικά στοιχεία	Αναφλέγονται δύσκολα	Αναφλέγονται κανονικά	Αναφλέγονται εύκολα	Πυραντίσταση τάξη- διάρκεια 1.F 30 > 30min 2.F 60 > 60min 3.F 120 > 120min	Χρησιμοποιούμενο οικοδομικό υλικό στο οικοδομικό στοιχείο <u>Συστατικά μέρη</u> 1.B, 2.A, 3.A <u>Υπόλοιπα μέρη</u> 1. B, 2.B, 3.A	Συντομογραφία 1.F 30B 2. F 60 AB 3. F 120 A
Ασβέστης Μέταλλα Άμμος, χαλίκι	Πλάκες πυροπροστασίας από γυψοσανίδες d<=12,5mm	Πλάκες πυροπροστασίας από γυψοσανίδες d<=12,5mm	ξύλο και ξύλινα υλικά d>2mm	ξύλο και ξύλινα υλικά d>2mm-καπλαμάδες	<u>Συστατικά μέρη είναι:</u> φερόμενα τμήματα, αντιστηρικτικά τμήματα, κατασκευές πλαισίου σε τοίχους ελαφριάς κατασκευής και ταβάνια		
Μπετόν, κονίαμα Ελαφρόπετρα	Γυάλινες επιστρώσεις	Μεταλλικές συνδεδεμένες πλάκες	επιστρώματα PVC	ξύλομαλλο	<u>Υπόλοιπα μέρη είναι:</u> σοβάδες, σανιδώσεις, επενδύσεις <i>Κατά τη διάρκεια πυραντίστασης δεν πρέπει να υφίστανται απώλειες οι λειτουργίες των οικοδομικών στοιχείων.</i>		
Μερλίτης, γυαλί Κεραμίδι, γύψος Πετρόμαλλο	Μπετόν πολυστερόλης	πλάκες από ξυλόμαλλο πίνακες πλαστικών πλεξιγκλάς υλικά επεξεργασμένα με πυροπροστατευτικά μέσα	Καλύματα σκεπής	χαρτί άχυρο χόρτο			

Πίνακας 4.7 Κατάταξη υλικών ως προς την πυροπροστασία τους.

4.2.9.2. Πυροπροστασία μεμονωμένων οικοδομικών υλικών (ξύλο, μπετόν, αλουμίνιο, γυαλί, πλαστικά)

- Ξύλο:** όπως προαναφέρθηκε το ξύλο σε φυσιολογικές συνθήκες κατατάσσεται στην τάξη B2. Οι καπλαμάδες λόγω του πάχους τους 2mm αναφλέγονται εύκολα και βρίσκονται στην κατηγορία B3. Μπορεί το ξύλο να καταταχτεί και στην κατηγορία B1 μέσω χημικών επεξεργασιών. Ακόμα όμως και σε μία συγκεκριμένη τάξη πυραντίστασης υπάρχουν διαφορές ως προς την πυροσυμπεριφορά. Ως παράδειγμα δίνεται 1m³ ξύλο το οποίο χρησιμοποιείται ως σκεπή και σε κάποιο μπαλκόνι. Όταν αποτελεί τη σκεπή συνιστά μεγαλύτερο κίνδυνο πυρκαγιάς από ότι όταν βρίσκεται στο μπαλκόνι. Κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς, δημιουργείται πάνω στο ξύλο ένα στρώμα ξυλάνθρακα το οποίο έχει κακή θερμοαγωγιμότητα και δρα κατασταλτικά στην επέκταση της φωτιάς. Όταν καίγεται το ξύλο απελευθερώνονται στον αέρα μονοξειδίο του άνθρακα και διοξειδίο του άνθρακα, τα οποία είναι επικύνδυνα αέρια και απελευθερώνονται ακόμα και αν το ξύλο έχει υποστεί πυροπροστατευτική επεξεργασία.

Ακόμα και αν το ξύλο αυξάνει σημαντικά το πυροφορτίο και ανήκει στην τάξη B2, είναι ένα οικοδομικό υλικό το οποίο κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς δεν αλλάζει η μοριακή του σύσταση, έχει καλή θερμομόνωση και δεν καταρρέει ξαφνικά δίχως προειδοποίηση.

- **Μπετόν:** ως οικοδομικό υλικό κατατάσσεται στην κατηγορία A1. Ακόμα και αν στο εσωτερικό του περιέχει ατσάλι. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του μπετόν είναι $\lambda = 2,1 \text{ W/mK}$ σε αντίθεση με το ατσάλι που είναι $\lambda = 60 \text{ W/mK}$. Όταν παράγεται το οπλισμένο σκυρόδεμα που είναι ο συνδυασμός των δύο υλικών δεν πρέπει να παραβλέπονται και οι θερμοδιαστολές που είναι σχεδόν ίδιοι και για τα δύο υλικά. Το ατσάλι διαστέλλεται κατά $\alpha_T = 0,000012 \text{ m/m } ^\circ\text{C}$. Αυτό σημαίνει επιμήκυνση του ατσαλιού 6mm ανά μέτρο όταν η θερμοκρασία αυξάνει στους 500 $^\circ\text{C}$. Ανάλογα με το ποσοστό που καλύπτει το μπετόν σε ατσάλινες κατασκευές βρίσκεται και η τάξη πυραντίστασης του οικοδομικού στοιχείου. Όσο μικρότερη είναι η κάλυψη τόσο πιο μικρή είναι η τάξη πυραντίστασης του στοιχείου. Επίσης αν το ατσάλι ανήκει στη φέρουσα λειτουργία πρέπει να είναι ικανό να αντέχει και τη κάμψη του ταβανιού. Οι κατασκευές από σκυρόδεμα και οπλισμένο σκυρόδεμα δεν αποτελούν πυροφορτίο και δεν παράγουν τοξικά αέρια κατά την καύση τους.

- **Αλουμίνιο:** παρόλο που το αλουμίνιο κατατάσσεται στην τάξη A1 υπάρχει κίνδυνος πυρκαγιάς από αυτό. Η θερμοαγωγιμότητά του είναι τρεις φορές αυτή του ατσαλιού, $\lambda = 200 \text{ W/mK}$ και η θερμοδιαστολή του είναι διπλάσια από αυτής του ατσαλιού δηλαδή $\alpha_T = 0,000024 \text{ m/}^\circ\text{C}$. Το σημείο τήξης του είναι στους 660 $^\circ\text{C}$ γεγονός που το καθιστά επικίνδυνο καθώς μπορεί να στάζει το ρευστό μέταλλο και να μεταφέρεται έτσι η πυρκαγιά σε άλλα σημεία δυσκολεύοντας την κατάσβεση. Επειδή το μέταλλο αυτό δεν χρησιμοποιείται σε στατικές κατασκευές θεωρείται πυροπροστατευτικό. Συνήθως χρησιμοποιείται σε παράθυρα, πόρτες, κάγκελα και εσωτερικές κατασκευές.

- **Γυαλί:** το γυαλί θεωρείται μη εύφλεκτο υλικό και κατατάσσεται στην τάξη A1 λόγω της χημικής του σύστασης που είναι χαλαζίας SiO_2 , σόδα Na_2CO_3 και ασβέστης CaCO_3 .

Ως προς την πυροπροστασία όμως παρουσιάζει τα εξής μειονεκτήματα:

- είναι εύθραστο υλικό και σπάει γρήγορα.
- χρησιμοποιείται σε λεπτά στρώματα από 4mm-6mm.
- η θερμοδιαστολή του είναι $\alpha_T = 0,000009 \text{ m/mK}$ η οποία σε συνδυασμό με το πάχος του, επιτρέπει στο γυαλί να σπάσει όταν υπάρχουν και οι τάσεις στα πλαίσια των παραθύρων.
- είναι φωτοδιαπερατό. Για παράδειγμα όταν ο βαθμός θερμοδιαπερατότητάς του είναι 0,8 σημαίνει ότι το 80% της ενέργειας, κυρίως θερμικής ακτινοβολίας, που φτάνει στο τζάμι μπορεί να το διαπεράσει.

Υπάρχουν ειδικά πυροπροστατευτικά τζάμια τα οποία αποτελούνται από δύο κρύσταλλους (φέτες) και στον ενδιάμεσο χώρο βρίσκεται ένα διάφανο φύλλο. Σε περίπτωση πυρκαγιάς το διάφανο φύλλο γίνεται αφρός προκαλώντας ψύξη μεταξύ των κρυστάλλων και καθιστώντας το τζάμι λιγότερο διαπερατό ως προς την ακτινοβολία.

- **Πλαστικά:** το πλαστικό είναι ένα υλικό που έχει αρκετή μεγάλη εφαρμογή στον εξοπλισμό ενός κτιρίου ακόμα και στο οικοδόμημα. Τα παράθυρα, τα καλύμματα δαπέδου, οι επενδύσεις ταβανιών, αντικραδασμικά υλικά, ηχοθερμομονωτικά υλικά,

υλικά απορρόφησης ήχου, υδραγωγούς, αγωγούς αποχέτευσης, μονώσεις σωλήνων, κουρτίνες, συσκευές, έπιπλα και άλλα πολλά περιέχουν ή είναι συνθετικές ύλες. Το χλωρίδιο πολυβινιλίου(PVC), το πολυαιθυλένιο(PE) και η πολυουρεθάνη (PUR) είναι οι πιο διαδεδομένες συνθετικές ύλες στα οικοδομήματα. Το πλαστικό ανήκει στην τάξη Β2 ή Β3 καθώς έχουν χαμηλή θερμοκρασία τήξης. Σε περίπτωση πυρκαγιάς στάζουν κωλύοντας έτσι την κατάσβεση της.

Ορισμένα πλαστικά αναπτύσσουν τοξικά αέρια όταν φλέγονται. Το PVC όταν καίγεται παράγει τοξικά αέρια, τα οποία μαζί με το νερό κατάσβεσης μετατρέπονται σε υδροχλωρικό οξύ (HCl).

4.2.10. Συντελεστής ηχοαπορρόφησης α.

Το σύμβολο α αντιπροσωπεύει το συντελεστή ηχοαπορρόφησης των υλικών, όταν η πρόσπτωση του ήχου είναι τυχαία. Είναι το μέρος της ενέργειας, που προέρχεται από όλες τις κατευθύνσεις προσπίπτει πάνω στο υλικό και δεν επιστρέφει στον χώρο.

Το πεδίο τιμών του α είναι [0,1].

Όταν παίρνει τη μέγιστη τιμή, δηλαδή α=1, συμβολίζει την ολική ηχοαπορρόφηση, π.χ. ένα ανοιχτό παράθυρο.

Όταν παίρνει την ελάχιστη τιμή, δηλαδή α=0, συμβολίζει την ολική αντανάκλαση.

Ο μέσος συντελεστής ηχοαπορρόφησης, συμβολίζεται με \bar{a} , είναι η μέση τιμή όλων των συντελεστών ηχοαπορρόφησης, των υλικών ενός χώρου και εκφράζεται μαθηματικά ως :

$$\bar{a} = \frac{S_1 \cdot a_1 + S_2 \cdot a_2 + \dots + S_n \cdot a_n}{S_{ολικό}}, \quad (4.6)$$

όπου S-η επιφάνεια κάθε υλικού m²

άρα Sa- η συνολική ηχοαπορρόφηση του κάθε υλικού σε σχέση με την επιφάνειά του.

Όλα τα υλικά έχουν συντελεστή ηχοαπορρόφησης ο οποίος διαφέρει ανάλογα με τη συχνότητα. Το πιο σύνηθες είναι να περιγράφεται ένα υλικό ως προς το συντελεστή ηχοαπορροφητικότητας σε διαστήματα οκτάβας.

4.3. Χημική Σύσταση των Υλικών και διαδικασίες παραγωγής τους.

4.3.1. Ξύλο

Το ξύλο χρησιμοποιείται ως πρωτογενές υλικό και ως πρώτη ύλη για άλλες βιομηχανικές παραγωγές όπως το χαρτί, το ξυλόπνευμα, το σελοφάν, το ραιγιόν, μονωτικά υλικά και άλλα παράγωγα. Η χημική σύσταση του ξύλου είναι λιγνίνη και κυτταρίνη. Όταν ένα ξύλο περιέχει 15% υγρασία αποτελείται από 36% άνθρακα, 7% υδρογόνο, 56% περίπου οξυγόνο και μικρά ποσοστά αζώτου, θείου, καλίου, πυριτίου. Ανάλογα με το είδος του δέντρου χρησιμοποιείται το ξύλο στις αντίστοιχες κατασκευές.

Στον πίνακα που ακολουθεί βρίσκονται τα είδη του ξύλου η πυκνότητα τους και η χρήση τους. Το ξύλο αποτελείται από ίνες παράλληλες προς τον άξονα του δέντρου. Μεταξύ των ινών υπάρχουν διάκενα που περιέχουν αέρα όταν το ξύλο είναι ξερό. Η πυκνότητα εξαρτάται από τα διάκενα αυτά και όταν είναι ξερό, το ξύλο έχει

πυκνότητα μικρότερη της μονάδας ενώ όταν δεν υπάρχουν διάκενα η πυκνότητα φτάνει τα 1,5 gr/cm³.

Δέντρα	Σκληρότητα	Πυκνότητα	Οικοδομικά	Σιδηρόδρομος	Μεταλλεία	Ναυπηγεία	Έπιπλα
Καστανιά	πολύ σκληρό	0,75	+				+
Δρύς	πολύ σκληρό	0,9	+	+	+	+	+
Φτελιά	πολύ σκληρό	0,75	+			+	
Οξυά	σκληρό	0,75	+	+			+
Καρυδιά	σκληρό	0,75					+
Πιτς-παιν	μέτριο	0,75	+				
Πεύκο	μέτριο	0,6	+		+	+	
Έλατο	μέτριο	0,55	+				
Φλαμούρι	μέτριο	0,5					

Πίνακας 4.8 Είδη ξύλου και οι βιομηχανικές εφαρμογές του

Εκτός από την ακετέργαστη ή στρογγυλή ξυλεία και την πελεκητή, το ξύλο βρίσκεται στο εμπόριο σε τυποποιημένες διαστάσεις και ονομασία όπως φαίνεται στον πίνακα κάτω.

Ονομασία	Διαστάσεις σε cm
Παχοσανίδες ή μαδέρια	7*(19-22-25-28-30)
Διπλοσανίδες ή πεντάρια	5*(10-12-17-19)
Διπλοσανίδες ή τεσσάρια	4*(10-12-17-19)
Σανίδες ή τάβλες	2,5*(10-12-17-19)
Ημισανίδες ή μισοτάβλες	2*(10-12-17-19)
Καδρόνια	5*5 - 10*10
Μισοκάδρα	2,5*5 - 5*10

Πίνακας 4.9 Είδη ξύλου σε τυποποιημένες διαστάσεις.

Διαδικασία παραγωγής προϊόντων ξύλου

Καπλαμάδες: Αρχικά μέσω του ατμού ο κορμός θερμαίνεται και υγραίνεται και στη συνέχεια κόβεται σε φύλλα πάχους 0,25- 6 mm. κόβεται με δύο τρόπους φύλλο ελικοειδώς ή κατά παράλληλα επίπεδα

Αντικολλητικά φύλλα-κόντρα πλακέ: το κόντρα πλακέ δημιουργείται με την κάθετη κόλληση τριών έως επτά φύλλων ξύλου πάχους από 1-3mm. Επειδή τα νερά του κάθε φύλλου είναι κάθετα μεταξύ τους δεν παραμορφώνονται. Η κόλληση γίνεται στους 120 ° C με κόλλα καζείνης. Η κόλληση διαρκεί δέκα λεπτά και γίνεται με πίεση 5at.

Ινόπλακες : μέσα στο ξύλο συμπιέζεται ατμός μέχρι να εκτονωθεί. Όταν εκτονώνεται το ξύλο χωρίζεται σε ίνες. Με συμπίεση και κόλλα, ξανακολλούν μεταξύ τους σε πορώδη φύλλα με πυκνότητα 0,2 gr/cm³. Τα φύλλα αυτά χρησιμοποιούνται ως ηχομονωτικά σε αίθουσες. Με μεγαλύτερη πίεση αυξάνεται η πυκνότητα μέχρι 1,3 gr/cm³, αυξάνεται και η αντοχή και κατασκευάζονται λαβές εργαλείω και χαρντ-μπορτ χαρτόνια.

Μοριοσανίδες : τα απορρίματα κατεργασίας ξύλου, το άχυρο, τα καλάμια και λεπτά κλαδιά τεμαχίζονται σε πάχος περίπου 1mm και στη συνέχεια συμπιέζονται και συγκολλούνται με συνθετική ρητίνη. Ανάλογα με το ύψος της πίεσης της συγκόλλησης παράγονται προϊόντα πορώδη και μονωτικά με πυκνότητα 0.4 αλλά και σκληρά με πυκνότητα 1.1 που αντικαθιστούν το ξύλο.

Ιδιότητες του ξύλου

Το ξύλο ως υλικό είναι ανισότροπο και ανομοιογενές. Συνεπώς έχει διαφορετικές μηχανικές αντοχές στις διάφορες κατευθύνσεις του.

Η κύρια ιδιότητα του ξύλου είναι η μηχανική αντοχή η οποία εξαρτάται από το είδος του δέντρου, τη διεύθυνση δύναμης καταπόνησης σε σχέση με τα νερά του και τα ελαττώματα που μπορεί να έχει το ξύλο.

Οι τιμές της αντοχής του εφελκυσμού, της θλίψης, διάτμηση και θλίψη δίνονται κάθετα στα νερά του.

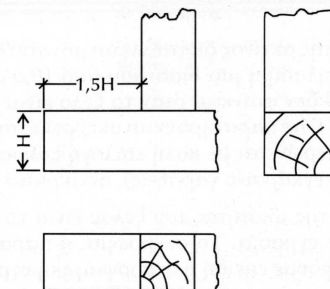
Η διεύθυνση των ινών καθορίζει επιπλέον και την αντοχή του υλικού στην τριβή και τη σκληρότητά του.

Στον πίνακα 4.10 δίνονται οι επιτρεπόμενες τάσεις σε Kp/cm².

Κατά τη θλίψη η καταπόνηση γίνεται σε απόσταση 1,5 H από το άκρο.

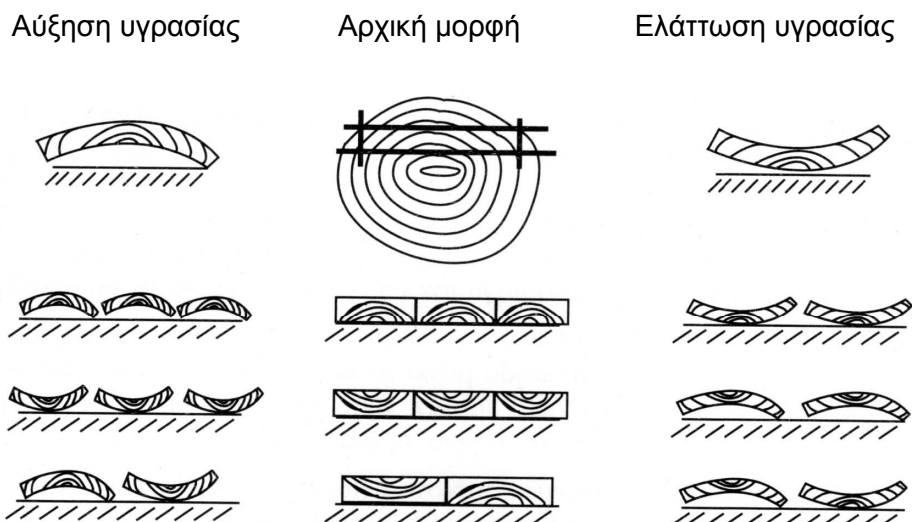
Κατηγορία	III		II		I	
	Πεύκο	Δρυς	Πεύκο	Δρυς	Πεύκο	Δρυς
	0	0	85	100	105	110
	60	70	85	100	110	120
	9	10	9	10	9	12
	20	30	20	30	20	30

Πίνακας 4.10 Επιτρεπόμενες τάσεις της δρυάς και του πεύκου.



Εικόνα 4.4 Καταπόνηση του ξύλου κατά τη θλίψη.

Μία ακόμα σημαντική ιδιότητα του ξύλου είναι το σκέβρωμα (πετσικάρισμα) το οποίο εξαρτάται πάλι από τις ίνες και το είδος του και συμβαίνει όταν χάνει ή αποκτά υγρασία. Το σκέβρωμα δεν είναι εύκολο να προβλεφτεί επειδή η ατμοσφαιρική υγρασία του κάθε χώρου είναι διαφορετική. Για αυτό το λόγο τα ξύλα ανάμεσα στους καπλαμάδες δεν είναι μονοκόμματα αλλά σε πήχες που κολλούν μεταξύ τους αντίθετα για να μη σκεβρώσει όλο το έπιπλο ή η πόρτα.



Εικόνα 4.5 Παραμορφώσεις ξύλου από σκέβρωμα.

4.3.2. Τσιμέντο-μπετόν

Ο όρος τσιμέντο χαρακτηρίζει μια μεγάλη κατηγορία κονιών με υδραυλικές ιδιότητες. Ο όρος κονίαμα χαρακτηρίζει το μείγμα αδρανών υλικών (όπως άμμος, χαλίκια τζίβα κ.τ.λ.) με κονία που όταν το μείγμα πήξει η κονία θα τα συνδέσει. Η παρουσία της κονίας συχνά είναι απαραίτητη όχι λόγω της αντοχής αλλά της σύνδεσης. Τα κονιάματα ανάλογα με την κονία χωρίζονται σε αερικά και υδραυλικά καθώς και σε γυψοκονιάματα, ασβεστοκονιάματα, θηροκονιάματα, τσιμεντοκονιάματα και συνδυασμούς αυτών.

Ανάλογα με το επιφανειακό βάρος, χωρίζονται σε ελαφριά και βαριά (το επιφανειακό βάρος πρέπει να είναι μεγαλύτερο του 1500Kg/m^3).

Υδραυλική ιδιότητα, είναι η ικανότητα του υλικού το οποίο με τη διαδικασία του λεπτόκοκκου διαμερισμού μετά από την ανάμειξη με το νερό πήζει και σκληρώνει στον αέρα ή μέσα στο νερό.

Τα τσιμέντα αποτελούνται κυρίως από πυριτικά και αργιλικά άλατα ασβεστίου. Κατατάσσονται σε φυσικά τσιμέντα, τσιμέντα Portland και ακριλικά τσιμέντα.

Στην κατηγορία των υδραυλικών κονιαμάτων κατατάσσονται τα :

- **θηροκονίαμα**,
- **τσιμεντοκονίαμα**, όπου είναι ένας πολτός από λευκό τσιμέντο και μαρμαρόσκονη και χρησιμοποιείται για τελικό επίχρισμα εξωτερικών κυρίως σοβάδων.
- **αφρώδη τσιμεντοκονιάματα**, τα οποία χωρίζονται στα φυσικά ελαφρά και τεχνητά αφρώδη κονιάματα. Στα φυσικά αφρώδη βρίσκονται το κισηροκονίασμα ή κισηρομπετόν. Χρησιμοποιούνται ως μονωτικά υλικά πυκνότητας $500-1500\text{Kg/m}^3$ και έχουν ανάλογη μηχανική αντοχή $20-100\text{ Kg/cm}^2$. Για την ηχομόνωση δαπέδων κτιρίων χρησιμοποιείται μίγμα ελαφρόπετρας της Θήρας σε κόκκους μέχρι 1cm με τσιμέντο και πάνω από αυτό στρώνονται πλάκες. Με το ίδιο μίγμα σχηματίζονται και τα ελαφρά τσιμεντότουβλα.

Το μειονέκτημα αυτού του υλικού είναι ότι δεν πρέπει να έρχεται σε επαφή με χαλύβδινο οπλισμό ή χάλκινες σωληνώσεις όπως αυτές του καλοριφέρ λόγω του διοξειδίου του πυριτίου το οποίο είναι διαβρωτικό.

- **περλιτομπετόν** , το περλιτομπετόν είναι και αυτό αφρώδες υλικό και χρησιμοποιείται όπου δεν υπάρχει κίνδυνος να βραχεί. Ο περλίτης είναι ένυδρο πυριτικό πέτρωμα το οποίο όταν πυρώνεται απότομα μέχρι 1000 °C, διογκώνεται όπως το καλαμπόκι που δίνει το ποπ-κορν. Το προϊόν αυτό έχει ειδικό βάρος 1400 και γίνεται κοκκώδες υλικό με επιφανειακή πυκνότητα 130kg/m³ .

Το κονίαμα που δημιουργείται από την ανάμειξη του περλίτη με το τσιμέντο έχει επιφανειακή πυκνότητα 1500Kg/m³ και αντοχή μέχρι 200Kg/cm².

- **τεχνητά αφρομπετόν** όπως το αεριομπετόν και αφρομπετόν και το σκυρόδεμα(μπετόν).

-**σκυρόδεμα** , το μπετόν σαν ψαθυρό υλικό χρησιμοποιείται στη δομική βιομηχανία για τις τάσεις θλίψης. Για τις τάσεις έλξεις χρησιμοποιείται ο χαλύβδινος οπλισμός του σιδηροπαγή σκυροδέματος (μπετόν αρμέ). Το μπετόν χωρίς οπλισμό λέγεται γκρο μπετόν και στρώνεται πάνω στο έδαφος για να αποτελέσει το δάπεδο ενός κτιρίου και δέχεται πιέσεις μόνο από τα κατακόρυφα φορτία. Επειδή το μπετόν μπορεί να φτάσει μέχρι τη μισή αντοχή των χαλίκιων που περιέχει συμπερένεται ότι η αντοχή του εξαρτάται από τον τρόπο διάστρωσης των χαλίκιων στο μπετόν. Για την παρασκευή σκυροδέματος με μεγάλη αντοχή πρέπει να δημιουργηθεί αμμοχάλικο κατάλληλης σύστασης με ανάμειξη άμμου και χαλίκιων και νερό σε συγκεκριμένη αναλογία.

Το πόσο σταθερό είναι το μπετόν δίνεται από την αναλογία με την οποία έχει δημιουργηθεί. Τόσο τα αδρανή όσο και το τσιμεντοκονίαμα έχουν πόρους άρα όλη η κατασκευή (μπετόν) είναι πορώδης. Το μπετόν δεν καταστρέφεται μόνο επιφανειακά αλλά όποιο συστατικό διαλύεται στο νερό και το προσβάλλει, το προσβάλλει κατά μάζα. Εδώ φαίνεται και η αναγκαιότητα της σωστής αναλογίας του νερού καθώς η περίσσεια αναλογία νερού δημιουργεί πόρους όταν εξατμίζεται.

Η διαπερατότητα του μπετόν μετριέται με την ποσότητα του νερού που περνάει από το μπετόν όταν πιέζεται με σταθερή πίεση, συνήθως 24 ώρες και αυξάνει όσο περισσότερο νερό έχει χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του.

Το πορώδες του υλικού που είναι το ποσοστό φυσαλλίδων αέρα που είναι μέσα στον όγκο του μπετόν, δεν μπορεί να μετρηθεί με την αύξηση του βάρους του μπετόν όταν αυτό διαβρεχτεί αλλά σχετίζεται με τη διαπερατότητα του μπετόν από το νερό.

-**τσιμεντοσανίδες**, είναι ένα στέρεο υλικό εξωτερικής επικάλυψης και η βάση της αποτελείται από τσιμέντο και από άλλα πρόσμικτα αδρανή. Είναι ενισχυμένη με υαλόπλεγμα εξωτερικά και διπλά ενισχυμένες ακμές με ημικυκλική διαμόρφωση. Παρουσιάζουν μεγάλες αντοχές τους σε ακραίες κλιματολογικές συνθήκες (βροχή, ήλιος, χιόνι) και η ευκολία στην κοπή και την τοποθέτησή τους τις καθιστούν ιδανικές για επενδύσεις τοίχων (θερμομόνωση – ηχομόνωση με πετροβάμβακα) τζακιών, γκαράζ.

Ως υλικό χρησιμοποιείται στις κατασκευές ξηράς δόμησης. Η τσιμεντοσανίδα ωστόσο δεν έχει καμία σχέση με τη γυψοσανίδα. Σε εξωτερικές επιφάνειες χρησιμοποιείται μόνο η τσιμεντοσανίδα.

4.3.3. Αλουμίνιο

Το αλουμίνιο εμπορικά κατατάσσεται στα ελαφρά μέταλλα. Διαφέρει από τα βαριά μέταλλα διότι παρουσιάζει μεγαλύτερη συγγένεια με το οξυγόνο και τα αμέταλλα στοιχεία. Το αλουμίνιο απαιτεί πλήρη διαχωρισμό από τις προσμίξεις στα ορυκτά του και το πρώτο βήμα στην εξαγωγή αλουμινίου είναι η παραγωγή καθαρού οξειδίου αυτού. Λαμβάνεται με ηλεκτρόλυση του οξειδίου του αλουμινίου και για να γίνει αυτό απαιτούνται μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας.

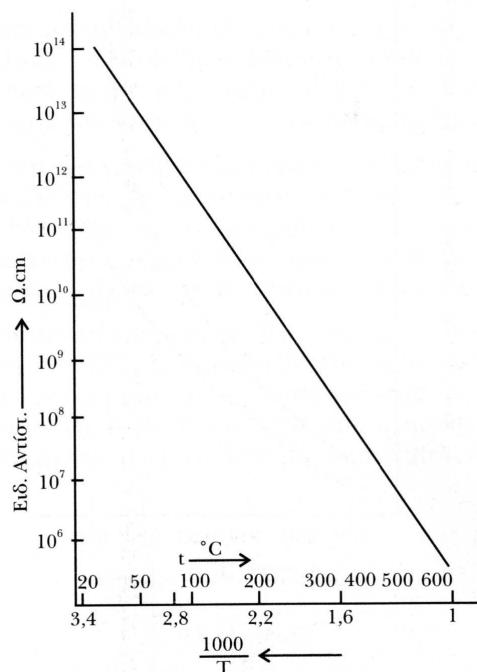
Η κύρια φυσική ιδιότητα του αλουμινίου είναι το μικρό του βάρος το οποίο είναι περίπου το ένα τρίτο του σιδήρου, του χαλκού και άλλων αντίστοιχων κραμάτων. Παρουσιάζει σημαντική αντίσταση στη διάβρωση από τον ατμοσφαιρικό αέρα και άλλες διαβρωτικές ουσίες.

Στην επιφάνειά του σχηματίζεται μια λεπτή και διαφανής μεμβράνη η οποία προστατεύει το εσωτερικό του μετάλλου και προλαμβάνει την παραπέρα οξείδωση. Είναι ένα υλικό αποτελεσματικής ανάκλασης του φωτός. Το αλουμίνιο είναι δυνατόν να μορφοποιηθεί βιομηχανικά με όλες τις γνωστές μεθόδους.

Το καθαρό αλουμίνιο που βρίσκεται στο εμπόριο παρουσιάζει τάση εφελκυσμού περίπου 700 Kg/cm² αλλά η τάση αυτή είναι δυνατόν να διπλασιαστεί με ψυξηλασία. Τα κράματα του αλουμινίου, τα οποία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες τα χυτευτά και τα μαλακτά, με κατάλληλη επεξεργασία έχουν αντοχή στον εφελκυσμό μεγαλύτερη από 4000 kg/cm².

4.3.4. Γυαλί (ιδιότητες, υαλόμαζα, υαλότουβλα, πολυκαρβονικά φύλλα)

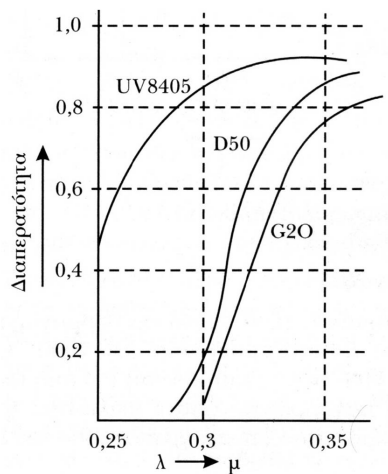
Ως υλικό το γυαλί θεωρείται υγρό με μεγάλο ιξώδες. Δεν παρουσιάζει σημείο τήξης αλλά σημείο υάλου, δηλαδή μαλακώνει σε μία περιοχή θερμοκρασιών. Με τη αύξηση της θερμοκρασίας ελαττώνεται συνέχεια το ιξώδες του όπως γίνεται στα υγρά. Αν και έχει την ιδιότητα η ηλεκτρική του αντίσταση να είναι μεγάλη, επειδή είναι τήγμα ηλεκτρολυτών με την αύξηση της θερμοκρασίας ελαττώνεται το ιξώδες του τήγματος σύμφωνα με το παρακάτω σχεδιάγραμμα.



Σχεδιάγραμμα 4.8 Διάγραμμα γυαλιού, σχέση θερμοκρασίας- ιξώδες του υλικού.

Ιδιότητες του γυαλιού:

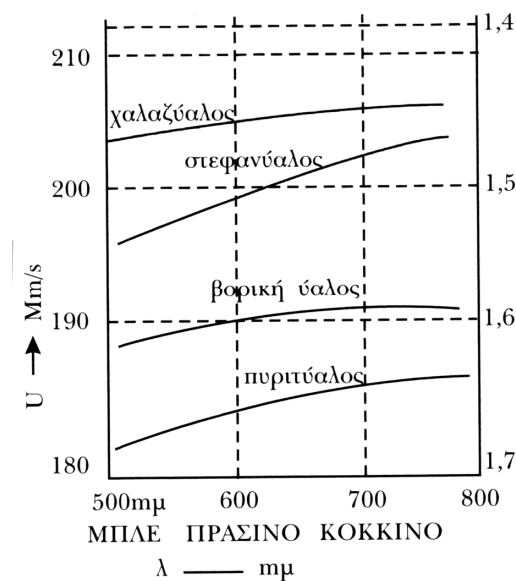
- **διαφάνεια.** Η οπτική διαφάνεια του γυαλιού είναι μεγάλη. Το ορατό φως περνά από το κοινό τζάμι κατά 93-95%. Η διαφάνειά του εξαρτάται από το μήκος κύματος του φωτός και από τη σύνθεση του υλικού. Στο σχήμα παρακάτω δίνεται η διαπερατότητα σε κάποια είδη γυαλιού.



Σχεδιάγραμμα 4.9 Διαπερατότητα κάποιων ειδών γυαλιού

Στο διάγραμμα 4.10 δίνεται η συνάρτηση του μήκους κύματος της σύνθεσης του γυαλιού και του δείκτη διάθλασης.

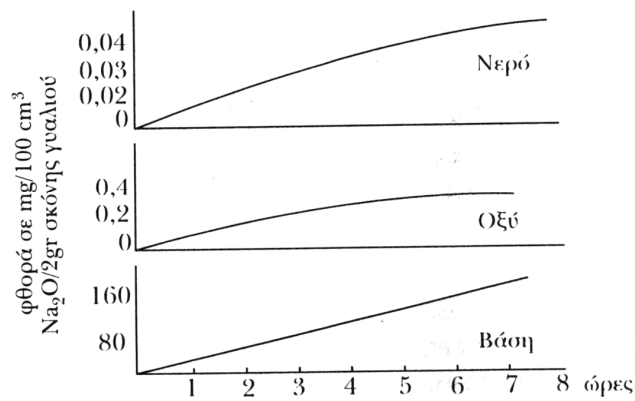
Συχνά με την πάροδο του χρόνου μέρος του γυαλιού στερεοποιείται και με τις τάσεις που δημιουργούνται στη μάζα του ελαττώνεται η διαφάνειά του. Για το λόγο αυτό και ανάλογα με τη χρήση που προορίζεται, το γυαλί κρυσταλλώνεται από την αρχή.



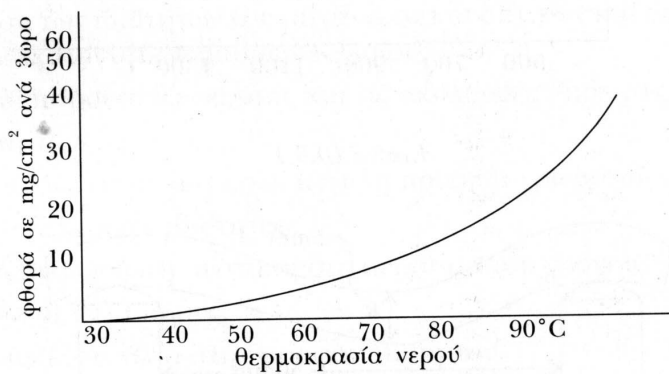
Σχεδιάγραμμα 4.10 Σχέση μήκους κύματος της σύνθεσης του γυαλιού και ο δείκτης διάθλασης.

-λεία επιφάνεια.

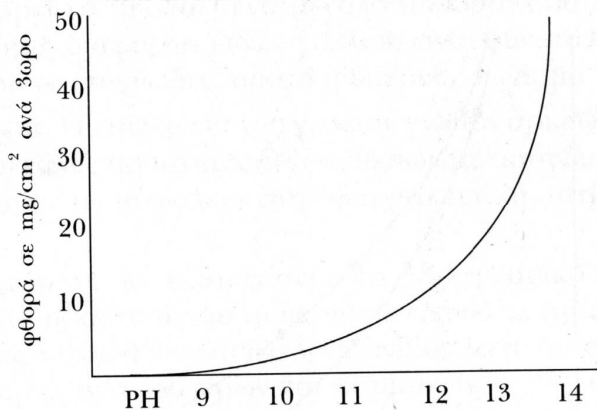
-χημική αδράνεια. Με εξαίρεση το υδροχλωρικό οξύ το γυαλί δεν προσβάλλεται πρακτικά από τα περισσότερα άλλα χημικά αντιδραστήρια με αποτέλεσμα να αποτελεί ιδανικό υλικό στα χημικά εργαστήρια και στη βιομηχανία τροφίμων και φαρμάκων. Η χημική του αδράνεια είναι μεγάλη παρουσιάζοντας κάποια ευπάθεια σε βάσεις, οξέα και νερό ανάλογα με τη θερμοκρασία και τη σύστασή του.



Σχεδιάγραμμα 4.11α Διάγραμμα φθοράς σε mg/100 cm³ Na₂O/2gr σκόνης γυαλιού σε 8 ώρες.



Σχεδιάγραμμα 4.11β Διάγραμμα φθοράς γυαλιού ανά 300 σε σχέση με τη θερμοκρασία νερού.



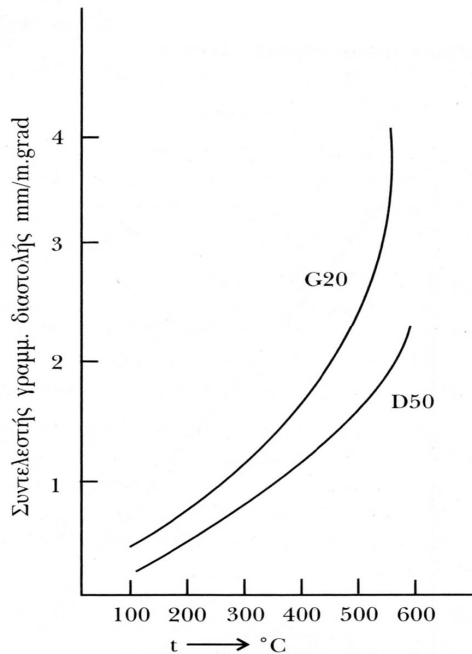
Σχεδιάγραμμα 4.11γ Διάγραμμα φθοράς γυαλιού ανά 300 σε σχέση με το pH.

-οπτικές ιδιότητες.

-διατήρηση των μηχανικών και οπτικών ιδιοτήτων του σε θερμοκρασίες (μερικών εκατοντάδων βαθμών κελσίου). Η σταθερότητα στον χρόνο το καθιστά μόνιμο και μακρόβιο μονωτικό υλικό. Δεν κονιοποιείται όπως τα άλλα ανόργανα υλικά ούτε προσβάλλεται από μικροοργανισμούς όπως τα οργανικά μονωτικά.

-σκληρότητα. Η σκληρότητα του γυαλιού είναι μεγάλη η οποία οφείλεται στη διατήρηση της στιλπνής του επιφάνειας. Μεγάλη περιεκτικότητα σε ασβέστιο και νάτριο ελαττώνει τη σκληρότητά του ενώ αντίθετα το πυρίτιο και το αργίλιο αυξάνουν τη σκληρότητά του μέχρι 7,5 βαθμούς της κλίμακας Mohs.

- ο **συντελεστής θερμικής διαστολής** του γυαλιού είναι μικρός αλλά επειδή είναι δυσθερμάγωγο και εύθραυστο υλικό κάθε απότομη ψύξη ή θέρμανση προκαλεί τάσεις ικανές να το καταστρέψουν. Ο συντελεστής αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι το σημείο που αρχίζει να μαλακώνει (σημείο υάλου). Από αυτό το σημείο και πάνω ο συντελεστής αυξάνει όπως φαίνεται στο σχήμα 4.12.

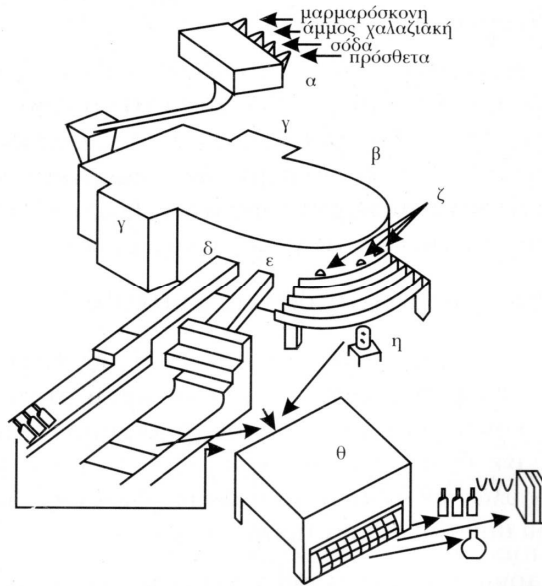


Σχεδιάγραμμα 4.12 Διάγραμμα συντελεστή διαστολής σε σχέση με τη θερμοκρασία.

Ο συντελεστής γραμμικής διαστολής για τον χαλαζία είναι πρακτικά μηδέν, για το γυαλί Pyrex είναι $4 \cdot 10^{-6}$, για το κοινό γυαλί είναι 10^{-5} όταν για το χάλυβα είναι $1,1 \cdot 10^{-5}$ ανα βαθμό.

- **δεν παρουσιάζει πόρους.**
- **διατηρεί αναλλοίωτη τη σύστασή του** με το πέρασμα του χρόνου.
- **έχει ευκολία** στη μορφοποίησή του.
- **το ειδικό βάρος** του γυαλιού από $2,23-3,02 \text{ gr/cm}^3$. Κάποιοι τύποι έχουν παραπάνω ειδικό βάρος.
- **η αντοχή του γυαλιού στη θλίψη** είναι μεγάλη αλλά όχι αρκετά μεγάλη σε σχέση με τα μέταλλα. Έχει μετρηθεί τάση 70.000 kg/cm^2 σε λεπτές ίνες σε εφελκυσμό. Αυτό δείχνει ότι το γυαλί σπάει επειδή στη μάζα του έχει μικροσκοπικές ρωγμές που η πιθανότητα να σχηματιστούν αυξάνει με τις διαστάσεις του δείγματος. Η συνήθης αντοχή σε θλίψη του είναι $4-5000 \text{ kg/cm}^2$ και $500-1000 \text{ kg/cm}^2$ στις κατασκευές ως όριο ασφαλείας λαμβάνεται το 70 kg/cm^2 για το κοινό γυαλί και $150-300 \text{ kg/cm}^2$ για το γυαλί που έχει βελτιωθεί με θερμική κατεργασία.

Παρασκευή υαλόμαζας.



- α: τροφοδοσία- ανάμειξη
- β: Κλίβανος
- γ: Καυστήρες αερίου
- δ, ε, ζ: Έξοδοι
- η: Καλούπι για φουσητά κομμάτια
- θ: Θάλαμος βραδείας απόψυξης

Εικόνα 4.6 Διαδικασία παραγωγής υαλόμαζας

Γενικά το γυαλί παρασκευάζεται με τη θέρμανση πυριτικής άμμου και μεταλλικών οξειδίων. Στη θερμοκρασία των 1500°C δημιουργείται ένα παχύρευστο υλικό. Μετά την απομάκρυνση του από το φούρνο τήξης γίνεται πιο παχύρευστο και ακολουθεί η μορφοποίηση που απαιτεί μερικά δευτερόλεπτα και έπειτα γίνεται σκληρό που δεν αλλάζει σχήμα.

Τύποι γυαλιών:

- γυαλί ασβεστίου – νατρίου
- μολύβδου
- βοτιοπυριτικό
- πυριτικό 96%
- 99,8% σε SiO_2 .
- αδιαφανή γυαλιά
- υαλονήματα
- υαλόμαλλο(υαλοβάμβακας)
- γυαλί θερμομέτρων
- μη πυριτούχα γυαλιά
- χρωματιστό γυαλί.

Ως δομικό υλικό το γυαλί βρίσκεται με τη μορφή υαλότουβλων, υαλόπλακες και πολυκαρβονικά φύλλα.

Υαλότουβλα



Εικόνα 4.7 Υαλότουβλα.

Τα υαλότουβλα είναι δομικά στοιχεία που αποτελούνται από γυαλί.

Κατασκευάζονται με έγχυση ρευστού γυαλιού σε ειδικά καλούπια. Στη συνέχεια, δύο όμοια κομμάτια συγκολλούνται μεταξύ τους και στο ενδιάμεσό τους παραμένει κενό αέρα σε χαμηλή πίεση. Ο αέρας αυτός δίνει στο στοιχείο τα ιδιαίτερα θερμοηχομονωτικά του χαρακτηριστικά.

Υπάρχουν αρκετά είδη υαλότουβλων ανάλογα και από τη χώρα προέλευσής τους. Το γεγονός ότι παράγεται και σε πολλά χρώματα αυξάνει τις πωλήσεις του στην αγορά. Σε σχέση π.χ. με τον διπλό υαλοπίνακα (όταν χρησιμοποιείται για φωτισμό) έχει παρόμοια διαφάνεια, αλλά προσφέρει αρκετά μεγαλύτερη θερμομόνωση και ηχομόνωση, καθώς και μηχανικές αντοχές. Οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες διαστάσεις τους είναι:

- 19 x 19 x 8 cm
- 24 x 24 x 8 cm
- 19 x 9 x 8 cm
- 24 x 11.5 x 8 cm

Τα υαλότουβλα τοποθετούνται όπως κτίζονται τα τούβλα, χρησιμοποιώντας πλαστικούς οδηγούς για τη διατήρηση σταθερού πλάτους αρμού (1cm) μεταξύ τους. Το κονίαμα για το κτίσιμο μπορεί να παρασκευαστεί επιτόπου αλλά συνιστάται το έτοιμο ειδικό κονίαμα. Συνιστάται επίσης το κονίαμα να οπλίζεται με σιδερόβερρες διαμέτρου 8mm. Το φινιρίσμα στην αρμολόγηση, μπορεί να γίνει με ακρυλικούς στόκους πλακιδίων.

Υαλόπλακες :

Οι υαλόπλακες είναι ειδικά μονά υαλότουβλα, που χρησιμοποιούνται για οριζόντια τοποθέτηση σε δάπεδα ελαφριάς κυκλοφορίας, εφόσον υπάρχει η ανάγκη φωτισμού στον κάτω από το δάπεδο χώρο. Οι υαλόπλακες τοποθετούνται σε προκατασκευασμένες σχάρες σκυροδέματος ή σιδηροδοκών, με διαστάσεις ανοιγμάτων ανάλογες με αυτές των πλακών, και πάχη ανάλογα με τα φορτία που θα φέρουν.

Βρίσκουν εφαρμογή σε:

- Πεζοδρόμια για φωτισμό υπόγειων χώρων.
- Υπόγεια parking.
- Δάπεδα εσωτερικών χώρων για τη μεταφορά του φωτός από την οροφή προς τους χαμηλότερους ορόφους.

Πολυκαρβονικά φύλλα:



Εικόνα 4.8 Πολυκαρβονικά φύλλα

Τα πολυκαρβονικά φύλλα συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα του γυαλιού (φωτοδιαπερατότητα) και του πλαστικού (μικρό ίδιο βάρος, ευκαμψία, ευκολία στην εφαρμογή) και χρησιμοποιούνται ως ελαφρά δομικά στοιχεία.

Τα πολυκαρβονικά είναι από τα πιο προηγμένα είδη πολυμερών πλαστικών, με ειδική προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία και τις καιρικές συνθήκες, καθώς και με μεγάλες μηχανικές αντοχές. Παρέχονται στο εμπόριο σε διάφορες διαστάσεις και χρώματα και σε δύο τύπους κυψελωτά και συμπαγή.

Έχουν αντοχή έως και 200 φορές μεγαλύτερη από το γυαλί, περίπου το μισό του βάρος, έχουν καλύτερη θερμική αγωγιμότητα ($\lambda=0.20\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$, ενώ το απλό γυαλί 4mm έχει $6,4\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ και τα διπλά τζάμια $3\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$), μπορούν να καμπυλωθούν και έχουν μεγάλη αντοχή σε διάφορες χημικές ουσίες.

Η ειδική προστασία τους από την υπέρυθη ακτινοβολία, η οποία επιτυγχάνεται κατά την παραγωγή τους με τη μέθοδο της συνεξώθησης, καθιστά τα πολυκαρβονικά φύλλα ως την καταλληλότερη λύση για όλες τις κατασκευές σε εξωτερικούς και εκτεθειμένους στις καιρικές συνθήκες χώρους όπως στάσεις οχημάτων, αίθρια, πέργκολες, πυραμίδες και θόλους φωτισμού, ηχοπετάσματα, φωταγωγούς, θερμοκήπια και ο σκελετός τους μπορεί να είναι ξύλινος ή μεταλικός.

4.3.5. Πλαστικά

Τα πλαστικά ονομάζονται έτσι επειδή σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες μαλακώνουν και με μικρές τάσεις παθαίνουν μόνιμες παραμορφώσεις (πλαστικές). Ονομάζονται και πολυμερή επειδή αποτελούνται από μεγαλομόρια που είναι συνήθως προϊόντα πολυμερισμού. Μερικά είναι προϊόντα συμπύκνωσης.

Τα πλαστικά ανάλογα με τη συμπεριφορά τους στη θέρμανση διακρίνονται σε δύο κατηγορίες.

Τα θερμοπλαστικά, τα οποία μαλακώνουν με τη θέρμανση και τα θερμοσκληρόμενα. Οι ιδιότητες των πλαστικών καθορίζουν τη χρήση αυτών και εξαρτώνται από τη χημική σύσταση του πλαστικού.

Ανάλογα με την πρώτη ύλη χωρίζονται σε:

- i) *συνθετικά* (η ύλη έχει μικρό μοριακό βάρος) όπως αιθυλένιο, βινυλοχλωρίδιο, αμινοξέα, ακρυλονιτρίλιο, φαινόλες, ανιλίνη και άλλα και
- ii) *ημισυνθετικά ή τεχνητά* (η πρώτη ύλη έχει μεγάλο μοριακό βάρος) όπως η κυτταρίνη και τα λευκώματα.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα κυριότερα πλαστικά και τα φυσικά τους χαρακτηριστικά.

Πλαστικά/ Ιδιότητες	Πυκνότητα	Αντοχή	Θερμ. Διαστ.	Θερμ.αγωγιμότητα	Ειδική θερμότητα	Αντοχή, 2=μεγάλη 1=μικρή 0= πολύ μικρή				
						Οξέα	Βάσεις	Αλκοόλη	Βενζίνη	Λάδια
	gr/cm ³	kp/mm ²	10-6/ °C	kcal/h.°C	Cal/gr °C					
Φαινολο-πλαστικά	1,3	4-6	30-80	0,1-0,2	0,2-0,3	2	0	0	2	2
Αμινοπλαστικά	1,4	5-7	20-50	0,1-0,3	0,2-0,3	0	2	2	2	2
Πολυαιθυλένιο σκληρό"	0,92	1-1,5	150	0,3	0,5	2	2	2	0	1
Ακρυλικά (Plexiglass)	1,2	8	70	0,16	0,3	1	1	1	2	2
PVC	1,4	5-6	40-60	0,2	0,2-0,3	2	2	2	2	2
NYLON	1,15	8-9	100	0,2	0,4-0,5	0	0	2	2	2
TERYLEN	1,3					1	2	2	2	2
Πολυουρεθάνη	1,2	4	100-200	0,3	0,5	1	1	1	1	1
Πολυστυρένιο	1,05	6	100	0,25	0,3	2	2	2	1	1
Νεοπρένιο	1,25	2				2	1	1	1	2
RAYON	1,4	4	60-80	0,2	0,3-0,4	0	1	1	2	2
Οξεική κυτταρίνη	1,3	5-9	60-80	0,2	0,3-0,4	0	0	0	2	2
Νιτρική κυτταρίνη	1,4	6-7	100	0,2	0,3-0,4	0	0	0	2	2
Καζεϊνέριο	1,3					1	0	2	2	2
Σογιέριο	1,3					1	0	2	2	2

Πίνακας 4.11 Ιδιότητες πλαστικών.

Από τον πίνακα προκύπτει ότι:

1. Η πυκνότητα των αμιγών πλαστικών δεν υπερβαίνει το 1,5 gr/cm³ ενώ με την προσθήκη αδρανών (ινών αμιάντου, ξυλαλεύρου, υαλονημάτων, κλπ) η πυκνότητα υπερβαίνει τα 2gr/cm³.
2. Η αντοχή, η θερμική αγωγιμότητα, θερμική διαστολή και η ειδική θερμότητα εξαρτάται από τη θερμοκρασία που γίνεται η δοκιμή, το βαθμό πολυμερισμού και τις προσμίξεις αδρανών .
3. Η αντοχή στα οξέα, τις βάσεις, την αλκοόλη, τη βενζίνη, το ορυκτέλαιο εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την πίεση και την πυκνότητα των αντιδραστηρίων αυτών καθώς και τα πρόσθετα των πλαστικών. Τα σύμβολα 2,1,0 δηλώνουν αντίστοιχα την μεγάλη και μικρή αντοχή των υλικών. Πριν χρησιμοποιηθεί ένα πλαστικό στη βιομηχανία δοκιμάζεται στις συνθήκες όπου θα χρησιμοποιηθεί.

Μεμονωμένα πλαστικά

Παρακάτω δίνονται συνοπτικά κάποιες πληροφορίες για ορισμένα πλαστικά τα οποία αποτελούν συστατικά σε κάποια θερμο-ηχομονωτικά και αντικραδασμικά υλικά.

-φαινολική ρητίνη (βακελίτης)

-ρητίνες με φορμόλη και μελανίνη ή ουρία ή ανιλίνη(φορμάικες), χρησιμοποιείται σε επίστρωση επίπλων, κατασκευή κόντρα-πλακέ ανθεκτική στο νερό, οδοντωτών τροχών.

-πολυαιθυλένιο, είναι το πιο οικονομικό και το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο θερμοπλαστικό. Προέρχεται από πολυμερισμό του αιθυλενίου, το οποίο είναι προϊόν

της ασετυλίνης. Η ασετυλίνη παράγεται από την πυρόλυση ελαφρών κλασμάτων του πετρελαίου. Το υλικό αυτό καίγεται εύκολα και μετά την απομάκρυνση της εστίας στάζει. Χρησιμοποιείται σε πολλές κατασκευές όπως και ως βάση για ηχοαπορροφητικά, αντικραδασμικά υλικά. (παράρτημα Β, Β.3.1.κεφάλαιο Keifom-TA, acoustic metal slic, Fibran XPE, polycell 30, phonoρap)

- **πολυπροπυλένιο**, είναι μεγαλύτερης αντοχής από το πολυαιθυλένιο. Καίγεται χωρίς να στάζει και κατά τη διάρκεια της καύσης έχει οσμή ζεστού λαδιού μηχανής. Τα πλαστικά αυτού του τύπου οξειδώνονται με την έκθεση στο υπεριώδες φως του ήλιου. Η ζωή τους επιμηκύνεται με την προσθήκη αντιοξειδωτικών.

-**πολυακρυλομεθυλεστέρες** (πλεξιγκλάς) το υλικό αυτό είναι διαφανές μεγάλης αντοχής, φωτολαστικό. Όταν φλέγεται παράγει μπλε φλόγα και εκλύεται λίγος μαύρος καπνός.

-**πολυβινυλοχλωρίδιο (P.V.C.)** καίγεται δύσκολα και εκλύει μαύρο καπνό. Όταν απομακρύνεται από την εστία φωτιάς σβήνει και βγάζει λευκό όξινο καπνό και περιέχει υδροχλώριο.

-**σιλικόνες**, είναι οργανικές ενώσεις του πυριτίου που καίγονται δύσκολα, μαλακώνουν με την πύρωση και αφήνουν λευκή τέφρα(SiO₂). Από την επεξεργασία της παράγονται υλικά με μικρό, μεσο και μεγάλο μοριακό βάρος και χρησιμοποιείται στις οικοδομικές κατασκευές ως μονωτικό, για σφράγιση και γέμισμα και έχει μεγάλη ανθεκτικότητα στην υγρασία.

- **καουτσούκ φυσικό** και πολυβουταδιένιο. Καίγεται όπως το ελαστικό εύκολα, σβήνει αργά και εκρύνει μια οσμή καθαρού ελαστικού. Αν βουλκανιστεί με θειάφη, επειδή μετά τον πολυμερισμό υπάρχουν διπλοί δεσμοί στο μόριό του, παράγει ένα σκληρό ελαστικό που χρησιμοποιείται σε τροχούς αυτοκινήτων, σόλες παπουτσιών και άλλα. Με θείωση σε υψηλό βαθμό παράγεται ο εβονίτης που χρησιμοποιείται στην κατασκευή μονωτικών υλικών.

Στα πλαστικά παρατηρείται γήρανση η οποία οφείλεται στην οξείδωση και στην ελάττωση της σκληρότητας και της αντοχής.

-**πολυεστέρας,**

Πολυεστέρες (ακόρεστοι), είναι το αποτέλεσμα χημικής αντίδρασης διβασικών (με δύο Η) οξέων με δι-υδροξυ-αλκοόλες. Υπάρχουν πολλά είδη πολυεστέρων με κριτήριο:

(i) τη χημική τους βάση π.χ. ορθοφθαλικοί, ισοφθαλικοί κ.ά.

(ii) το τελικό προϊόν π.χ. πολυεστέρες για ναυπηγική χρήση, βιομηχανικοί πολυεστέρες, γενικής χρήσης, για κουμπιά, είδη υγιεινής κ.ά.

(iii) ειδικά χαρακτηριστικά π.χ. διαφανείς, αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες και χημικά, εύκαμπτοι κ.ά.

Ο πολυεστέρας είναι μια κατηγορία πολυμερών σωμάτων που περιέχουν τη λειτουργική ομάδα εστέρα στην κύρια αλυσίδα τους. Αν και υπάρχουν πολλοί πολυεστέρες, ο όρος «πολυεστέρας» ως συγκεκριμένο υλικό συνηθέστερα αναφέρεται στο τереφθαλικό πολυαιθυλενίου (PET). Το τереφθαλικό πολυαιθυλένιο ή ο εστέρας (PETE) είναι ένα πολυμερές συμπύκνωσης από τα μονομερή αιθανοδιόλη (γλυκόλη), μια διαλκοόλη και τереφθαλικό διμεθυλεστέρα, ένα διεστέρα. Τα δύο αυτά μονομερή αντιδρούν σε μια αντίδραση μετεστεροποίησης και παράγουν έναν πολυεστέρα.

Οι φυσικοί πολυεστέρες και κάποιοι συνθετικοί είναι βιοδιασπάσιμοι, αλλά οι περισσότεροι συνθετικοί πολυεστέρες δεν είναι.

Οι πολυεστέρες μπορούν να παραχθούν σε πολυάριθμες μορφές . Ως θερμοπλαστικό υλικό παραμορφώνεται μετά από την επαφή του με τη θερμοκρασία. Ενώ καίγονται σε υψηλές θερμοκρασίες, οι πολυεστέρες τείνουν να συρρικνώνονται μακριά από τις φλόγες και να εξαφανίζονται επάνω στην ανάφλεξη.

4.3.6. Y-Tong

Πληροφορίες σχετικά με την τοποθέτηση και χρήση του Y-tong δίνονται στο αντίστοιχο βίντεο: "τοίχοροία με Y-Tong" (παράρτημα Α, κεφάλαιο Α.7.).

Τεχνικά χαρακτηριστικά του Y-tong (ή *alfa block* που είναι σχεδόν ίδια)

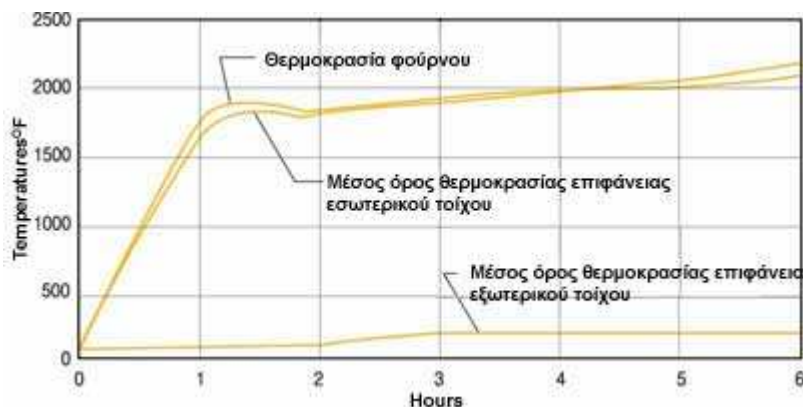
- Ο δείκτης διάδοσης του Y-tong R_w , κυμαίνεται ανάλογα με το πάχος της πλάκας από 31dB (όταν το πάχος είναι 10cm), μέχρι 44dB (όταν $d=30cm$). Στους υπολογισμούς δεν έχει συνυπολογιστεί ο σοβάς.

Σύμφωνα με τα πρότυπα MAIN DIN 4165, DIN PLUS, DIN 4108 και ΕΛΟΤ , το Y-tong παρουσιάζει:

- Ξηρό φαινομενικό βάρος: $\rho=500(kg/m^3)$
- Συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας: $\lambda= 0,095 kcal/mh^0C$. Ο υψηλός συντελεστής (λ), παρέχει εσωκλιματική άνεση και εξαιρετική οικονομία ενέργειας.
- Ειδική θερμότητα : $c=1000 J/mk$
- Αντίσταση στην υδρατμοδιαπερατότητα : $\mu = 5-10$
- Συστολή /Διαστολή : 0.2 mm/m
- Μέτρο ελαστικότητας : $E= 1250 N/mm^2$
- Αντοχή σε θλίψη : $25 kg/cm^2$
- Αντοχή σε κάμψη : $12 kg/m^2$
- Αντοχή σε εφελκυσμό: $6 kg/cm^2$

Πυρασφάλεια :

Στο ακόλουθο διάγραμμα δίνεται η συμπεριφορά του YTONG σε υψηλές θερμοκρασίες σύμφωνα με τις διαδικασίες ASTM E119 (Αμερικάνικες προδιαγραφές). Στον πίνακα 4.12 δίνεται η πυροσυμπεριφορά των αντίστοιχων οικοδομικών στοιχείων.



Σχεδιάγραμμα 4.13 Διάγραμμα πυροπροστασίας δομικών στοιχείων με Y-tong.

Είδος στοιχείου	Κατασκευή	πυροσυμπεριφορά υλικού				
		F 30 A	F 60 A	F 90 A	F 120 A	F 180 A
DIN 4165/4166		Απαιτούμενο πάχος σε cm				
Y-tong block	χωρίς σοβά	7,5	7,5	10	12,5	15
	με σοβά μέσα έξω	5	7,5	7,5	7,5	12,5
Y-tong πρέκια DIN 4223	χωρίς σοβά	7,5	7,5	10	12,5	15
	με σοβά μέσα έξω	7,5	7,5	10	10	12,5

Πίνακας 4.12 Πυροπροστασία δομικών στοιχείων με Y-tong, σύμφωνα με τον DIN 4108 ΕΛΟΤ κανονισμός θερμομόνωσης.

Ο πίνακας 4.13 δίνει τις τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας του Y-tong σε σχέση με το πάχος και την κατασκευή από Y-tong.

Είδος στοιχείου	Κατασκευή	Απαιτούμενο πάχος σε cm										
		5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30
		Συντελεστής θερμοπερατότητας του υλικού K kcal/μ²h°C										
Y-tong block PP2	χωρίς σοβά	1,39	1,02	0,8	0,65	0,56	0,49	0,43	0,39	0,35	0,32	0,29
	με σοβά Ytong πάχους 1cm	1,35	0,99	0,66	0,65	0,55	0,48	0,42	0,38	0,34	0,31	0,28
Y-tong πρέκια PP4	χωρίς σοβά	1,6	1,2	0,95	0,79	0,6	0,59	0,52	0,47	0,42	0,3	0,36
	με σοβά Ytong πάχους 1cm	1,54	1,05	0,93	0,77	0,66	0,58	0,51	0,46	0,41	0,38	0,35
	Με συμβατικό σοβάτισμα	1,4	1,13	0,91	0,76	0,65	0,57	0,5	0,45	0,4	0,37	0,34

Πίνακας 4.13 Συντελεστής θερμοπερατότητας δομικών στοιχείων με Y-tong.

Παρατήρηση:

Από τον πίνακα προκύπτει ότι καθώς αυξάνεται η επιφανειακή πυκνότητα του υλικού μειώνεται ο συντελεστής k θερμοπερατότητας του υλικού. Η μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας φέρει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση της ενέργειας.

4.3.7. Τούβλα

Τα τούβλα όπως και οι γυψοσανίδες έχουν ως βάση των πηλό. Ο πηλός βρίσκεται στη φύση και με την εμπλούτισή του με άλλα υλικά αποκτάει τις προδιαγραφές που απαιτούνται για την παραγωγή συγκεκριμένων προϊόντων.

Όσον αφορά στα τούβλα, η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται στην Κρήτη προέρχεται από δύο ιδιόκτητες χωματερές που βρίσκονται στις περιοχές Άγιος Σύλλας και Αρχάνες. Από τις χωματερές μεταφέρεται κατευθείαν στον σπαστήρα προάλεσης του εργοστασίου. Εκεί επιτυγχάνεται άλεση του υλικού και μερικός εμπλουτισμός σε υγρασία.

Αργότερα οδηγείται στην μολάτσα όπου γίνεται περαιτέρω θραύση της πρώτης ύλης, μάλαξη, λείανση, ανάμιξη με πετρελαϊκό κώκ και ύγρανση.

Αφού το μίγμα έχει πάρει πλέον πλαστική μορφή, οδηγείται σε διαδοχικές λειαντικές μηχανές. Με την λείανση επιτυγχάνεται κοκκομετρία ίση με 1-1.5mm.

Στην συνέχεια το μίγμα οδηγείται στο ζυμωτήριο, όπου μαλάσσεται και διαβρέχεται. Μετά αποθηκεύεται σε ένα tonsilo (σιλό αποθήκευσης - ομογενοποίησης του υλικού).

Από την βάση του tonsilo το μίγμα, οδηγείται στον μαλακτήρα της πρέσας, και από εκεί προωθείται στην μηχανή εξώθησης.

Το υλικό, μετά την πλήρη αφαίρεση του αέρα, μορφοποιείται στο επιθυμητό σχήμα, αρχικά σε μεγάλο μήκος (μακαρόνι), και έπειτα οδηγείται σε κόφτη όπου τεμαχίζεται στις τελικές διαστάσεις.

Τα τεμάχια οδηγούνται στη συνέχεια στο ημισυνεχές ξηραντήριο. Εκεί επιτυγχάνεται αφαίρεση της υγρασίας του υλικού με ρεύμα θερμού αέρα (80-90 C°).

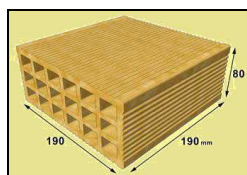
Τα τεμάχια, μετά από 1,5 - 2 ημέρες στο ξηραντήριο, έχουν αποβάλλει όλη την υγρασία τους και οδηγούνται στο φούρνο προς όπτηση (ψήσιμο). Η όπτηση γίνεται σε τρία στάδια:

- i) Στον προθάλαμο του φούρνου γίνεται ομαλή ανύψωση της θερμοκρασίας.
- ii) Στον κύριο θάλαμο καύσης (950 C°) και στην συνέχεια
- iii) Στον θάλαμο εξόδου όπου επιτυγχάνεται ομαλή μείωση της θερμοκρασίας.

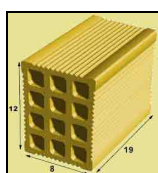
Μετά από παραμονή 1,5 - 2 ημερών στο φούρνο οδηγούνται προς εκφόρτωση, τυλιγόνται με διάφανο φιλμ, και τέλος αποθηκεύονται στον υπαίθριο χώρο του εργοστασίου.

Τα τούβλα ανάλογα με τις οπές τους χωρίζονται στα :

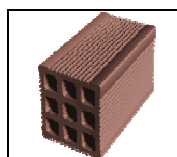
- διπλό κυψελωτό



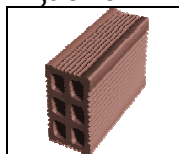
- Δωδεκάοπο



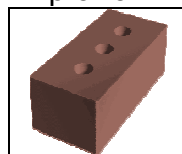
- Εννιάοπο



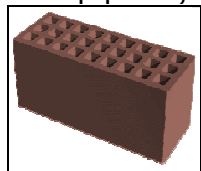
- Εξάοπο



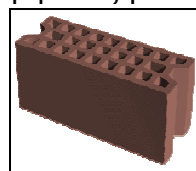
- Τρίοπο



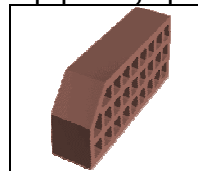
- εμφανές



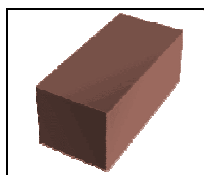
- εμφανές με εσοχή



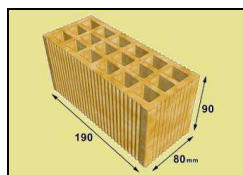
- εμφανές γωνιακό



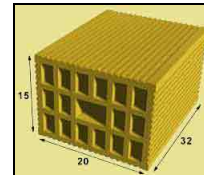
- συμπαγές



- ορθόγυρο κυψελωτό



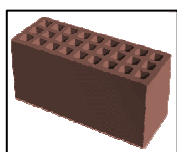
- τουβλομπλόκ



Εικόνα 4.9 Είδη τούβλων

Παρακάτω δίνονται οι τεχνικές προδιαγραφές για ορισμένα είδη τούβλων. Για περισσότερες πληροφορίες ο ενδιαφερόμενος μπορεί να ανατρέξει σε σχετικές ιστοσελίδες. (τα χαρακτηριστικά των τούβλων που παρουσιάζονται είναι από την ιστοσελίδα της εταιρίας ΑΚΕΚ ΑΕ-έτος 2009)

Εμφανές τούβλο:



Στους πίνακες που ακολουθούν αναγράφονται με διαφορετικά χρώματα οι τιμές, οι οποίες μεταβάλλονται με τις διαστάσεις του τούβλου.

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά:

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ cm	6X9X24 / 9X9X24	6X11,5X24 / 9X11,5X24
ΑΝΟΧΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ	±1,0 %	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΠΩΝ	27	
ΣΧΗΜΑ ΟΠΗΣ	ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗ	
ΕΠΙΠΕΔΟΤΗΤΑ	± 1,0%	
ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΤΗΤΑ	90° ± 1,0°	

Πίνακας 4.13.α Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εμφανές τούβλου

Φυσικά χαρακτηριστικά:

ΒΑΡΟΣ (Kgr)	1,460 / 2,090	1,700 / 2,560
ΑΝΟΧΗ ΒΑΡΟΥΣ	± 3%	
ΟΓΚΟΣ (ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ) cm ³	1296 / 1944	1656 / 2484
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (ΦΑΙΝ.) Kgr/m ³	1126 / 1075	1026 / 1030
ΥΔΑΤΑΠΟΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	15,0% (±3,0%)	
ΣΥΝΤ.ΘΕΡΜ.ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ	7 E-6 / °C	
ΣΥΝΤ.ΘΕΡΜ.ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ	0,4 Kcal/(hm°C)	
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΠΑΡΑΛΛ. ΣΤΙΣ ΟΠΕΣ	17,2 N/mm ²	
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΙΣ ΟΠΕΣ	4,8 N/mm ²	

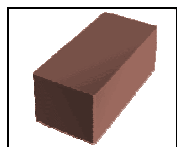
Πίνακας 4.13.β Φυσικά χαρακτηριστικά του εμφανές τούβλου

Στοιχεία εφαρμογής :

Kgr/m ² δρομικής τοιχοπ. 9 11,5 cm	87,6 / 102 / 83,6 / 102,4
Τεμ/m ² δρομικής τοιχοπ. 9 11,5 cm	60 / 60 / 40 / 40
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚ./m ² lt	16,2 / 22,77 / 11,88 / 15,18

Πίνακας 4.13.γ Στοιχεία εφαρμογής του εμφανές τούβλου

Συμπαγές τούβλο:



Γεωμετρικά χαρακτηριστικά:

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ cm	6X9X19 / 6X9X24
ΑΝΟΧΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ	±1,5 %
ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΠΩΝ	0
ΣΧΗΜΑ ΟΠΗΣ	-
ΕΠΙΠΕΔΟΤΗΤΑ	± 1,0%
ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΤΗΤΑ	90° ± 1,0°

Πίνακας 4.14.α Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του συμπαγές τούβλου

Φυσικά χαρακτηριστικά:

ΒΑΡΟΣ (Kgr)	1,860 /2,315
ΑΝΟΧΗ ΒΑΡΟΥΣ	± 3%
ΟΓΚΟΣ (ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ) cm ³	1026 /1296
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (ΦΑΙΝ.) Kgr/m ³	1812 /1786
ΥΔΑΤΑΠΟΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	15,0% (±3,0%)
ΣΥΝΤ.ΘΕΡΜ.ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ	7 E-6 / °C
ΣΥΝΤ.ΘΕΡΜ.ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ	0,68 Kcal/(hm°C)
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ	-

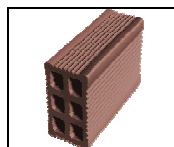
Πίνακας 4.14.β Φυσικά χαρακτηριστικά του συμπαγές τούβλου

Στοιχεία εφαρμογής :

Kgr/m ² δρομικής τοιχοπ. 9 cm	139,5 / 138,9
Τεμ/m ² δρομικής τοιχοπ. 9 cm	75 / 60
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚ./m ²	16,88 / 17,82

Πίνακας 4.14.γ Στοιχεία εφαρμογής του συμπαγές τούβλου

Εξάδοπο:



Γεωμετρικά χαρακτηριστικά:

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ cm	6 X 8 X 19
ΑΝΟΧΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ	± 2,5%
ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΠΩΝ	6
ΣΧΗΜΑ ΟΠΗΣ	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ

ΠΛΗΡΟΤΗΤΑ	65,5%
ΕΠΙΠΕΔΟΤΗΤΑ	± 0,9%
ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΤΗΤΑ	90° ± 1,0°

Πίνακας 4.15.α Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εξάδοπου τούβλου

Φυσικά χαρακτηριστικά:

ΒΑΡΟΣ (Kgr)	0,950
ΑΝΟΧΗ ΒΑΡΟΥΣ	± 5%
ΟΓΚΟΣ (ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ) cm ³	912
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (ΦΑΙΝ.) Kgr/m ³	1206,1
ΥΔΑΤΑΠΟΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	15,0% (±6,0%)
ΣΥΝΤ.ΘΕΡΜ.ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ	7 E-6 / °C
ΣΥΝΤ.ΘΕΡΜ.ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ	0,4 Kcal/(hm°C)
ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΟΥ ΧΩΡΙΣ ΣΟΒΑ ΣΕ cm	6 / 8
ΣΥΝΤ.ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΕ	1,3959 / 1,1844

Kcal/(hm°C)
 ΑΝΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΟΝ 3,5 N/mm²
 ΑΞΟΝΑ ΤΩΝ ΟΠΩΝ

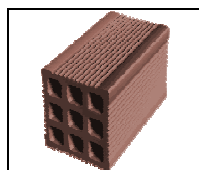
Πίνακας 4.15.β Φυσικά χαρακτηριστικά του εξάοπου τούβλου

Στοιχεία εφαρμογής :

ΠΑΧΟΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ	1,0 cm		
ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΟΥ ΧΩΡΙΣ ΣΟΒΑ ΣΕ cm	6	/	8
Kgr/m ² δρομικής τοιχοπ.	61,1	/	78,6
Τεμ/m ² δρομικής τοιχοπ.	55,6	/	71,4
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚ./m ²	9,0	/	14,3

Πίνακας 4.15.γ Στοιχεία εφαρμογής του εξάοπου τούβλου

Εννιάοπο:



Γεωμετρικά χαρακτηριστικά:

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ cm	8 X 9 X 19
ΑΝΟΧΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ	± 2,4%
ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΠΩΝ	9
ΣΧΗΜΑ ΟΠΗΣ	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ
ΠΛΗΡΟΤΗΤΑ	61,4%
ΕΠΙΠΕΔΟΤΗΤΑ	± 1,9%
ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΤΗΤΑ	90° ± 1,0°

Πίνακας 4.16.α Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εννιάοπου τούβλου

Φυσικά χαρακτηριστικά:

ΒΑΡΟΣ (Kgr)	1,400
ΑΝΟΧΗ ΒΑΡΟΥΣ	± 5%
ΟΓΚΟΣ (ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ) cm ³	1368
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (ΦΑΙΝ.) Kgr/m ³	1169,3
ΥΔΑΤΑΠΟΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	15,0% (±6,0%)
ΣΥΝΤ.ΘΕΡΜ.ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ	7 E-6 / °C
ΣΥΝΤ.ΘΕΡΜ.ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ	0,4 Kcal/(hm°C)
ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΟΥ ΧΩΡΙΣ ΣΟΒΑ ΣΕ cm	8 / 9
ΣΥΝΤ.ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΕ Kcal/(hm°C)	1,1123 / 1,1063
ΑΝΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΟΝ	3,5 N/mm ²
ΑΞΟΝΑ ΤΩΝ ΟΠΩΝ	

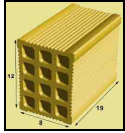
Πίνακας 4.16.β Φυσικά χαρακτηριστικά του εννιάοπου τούβλου

Στοιχεία εφαρμογής :

ΠΑΧΟΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ	1,0 cm		
ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΟΥ ΧΩΡΙΣ ΣΟΒΑ ΣΕ cm	8	/	9
Kgr/m ² δρομικής τοιχοπ.	80,0	/	88,9
Τεμ/m ² δρομικής τοιχοπ.	50,0	/	55,6
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚ./m ²	11,2	/	13,5

Πίνακας 4.16.γ Στοιχεία εφαρμογής του εννιάοπου τούβλου

Δωδεκάοπο:



Γεωμετρικά χαρακτηριστικά:

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ cm	8 X 12 X 19
ΑΝΟΧΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ	± 2,3%
ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΠΩΝ	12
ΣΧΗΜΑ ΟΠΗΣ	ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ
ΠΛΗΡΟΤΗΤΑ	61,0 %
ΕΠΙΠΕΔΟΤΗΤΑ	± 1,2 %
ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΤΗΤΑ	90° ± 1,2°

Πίνακας 4.17.α Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δωδεκάοπου τούβλου

Φυσικά χαρακτηριστικά:

ΒΑΡΟΣ (Kgr)	1,9
ΑΝΟΧΗ ΒΑΡΟΥΣ	± 5,1 %
ΟΓΚΟΣ (ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ) cm ³	1824
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (ΦΑΙΝ.) Kgr/m ³	1041,7
ΥΔΑΤΑΠΟΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	15,0% (±6,0%)
ΣΥΝΤ.ΘΕΡΜ.ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ	7,1 E-6 / °C
ΣΥΝΤ.ΘΕΡΜ.ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ	0,4 Kcal/(hm°C)
ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΟΥ ΧΩΡΙΣ ΣΟΒΑ ΣΕ cm	8 / 12
ΣΥΝΤ.ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΕ Kcal/(hm°C)	1,1267 / 0,9680
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΩΝ ΟΠΩΝ	3,2 N/mm ²
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΩΝ ΟΠΩΝ	11 N/mm ²

Πίνακας 4.17.β Φυσικά χαρακτηριστικά του δωδεκάοπου τούβλου

Στοιχεία εφαρμογής :

ΠΑΧΟΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ	1,0 cm
ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΟΥ ΧΩΡΙΣ ΣΟΒΑ ΣΕ cm	8 / 12
Kgr/m ² δρομικής τοιχοπ.	73,1 / 105,6
Τεμ/m ² δρομικής τοιχοπ.	38,5 / 55,6
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚ./m ²	9,5 / 18,0

Πίνακας 4.17.γ Στοιχεία εφαρμογής του δωδεκάοπου τούβλου

4.3.8. Γυψοσανίδες (ξηρά δόμηση)

Ο γύψος αποτελεί ένα δομικό υλικό το οποίο έχει βιομηχανοποιηθεί σε προκατασκευασμένα στοιχεία. Είναι άκαυστο και πυράντοχο υλικό και χρησιμοποιείται για υψηλές απαιτήσεις πυροπροστασίας. Δεν περιέχει τοξικές ουσίες, έχει την ίδια οξύτητα με το ανθρώπινο δέρμα και είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Σε συνδυασμό με μονωτικά υλικά παρέχει υψηλή ηχομόνωση και θερμομόνωση.

Οι γυψοσανίδες σε συνδυασμό με άλλα υλικά βρίσκουν εφαρμογές στην γρήγορη κατασκευή χωρισμάτων, εσωτερικών επενδύσεων τοίχων και ψευδοροφών. Οι γυψοσανίδες ως δομικά στοιχεία είναι πλάκες επίπεδες και ορθογώνιες μικρού πάχους και αποτελούνται από γυψοπυρήνα επενδυμένο με χαρτί. Το ειδικό αυτό

χαρτί αποτελεί τον οπλισμό και προσφέρει μια ομαλή επιφάνεια στη γυψοσανίδα. Ανάλογα με τις προσμίξεις και τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της γυψοσανίδας δημιουργούνται οι κατάλληλες ιδιότητες σε αυτήν με αποτέλεσμα κάθε είδος της να χρησιμοποιείται για συγκεκριμένους λόγους. Για παράδειγμα υπάρχουν οι ανθυγρές γυψοσανίδες, οι γυψοσανίδες που προσφέρουν πυροπροστασία, οι ακουστικές/διάτρητες γυψοσανίδες για ακουστική και ηχομόνωση του χώρου καθώς και οι γυψοσανίδες που προστατεύουν από ακτίνες Χ ή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (προσμίξεις με ανθρακόννημα ή μόλυβδο),

Οι *απλές γυψοσανίδες*, κατασκευάζονται σε τυποποιημένα πλάτη και πάχη από 10-25 mm.

Οι ακμές της πλάκας περιμετρικά μπορεί να είναι τετραγωνισμένες ή στρογγυλοποιημένες. Στερεοποιούνται στη φέρουσα τοιχοποιία είτε με μεταλλικό ή ξύλινο σκελετό είτε με απευθείας κόλληση. Σε μία κατασκευή μπορεί να χρησιμοποιηθούν μέχρι και τρεις πλάκες γυψοσανίδας στην κάθε πλευρά ανάλογα με το σκελετό (διπλός σκελετός). Τα ηχομονωτικά αποτελέσματα ποικίλουν ανάλογα με την κατασκευή.

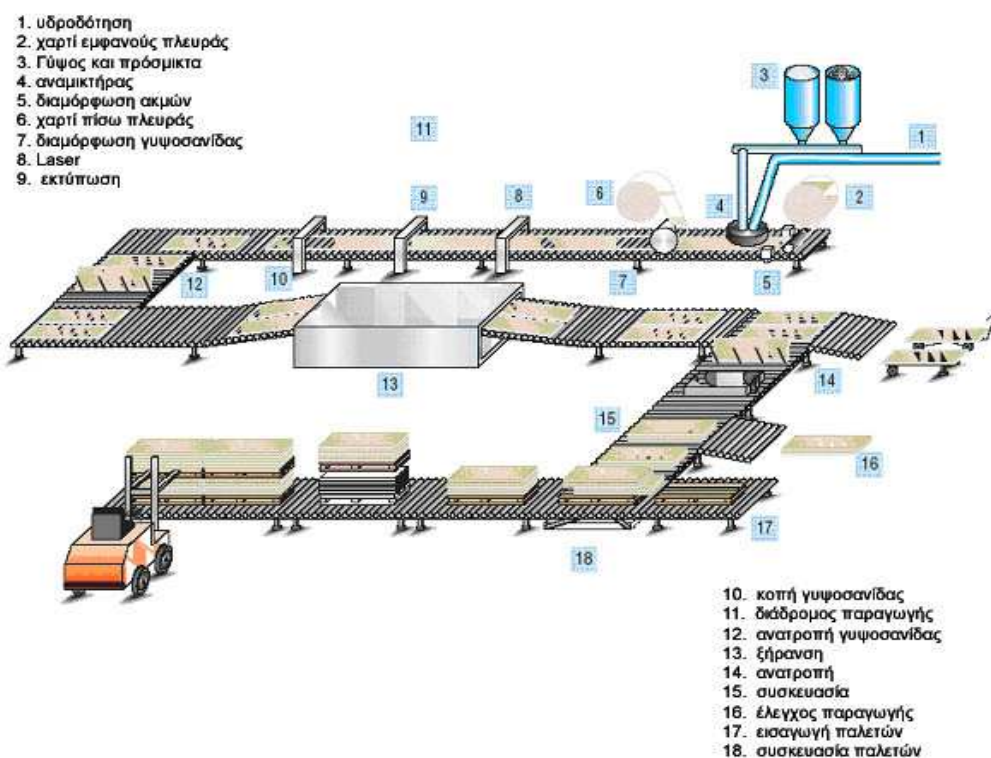
Οι *σύνθετες γυψοσανίδες*, κατασκευάζονται με επικόλληση απλών γυψοσανίδων με άλλα υλικά. Μπορεί να συνδυαστούν με φράγμα υδρατμών και άκαμπτες θερμομονωτικές πλάκες από υαλοβάμβακα ή πολυστερίνη. Το πάχος τους είναι 40-90mm. Στερεώνονται όπως οι απλές γυψοσανίδες.

Τα *σύνθετα πανό*, αποτελούνται από δύο γυψοσανίδες σε συνδυασμό με άλλα δομικά υλικά για να αποκτήσουν συγκεκριμένες ιδιότητες. Μπορεί να κολληθούν από τις δύο πλευρές τις μοριοσανίδας ή πλάκας από χαρτόνι με κυψελωτή μορφή. Τα σύνθετα πανό είναι αυτοφερόμενα με μεταλλικούς ή ξύλινους οδηγούς και ενισχύσεις. Μπορεί να περιέχει ενδιάμεσα μονωτικό υλικό και το πάχος τους φτάνει μέχρι τα 110mm.

Οι γυψοσανίδες είναι δομικά στοιχεία που καλύπτουν όλες τις σχετικές προδιαγραφές:

Ευρώπη	EN 520
Ελλάδα	ΕΛΟΤ 784
Γερμανία	DIN 18180
Μ.Βρετανία	BS 1230
Γαλλία	NFP 72302
Η.Π.Α	ASTM C 36
Διεθνείς	ISO 6308

Σχηματική διαδικασία της παραγωγής της γυψοσανίδας:



Σχήμα 4.3 Διαδικασία παραγωγής της γυψοσανίδας.

Οι τυποποιημένες διαστάσεις του πάχους και του βάρους που διατίθενται στο εμπόριο είναι οι εξής:

Διαστάσεις και Βάρη γυψοσανίδων		
Στανταρντ μήκη (m)	2.0 2.5 2.8 3.0	
Στανταρντ πλάτος (m)	1.2	
Τύπος γυψοσανίδας	Πάχος σε m	Βάρος (Kg/m ²)
Στάνταρντ GKB	6.5	5.5
	9.5	7.8
	12.5	9.8
	15.0	12.7
	18.0	14.5
Πυράντοχη GKF	12.5	10.4
	15.0	13.2
	18.0	14.9
Ανθύγρη GKI	12.5	10.2
	15.0	13.0
	18.0	14.7
Ανθυγροπυράντοχη GKF-I	12.5	10.4
	15.0	13.5
	18.0	15.0

Πίνακας 4.18 Διαστάσεις και βάρη γυψοσανίδων.

4.4. Θερμομονωτικά / Ηχομονωτικά υλικά

Αν και στην παρούσα εργασία το ενδιαφέρον εστιάζεται στον πετροβάμβακα και στα μονωτικά υλικά τα οποία δρουν ως ηχομονωτικά, παρατίθενται τα συνήθη στις μέρες μας θερμομονωτικά υλικά και οι φυσικές τους ιδιότητες έτσι ώστε να γίνει κατανοητός ο λόγος όπου ο πετροβάμβακας ή ο υαλοβάμβακας χρησιμοποιούνται στις ηχομονώσεις των κτιρίων.

Όπως και στα δομικά υλικά η επιλογή του κατάλληλου θερμομονωτικού υλικού δε γίνεται μόνο λόγω του κόστους και του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας αλλά και από όλες τις ιδιότητες που διαμορφώνουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του υλικού. Ο μελετητής μηχανικός έχει στη διάθεσή του πληθώρα υλικών, γεγονός που του δίνει τη δυνατότητα να επιλέξει το καταλληλότερο για την υπό μελέτη εφαρμογή – είτε κτιριακή, είτε βιομηχανική – λαμβάνοντας υπ' όψη του μια σειρά παραμέτρων.

Παρακάτω δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά συγκεκριμένα για τα υλικά θερμομόνωσης.

i) ανώτερο όριο θερμοκρασίας χρήσης

τα περισσότερα θερμομονωτικά υλικά είναι ευπαθή στις μεγάλες θερμοκρασίες. Παράδειγμα, τα αφρώδη πλαστικά τα οποία δεν χρησιμοποιούνται σε θερμοκρασίες άνω των 60 °C αν είναι θερμοπλαστικά και άνω των 100° C αν είναι θερμοσκληρόμενα. Για ψηλότερες θερμοκρασίες χρησιμοποιούνται το υαλέριο, ο αμιάντος(καρκινογόνο) πυρότουβλο.

ii) εύφλεκτο

δοκιμάζονται τα υλικά που προέρχονται από οργανικές ύλες για το βαθμό ευκολίας έναυσης και συντήρησης της φλόγας. Στα αφρώδη πλαστικά η ευκολία έναυσης δεν είναι η ίδια για το λόγο ότι μέσα στα αφρώδη υπάρχουν αδρανή αέρια που εκλύονται με θέρμανση και σβήνουν τη φλόγα.

iii) μηχανική αντοχή σε θλίψη και δόνηση.

Επειδή τα θερμομονωτικά υλικά είναι πορώδη, δε λαμβάνουν μέρος στην καταπόνηση της φέρουσας κατασκευής. Είναι σημαντική όμως η μηχανική αντοχή σε θλίψη διότι όταν συμπιεστούν ελαττώνεται η μονωτική ικανότητα τους. Επίσης υπάρχει περιορισμός ως προς την χρήση τους ως εύθρυπτα μονωτικά υλικά κοντά σε δονούμενες συσκευές. π.χ. ψυγεία επί οχημάτων.(υαλέριο)

iv) υδροαπορροφητικότητα

η υδροαπορροφητικότητα εξαρτάται από το υλικό, τους πόρους του και το σχήμα των πόρων. Στα οργανικά θερμομονωτικά όπου οι πόροι είναι σφαιρικές φυσαλίδες μεμονωμένες μεταξύ τους δεν παρουσιάζεται υδροαπορροφητικότητα.

v) ειδικό βάρος

vi) μορφή με την οποία προσφέρονται.

-Υπό τη μορφή *τεμαχίων*, τα οποία πληρούν διάκενα είναι τα τρίματα φελλού, ο άνθρακας, το ροκανίδι, ο διογκωμένος περλίτης.

-*υπό τη μορφή πλακών* κατάλληλα ώστε να καλυφθούν δάπεδα, τοίχοι, κολώνες, σωληνώσεις όπως προσφέρονται τα αφρώδη πλαστικά και ο φελλός.

-*ως στρώματα ή υφάσματα σε ρολά* , με τα οποία καλύπτονται οι επιφάνειες τοίχων ή και σωλήνες όπως είναι τα αφρώδη πλαστικά, ο αμιάντος σε ύφασμα, το υαλέριο.

- ως μονωτικά που σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της εφαρμογής τους είναι το αφρώδες τσιμέντο για δομικές κατασκευές, το αφρώδες πολυστυρένιο και η πολυουρεθάνη.

Για παράδειγμα το αφρώδες τσιμέντο σχηματίζεται με ανατάραξη τσιμεντοκονιάματος με αφριστικό πρόσθετο. Ο αφρισμός παραμένει και μετά την πήξη του τσιμέντου.

vii) Ειδική θερμότητα Άλλοι παράγοντες που επιδρούν στη διατήρηση της θερμότητας του χώρου είναι η ειδική θερμότητα.

Υλικό	Γραμμική Πυκνότητα(Kg/m ³)	Ειδική θερμότητα Kcal/Kg °C
Φελλός	150	0.4
Ξύλο	700	0.45
Τούβλα συμπαγή	1.800	0.2
Μπετόν	2.200	0.2
Μάρμαρα	2.700	0.2
λιθοδομή	2.500	0.2

Πίνακας 4.19 Ειδική θερμότητα ορισμένων υλικών.

Η ειδική θερμότητα του αέρα είναι 0.24kcal/kg °C ενώ έχει πυκνότητα 1,2Kg/m³ περίπου στη συνήθη θερμοκρασία με σχετική υγρασία 60%.

viii) Η ηχομονωτική του ικανότητα

Ο βαθμός απορρόφησης ήχου περιγράφει την ηχοαπορροφητικότητα του υλικού για διάφορες συχνότητες ήχου. Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής, τόσο καλύτερη είναι η ηχοαπορροφητικότητα του υλικού.

Εκτός από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του υλικού πλέον σήμερα σημαντικό ρόλο έχουν και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του υλικού καθώς και οι επιπτώσεις που έχει στην ασφάλεια και την υγεία των εργαζομένων.

Σε παρακάτω κεφάλαιο θα μελετηθεί η οικολογική συμπεριφορά όλων των υλικών.

Σήμερα η μέθοδος της θερμομόνωσης επιτυγχάνεται κυρίως με τρεις τρόπους :

- A) με εξηλασμένη πολυστερίνη
- B) με διογκωμένη πολυστερίνη (Φελιζόλ)
- Γ) με ινώδη (δηλαδή πετροβάμβακας, υαλοβάμβακας).

Σημαντικό κριτήριο για το ποια θερμομονωτικά υλικά θα χρησιμοποιηθούν είναι ο τρόπος δόμησης των κτιρίων.

Στον ελλαδικό χώρο η δόμηση γίνεται κυρίως από τούβλο και μπετόν για αυτό και χρησιμοποιείται κατά 80% η εξηλασμένη πολυστερίνη και κατά 20% τα ινώδη υλικά και το φελιζόλ.

Στο εξωτερικό η δόμηση γίνεται κυρίως από σίδηρο, γυψοσανίδα, τσιμεντοσανίδα και ξυλεία και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται κατά 20% το φελιζόλ και κατά 80% τα ινώδη υλικά.

4.4.1. Εξηλασμένη πολυστερίνη

Ο καλύτερος τρόπος θερμομόνωσης επιτυγχάνεται κυρίως με εξηλασμένη πολυστερίνη. Οι τρεις βασικές εφαρμογές της εξηλασμένης είναι : το μπετό, οι τοίχοι και τα δώματα (ταράτσες-πατώματα).

Είναι παράγωγο του πετρελαίου από πολυμερή και παράγεται με τη διαδικασία της εξήλασης. Είναι κλειστής κυψελωτής δομής, δηλαδή στην ουσία δεν μπορεί να διαπεραστεί εύκολα από υγρασία. Έχει μεγάλη διάρκεια ζωής.

Πιο συγκεκριμένα η εξηλασμένη πολυστερίνη ή εξηλασμένη πολυστυρόλη, είναι ένα αφρώδες υλικό με κλειστές κυψέλες που παράγεται από θερμοπλαστική πολυστυρόλη, η οποία, με μια διαδικασία πολυμερισμού και διαρκούς εξέλασης, παίρνει τη μορφή πλακών. Αποτελείται από 88 μέχρι 93% κατά βάρος από πολυστυρόλη, η οποία είναι ένα θερμοπλαστικό συνδετικό υλικό που αποτελείται από άνθρακα και υδρογόνο. Περιέχει επίσης από 0,5 έως 5% κατά βάρος πρόσθετα όπως ανόργανους και οργανικούς σταθεροποιητές, χρωστικές ουσίες, επιβραδυντικά φωτιάς και βοηθητικές ύλες. Στη διάρκεια της παραγωγής προστίθενται μέχρι 12% κατά βάρος προωθητικά αέρια. Η χρήση των προωθητικών αερίων αποτελούσε ένα από τα υπό συζήτηση σημεία του υλικού, καθώς επί δεκαετίες χρησιμοποιούνταν χλωροφθοράνθρακες, που ευθύνονται ιδιαίτερα για τη φθορά της ατμοσφαιρικής στρώσης του όζοντος. Μετά το 1994, όμως, οι μεγαλύτεροι κατασκευαστές εξηλασμένης πολυστερίνης χρησιμοποιούν εναλλακτικά προωθητικά αέρια, καταργώντας τα επικίνδυνα για τη στρώση του όζοντος αλογόνα.

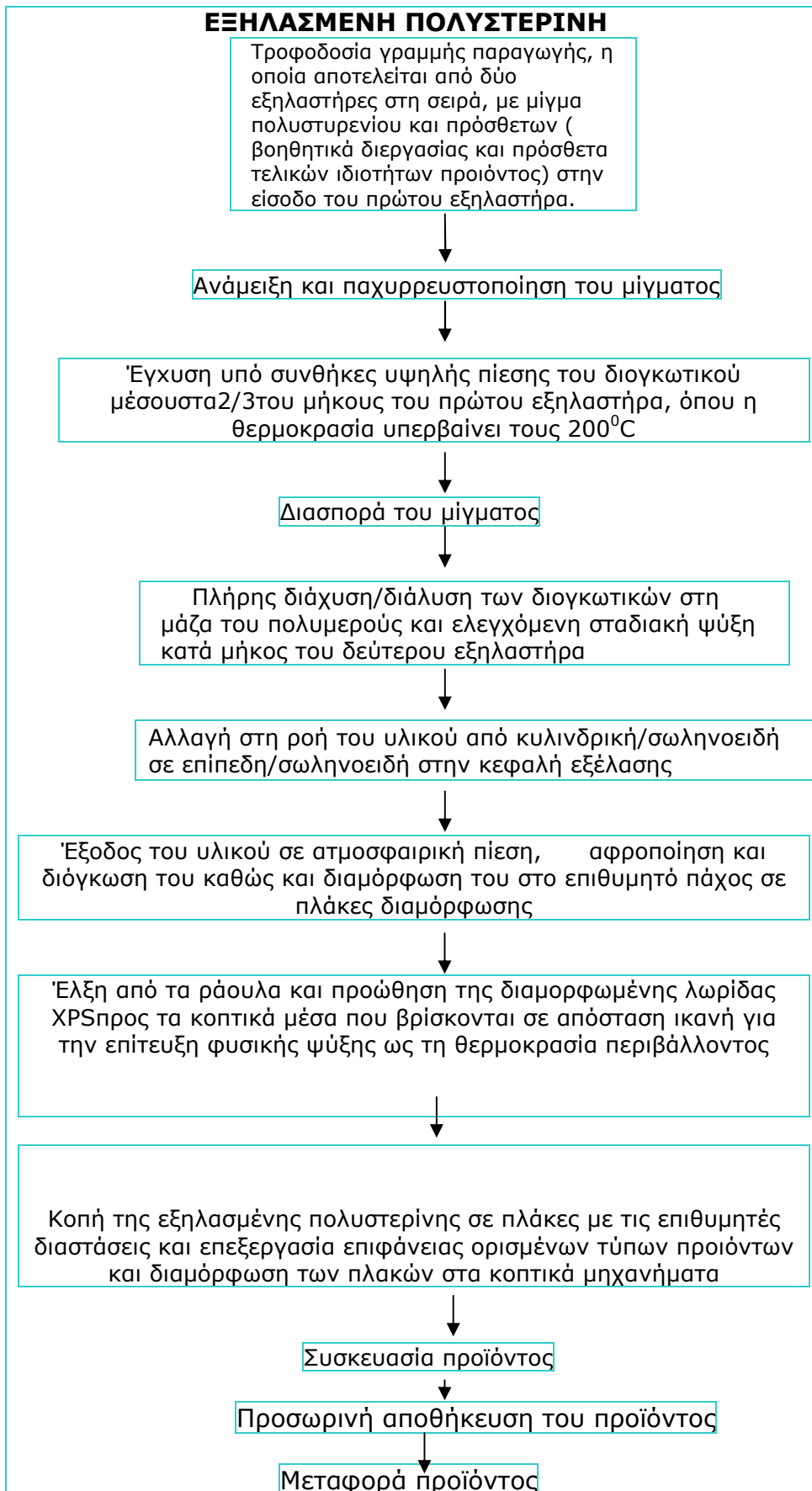
Η εξηλασμένη πολυστερίνη παράγεται αποκλειστικά σε μορφή πλακών, που διαφέρουν μεταξύ τους στη φαινόμενη πυκνότητα, στη θερμική αγωγιμότητα και στην αντοχή σε συμπίεση. Οι εξωτερικές επιφάνειες των πλακών είναι κατά κανόνα λείες -με μεγαλύτερη πυκνότητα από ότι στο εσωτερικό τους- με κλειστούς πόρους και υδροαπωθητικές. Για το λόγο αυτό οι θερμομονωτικές ιδιότητες του υλικού δε μεταβάλλονται ακόμη και κάτω από υγρασιακά δυσμενείς συνθήκες.

Από τη διαδικασία της εξέλασης παράγεται ένα δομικό υλικό ομοιογενές, με κλειστές πολυεδρικές κυψέλες αφρώδους δομής, με διάμετρο από 0,05 μέχρι 0,5 mm. Τα τοιχώματα των κυψελών έχουν πάχος μόλις 1μm. Είναι εντυπωσιακό ότι μία πλάκα εξηλασμένης πολυστερίνης αποτελείται κατά 3% του όγκου της από τα τοιχώματα των κυψελών και κατά 97% από τους χώρους των κυψελών με το αδρανές αέριο. Οι πλάκες εξηλασμένης πολυστερίνης χαρακτηρίζονται από τις υψηλές και διαρκούς αποτελεσματικότητας θερμομονωτικές ιδιότητες, τη μικρή - πρακτικά σχεδόν μηδενική - υδατοαπορροφητικότητα, την υψηλή αντοχή σε συμπίεση και τη συμπεριφορά αυτοσβενήμενων υλικών ή δύσκολα αναφλεγόμενων(DIN 4102). Παρουσιάζουν ακόμη ομοιόμορφη πυκνότητα μάζας, σταθερότητα διαστάσεων και άριστη συνεργασία με τα οικοδομικά υλικά (τσιμέντο, γύψο, ασβέστη, ανυδρίτη, άμμο), ενώ οι ειδικές με εγκοπές πλάκες χωρίς την λεία επιφάνεια προσφέρουν άριστη πρόσφυση σε σκυρόδεμα και επιχρίσματα.

Τύποι πλάκας εξηλασμένης πολυστερίνης.

Οι ιδιότητες των πλακών της εξηλασμένης πολυστερίνης μεταβάλλονται μέσα σε ορισμένα πλαίσια, ώστε να παράγονται πλάκες με διαφορετικές εμπορικές ονομασίες που παρουσιάζουν χαρακτηριστικές ιδιότητες ανάλογα με την εφαρμογή τους. Το πάχος και οι διαστάσεις των πλακών είναι προκαθορισμένες αν και μπορεί να γίνει συγκεκριμένη παραγγελία.

Ακολουθεί το σχεδιάγραμμα παραγωγής της εξηλασμένης πολυστερίνης.

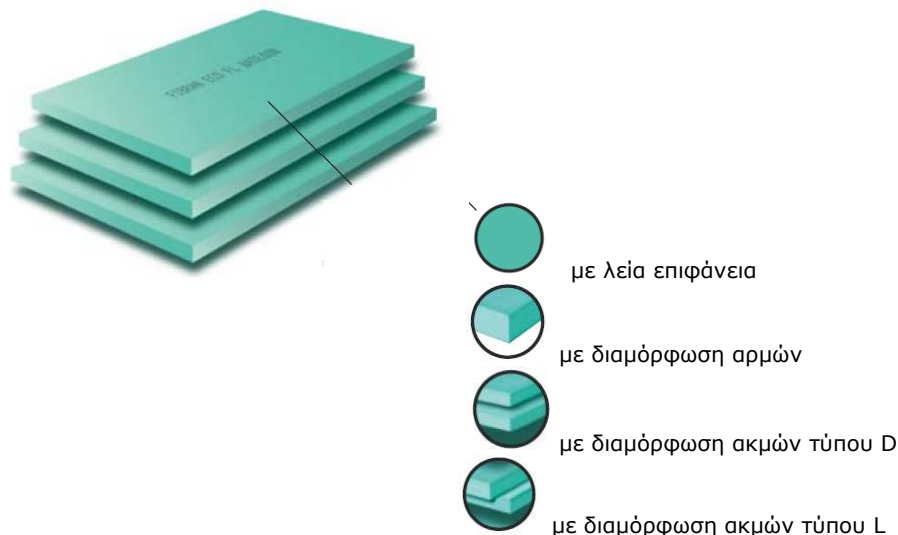


Σχεδιάγραμμα 4.14 Διαδικασία παραγωγής εξηλασμένης πολυστερίνης.

Κάποιοι από τους τύπους που έχουν δημιουργηθεί και διανέμονται στο εμπόριο δίνονται παρακάτω.

Γίνεται αναφορά στις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες μόνο σε δύο τύπους πλάκας εξηλασμένης πολυστερίνης για την κατανόηση της διαφοροποίησης της κάθε πλάκας ανάλογα με τη χρήση της. Περισσότερες λεπτομέρειες για το κάθε υλικό ο ενδιαφερόμενος μπορεί να ανατρέξει στην συγκεκριμένη ή άλλες εταιρίες παραγωγής.

- Πλάκες για δάπεδα FL



Εικόνα 4.10 Πλάκες FL εξηλασμένη πολυστερίνης από την εταιρία Fibran.

Οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητες της πλάκας FL δίνονται παρακάτω.

Ιδιότητες	Μονάδα μέτρησης	Τιμή	Πρότυπο μέτρησης
Πυκνότητα	Kg/m ³	≥ 35	EN 1602
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας * λ _D (max)	W/(mK)	0.333	30mm
	Kcal/hm ⁰ C	0.028	
	W/mk	0.036	40-50mm
	Kcal/hm ⁰ C	0.031	
	W/mk	0.038	
	Kcal/hm ⁰ C	0.033	≥80mm
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (max)	W/mk	0.033	EN 12667 ή EN 12939
Κατηγορία ακουστότητας	-	E	EN 13501-1 και ENISO11925-2
Μακροχρόνια απορρόφηση νερού με διάχυση	% κατά όγκο	≤3	EN 12088

Βραχυχρόνια απορρόφηση νερού με ολική εμβάπτιση	% κατά όγκο	≤0,7	EN 12087
Συντελεστής αντίστασης ατμοδιαπερατότητας, μ	-	≥50	EN 12086
Τριχοειδή αγγεία	-	ουδέν	
Αντοχή σε συμπίεση $\sigma_{10\%}$ (min)	kPa	400	EN 826
Διαστατική Σταθερότητα (70oC σχ.υγρασία 90%)	-	≤5%	EN 1604
Θερμοκρασία χρήσης	°C	-50/+70	

*συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού μετά από τεχνητή γήρανση, ο οποίος αντιστοιχεί στη συμπεριφορά που θα έχει το υλικό μετά από 20 χρόνια.

Πίνακας 4.20.α Τεχνικά χαρακτηριστικά της FL πλάκας.

- πλάκες δωματίων RF



Εικόνα 4.11 Πλάκες εξηλασμένης πολυστερίνης RF.

Οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητες της πλάκας RF είναι οι εξής :

Ιδιότητες	Μονάδα μέτρησης	Τιμή	Πρότυπο μέτρησης	
Πυκνότητα	Kg/m ³	≥ 32	EN 1602	
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας * λ _D (max)	W/(mK)	0.333	20-30mm	EN 12667& EN 12939
	Kcal/hm ⁰ C	0.028		
	W/mk	0.036	20-30mm	
	Kcal/hm ⁰ C	0.031		
	W/mk	0.038	≥51mm	
Kcal/hm ⁰ C	0.033			

Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ (max)	W/mk	0.0330	ISO 8302	
	Kcal/hm ⁰ C	0,026		
Κατηγορία ακουστότητας	-	E	EN 13501-1	
Μακροχρόνια απορρόφηση νερού με διάχυση	% κατά όγκο	≤3	EN 12088	
Βραχυχρόνια απορρόφηση νερού με ολική εμβάπτιση	% κατά όγκο	≤100	EN 12087	
Συντελεστής αντίστασης ατμοδιαπερατότητας, μ	-	≥50	EN 12086	
Τριχοειδή αγγεία	-	ουδέν		
Αντοχή σε συμπίεση σ _{10%} (min)	kPa	200	≥20mm	EN 826
		250	21-40mm	
		300	>41mm	
Διαστατική Σταθερότητα	-	≤5%	EN 1604	
Θερμοκρασία χρήσης	°C	-50/+70	EN 13501-1	

*συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού μετά από τεχνητή γήρανση, ο οποίος αντιστοιχεί στη συμπεριφορά που θα έχει το υλικό μετά από 20 χρόνια.

Πίνακας 4.20.β Τεχνικά χαρακτηριστικά πλάκας RF.

Παρατήρηση

Από τη σύγκριση των δύο πινάκων των τεχνικών χαρακτηριστικών της πλάκας FL και RF προκύπτει ότι η πλάκα για δάπεδα FL παρουσιάζει μεγαλύτερο χρόνο αντίδρασης στα αντίστοιχα μεγέθη, κάνοντας της πιο ανθεκτική ως προς τη θερμική αγωγιμότητα και την αντοχή σε συμπίεση.

Οι υπόλοιπες πλάκες που διατίθενται στο εμπόριο είναι:

- πλάκες γκοφρέ GF (Με εφαρμογή περιμετρικά σε είδη σκυροδέματος όπως τοίχοι-δοκοί-κολώνες-δώματα)
- πλάκες ξυλότυπων BT
- πλάκες τοιχοποιίας WL
- πλάκες ECO Fibran

Οι πλάκες της εξηλασμένης πολυστερίνης καθώς και όλες οι πλάκες από σκληρά αφρώδη συνθετικά υλικά αν και είναι ανθεκτικές στην υγρασία και τη θερμοκρασία, όταν εκτίθενται στην υπεριώδη ακτινοβολία για μεγάλο χρονικό διάστημα αλλοιώνονται τα χαρακτηριστικά τους. Αποκτούν ένα καφέ χρώμα και η επιφάνειά τους γίνεται εύθραυστη.

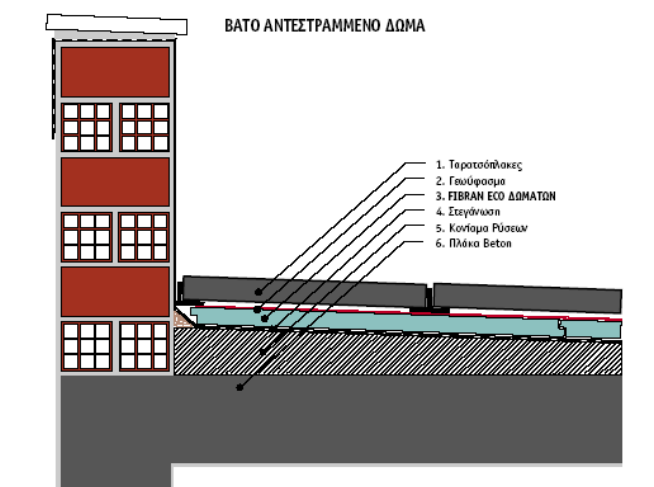
Εφαρμογές

- Αντεστραμένο δάπεδο



Εικόνα 4.12

- Βατό αντεστραμμένο δώμα



Εικόνα 4.13

- θερμομόνωση στον πυρήνα της τοιχοποιίας



Εικόνα 4.14

4.4.2. Διογκωμένη πολυστερίνη (Φελιζόλ)

Η διογκωμένη πολυστερίνη ή εν συντομία EPS, είναι ένα ελαφρύ, άκαμπτο, πλαστικό και αφρώδες υλικό που παράγεται από συμπαγείς σταγόνες πολυστυρολίου και αποτελείται κατά 98% από αέρα. Η μέση θερμική αγωγιμότητά του είναι $\lambda_d=0.035W/(m.K.)$ σε πυκνότητα 19gr/lit και μπορεί να κατασκευαστεί με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda_d=0.031W/(m.K.)$. Είναι ένα οικονομικό, εύχρηστο και ευέλικτο υλικό, ανθεκτικό στην υγρασία, ανακυκλώσιμο και περιβαλλοντολογικά ασφαλές. Η διάρκεια ζωής του είναι απεριόριστη (έρευνες του

πανεπιστημίου Πάτρας έδωσαν εργαστηριακά αποτελέσματα ότι οι ιδιότητες του υλικού παραμένουν άθικτες μέχρι και 100 χρόνια) καθώς δεν υφίσταται γήρανση, αποδόμηση ή απώλεια διαστάσεων όπως άλλα θερμομονωτικά υλικά.

Η παραγωγική διαδικασία ξεκινά από την παραγωγή της πρώτης ύλης που είναι διάλυση του πεντανίου σε ένα υλικό το οποίο έχει βάση την πολυστερίνη και όταν θερμανθεί με ατμό παράγει κλειστές σφαιρικές κυψέλες EPS. Η διαστολή (διόγκωση) επιτυγχάνεται από τις μικρές ποσότητες πεντανίου αερίου που απελευθερώνονται μέσα στο πολυστυρόνιο κατά τη διάρκεια παραγωγής.

Το αέριο διαστέλλεται με την ενέργεια της θερμότητας που χρησιμοποιείται σε μορφή ατμού και σχηματίζει ορμητικά κλειστές κυψέλες EPS. Οι κυψέλες περιλαμβάνουν περίπου 40 φορές τον όγκο της αρχική σταγόνας της πολυστερίνης. Οι κυψέλες EPS τοποθετούνται σε συγκεκριμένα καλούπια (φόρμες) έτσι ώστε να παραχθούν διάφορα προϊόντα όπως μονωτικές πλάκες, πρίσματα ποικίλων διαστάσεων και άλλες κατασκευές όπως και βιομηχανικές συσκευασίες.

Η διογκωμένη πολυστερίνη λόγω των κενών που δημιουργούν οι κυψέλες έχει θερμομονωτικές ικανότητες όμως απορροφά εύκολα υγρασία με αποτέλεσμα να χάνει μέρος των ιδιοτήτων της.

Τα προϊόντα EPS παράγονται και τυποποιούνται σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13163 ελέγχονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές και η σήμανσή τους είναι CE πριν κυκλοφορήσουν στην αγορά.

Η διογκωμένη πολυστερίνη στον τομέα των πολιτικών μηχανικών χρησιμοποιείται για

- Θερμομόνωση και ηχομόνωση σε παντός είδους κτίρια, σε τοίχους, οροφές, δάπεδα,

- Κατασκευή εξωτερικών μονώσεων σε παλαιά και νέα κτίρια.
- Κατασκευή εξωτερικών και εσωτερικών διακοσμητικών κτιρίων.
- Αναπαλαιώσεις κτιρίων υψηλού αισθητικού και ιστορικού ενδιαφέροντος.
- Τοποθετήσεις ενδοδαπέδιων συστημάτων θέρμανσης.
- Σεισμική θωράκιση των κτιρίων τόσο περιμετρικά στα θεμέλια όσο και σε γενική κοιτόστρωση (ανεστραμμένη πλάκα).
- Κατασκευές κτιρίων με ελαφρά συστήματα τύπου πανέλων και βοηθητικών κατασκευών.
- Ελαφρύ επίχωμα (υπόβαση) και συμπλήρωση πρανών σε χαλαρά, μικρής αντοχής εδάφη σε έργα οδοποιίας.
- Κατασκευή προβλητών μικρών σκαφών σε λιμενικά έργα.
- Κατασκευή ψυγείων και θερμοθαλάμων.
- Κατασκευή ελαφρών και ταυτόχρονα μονωτικών κονιαμάτων στη διάστρωση δαπέδων από πάσης φύσεως υλικά.



Εικόνα 4.15 Μορφές της διογκωμένης πολυστερίνης

Η διογκωμένη πολυστερίνη είναι από τα καλύτερα θερμομονωτικά υλικά όσον αφορά τη περιβαλλοντική της αξιολόγηση. Δεν είναι τοξική και είναι εντελώς αδρανής. Δεν περιέχει χλωροφθοράνθρακες (CFCs) ή υδροφθοράνθρακες (HCFCs) σε όλη τη διάρκεια της ζωής της. Επίσης δεν υπάρχει κίνδυνος μυκητιάσεων ή μικροοργανισμών λόγω του ότι δεν περιέχει καμία διατροφική αξία.

Δεν προκαλεί κανένα ερεθισμό στο ανθρώπινο δέρμα ή οποιαδήποτε άλλη βλάβη κατά τη διάρκεια τοποθέτησής της αλλά και της χρήσης της. Επιπλέον μπορεί να ανακυκλωθεί με πολλούς τρόπους όταν σταματήσει η χρήση της.

4.4.3. Ινώδη θερμομονωτικά- Ηχοαπορροφητικά υλικά (Υαλοβάμβακας-Πετροβάμβακας)

4.4.3.1. Υαλοβάμβακας

Ο υαλοβάμβακας ή υαλόμαλλο είναι ινώδης μονωτικό υλικό που χρησιμοποιείται ευρέως στην οικοδομή, τη βιομηχανία, τη ναυτιλία. Τα προϊόντα υαλοβάμβακα παράγονται σε τυποποιημένες μορφές, πυκνότητες και διαστάσεις (πλάκες, παπλώματα, κοχύλια) χωρίς επικαλύψεις ή με επικάλυψη όπως ενισχυμένο αλουμινόφυλλο, υαλοπίλημα, χαρτί.

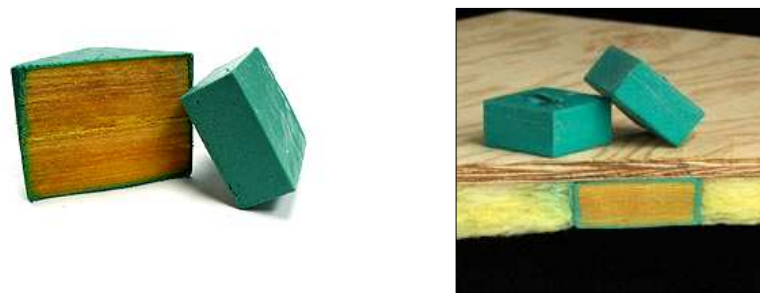
Ο τρόπος παρασκευής του είναι ο εξής:

Όταν τήγμα γυαλιού πέσει μέσα σε κατακόρυφο κύλινδρο διάτρητο και περιστρεφόμενο γύρω από τον άξονά του δημιουργείται ένα νέφος από ίνες γυαλιού που ψεκάζονται με λεπτό ορυκτέλαιο, ώστε να μην κονιοποιούνται με την τριβή και παρασύρονται με ρεύμα αέρος σχηματίζοντας πάπλωμα επάνω σε πλεκτή μεταφορική ταινία. Το υαλόμαλλο μπορεί να γίνει και με φύσημα αέρα ή ατμού σε τήγμα γυαλιού ή σκουριάς.

Οι ίνες του υαλοβάμβακα διαμορφώνονται όταν λεπτές λωρίδες πυριτικού (ή άλλης σύστασης) γυαλιού εξωθούνται παράγοντας πολλές ίνες με μικρή διάμετρο κατάλληλες για ύφανση. Το γυαλί, ακόμη και ως ίνα, είναι άμορφο στερεό (χωρίς κρυσταλλική δομή). Οι ιδιότητες της δομής του γυαλιού όταν αυτό μαλακώνει και έχει αρχίσει να λιώνει είναι παρόμοιες με τις ιδιότητές του όταν γνέθεται σε ίνες. Η πρώτη εμπορική παραγωγή του υαλοβάμβακα ήταν το 1936.

Οι ίνες γυαλιού βαθμού έχουν βάση το πυριτικό (SiO_2). Στην καθαρή του μορφή του υπάρχει ως πολυμερές, $(\text{SiO}_2)_n$. Δεν έχει πραγματικό σημείο τήξεως, αλλά μαλακώνει μέχρι τους 2000°C , όπου αρχίζει χάνει τη δομή του. Στους 1713°C , το μεγαλύτερο μέρος των μορίων μπορούν να κινούνται ελεύθερα. Εάν το γυαλί κρυώσει γρήγορα, τα μόρια δεν προλαβαίνουν να διαμορφώσουν μια διαταγμένη δομή [2]. Ως πολυμερές, σχηματίζει ομάδες SiO_4 οι οποίες έχουν τη μορφή τετραέδρου με το άτομο του πυριτίου στο κέντρο τους και τέσσερα άτομα οξυγόνου στις γωνίες. Αυτά τα τετράεδρα στη συνέχεια δημιουργούν ένα δίκτυο τετραέδρων τα οποία είναι ενωμένα στις γωνίες με το να μοιράζονται άτομα οξυγόνου.

Αν και το καθαρό πυρίτιο δίνει ένα πολύ καλό γυαλί καθώς και καλές ίνες γυαλιού, η κατεργασία του πρέπει να γίνει σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, κάτι που είναι ένα ενεργειακό μειονέκτημα εκτός αν υπάρχει συγκεκριμένη απαίτηση για τις χημικές ιδιότητές του. Το πρώτο είδος γυαλιού που χρησιμοποιήθηκε για ίνες γυαλιού ήταν γυαλί Νατρίου-Ασβεστίου ή «Γυαλί τύπου Α», το οποίο όμως δεν είχε αρκετή αντοχή στα αλκάλια. Ένα νέο αλουμίνιο-βόριο-πυριτικό γυαλί, το «γυαλί τύπου Ε», το οποίο δεν είχε σχεδόν καθόλου αλκάλια ($< 2\%$), ήταν το πρώτο γυαλί που χρησιμοποιήθηκε για παραγωγή συνεχούς νήματος. Ακόμη και σήμερα, το γυαλί τύπου Ε αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής υαλοβάμβακα παγκοσμίως. Η σύσταση του γυαλιού μπορεί να διαφέρει μεν, αλλά πρέπει να βρίσκεται μέσα σε συγκεκριμένα όρια. Το γράμμα Ε είχε αρχικά την έννοια του γυαλιού κατάλληλου για ηλεκτρικές εφαρμογές (Ε από το Electrical).



Εικόνα 4.16 Υαλοβάμβακας.

4.4.3.2. Πετροβάμβακας

Λόγω των ιδιοτήτων του ο πετροβάμβακας βρίσκει εφαρμογές στην οικοδομή ως θερμο-ηχομόνωση, βιομηχανία, ναυτιλία, γεωργία, σιδηρόδρομο. Αποτελείται από μια μάζα εξαιρετικά λεπτών ινών, των οποίων η διάμετρος δεν ξεπερνά τα 4 ή 5 μικρά. Οι ίνες αυτές προέρχονται από μίγμα ορυκτογενών πετρωμάτων που αφθονούν στη φύση: ηφαιστιογενή πετρώματα, ασβεστόλιθο, δολομίτη και βωξίτη.

Το μίγμα αυτό λιώνει σε ηλεκτρικό φούρνο στους 1520 °C με τη βοήθεια ηλεκτροδίων, ινοποιείται με περιστροφική κίνηση. Αυτή η νέα μέθοδος πλεονεκτεί, από την μέχρι σήμερα εφαρμοζόμενη μέθοδο της υψικάμινου, στο ότι επιτυγχάνεται διαστασιακή ομοιομορφία στις παραγόμενες ίνες μέσω της σταθερά ελεγχόμενης θερμοκρασίας του τήγματος καθώς και στην μηδαμινή επιβάρυνση του περιβάλλοντος σε αντίθεση με αυτή της υψικάμινου. Η συγκόλληση των ινών μεταξύ τους επιτυγχάνεται με την προσθήκη φαινολικής ρητίνης ενώ η υδροαπωθητικότητα του επιτυγχάνεται με την προσθήκη οργανικών ενώσεων του πυριτίου.

Ο πετροβάμβακας είναι θερμοηχομονωτικό υλικό υψηλής αντοχής σε μεγάλες θερμοκρασίες εξασφαλίζοντας την πυραντίσταση της κατασκευής. Οι ίνες αντέχουν σε υψηλότερες από 1000 °C θερμοκρασίες, καθώς δεν επηρεάζονται οι μονωτικές ιδιότητες του υλικού ούτε η διαστασιακή του σταθερότητα ακόμη και αν η συνδετική ρητίνη εξατμίζεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Ακολουθεί το σχεδιάγραμμα της παραγωγής του πετροβάμβακα.

Ακολουθεί το σχεδιάγραμμα διαδικασίας παραγωγής του πετροβάμβακα.



Σχεδιάγραμμα 4.15 Διαδικασία παραγωγής πετροβάμβακα.

Ο πετροβάμβακας όπως και τα υπόλοιπα θερμομονωτικά υλικά παράγεται σε συγκεκριμένες διαστάσεις και μορφές. Παράγεται σε πλάκες από 40 - 200 kg/m³ και σε ρολά με κοτετσόσυρμα από 65 - 100 kg/m³.

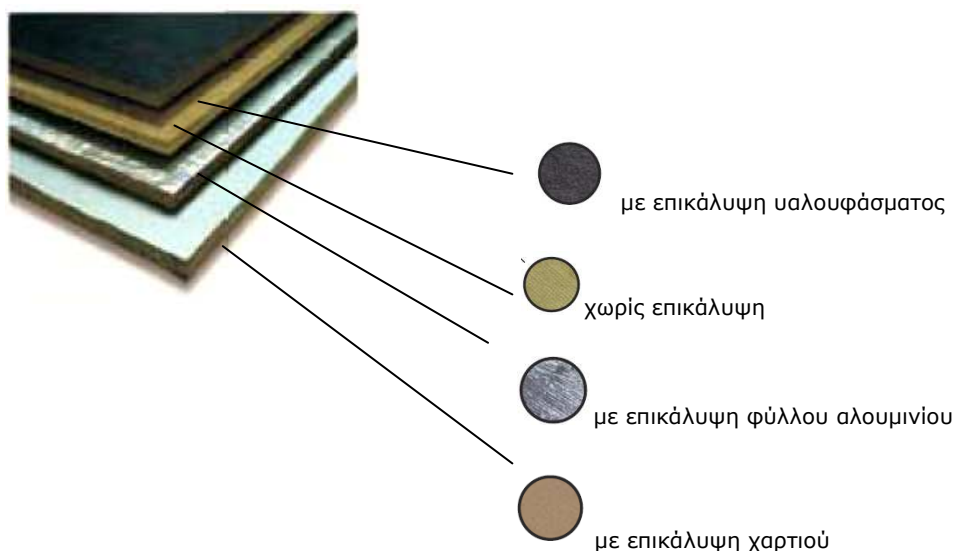


Εικόνα 4.17 Πετροβάμβακας.

Παρακάτω δίνονται οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητες δύο ειδών πετροβάμβακα, όπως διατίθενται στο εμπόριο, για την κατανόηση του προϊόντος.

-πετροβάμβακας Geolan- B-040,

εφαρμόζεται στις θερμομονώσεις εσωτερικής τοιχοποιίας, στις διπλές τοιχοποιίες, στην ξηρά δόμηση, στη θερμο-ηχομόνωση στις στέγες και ψευδοροφές.

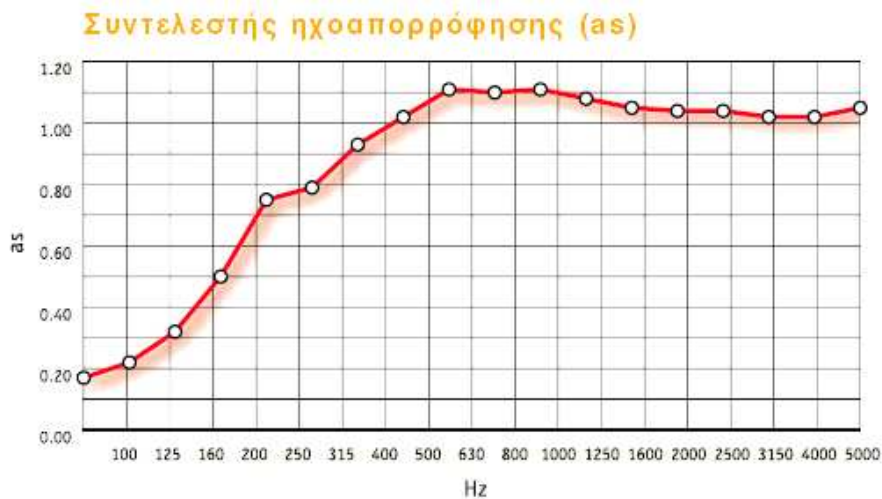


Εικόνα 4.18 Πετροβάμβακας Geolan- B-040.

Οι μηχανικές και φυσικές του ιδιότητες είναι:

Ιδιότητες	Τιμή	Μονάδα μέτρησης	Πρότυπο μέτρησης
Πυκνότητα ρ	40	Kg/m ³	
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ _D στους 10°C	0,035	W/mk	EN 12667
	0,030	Kcal/mh ⁰ C	
Κατηγορία ακουστότητας	A1		EN 13501-2
Θερμοκρασία λειτουργίας	750	°C	DIN 4102
Αντοχή σε εφελκυσμό παράλληλα των όψεων(min)	12	kPa	EN 1608
Συντελεστής ατμοδιαπερατότητας, μ	1		EN 12086
Βραχυχρόνια απορρόφηση νερού με μερική εμβάπτιση	<1	Kg/m ²	EN 1609
Μακροχρόνια απορρόφηση νερού μερική εμβάπτιση	<3	Kg/m ²	EN 12087
Αντίσταση ροής αέρα	15	kPa s/m ²	EN 29053

Πίνακας 4.21.α Τεχνικά χαρακτηριστικά του πετροβάμβακα Geolan- B-040 από την εταιρία παραγωγής fibran.



Σχεδιάγραμμα 4.16 Διάγραμμα συντελεστή ηχοαπορρόφησης (αs) του πετροβάμβακα Geolan- B-040.

-πετροβάμβακας Geolan B-001

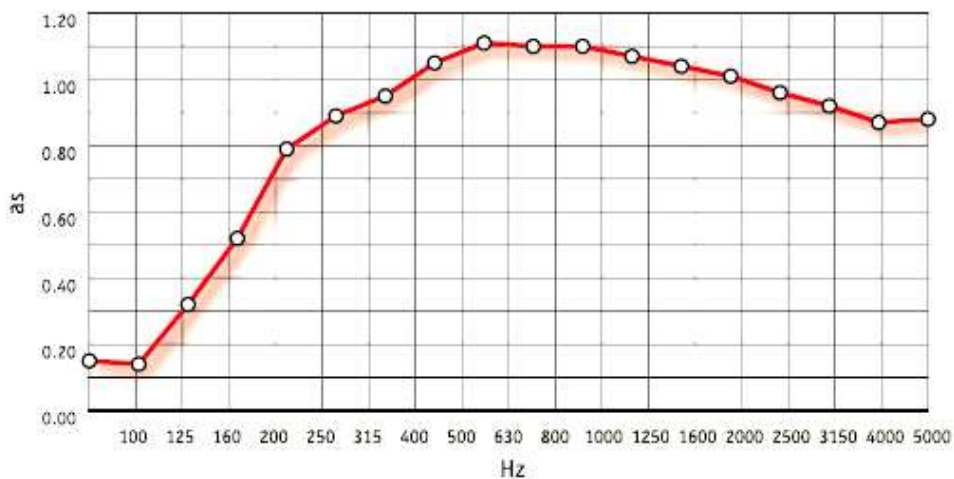
οι σκληρές αυτές πλάκες πετροβάμβακα εφαρμόζονται στις αεριζόμενες όψεις, στη θερμό-ηχομόνωση των δωματίων, δαπέδων και ψευδοροφών.

Οι μηχανικές και φυσικές του ιδιότητες είναι:

Ιδιότητες	Τιμή	Μονάδα μέτρησης	Πρότυπο μέτρησης
Πυκνότητα ρ	100	Kg/m ³	
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ ₀ στους 10°C	0,033	W/mK	EN 12667
	0,028	Kcal/mh ⁰ C	
Κατηγορία ακουστότητας	A1		EN 13501-2
Θερμοκρασία λειτουργίας	750	°C	DIN 4102
Αντοχή σε εφελκυσμό παράλληλα των όψεων (min)	1	kPa	EN 1607
Τάση θλίψης σε 10% συμπίεση (min)	5	kPa	EN 826
Συντελεστής ατμοδιαπερατότητας, μ	1		EN 12086
Βραχυχρόνια απορρόφηση νερού με μερική εμβάπτιση	<1	Kg/m ²	EN 1609
Μακροχρόνια απορρόφηση νερού μερική εμβάπτιση	<3	Kg/m ²	EN 12087
Δυναμική ακαμψία (min)	5	MN/m ³	EN 29052-1

Πίνακας 4.21.β Τεχνικά χαρακτηριστικά του πετροβάμβακα Geolan B-001.

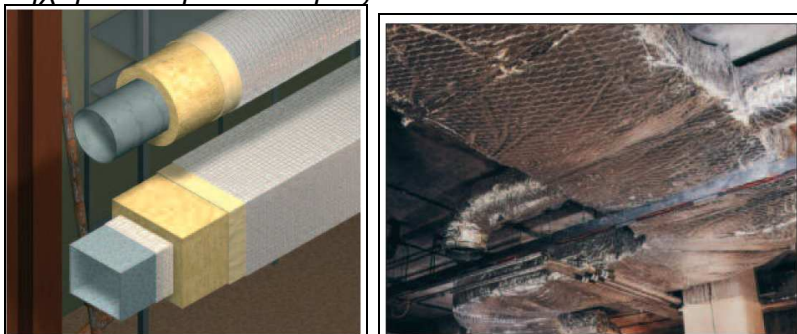
Ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης (αs):



Σχεδιάγραμμα 4.16.β Διάγραμμα συντελεστή ηχοαπορρόφησης (α_s) του πετροβάμβακα_ Geolan B-001.

εφαρμογές:

-θερμο-ηχομόνωση σε σωλήνες



Εικόνα 4.19 Εφαρμογές του πετροβάμβακα.

- εσωτερική ηχομόνωση σε τοιχοποιίες και ταβάνι



Εικόνα 4.20 Εφαρμογή πετροβάμβακα σε ταβάνι *studio* ηχογραφήσεων (σύστημα ανάρτησης οροφής γυψοσανίδας).

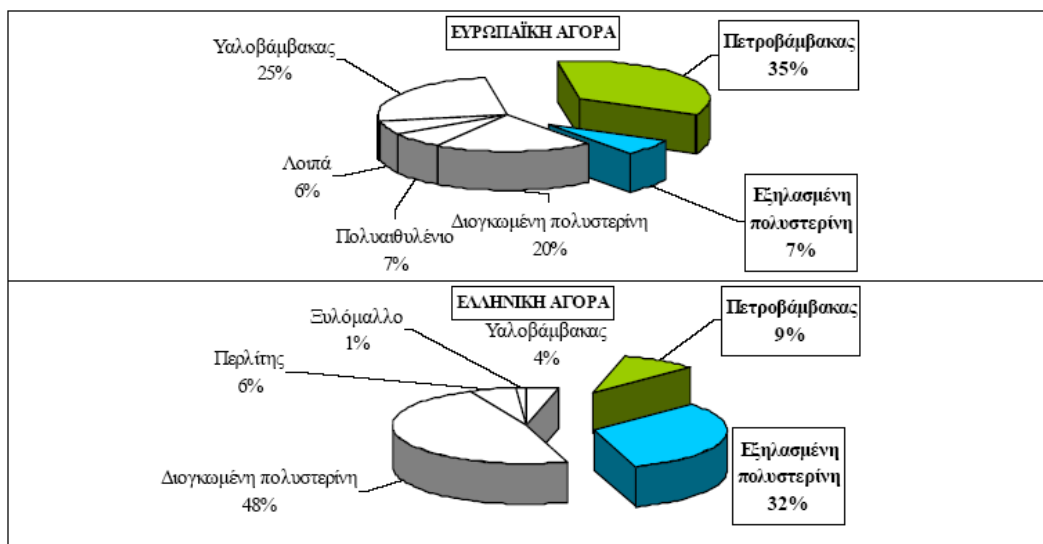
4.4.3.3. Υγεία και πετροβάμβακας

- ο πετροβάμβακας δε θέτει σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία των ατόμων που τον χρησιμοποιούν στη δουλειά τους.
- σε περίπτωση όπου διαταραχτεί η κατασκευή που περιέχει πετροβάμβακα, οι ίνες που απελευθερώνονται στον αέρα είναι βιοδιασπώμενες, δεν παραμένουν ως ίνες όταν διασπώνται από το ανθρώπινο σώμα όταν αυτό τις εισπνεύσει.
- ο πετροβάμβακας συνήθως δε φθείρει σε κόκκους ή ίνες. Έρευνες έχουν δείξει, σε κτίρια όπου έχει χρησιμοποιηθεί για θερμο-ηχομόνωση, ότι η στάθμη των ινών στον αέρα είναι μη ανιχνεύσιμες.
- η σκόνη του πετροβάμβακα δημιουργεί στιγμιαίο ερεθισμό στο δέρμα με αποτέλεσμα να προκαλεί φαγούρα, όταν όμως σταματήσει η επαφή με τη σκόνη σταματάει και ο ερεθισμός στο δέρμα.
- η νομοθεσία της Αγγλίας για την υγεία και την ασφάλεια, προβλέπει έναν σχετικό ρουχισμό που αφορά σε μάσκες προσώπου για το εργασιακό περιβάλλον όπου υπάρχει πολύ σκόνη και χρησιμοποιούνται επαγγελματικά κοπτικά εργαλεία γρήγορης ταχύτητας.
- η αγγλική, ευρωπαϊκή και ιρλανδική νομοθεσία για την υγεία και την ασφάλεια , επιβεβαιώνουν ότι δεν υπάρχουν υποθέσεις ότι ο πετροβάμβακας είναι καρκινογόνο υλικό.
(UK HSE "CHIP" Regulations, EU Directive 97/69/ EC).
- ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας κατατάσσει τον πετροβάμβακα στα υλικά που δεν προκαλούν καρκίνο στον άνθρωπο. Η Διεθνής Υπηρεσία Έρευνας για τον Καρκίνο (IARC) ταξινομεί το υλικό στην κατηγορία 3, βασισμένη σε εκτεταμένες έρευνες παγκοσμίως.
- ο πετροβάμβακας περιέχει ένα αρκετά μικρό ποσοστό φολμαδεύδης. Έρευνες δείχνουν ότι δεν υπάρχουν αξιόλογες αυξήσεις στα ποσοστά της φολμαδεύδης σε κατασκευές-εγκαταστάσεις όπου χρησιμοποιείται ο πετροβάμβακας.
- ο πετροβάμβακας έχει υποστεί ελέγχους και οι προδιαγραφές του τηρούν τα πιο αυστηρά μέτρα που θέτει η ευρώπη για την απελευθέρωση της φορμαδεύδης.

4.5. Σύγκριση πετροβάμβακα- εξηλασμένης πολυστερίνης.

Τα δύο βασικότερα θερμομονωτικά υλικά είναι ο πετροβάμβακας και η εξηλασμένη πολυστερίνη. Η συμμετοχή τους στην αγορά και οι λόγοι των ποσοστών που χρησιμοποιούνται ποικίλει ανάλογα με τη νομοθεσία και τις καιρικές συνθήκες του τόπου όπου εφαρμόζονται.

Στην ελληνική και ευρωπαϊκή αγορά ισχύουν τα εξής:



Σχεδιάγραμμα 4.17 Μεριδία αγοράς θερμομονωτικών υλικών.

Οι λόγοι που διαμόρφωσαν έτσι την αγορά οφείλονται απο γεγονός ότι:

- Οι τοπικοί κανονισμοί των χωρών της βόρειας και κεντρικής ευρώπης, οι οποίες χώρες έχουν μεγάλη κατανάλωση των υλικών αυτών, απαιτούν μεγάλο πάχος θερμομόνωσης και για λόγους κόστους προτιμάται ο πετροβάμβακας.
- στις χώρες όπου η κατανάλωση των θερμομονωτικών υλικών είναι μεγάλη επιβάλλεται από τους κανονισμούς των χωρών μεγάλη προστασία ως προς την πυρκαγιά. Όπως στη Μεγάλη Βρετανία και τη Γερμανία. Ο πετροβάμβακας υπερισχύει στο θέμα της πυροπροστασίας σε σύγκριση με την εξηλασμένη πολυστερίνη.
- Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται κατά πολύ τα οργανικά αφρώδη υλικά. Έχουν τη μορφή πλάκας και καθιστούνται πιο εύχρηστα. Για τα αφρώδη οργανικά υλικά δεν απαιτούνται μέτρα προστασίας κατά την εφαρμογή τους και αυτό το γεγονός τα έκανε πιο διαδεδομένα στο ανειδίκευτο και ανεπαρκώς ενημερωμένο έλληνα εργάτη.

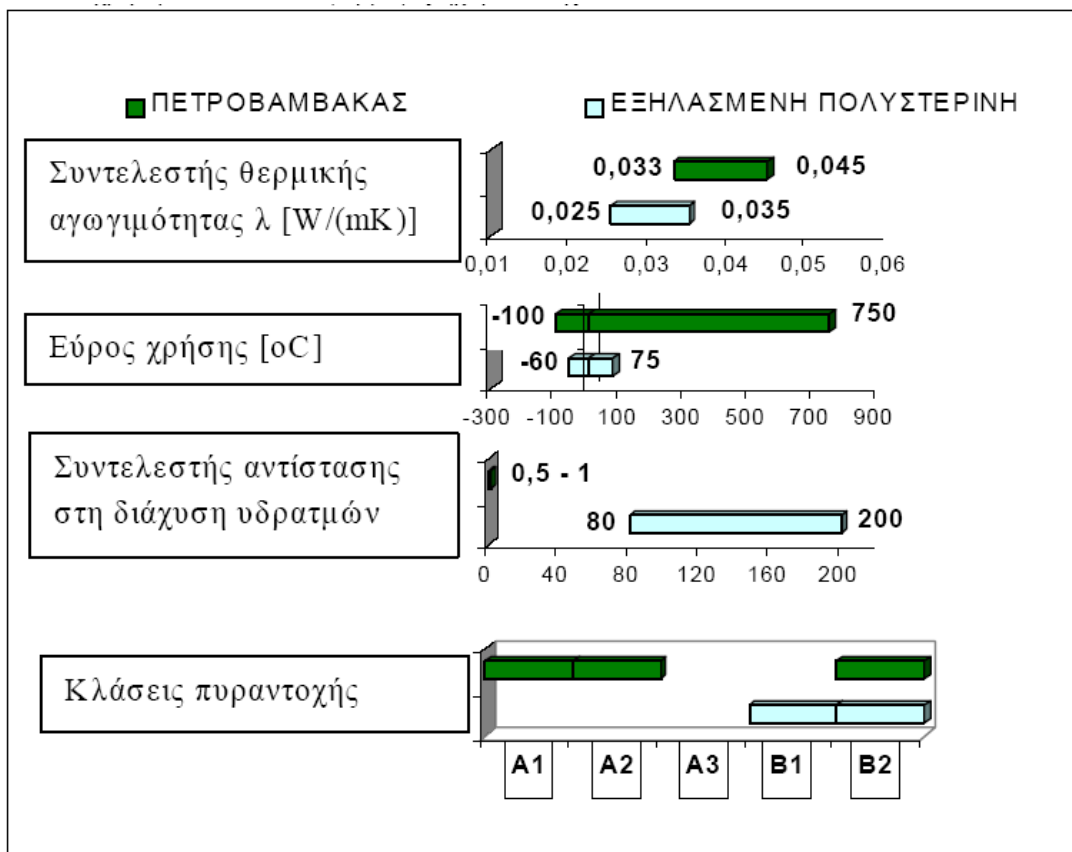
Επίσης, από το σχήμα φαίνεται ότι το ποσοστό της διογκωμένης πολυστερίνης είναι μεγαλύτερο από αυτό της εξηλασμένης και αυτό οφείλεται καθαρά στο κόστος των υλικών. Συγκεκριμένα στην ελληνική αγορά το κόστος της διογκωμένης πολυστερίνης είναι ακόμα πιο χαμηλό συνεπώς το ποσοστό της χρήσης της αρκετά μεγαλύτερο από αυτό της εξηλασμένης.

Όσο πιο αυστηρά γίνονται τα κριτήρια της θερμομόνωσης, της πυρασφάλειας και της οικολογικής δόμησης τόσο αυξάνεται το ποσοστό πωλήσεων του πετροβάμβακα. Παρ' όλα αυτά η εξηλασμένη πολυστερίνη σε ορισμένες περιπτώσεις είναι αναντικατάστατο υλικό λόγω της μεγάλης αντοχής σε θλίψη και υγρασία. Μία τέτοια εφαρμογή είναι η θερμομόνωση στοιχείων σκυροδέματος. Εκτιμάται ότι το ποσοστό πωλήσεων του πετροβάμβακα θα αυξηθεί στην ελληνική αγορά και θα συγκλίνει με αυτό του εξωτερικού ενώ ταυτόχρονα θα αυξηθεί και η ζήτηση της εξηλασμένης πολυστερίνης.

Όπως έχει προαναφερθεί η επιλογή ενός υλικού δεν γίνεται μόνο βάσει του κόστους του αλλά και όλων των τεχνικών χαρακτηριστικών ανάλογα πάντα με τη χρήση που προορίζονται. Παρακάτω ακολουθεί η συγκριτική αξιολόγηση των φυσικών ιδιοτήτων του πετροβάμβακα και της εξηλασμένης πολυστερίνης.

Οι τιμές ποικίλουν ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής, τον τύπο και την πυκνότητα του κάθε προϊόντος, για αυτό δίνεται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή σε κάθε ιδιότητα.

Οι τιμές ηχοαπορροφητικότητας δεν έχουν προστεθεί στο συγκριτικό διάγραμμα καθώς η εξηλασμένη πολυστερίνη δεν παρουσιάζει ηχοαπορροφητικότητα και δεν χρησιμοποιείται σε εφαρμογές ηχομόνωσης.



Διάγραμμα 4.18 Συγκριτική αξιολόγηση των φυσικών ιδιοτήτων του πετροβάμβακα και της εξηλασμένης πολυστερίνης.

Συμπεράσματα:

- Θερμομόνωση των δύο υλικών

Η θερμομονωτική ικανότητα των υλικών οφείλεται στον αέρα που περιέχεται στη μάζα τους. Και τα δύο υλικά περιέχουν αέρα στη μάζα τους η διαφορά βρίσκεται στον τρόπο με τον οποίο έχει εγκλωβιστεί ο αέρας.

Ο πετροβάμβακας που είναι ανόργανο ινώδες υλικό αποτελείται από ίνες μέσης διαμέτρου 15 μm, οι οποίες συνδέονται με τις ειδικές συνδετικές ρητίνες. Ο αέρας είναι εγκλωβισμένος και έχει άμεση επαφή με το περιβάλλον.

Η εξηλασμένη πολυστερίνη είναι οργανικό αφρώδες υλικό και βρίσκεται σε μορφές πλάκας. Ο αέρας υπάρχει μέσα στη μάζα του υλικού με τη μορφή μικρών φυσαλίδων και έχει ελάχιστη επαφή με τον εξωτερικό αέρα.

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας των δύο υλικών είναι ίδιας τάξης μεγέθους και εξαιρετικά χαμηλός. Η εξηλασμένη πολυστερίνη μπορεί να υπερिशύει κατά λίγο του πετροβάμβακα αλλά και τα δύο θεωρούνται άριστα θερμομονωτικά υλικά.

- πυραντίσταση των δύο υλικών

Η εξηλασμένη πολυστερίνη επειδή είναι οργανικό πλαστικό υλικό καίγεται και τήκενται εύκολα για αυτό και έχει περιορισμένο εύρος χρήσης. Χρησιμοποιείται σε

κτηριακές εφαρμογές και σε ελαφριές βιομηχανικές κατασκευές, μια που αντέχει μέχρι τους 75^o C και επειδή τήκεται εύκολα γίνεται επικίνδυνο ως υλικό και γιατί ορισμένοι τύποι είναι εύφλεκτοι αλλά και γιατί κατά την καύση της παράγονται τοξικά αέρια.

Αντιθέτως, οι ανόργανες ίνες του πετροβάμβακα προέρχονται από ηφαιστειακά πετρώματα και τον καθιστούν ως υλικό μεγάλης αντίστασης στη πυρκαγιά. Ορισμένοι τύποι του πετροβάμβακα ταξινομούνται στην κλάση A1. Χρησιμοποιείται σε βιομηχανικές εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών, δίκτυα υπερθερμού ατμού και χυτήρια ακόμα και σε διαστημικές εφαρμογές.

Επιπλέον μία διαφορά βρίσκεται στο ότι ο πετροβάμβακας προτιμάται λόγω της ευκαμψίας του και μπορεί να εφαρμόζει σε κυλινδρικές επιφάνειες. Η εξηλασμένη πολυστερίνη για να χρησιμοποιηθεί σε κυλινδρικές επιφάνειες πρέπει να είναι της μορφής κοχυλιού όπου η παραγγελία για αυτή τη μόρφη το καθιστά οικονομικά ακριβό υλικό.

- **υδρατμοαπορροφητικότητα των δύο υλικών**

Οι υδρατμοί διαπερνούν σχετικά εύκολα τον πέτροβάμβακα λόγω των ανοιχτών κυψέλων αέρα που έχει.

Στις τοιχοποιίες αυτό δεν είναι πρόβλημα μια που ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας των υδρατμών είναι ίσος με αυτόν του αέρα (σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος $\lambda_{\text{υδρατμών}}=0,026\text{W/m}^2 \text{K}$). Εφόσον η υγρασία διαπερνά την τοιχοποιία και οι υδρατμοί δε συμπυκνώνονται η θερμική αγωγιμότητα παραμένει σταθερή.

Όταν το δομικό υλικό είναι σκυρόδεμα δημιουργείται πρόβλημα καθώς οι υδρατμοί διαπερνούν μόνο τον πετροβάμβακα και εγκλωβίζονται μεταξύ του δομικού υλικού και του μονωτικού. Ο συντελεστής της θερμικής αγωγιμότητας του νερού είναι πολύ πιο μεγάλος από αυτόν του αέρα (σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος $\lambda_{\text{νερού}}=0,6\text{W/m}^2 \text{K}$), με αποτέλεσμα ο πετροβάμβακας να χάνει τη θερμομονωτική του ικανότητα και να δημιουργούνται φθορές στο σκυρόδεμα.

Για το λόγο αυτό στη θερμομόνωση των στοιχείων σκυροδέματος χρησιμοποιείται η εξηλασμένη πολυστερίνη η οποία παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών. Όταν όμως απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιείται ο πετροβάμβακας ο οποίος καλύπτεται εξωτερικά με στεγανωτική μεμβράνη.

Ένας ακόμη παράγοντας ο οποίος είναι σημαντικός για την επιλογή του εκάστου υλικού είναι η περιβαλλοντική αξιολόγησή του. Αν και το μέρος αυτό θα αναλυθεί αργότερα παρακάτω δίνεται ο πίνακας με τις πρώτες ύλες και τις ενεργειακές καταναλώσεις των επιμέρους διεργασιών κατά την παραγωγή πετροβάμβακα και εξηλασμένης πολυστερίνης καθώς και η εκπομπή ρύπων στο στάσιο παραγωγής των δύο υλικών.

Δεδομένα εισροών για την παραγωγή πετροβάμβακα		Δεδομένα εισροών για την παραγωγή εξηλασμένης πολυστερίνης	
Ενέργεια προϊόντος (kW/kg)			
Ηλεκτρική ενέργεια (kWh/kg προϊόντος)	0,3	Ηλεκτρική ενέργεια (kWh/kg προϊόντος)	0,9
Θέρμανση (It/tn προϊόντος)	33,3		
Πρώτες ύλες (tn/tn προϊόντος)			
Μίγμα ορυκτών		Πολυστυρένιο	0,62
Αμφιβολίτης	0,03	Διογκωτικά μέσα	0,06
Ασβεστόλιθος	0,01	Πρόσθετο	0,015
Βωξίτης	0,004		
Παραγωγή ρητίνης (tn / tn προϊόντος)			
Φολμαδεύδη	0,04		
Φαινόλη	0,01		
Ουρία	0,02		
Σιλάνιο	3,64		
Θεική αμμωνία	0,0004		
Αμμωνία	0,001		
Καυστική σόδα	0,002		
Θειικό οξύ	0,0007		
Βοηθητικά υλικά (tn/ tn προϊόντος)			
Σιλικόνη	0,001		
Ορυκτέλαιο	0,002		
Υλικό επικάλυψης (tn/ tn προϊόντος)			
Αλουμίνιο	0,4		
Αλουμινόχαρτο	0,4		
Χαρτί	0,003		
Υαλούφασμα	0,002		
Υλικό συσκευασίας (tn/ tn προϊόντος)			
LDPE	0,0125	LDPE	0,018

Πίνακας 4.22.α Πρώτες ύλες και ενεργειακές καταναλώσεις κατά την παραγωγή πετροβάμβακα και εξηλασμένης πολυστερίνης.

Ρύποι (kg ρύπου/kg υλικού)	Πετροβάμβακας	Εξηλασμένη Πολυστερίνη
CO ₂	0,700	0,900
CO	0,070	0,080
SO ₂	0,010	0,002
Υγρά απόβλητα	0,100	0,001
Τέφρα	0,040	0,040
Λοιπά στερεά απόβλητα	0,050	0,040

πίνακας 4.22.β
Εκπομπή ρύπων στο στάσιο παραγωγής τους.

Στα ελαφρά θερμομονωτικά υλικά υπάρχει ακόμα μια κατηγορία. Τα κοκκώδη θερμομονωτικά υλικά στα οποία κατατάσσεται ο διογκωμένος περλίτης (επίσης η ελαφρόπετρα, βερμικουλίτης κ.τ.λ.).

4.6. Περλίτης

Ο περλίτης είναι ένα ηφαιστειογενές υαλώδες αργιλλοπυριτικό πέτρωμα του οποίου η γενεσιουργός αιτία είναι η όξινη λαβα που εγχύθηκε επιφανειακά ή υποθαλάσσια, κατά την διάρκεια ηφαιστειακών δραστηριοτήτων. Η τελευταία στην συνέχεια ψύχθηκε και στερεοποιήθηκε ταχύτατα, υπό συνθήκες που δεν επέτρεψαν στα άτομα του ορυκτού να τοποθετηθούν σε σχηματισμούς κρυσταλλικού πλέγματος, γεγονός που έδωσε τελικά στον περλίτη την υαλώδη μορφή του.

Το όνομα προέρχεται από την υφή του η οποία χαρακτηρίζεται από την παρουσία κόκκων, θυμίζοντας μικρά μαργαριτάρια (πέρλες). Πετρογραφικά ο περλίτης είναι ένα ηφαιστειογενές υλικό. Έχει χαρακτηριστική περλιτική δομή που αποτελείται από ομόκεντρα σπασίματα τα οποία μοιάζουν με πέρλες που είναι τοποθετημένες σε όλο το γυαλί, άλλοτε κυκλικά και άλλοτε σε πολυγωνικούς σχηματισμούς. Αυτό είναι και το έντονο χαρακτηριστικό του περλίτη. Τα προαναφερθέντα σπασίματα είναι φαινόμενο που παρατηρείται σε όξινα γυαλιά.

Τα φυσικά χαρακτηριστικά του περλίτη ποικίλουν ανάλογα με την περιοχή προέλευσης του ορυκτού. Τα πιο σημαντικά από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι: η υφή, το χρώμα, η ειδική πυκνότητα και η ψαθυρότητα.

Παρακάτω δίνονται συμπληρωματικά άλλες ενδεικτικές φυσικές ιδιότητες του περλίτη που εξορύσσεται στην Ελλάδα:

- Δείκτης Διάθλασης 1.5
- Υγρασία, Maximum 0.5%
- pH 6.5 - 8.0
- Ειδικό Βάρος 2.2 - 2.4 gr/cm³.

Το ειδικό βάρος του περλίτη που εξορύσσεται στα Ελληνικά λατομεία κυμαίνεται μεταξύ 2.3 με 2,4 gr/cm³. Το ειδικό βάρος του φυσικού πετρώματος ποικίλει από 2,36 gr/cm³ μοιάζοντας αρκετά με αυτό του γυαλιού, έως 1,2 gr/cm³ πλησιάζοντας σε τιμή το ειδικό βάρος της ελαφρόπετρας.

- Πυκνότητα (αορίστου βάρους) 2-25 lb/ft³ range (32-400kg/m³)
- Κοκκομετρία 4-8 mesh & finer
- Σημείο εξευμενισμού 1600-2000°F (871-1093°C)
- Σημείο Τήξης 2300-2450°F (1260-1343°C)
- Ειδική Θερμότητα 0.2 Btu/lb°F (387 J/kg•K)
- Θερμική αγωγιμότητα στους 75°F (24°C) 0.27-0.41 Btu•in/h•ft²•°F (.04-.06 W/m•K)
- Προσρόφηση Ελαίων 50-100 g/g περλίτη
- Προσρόφηση νερού 200-600% κατά βάρος

Επιπλέον ο περλίτης παρουσιάζει τα παρακάτω χαρακτηριστικά, που του προσδίδουν την ικανότητα να έχει τεράστια ποικιλία εφαρμογών:

- 1) Φυσική σταθερότητα, 2) Χημική αδράνεια, 3) Καθαρότητα και απουσία οσμών, 4) Χαμηλό ειδικό βάρος, 5) Θερμομονωτικές ιδιότητες, 6) Ηχομόνωση, 7) Ασφάλεια και ευκολία στη χρήση, 8) Ουδέτερο pH, 9) Βέλτιστος αερισμός και διατήρηση υγρασίας

στις ρίζες για υπέργειες καλλιέργειες, 10) Αποστειρωμένο υλικό, 11) Φιλικότητα προς το περιβάλλον.

Κατασκευαστικές εφαρμογές:

Ως υλικό χαμηλής πυκνότητας με εξαιρετικές ιδιότητες θερμομόνωσης και ηχομόνωσης, ο διογκωμένος περλίτης χρησιμοποιείται γενικά για την κατασκευή δομικών υλικών (πλάκες, μονωτικά χωρίσματα), επιχρισμάτων (σοβάδες, κονιάματα, ελαφρά κονιάματα για οροφές και δάπεδα), καθώς και ως ελαφρύ σκυρόδεμα ("περλιτόδεμα").

Χάρη στα εξαιρετικά μονωτικά χαρακτηριστικά του καθώς επίσης και στο μικρό του βάρος, χρησιμοποιείται ευρέως σαν αραιού τύπου μόνωση στις οικοδομικές κατασκευές.

Λόγω της ελεύθερης ροής του, η έγχυση περλίτη στις κοιλότητες θεωρείται εύκολη κι ως εκ τούτου, χρησιμοποιείται ευρέως ως υλικό πληρώσεως δαπέδων, ρωγμών, του κενού των διπλών τοίχων, καθώς επίσης και για τη δημιουργία ρύσεων στην οροφή. Σε αυτή την εφαρμογή, ο περλίτης ελευθέρας ροής εισάγεται μέσα στις εσοχές του μπετόν γεμίζοντας ολοκληρωτικά όλους τους πόρους και τις τρύπες που μπορεί να υπάρχουν.

Επίσης, αποτελεί εξαιρετικό υλικό για την επισκευή οροφών, παρέχοντας επιπλέον μόνωση και αποστράγγιση. Με εξαιρετικές ιδιότητες θερμομόνωσης, ο περλίτης έχει χαμηλό κόστος, εύκολη εφαρμογή και δεν αλλάζει η μορφή του (δεν μειώνεται, δε μουσκεύει κ.τ.λ.). Τέλος, βελτιώνει τα επίπεδα φωτιάς (όντας ένα ηφαιστειακό γυαλί είναι άφλεκτος και πληρεί τις προδιαγραφές των νόμων περί πυροπροστασίας), μειώνει την μετάδοση του ήχου και έχει προστατευτικές ιδιότητες από την σκουριά και τους τερμίτες.

Ο περλίτης είναι επίσης ιδανικός για μονώσεις χαμηλών θερμοκρασιών και κρυογενικού τύπου δοχείων. Όταν χρησιμοποιείται σαν συστατικό στο σκυρόδεμα παράγεται ένα μείγμα σκυροδέματος ("περλιτόδεμα") που είναι ελαφρύ, μονωτικό, με μεγάλη αντίσταση στη φωτιά, αυξημένη αντοχή σε θλίψη για υψηλές καταπονήσεις από ανεμοπίεση και σεισμό. Το μείγμα αυτό είναι ιδανικό για ψευδοροφές και άλλες παραπλήσιες εφαρμογές.

Ο περλίτης μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως συστατικό σε σκυρόδεμα τύπου "Portland", σε γύψινες κατασκευές για εξωτερικές εφαρμογές καθώς και στην πυροπροστασία πυλώνων και κολόνων.

Η προσθήκη περλίτη στην γυψοκονία ή τσιμεντοκονία προσδίδει ελαφρότητα στο τελικό προϊόν, χαμηλότερο συντελεστή γραμμικής διογκωσης, μεγαλύτερη ελαστικότητα, καλύτερη συγκόλληση στην επιφάνεια επίστρωσης και βελτιωμένες δυνατότητες κατεργασίας με σημαντική βελτίωση της θερμομόνωσης και της ηχομόνωσης του κτιρίου.

Η φιλική προς το περιβάλλον φύση του, κάνει τον περλίτη να υπερτερεί έναντι των άλλων μη φυσικών υλικών που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές

Κεφάλαιο 5. Οικολογία των υλικών

5.1. Οικολογία των υλικών

Τα τελευταία χρόνια δίνεται μεγάλη προσοχή στην οικολογική συμπεριφορά των δομικών υλικών, η οποία αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες ως προς την επιλογή των υλικών.

Όταν αναφέρεται η οικολογική ή περιβαλλοντική συμπεριφορά ενός υλικού ουσιαστικά εννοείται η επίπτωση που έχουν τα υλικά στο περιβάλλον. Οι επιπτώσεις αυτές εξετάζονται με τις εξής παραμέτρους:

- Την ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών (εξαρτάται από την διαδικασία παραγωγής και μεταφοράς)
- Την ικανότητα του προϊόντος να ανακυκλώνεται (επαναχρησιμοποίηση του προϊόντος).
- Την επιλογή του χρόνου ζωής των υλικών
- Τον έλεγχο της τοξικότητας των υλικών
- Άλλες παράμετροι που σχετίζονται με την οικολογική συμπεριφορά των υλικών, όπως οι εκπομπές των υλικών σε CO₂ και NO_x κατά την διάρκεια παραγωγής τους.

Για τα περισσότερα οικοδομικά υλικά, το μεγαλύτερο μέρος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων βρίσκεται :

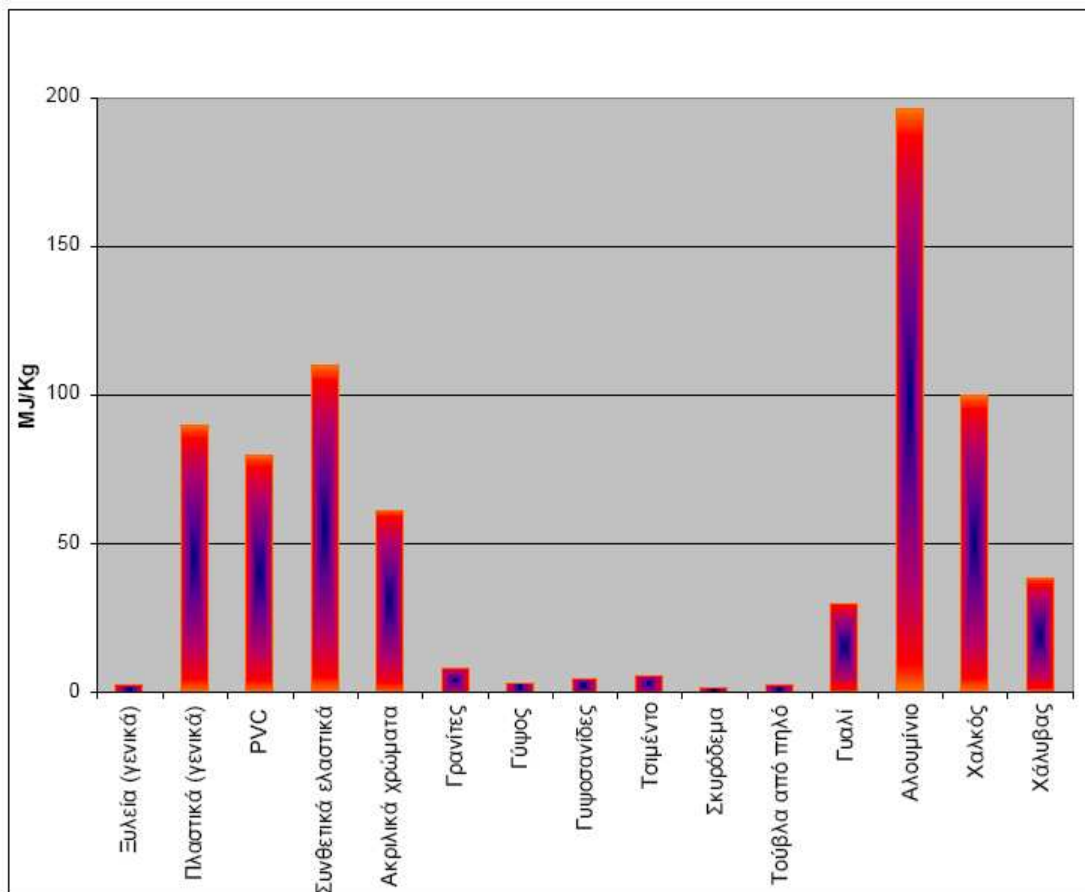
- i) στην ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών καθώς και
- ii) στις εκπομπές των ουσιών που παράγονται κατά τη διάρκεια παραγωγής του υλικού.

Ειδικότερα, για την τελευταία, απαιτούνται μεγάλες ποσότητες ενέργειας και νερού δημιουργώντας ταυτόχρονα σημαντικές ποσότητες αποβλήτων και αέριων ρύπων, τόσο σε τοπική όσο και σε ευρύτερη κλίμακα. Επιπλέον, η μεταφορά τους απαιτεί ενέργεια και παράγει ρύπανση.

5.2. Ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών

Ενσωματωμένη ενέργεια ενός υλικού, ονομάζεται η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή, τη δημιουργία και τη μεταφορά του υλικού. Η ενσωματωμένη ενέργεια είναι μείζονος σημασίας, καθότι υλικά με μεγάλη ενσωματωμένη ενέργεια προκαλούν κατά κανόνα στη διαδικασία της παραγωγής τους μεγάλες εκπομπές CO₂ και θερμική ρύπανση.

Παρακάτω δίνεται το διάγραμμα ενσωματωμένης ενέργειας ορισμένων σύννηθων υλικών.



Διάγραμμα 5.1 Ενσωματωμένη ενέργεια ορισμένων υλικών.

Η ενσωματωμένη ενέργεια περιέχει πολλές μεταβλητές και αναδιαμορφώνεται ανάλογα με την παρασκευή των υλικών. Κάποιες μεταβλητές που αλλάζουν τις τιμές της είναι οι εξής:

- Η ενσωματωμένη ενέργεια ενός υλικού που παράγεται σε μία χώρα με συγκεκριμένη παραγωγική διαδικασία, είναι πολύ πιθανόν να είναι πολύ διαφορετική από την ενσωματωμένη ενέργεια του ίδιου υλικού που παράγεται σε άλλη χώρα με διαφορετική παραγωγική διαδικασία .

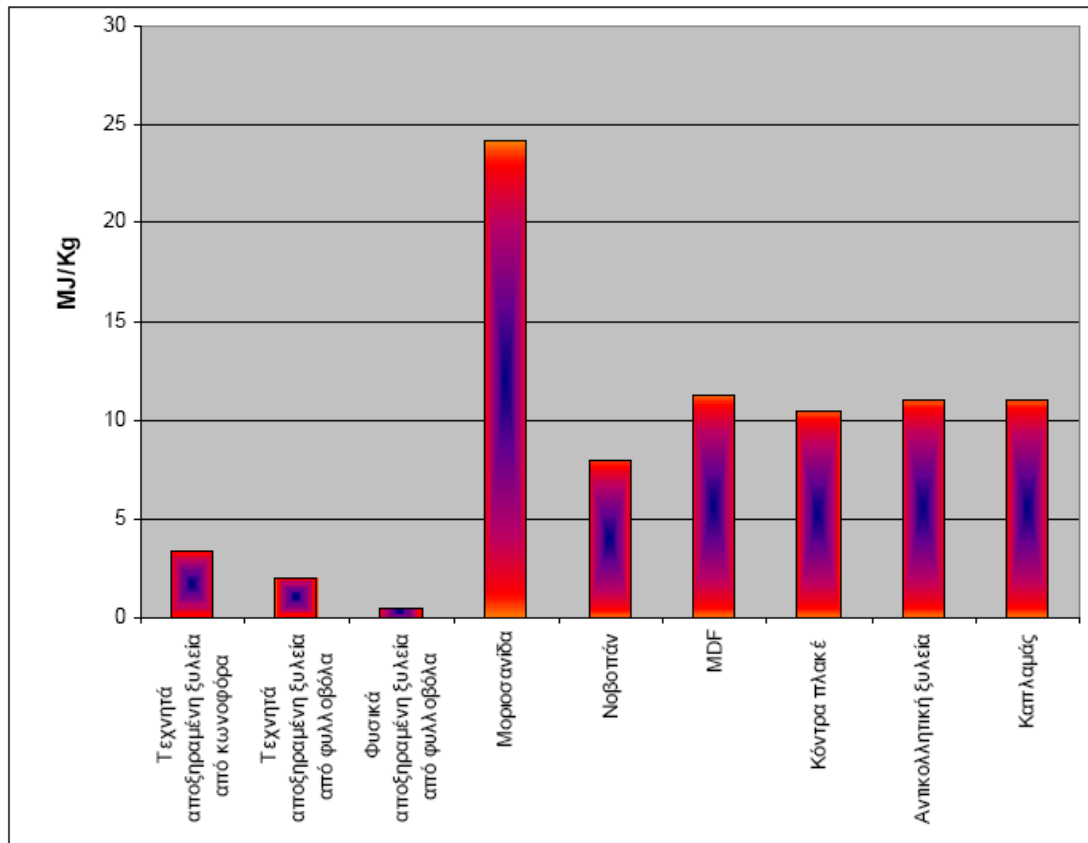
- Στην ενσωματωμένη ενέργεια περιλαμβάνεται και η ενέργεια μεταφοράς του υλικού στην τελική του θέση. Άρα το ξύλο που είναι ανανεώσιμη πρώτη ύλη με μικρή ενσωματωμένη ενέργεια, όταν έρχεται από τον Αμαζόνιο η ενσωματωμένη ενέργειά του αυξάνεται κατά πολύ.

Επιλέγοντας υλικά που παράγονται κοντά στο τόπο της κατασκευής μειώνεται το ποσοστό των καυσίμων και της ενέργειας που απαιτούνται για τη μεταφορά τους. Εξάλλου ένα από τα μεγάλα συνήθη τρέχοντα κοστολόγια των εργοταξίων αποτελούν τα καύσιμα.

Από μελέτες έχει προκύψει ότι ο σιδηρόδρομος είναι οκτώ φορές οικονομικότερος (και οικολογικότερος) από τη μεταφορά των υλικών με αυτοκίνητα.

- Ανάλογα με την επεξεργασία που δέχεται το υλικό, η ενσωματωμένη ενέργεια του εκάστοτε υλικού αλλάζει. Για παράδειγμα τα προϊόντα του ξύλου έχουν διαφορετική ενσωματωμένη ενέργεια.

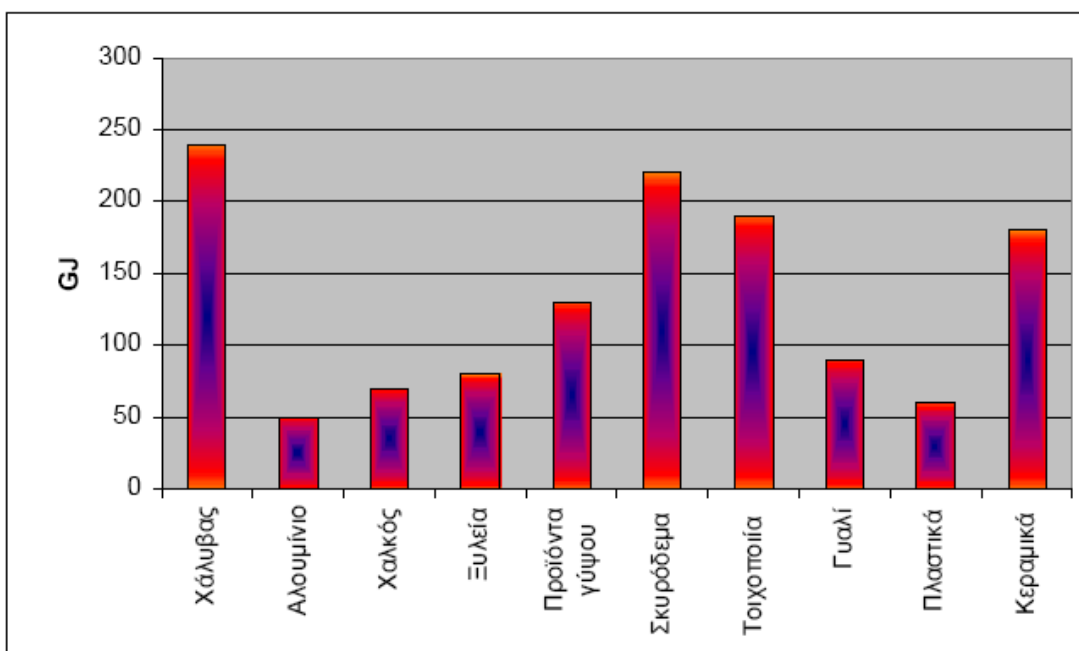
Στο παρακάτω διάγραμμα δίνονται οι τιμές της ενσωματωμένης ενέργειας για κάποια προϊόντα ξύλου.



Διάγραμμα 5.2 Ενσωματωμένη ενέργεια για προϊόντα ξύλου.

- Ανάλογα με το ποσοστό συμμετοχής κάθε υλικού στην κατασκευή προκύπτει η συνολική ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών του κτιρίου.

Από μελέτες έχει προκύψει ότι για ένα τυπικό διώροφο κτίριο η ενσωματωμένη ενέργεια που έχει καταναλωθεί σε κάθε κατασκευαστικό μέρος συμφωνεί με το παρακάτω διάγραμμα:



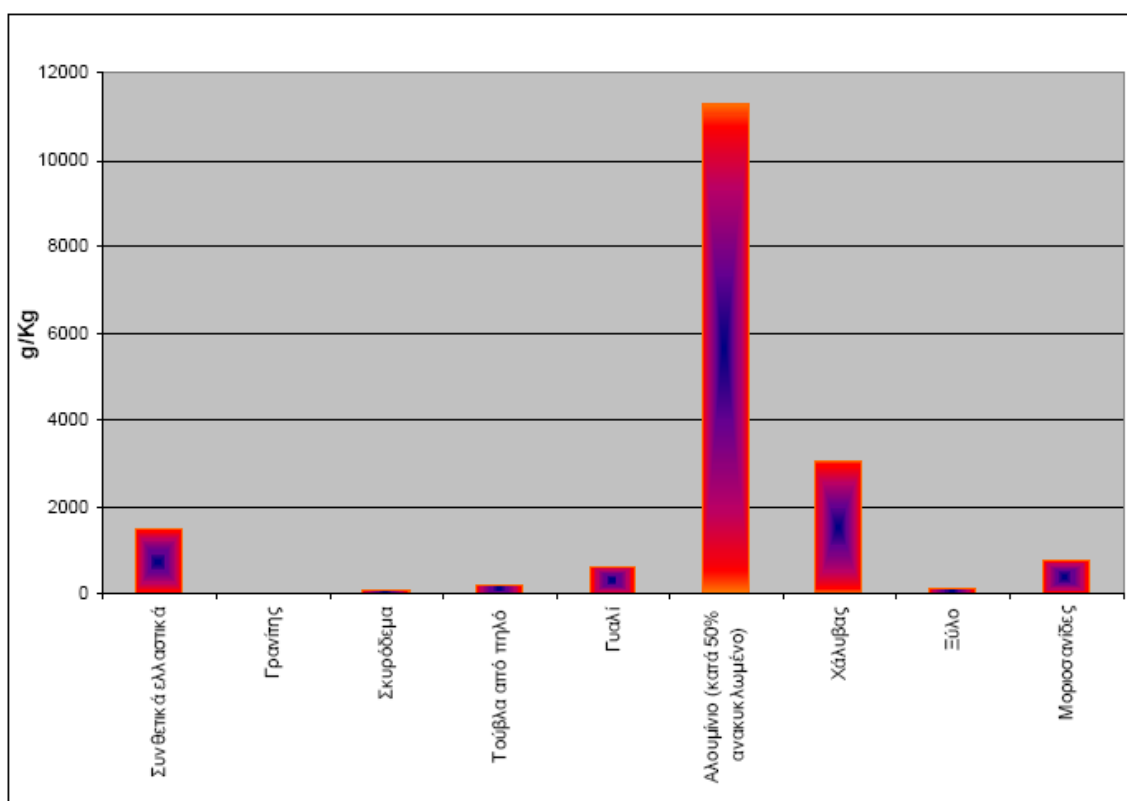
Διάγραμμα 5.3 Τυπική συνολική ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών ενός διώρφου κτιρίου συγκριτικά με το ποσοστό συμμετοχής τους.

5.2.1. Εκπομπές ρύπων των υλικών

Είναι γνωστό ότι η κατανάλωση ενέργειας, συνοδεύεται από μεγάλες ποσότητες ρύπων όπως του CO₂. Η υπερβολική συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα συμβάλλει στο παγκόσμιο φαινόμενο του θερμοκηπίου (το CO₂ έχει την ιδιότητα να παγιδεύει την υπέρυθη ακτινοβολία). Το ίδιο συμβαίνει και με τη χρήση επικίνδυνων αερίων, για παράδειγμα των χλωροφθορανθράκων (CFCs), τα οποία καταλήγουν στη στρατόσφαιρα και καταστρέφουν το όζον.

Η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα κατά τα τελευταία 100 χρόνια έχει αυξηθεί πολύ (από 290 σε 350 ppm).

Στο διάγραμμα 5.4, δίνεται η εκπομπή αέριων ρύπων κατά τη βιομηχανική παραγωγή ορισμένων συνηθών υλικών.



Διάγραμμα 5.4 Εκπομπή αέριων ρύπων κατά την παραγωγή συνηθών υλικών.

5.2.2. Πρώτες ύλες

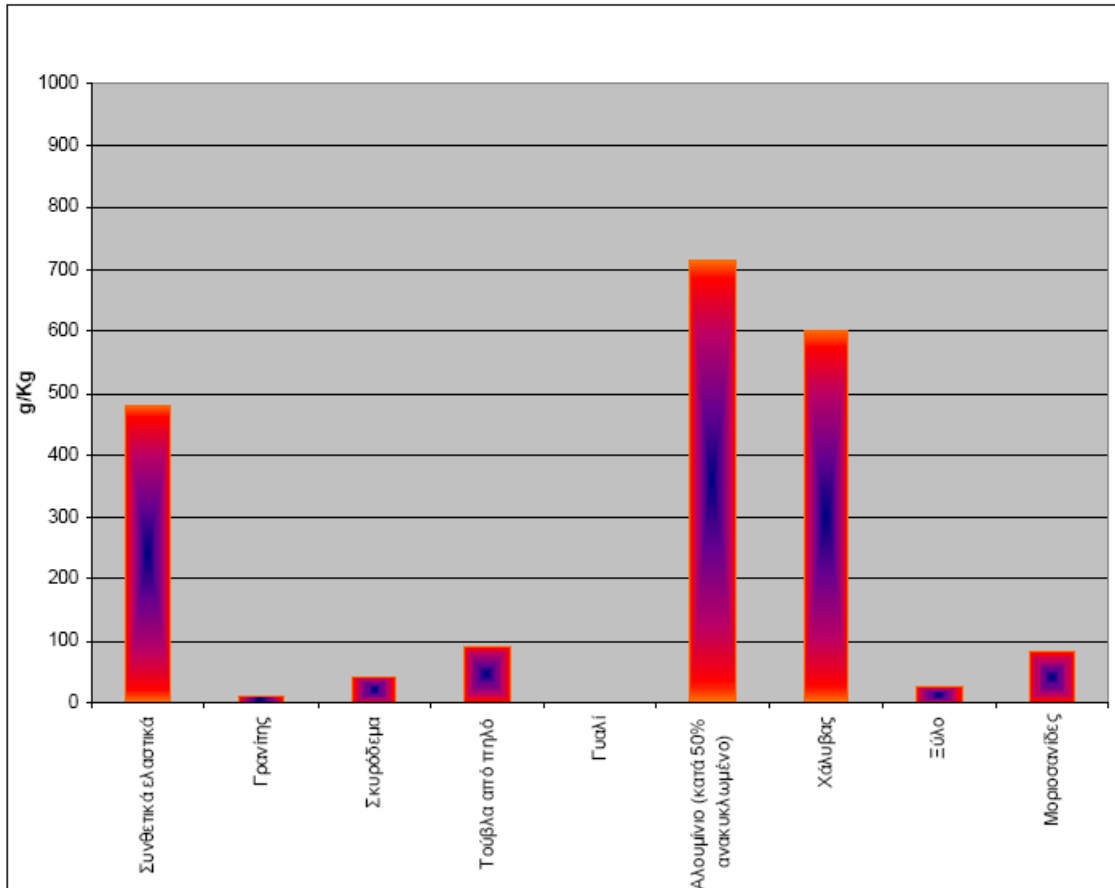
Σημαντικό στάδιο του κύκλου ζωής των υλικών αποτελούν οι πρώτες ύλες. Η απόκτησή τους για την παραγωγή νέων οικοδομικών υλικών προκαλεί σημαντικές αλλοιώσεις τοπίων και οικοσυστημάτων. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες οι εξαγωγές πρώτων υλών αυξήθηκαν κατά 11 φορές την τελευταία δεκαετία¹¹. Είναι γνωστή η διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας λόγω της εντατικής υλοτόμησης των δασών και της λειτουργίας των λατομείων.

Ορισμένες διαδικασίες παραγωγής υλικών, συμβάλουν στη σπατάλη μεγάλου μέρους των πρώτων υλών τους. Οι ποσότητές τους δεν είναι απεριόριστες και με την

¹¹ Εφημερίδα «Ελευθεροτυπία», 12 Απριλίου 2003

εντατική εκμετάλλευσή τους υπάρχει πλέον σοβαρός κίνδυνος εξάντλησης των αποθεμάτων τους. Η χρήση ανακυκλωμένων υλικών μειώνει σαφώς το ποσοστό των πρώτων υλών που απαιτούνται.

Παρακάτω δίνεται το διάγραμμα των απωλειών των πρώτων υλών κατά την παραγωγή σύνηθων υλικών.



Διάγραμμα 5.5 Διάγραμμα των απωλειών των πρώτων υλών κατά την παραγωγή σύνηθων υλικών.

5.2.3. Ανακύκλωση

Η χρήση πρώτων υλών από ανακυκλούμενα υλικά μειώνει το ποσό των υλών που απαιτεί ο άνθρωπος από τη φύση για να τα δημιουργήσει.

Μέχρι σήμερα υπήρχε η γενική θεώρηση ότι χρειαζόταν λιγότερη ενέργεια για να παραχθεί ένα υλικό μέσω της ανακύκλωσης από ότι να συλλεχθεί μέσω της φύσης. Πλέον, έχει γίνει κατανοητό ότι η ανακύκλωση είναι ωφέλιμη κυρίως για υλικά που έχουν την ικανότητα να ανακυκλώνονται, έχουν μεγάλη ενσωματωμένη ενέργεια παραγωγής και μικρή ενσωματωμένη ενέργεια ανακύκλωσης.

Συνήθως τα υλικά που προέρχονται από φυσικούς πόρους και έχουν υποστεί μικρή επεξεργασία είναι βιοδιασπώμενα και εύκολα ανακυκλώσιμα. Σε αυτά όμως που ο άνθρωπος έχει επέμβει στη σύστασή τους με χημικές κυρίως διεργασίες η ανακύκλωση είναι μια επίπονη εργασία με μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις και συνήθως καθίσταται πιο ασύμφορη από την παραγωγή νέων υλικών.

Για τα υλικά που ανακυκλώνονται δύσκολα είναι προτιμότερο να επαναχρησιμοποιηθούν από το να απορριφθούν και να γίνουν απόβλητα, με την προϋπόθεση ότι διατηρούν ένα μεγάλο ποσοστό των αρχικών τους ιδιοτήτων. Η επαναχρησιμοποίηση των δομικών υλικών έχει αποδείξει ότι μπορεί να μειώσει και κατά 95% την ενσωματωμένη ενέργεια.

Στην Ελλάδα η επαναχρησιμοποίηση δομικών υλικών δεν είναι κάτι ευρέως γνωστό. Στο εξωτερικό υπάρχει μεγαλύτερη οργάνωση και αντίστοιχα προσφορά και ζήτηση σε ήδη χρησιμοποιημένα δομικά υλικά για το σχεδιασμό νέων κτιρίων. Για παράδειγμα στη Βρετανία υπάρχει το δίκτυο "Materials Information exchange": <http://www.bre.co.uk/waste>.

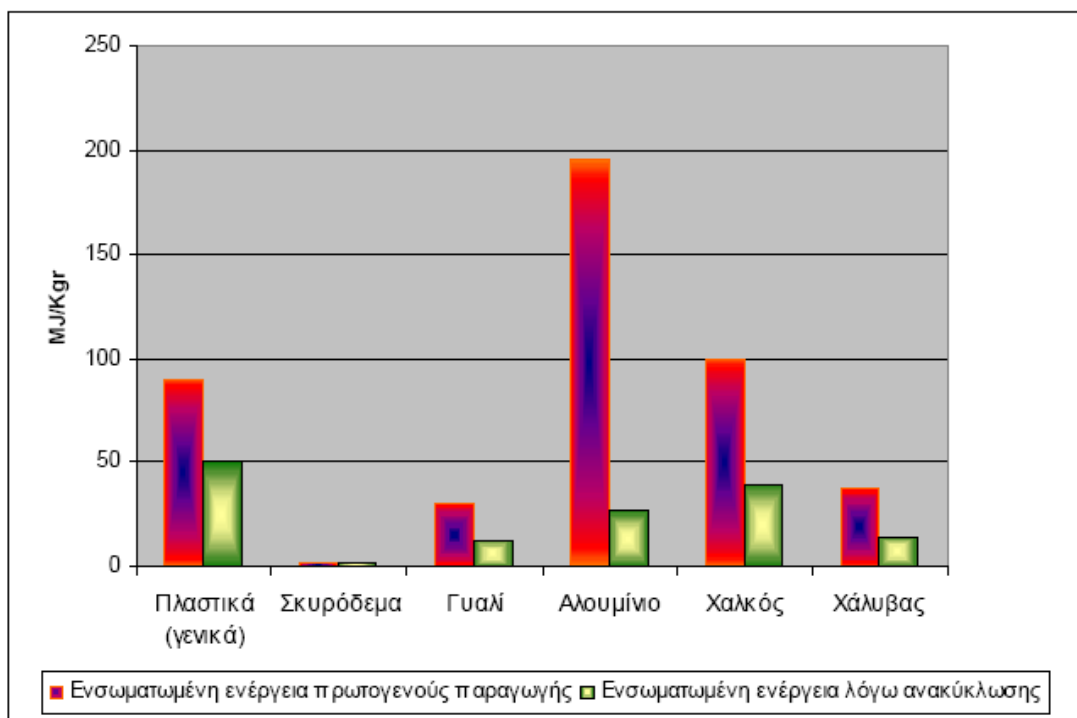
Τα ανακυκλώσιμα προϊόντα χωρίζονται:

- i) στα πρωτογενώς και
- ii) στα δευτερογενώς ανακυκλώσιμα.

- Ανακυκλώσιμα πρωτογενώς, είναι τα προϊόντα που ανακτώνται από τα υλικά «απορρίμματα»-κατεδάφισης.

- Ανακυκλώσιμα δευτερογενώς, είναι τα υλικά που προκύπτουν ως παραπροϊόντα άλλων διεργασιών (εξορυκτική βιομηχανία, σκωρίες, πριονίδι)

Το διάγραμμα που ακολουθεί δίνει την ενσωματωμένη ενέργεια κάποιων πρωτογενών και δευτερογενών ανακυκλωμένων προϊόντων.



Διάγραμμα 5.6. Ενσωματωμένη ενέργεια πρωτογενών και δευτερογενών ανακυκλωμένων προϊόντων.

Όσον αφορά στις ήδη υπάρχουσες κατασκευές τα υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν είναι:

- Δομικά στοιχεία από λίθους χωρίς κονίαμα (ξερολιθιά)
- Ορισμένα μονωτικά (εφ' όσον δεν έχουν υποστεί γήρανση και είναι σε καλή κατάσταση)
- Ξυλεία φέροντος οργανισμού κ.λ.π.
- Προϊόντα γύψου (γυψοσανίδες κ.λ.π.)
- Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν δομικά στοιχεία όπως πόρτες παράθυρα αλλά και είδη υγιεινής και έπιπλα .

5.3. Οικολογική συμπεριφορά μεμονωμένων οικοδομικών υλικών

(ξύλο, μέταλλα, αλουμίνιο, μόλυβδος, πλαστικά, αμιάντος, γυαλί, κεραμικά, τσιμέντο, οπλισμένο σκυρόδεμα, γύψος, πέτρα)

• Ξύλο

Ένα φιλικό προς το περιβάλλον δομικό υλικό θεωρείται μέχρι σήμερα το ξύλο. Πρόκειται για ένα ανανεώσιμο υλικό, που απαιτεί πολύ μικρή επεξεργασία ώστε να φτάσει στην τελική του μορφή. Συγκριτικά με το χάλυβα και το αλουμίνιο, το ξύλο έχει την πιο χαμηλή ενσωματωμένη ενέργεια. Ανάλογα με την αντοχή των ειδών του, χωρίζεται σε κατηγορίες από τα πολύ ανθεκτικά σκληρά ξύλα έως τα μαλακά. Πολλά χρόνια τώρα το ξύλο θεωρείται ως ένα «αθώο» υλικό. Όμως, σύμφωνα με εγκύκλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι σκόνες δρυός και οξιός έχουν χαρακτηριστεί ως καρκινογόνες και αναπνευστικά επικίνδυνες ουσίες, έπειτα από επιδημιολογικές μελέτες που έγιναν σε εργαζομένους που εκτίθενται σε αυτές.

Παράλληλα, εξετάζονται και τα υπόλοιπα είδη σκληρής ξυλείας ενώ έχει τεθεί ένα μέγιστο όριο έκθεσης στις σκόνες σκληρών ξύλων. Μελέτες στη Σκανδιναβία αναφέρουν ότι οι καπνοί από την διαδικασία ξήρανσης του ξύλου μπορούν να είναι καρκινογόνοι. Καθώς οι εργαζόμενοι επεξεργασίας και εφαρμογής της ξυλείας κινδυνεύουν άμεσα, θα πρέπει να τηρούνται οι στοιχειώδεις προδιαγραφές για την προστασία της υγείας και της ασφάλειάς τους. Ωστόσο, δε θεωρείται ότι προκαλεί διαταραχές στην υγεία των ενοίκων ενός κτιρίου, με την προϋπόθεση ότι έχει υποστεί επεξεργασία με μη τοξικές ουσίες.

Σε τοπικό και ευρύτερο επίπεδο, το μεγαλύτερο πρόβλημα που συνδέεται με το ξύλο είναι η μη οργανωμένη υλοτόμηση. Πολλά δάση καταστρέφονται, προκαλώντας έτσι τη διάσπαση της οικολογικής ισορροπίας, καταστροφή του εδάφους, πρόκληση διάβρωσης και μόλυνσης των κοιτών.

Μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε για το Διεθνή Οργανισμό Τροπικής Ξυλείας έδειξε ότι μόλις λιγότερο από 1% των τροπικών δασών είναι υπό τον έλεγχο διαχείρισης για την παραγωγή ξυλείας. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της GREENPEACE, η αποψίλωση των τροπικών δασών είναι υπεύθυνη για ένα μεγάλο ποσοστό (περίπου 18%) της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Για τα προϊόντα του ξύλου, το σημαντικότερο πρόβλημα εντοπίζεται στη ρύπανση που προκαλείται κατά τη χρήση συγκολλητικών ουσιών, οι οποίες όμως είναι απαραίτητες για την παραγωγή και την κατασκευή των προϊόντων αυτών. Από τις ρητίνες αυτές ιδιαίτερα επικίνδυνη χαρακτηρίζεται η φορμαλδεΐδη, η οποία θεωρείται ως ένας από τους σημαντικότερους ρύπους των εσωτερικών χώρων. Η μακροπρόθεσμη έκθεση των εργαζομένων στη φορμαλδεΐδη στις βιομηχανίες κοντραπλακέ, προκαλεί συμπτώματα χρόνιας πάθησης των πνευμόνων και η εργασία με κοντραπλακέ παρατίθεται μεταξύ των επαγγελμάτων με αυξανόμενο κίνδυνο γενετικών ατελειών.

Τα συντηρητικά του ξύλου έχουν αναφερθεί ως επικίνδυνες ουσίες για την υγεία, σύμφωνα με τεκμηριωμένες τοξικολογικές έρευνες σε εργαζόμενους επεξεργασίας ξύλων. Από αυτά,

ι) *τα οργανικά συντηρητικά* βασισμένα σε διαλύτες αποτελούν την πιο επικίνδυνη κατηγορία και είναι καλύτερο να αποφεύγονται, μιας και τα συστατικά τους τείνουν να είναι πτητικά. Οι οργανικοί διαλύτες είναι γνωστό ότι έχουν επιπτώσεις στον εγκέφαλο και το νευρικό σύστημα. Συνήθως είναι μείγματα πολλών ενώσεων, οι οποίες θεωρούνται ότι προκαλούν καρκίνο. Χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερα

δηλητηριώδεις και το ξύλο, ο αέρας και το περιβάλλον παραμένουν τοξικά για χρόνια.

ii) τα συντηρητικά με βάση το νερό τείνουν να είναι τα λιγότερο πτητικά. Τα πιο συνηθισμένα είναι αυτά που περιέχουν ενώσεις βορίου, οι οποίες εμφανίζονται να έχουν μια χαμηλή τοξικότητα στους ανθρώπους και το περιβάλλον. Ωστόσο δεν πρέπει να θεωρηθούν απολύτως ασφαλείς. Σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις, οι ενώσεις βορίου είναι νευροτοξίνες και προκαλούν αλλεργικές αντιδράσεις και διαταραχές στο συκώτι, τα νεφρά και τους πνεύμονες.

Τα βερνίκια που χρησιμοποιούνται για την προστασία του ξύλου είναι μόνο αυτά που φέρουν ένα διεθνώς αναγνωρισμένο οικολογικό σήμα. Τα προϊόντα αυτά δεν είναι πλήρως απαλλαγμένα από τοξικές ουσίες, αλλά τα τοξικά τους συστατικά είναι περιορισμένα. Αν ωστόσο η χρήση χημικής προστασίας είναι αναγκαία, καλό είναι να χρησιμοποιούνται προϊόντα ξύλου που έχουν ήδη υποστεί χημική κατεργασία σε βιομηχανικό επίπεδο.

• Μέταλλα

Οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον εντοπίζονται κυρίως στη μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση που απαιτείται για την εξόρυξη και επεξεργασία τους. Τα περισσότερα από αυτά τα υλικά δεν προκαλούν διαταραχές στην ανθρώπινη υγεία, με εξαίρεση την κατηγορία των βαρέων μετάλλων. Όταν η συγκέντρωσή των βαρέων μετάλλων υπερβεί κάποια συγκεκριμένα όρια στον ανθρώπινο οργανισμό, προκαλούνται σοβαρές βλάβες στην υγεία. Σε γενικές γραμμές, όμως, τα περισσότερα μέταλλα είναι ανακυκλώσιμα υλικά.

• Αλουμίνιο

Έχει μια εξαιρετικά υψηλή ενσωματωμένη ενέργεια, της τάξεως των 180-240 MJ/kg, η οποία οφείλεται στη μεγάλη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτεί η παραγωγή του από το βωξίτη. Η βιομηχανία αλουμινίου αναφέρεται ότι απορροφά το 1,4% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας.

Η επεξεργασία και η παραγωγή του αλουμινίου συνεπάγονται μεγάλα ποσά αποβλήτων, που περιέχουν βαρέα μέταλλα και τοξικές ουσίες. Οι βιομηχανίες αλουμινίου στη Βρετανία έχουν επικριθεί συχνά για τα υψηλά επίπεδα απελευθέρωσης τοξικών βαρέων μετάλλων στους υπονόμους.

Το αλουμίνιο είναι εύκολα ανακυκλώσιμο υλικό, εξοικονομώντας μεγάλα ποσά ενέργειας έναντι της παραγωγής νέου, αλλά η διεργασία είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα. Το ανακυκλωμένο αλουμίνιο δίνει εξοικονόμηση ενέργειας 80-95% σε σχέση με την παραγωγή του από το βωξίτη. Παράλληλα, εξοικονομείται μεγάλο ποσό της περιορισμένης πρώτης ύλης του, καθώς ανήκει στην κατηγορία των μετάλλων που απειλούνται από εξάντληση των αποθεμάτων τους. Όμως, το αλουμίνιο με ηλεκτροστατική βαφή δεν είναι ανακυκλώσιμο.

• Μόλυβδος

Από την κατηγορία των βαρέων μετάλλων πιο επικίνδυνος θεωρείται ο μόλυβδος, ο οποίος είναι ένα ιδιαίτερα τοξικό μέταλλο.

Λόγω της πολλαπλότητας των χρήσεών του, βρίσκεται στον αέρα, τη σκόνη, το χώμα και το νερό. Σημαντικές πηγές μολύβδου είναι οι σωλήνες αποχετεύσεων, τα χρώματα, τα βερνίκια και τα πλαστικά. Μπορεί να διηθηθεί στο πόσιμο νερό από

ορισμένους τύπους υλικών υδραυλικών εγκαταστάσεων. Ανήκει στα προϊόντα που δημιουργούν βαρύτατες συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία, όπως π.χ. βλάβες στον εγκέφαλο με επιπτώσεις ανάπτυξη των παιδιών¹², καθώς και στομαχικά και νεφρικά προβλήματα και νευρικές διαταραχές.

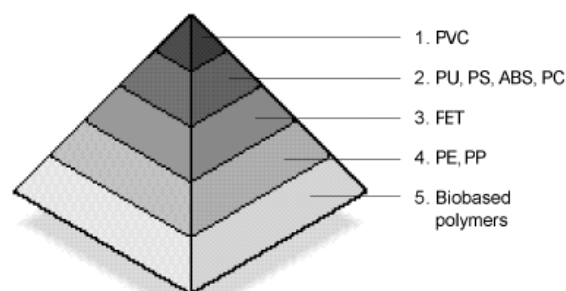
Σύμφωνα με οδηγία της ΕΟΚ ο μόλυβδος, αλλά και οι περισσότερες ενώσεις που τον περιλαμβάνουν, ταξινομούνται ως τοξικές για την αναπαραγωγή, επιβλαβείς και επικίνδυνες για το περιβάλλον (οικοτοξικές) και ενέχουν τον κίνδυνο αθροιστικών επιπτώσεων.

Ο μόλυβδος είναι μη βιοδιασπώμενος και αρκετές μολυβδούχες ενώσεις συσσωρεύονται σε ανθρώπινους και ζωικούς οργανισμούς. Οι επιπτώσεις του μολύβδου αυξάνονται κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης ή της ανακαίνισης κτιρίων, καθώς η σκόνη μολύβδου μπορεί να αναμιχθεί με τον ατμοσφαιρικό αέρα.

• Πλαστικά

Μια ιδιαίτερη κατηγορία με ένα ευρύ φάσμα υλικών αποτελούν τα συνθετικά υλικά, τα οποία είναι ευρύτερα γνωστά ως πλαστικά. Εκτιμάται ότι περίπου το 4% της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου χρησιμοποιείται για την παραγωγή συνθετικών υλικών. Η βιομηχανική επεξεργασία τους ποικίλει ανάλογα με το προϊόν, αλλά σε κάθε περίπτωση σχεδόν απαιτεί υψηλή ενεργειακή κατανάλωση, ενώ σχεδόν πάντοτε προκαλούνται εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων και παράγονται επιβλαβή απόβλητα.

Από τα σημαντικότερα προβλήματα που συνδέονται με τα πλαστικά είναι η απόρριψη και η αφομοίωσή τους από το περιβάλλον. Δεδομένου ότι τα υλικά αυτά διασπώνται δύσκολα, προκαλούν μακράς διάρκειας ρύπανση στον αέρα, το νερό και το έδαφος. Η καύση των πλαστικών οδηγεί στην απελευθέρωση ιδιαίτερα επιβλαβών ουσιών, που ποικίλουν ανάλογα με το είδος του υλικού.



Εικόνα 5.1 Πυραμίδα πλαστικών βάσει των επιπτώσεών τους.

Τα πλαστικά όπως έχει προαναφερθεί χωρίζονται σε θερμοπλαστικά και θερμοσυνθετικά.

Τα θερμοπλαστικά είναι δυνατόν να ανακυκλωθούν.

Τα θερμοσυνθετικά (fiberglass) δεν ανακυκλώνονται και χρησιμοποιούνται μία φορά.

Κάποια ενδεικτικά οικολογικά χαρακτηριστικά για τα πιο σύνηθη πλαστικά είναι τα εξής:

¹¹ Σύμφωνα με την αμερικανική ακαδημία παιδιατρικής, εκτιμάται ότι τρία έως τέσσερα εκατομμύρια παιδιά στις ΗΠΑ κάτω από την ηλικία των έξι έχουν επίπεδα μολύβδου στο αίμα τους

- *πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο*, οι εκπομπές κατά την παραγωγή τους είναι σχετικά περιορισμένες και δεν προκαλούν ρύπανση κατά τη χρήση τους.

- *Ασφαλτικά υλικά*. Περιέχουν ελάχιστη ποσότητα αρωματικών υδρογονανθράκων. Προκαλούν ρύπανση που οφείλεται στην έκλυση μακρομοριακών υδρογονανθράκων.

- *EPDM (καουτσούκ ελαστομερή)*, η ρύπανση που προκαλείται κατά την παραγωγή είναι ελάχιστη. Είναι ανακυκλώσιμο υλικό όμως η επεξεργασία του είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρος.

- *Πολυουρεθάνη*, η έκλυση τοξικών ισοκυανικών ενώσεων από την πολυουρεθάνη προκαλεί σημαντική ρύπανση. Κατά την καύση της παράγεται μονοξείδιο του άνθρακα και υδροκυάνιο (ισχυρά δηλητήρια). Η διάθεση των προϊόντων της πολυουρεθάνης προκαλεί σημαντικό περιβαλλοντολογικό πρόβλημα όπως και ρύπανση στο νερό.

- *EPS (διογκωμένη ή διηλασμένη πολυστερίνη)*, η παραγωγή των προϊόντων αυτών προκαλεί εκπομπή βενζολίου και στυρενίου. Γενικά τα προϊόντα από πολυστερίνη δεν είναι ανακυκλώσιμα αν έχει χρησιμοποιηθεί αμμώνιο σαν καταλύτης.

- *Πολυβινυλοχλωρίδιο-PVC*, κατά την παραγωγή του διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα σημαντικές ποσότητες βιχλωριδίου, υδραργύρου και διοξινών. Λόγω της σχετικά χαμηλής περιεκτικότητάς του σε πετρέλαιο η απαιτούμενη ενέργεια για την παραγωγή PVC είναι σχετικά χαμηλή (66 MJ/kg). Λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε χλώριο η καύση του παράγει ιδιαίτερα επιβλαβή συστατικά όπως οι διοξίνες το χλωροβενζόλιο τα φουράνια κ.λ.π. Κατά τη διάρκεια της χρήσης του εκπέμπονται αλειφατικοί και αρωματικοί υδρογονάνθρακες, αλκυλοφαινόλη, ακυκλικοί και αρωματικοί εστέρες του ανθρακικού οξέος κ.α.. Το PVC είναι ανακυκλώσιμο υλικό. Τα τελευταία χρόνια λόγω των προβλημάτων ρύπανσης που προκαλεί κατά την παραγωγή και τη διάθεσή του, καταβάλλεται προσπάθεια για την αντικατάστασή του. Ως εναλλακτικά υλικά έχουν προταθεί το ξύλο, τα κεραμικά, το πολυαιθυλαίνιο και το πολυπροπυλένιο.

- *Φορμαλδεΰδη*, μολονότι οι φορμαλδεΰδες χρησιμοποιούνται σε μικρές ποσότητες έχουν αρκετά μεγάλη ενσωματωμένη ενέργεια 87MJ/kg. Το σημαντικότερο όμως μειονέκτημα που παρουσιάζουν είναι ότι εκπέμπον για πολλά χρόνια αρωματικούς υδρογονάνθρακες μέσα στο κτίριο.

• Αμίαντος

Μια αρκετά διαδεδομένη πρώτη ύλη για την κατασκευή πολλών δομικών υλικών πριν τη δεκαετία του 70 αποτέλεσε ο αμίαντος. Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα τοξικό ορυκτό, ινώδους μορφής, που χρησιμοποιήθηκε σε διάφορα υλικά όπως της δομικής πυροπροστασίας, μονωτικά υλικά σωληνώσεων και αγωγών, πλάκες αμιαντοτσιμέντου, συνθετικά πλακίδια πατωμάτων, υποστρώματα δαπέδων βινυλίου και κόλλες κεραμικών πλακιδίων, ηχομονωτικά υλικά, επιδιορθωτικές και συγκολλητικές ενώσεις και φύλλα επικάλυψης στέγης, τα οποία είναι γνωστά σε εμάς ως ελενίτ.

Η τοξικότητά του οφείλεται στην απελευθέρωση των ινών του, όταν τα υλικά που τον περιέχουν αρχίζουν να φθείρονται. Οι ίνες αυτές αναμιγνύονται με τον ατμοσφαιρικό αέρα και εισπνέονται από τους χρήστες των κτιρίων, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη αναπνευστικών προβλημάτων έως και καρκίνο των πνευμόνων. Στην

περίπτωση όμως που τα υλικά, τα οποία περιέχουν αμιάντο, παραμένουν άθικτα δεν παρουσιάζεται κίνδυνος υγείας. Για το λόγο αυτό η αφαίρεση του αμιάντου δεν αποτελεί πάντα την καλύτερη λύση. Αντίθετα συνίσταται η επικάλυψη των υλικών αυτών με μια στεγανωτική ουσία, η οποία είτε δεσμεύει τις ίνες του αμιάντου ή περικλείει το υλικό αποτρέποντας την απελευθέρωση ινών.

Λόγω της μεγάλης επικινδυνότητας του αμιάντου, από το 1992 έχει περιοριστεί η παραγωγή και η χρήση προϊόντων αμιάντου σύμφωνα με Ευρωπαϊκή Οδηγία. Η ειδική επιτροπή της ΕΟΚ έχει κατατάξει τον αμιάντο από το 1977 ανάμεσα στις πιο επικίνδυνες καρκινογόνες ουσίες και σε αρκετές αναπτυγμένες χώρες έχει απαγορευτεί η εισαγωγή, η παραγωγή και η χρήση του.

Παρόλα αυτά, οποιαδήποτε προϊόντα που κατασκευάζονται και τον περιέχουν ακόμα πρέπει να το αναγράφουν στις ετικέτες τους.

• Γυαλί

Η μόνη περιβαλλοντική επίπτωση του υλικού αυτού είναι οι μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις κατά τη διαδικασία παραγωγής του. Επιπλέον, το γυαλί ανακυκλώνεται πολύ εύκολα, όταν το ανακυκλωμένο γυαλί χαρακτηρίζεται ως δεύτερης ποιότητας υλικό.

• Κεραμικά

Η άργιλος αποτελεί τη βάση για τη δημιουργία των κεραμικών. Για την παραγωγή τους απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες όπου συνεπάγεται κατανάλωση μεγάλων ποσών ενέργειας και έκλυση αέριων ρύπων. Τα κεραμικά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετά το τέλος της ζωής ενός κτιρίου για άλλους κατασκευαστικούς σκοπούς. Συνήθως τα κεραμικά απορρίμματα, όπως τα περισσότερα υλικά, χρησιμοποιούνται κυρίως σε μπαζώματα.

Η παραγωγή κεραμικών τούβλων από τα οποία συνήθως γίνεται η τοιχοποιία, είναι μία διαδικασία που απορροφά αρκετή ενέργεια καθώς το υλικό πρέπει να θερμανθεί στους 1000-1500°C για αρκετές ώρες. Η παραγωγή των τούβλων απαιτεί ενέργεια της τάξης των 2MJ/Kg εκ των οποίων το κύριο μέρος καταναλώνεται στην όπτηση των υλικών. Το περιβαλλοντολογικό κόστος της κατασκευής δεν είναι ανώδυνο καθότι με την όπτηση απελευθερώνονται οργανικά υπολείμματα και θειικές ενώσεις που περιέχονται στην άργιλο, όπως το διοξείδιο του θείου και το διοξείδιο του άνθρακα, στην ατμόσφαιρα.

• Τσιμέντο

Η παραγωγή του τσιμέντου από αδρανή συνεπάγεται μεγάλα ποσά ενέργειας καθώς και την παραγωγή ρύπων, σε τοπική κυρίως κλίμακα. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται όσον αφορά στα βελτιωτικά πρόσθετα του τσιμέντου, τα οποία ενδέχεται να είναι τοξικά ή ραδιενεργά είτε να προκαλούν ερεθισμούς ιδιαίτερα κατά τη χρήση ανεπίχριστου σκυροδέματος σε εσωτερικούς χώρους. Το τσιμέντο περιέχει, επίσης, βαρέα μέταλλα, των οποίων ένα μεγάλο μέρος χάνεται στην ατμόσφαιρα σε περίπτωση πυρκαγιάς. Η ανακύκλωση του τσιμέντου είναι πρακτικά αδύνατη, ορισμένες ποσότητες, όμως, από κατεδαφίσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αδρανή σε μπαζώματα ή στην οδοποιία.

- **Οπλισμένο σκυρόδεμα** – Το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι : οπλισμός (ράβδοι σιδήρου) + σκύρα (χαλίκια) + δέμα (άμμο – ασβέστης- τσιμέντο)

Η εξόρυξη των πρώτων υλών και η παραγωγή τσιμέντου αποτελούν τα πιο σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα που συνδέονται με το σκυρόδεμα. Πρόκειται για ένα υλικό με χαμηλή ενσωματωμένη ενέργεια. Εντούτοις, το οπλισμένο σκυρόδεμα κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό στη συνολική κατανάλωση ενέργειας μιας κτιριακής κατασκευής.

Αυτό οφείλεται όχι μόνο στη μεγάλη ποσότητα του ίδιου του υλικού, αλλά και στην ενίσχυσή του με χάλυβα.

Τέλος, όπως και το τσιμέντο, το οπλισμένο σκυρόδεμα δεν ανακυκλώνεται, καθώς είναι ιδιαίτερα δύσκολος έως και αδύνατος ο διαχωρισμός του οπλισμού από το σκυρόδεμα, με αποτέλεσμα να δημιουργούν τεράστια ποσά οικοδομικών απορριμμάτων.

• **Γύψος**

Σημαντικό πρόβλημα παρουσιάζει λόγω της ρύπανσης και της αλλοίωσης που προκαλείται στη φύση κατά την εξόρυξή της. Η γύψος δεν είναι ανακυκλώσιμο υλικό.

Υποκατάστατο του φυσικού γύψου αποτελεί ο βιομηχανικός γύψος ο οποίος περιέχει λιγότερα βαρέα μέταλλα ή και ραδιενεργά στοιχεία από το φυσικό.

• **Πέτρα**

Οι σύγχρονες τεχνολογίες επιτρέπουν στην πέτρα να εξορυχτεί και να κοπεί γρήγορα, με ακρίβεια και με σχετικά μικρά έξοδα. Οι επιπτώσεις της περιορίζονται στην ενεργειακή χρήση για την εξόρυξη, την κατασκευή και τη μεταφορά της. Η πέτρα από μια τοπική πηγή θα έχει χαμηλότερο ενεργειακό κόστος. Τα υψηλά ποσοστά απώλειας ενέργειας μπορούν να είναι πολύ λιγότερα ανάλογα με τις μεθόδους εξόρυξης.

Πρόκειται για ένα υλικό που επιβαρύνει το περιβάλλον σε τοπική κυρίως κλίμακα ενώ όσον αφορά στην χρήση του στα κτίρια, δεν έχει επισημανθεί ότι προκαλεί βλάβες στον ανθρώπινο οργανισμό. Επιπλέον, η πέτρα συνδέεται στενά με την έννοια της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής εφ' όσον και λόγω της μεγάλης θερμικής της μάζας συμπεριφέρεται σαν θερμική αποθήκη στο κτίριο.

Παρόμοιες ιδιότητες έχουν και οι υπόλοιποι δομικοί λίθοι όπως ασβεστόλιθοι, μάρμαρα και γρανίτες, αν και οι τελευταίοι θα πρέπει να ελέγχονται για τη περιεκτικότητά τους σε ραδιενεργά στοιχεία, όπως ραδόνιο και ουράνιο.

Γενικότερα, πρόκειται για υλικά που δεν ανακυκλώνονται, ωστόσο μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σε καινούριες κατασκευές.

5.4. Οικολογικές σημάνσεις

Για την κάλυψη της ανάγκης της γρήγορης αναγνώρισης του οικολογικού χαρακτήρα ενός υλικού, η ευρωπαϊκή Ένωση καθιέρωσε κάποιους συμβολισμούς που σηματοδοτούν τον χαρακτήρα του υλικού βάσει του κανονισμού ΕΟΚ /880.92. Στην οδηγία της ΕΟΚ /880.92 προτείνεται ο παρακάτω πίνακας για την αξιολόγηση της οικολογικής συμπεριφοράς ενός υλικού.

Επιπτώσεις	Στάδια Κύκλου Ζωής				
	Εξόρυξη πρώτων υλών	Παραγωγή	Διανομή	Χρήση	Διάθεση
Ρύπανση εδάφους					
Ρύπανση νερού					
Ρύπανση αέρα					
Κατανάλωση ενέργειας					
Κατανάλωση φυσικών πόρων - οικοσυστήματα					
Απόβλητα					

Πίνακας 5.1 Αξιολόγηση της οικολογικής συμπεριφοράς ενός υλικού

Ήδη καταβάλλονται προσπάθειες για την κατάρτιση και την αποδοχή διεθνών προτύπων βάσει των οποίων θα πρέπει να πιστοποιείται η οικολογική ποιότητα ενός προϊόντος.

Προς το παρόν, στην Ευρώπη, οικολογικά σήματα, με διαφορετικά κριτήρια και μεθοδολογία, χορηγούν οι:

- η ΕΕ (Ευρωπαϊκό Οικολογικό Σήμα)



- η Γερμανία («γαλάζιος άγγελος»)



- οι Σκανδιναβικές χώρες («Σκανδιναβικός κύκνος»)



- η Αυστρία («Umweltzeichen-Baome»)

- η Γαλλία (NF-Environment,)



- η Ισπανία («Aenor-Medio Ambiente»).



- η Ολλανδία («To Milieukeur»)



Στις Η.Π.Α. το οικολογικό σήμα είναι:

- («green seal»)



Προϊόντα με πιστοποίηση κυκλοφορούν και στην Ελλάδα.

Στην Ελλάδα αρμόδιος φορέας για τη χορήγηση του Ευρωπαϊκού οικολογικού σήματος είναι το «Ανώτατο Συμβούλιο Απόδοσης Οικολογικού Σήματος», ενώ αρμόδιος φορέας για τη πιστοποίηση των δομικών προϊόντων με βάση τις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Οδηγίας έχει οριστεί ο ΕΛΟΤ.

Προς την κατεύθυνση αυτή εργάζεται και ο ISO (International Standard Organization) που ήδη έχει εκδώσει το πρότυπο ISO 14040 του 1996, που καθορίζει

τις βασικές αρχές για τις διαδικασίες που πρέπει να εφαρμόζονται για την Ανάλυση του Κύκλου Ζωής ενός προϊόντος.

Συνοψίζοντας, τα κριτήρια που χαρακτηρίζουν την οικολογική συμπεριφορά ενός υλικού και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη καθορίζονται μέσα από την Ανάλυση του Κύκλου Ζωής ενός υλικού (Life Circle Analysis).

Τα σημαντικότερα κριτήρια για την αξιολόγηση ενός υλικού είναι:

- Επιρροή του υλικού στο περιβάλλον εξαιτίας εξόρυξης-συλλογής.
- Σχέση μεταξύ της επιρροής εξόρυξης-συλλογής με την παραγωγή του υλικού.
- Σχέση μεταξύ του μεγέθους των πόρων που χρησιμοποιούνται (εξόρυξη-συλλογή) με την ικανότητα ανανέωσής τους.
- Η μόλυνση του περιβάλλοντος σε σχέση με την παραγωγή και την κατασκευή.
- Η ενσωματωμένη ενέργεια του υλικού. (Η ενέργεια που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του υλικού, η ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά στην κατασκευή)
- Η ενέργεια που χρησιμοποιείται για την κατασκευή στην οικοδομή.
- Οι απώλειες του υλικού κατά τη συσκευασία-μεταφορά.
- Η απαιτούμενη συντήρηση κατά τη διάρκεια ζωής ενός υλικού.
- Το περιβαλλοντολογικό κόστος κατά τη διάρκεια ζωής-τοξικότητα.
- Το περιβαλλοντολογικό κόστος κατά τη διάρκεια ζωής -λειτουργία του υλικού στην κατασκευή.
- Ο χρόνος ζωής ενός υλικού.
- Οι επιπτώσεις κατά τη διάρκεια της πλήρους λύσεώς τους στο πέρας του κύκλου ζωής.
- Η ικανότητα ανακύκλωσης του υλικού.
- Η ικανότητα βιοδιάσπασης του υλικού.

Κεφάλαιο 6. Πειραματικό μέρος

Στο μέρος αυτό περιγράφεται η πειραματική διαδικασία για τον υπολογισμό της ηχομόνωσης του αερόφερτου θορύβου σε τρεις ήδη υπάρχοντες επαγγελματικούς χώρους ηχογράφησης.

Στόχος του κεφαλαίου είναι η κατευαυτή περιγραφή της διαδικασίας υπολογισμού της ηχομόνωσης καθώς και μια πρώτη εξέταση του ηχομονωτικού σχεδιασμού των υπό μελέτη studio στην Ελλάδα.

Τα δεδομένα που χρειάζονται για τον υπολογισμό της ηχομόνωσης από αερόφερτο θόρυβο με σκοπό τον χαρακτηρισμό του χώρου ως προς την ηχομόνωση είναι τα εξής:

1. Διαστάσεις χώρου, διαστάσεις οικοδομικών στοιχείων.
2. Δομικά υλικά κάθε οικοδομικού στοιχείου για τον υπολογισμό $R'w$ και $L'w$ βάσει της θεωρίας.
3. fR κάθε οικοδομικού στοιχείου.
4. Θόρυβο βάθους control room.
5. Χρόνος αντήχησης, RT_{60} , του control room.
6. Πειραματική διαδικασία για υπολογισμό ηχομόνωσης μεταξύ recording και control room.
7. Σύγκριση θεωρητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων με τις προδιαγραφές, με σκοπό να χαρακτηριστεί ο υπό μελέτη χώρος ως προς την ηχομόνωση.

Μέσω των τριών παραδειγμάτων, γίνονται κατανοητοί οι λόγοι όπου χρειάζονται τα παραπάνω δεδομένα.

6.1. Υπολογισμός της ηχομόνωσης του studio ηχογράφησης 1.

Το μέρος αυτό αποτελείται από τα εξής βήματα:

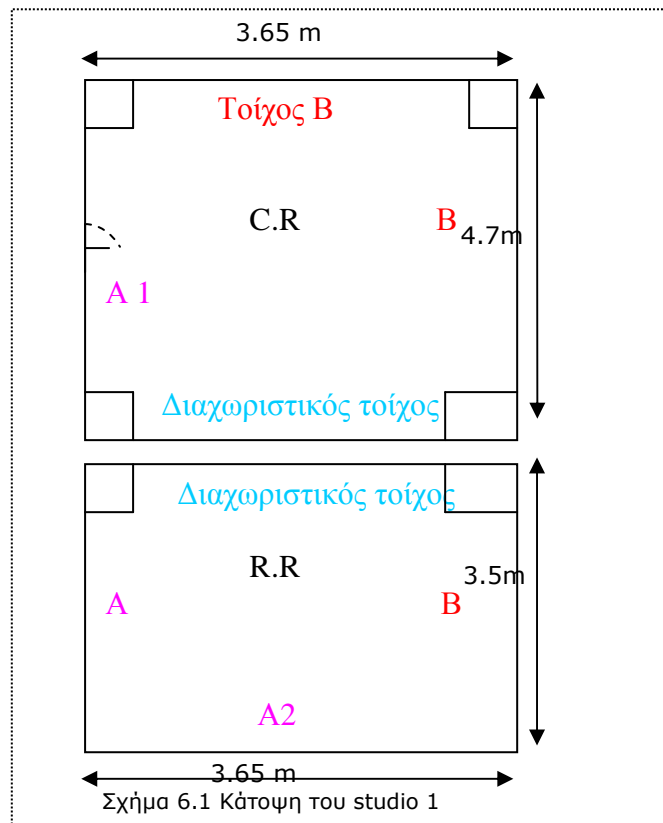
1. Περιγράφονται οι χώροι, με τη χρήση σκαριφήματος, recording και control room του studio.
2. Περιγράφονται τα δομικά υλικά της κάθε τοιχοποιίας των δύο χώρων και υπολογίζεται η ηχομονωτική ικανότητα του κάθε τοίχου ξεχωριστά, σύμφωνα με τα κεφάλαια 2.10.2.- 2.13. – 2.16.2.
3. Υπολογίζεται η οριακή συχνότητα του κάθε τοίχου ξεχωριστά.
4. Υπολογίζεται ο χρόνος αντήχησης του control room.
5. Περιγράφεται η διαδικασία μετρήσεων της ηχομόνωσης του studio.
6. Υπολογίζεται η ηχομόνωση του αερόφερτου ήχου από το recording στο control room βάσει των μετρήσεων.
7. Συγκρίνονται τα πειραματικά αποτελέσματα με τις προδιαγραφές.
8. Γίνεται κοστολόγηση των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν.
9. Παρατηρήσεις - τυχόν διορθώσεις.

6.1.1. Περιγραφή του studio 1.

Studio1 24/07/08

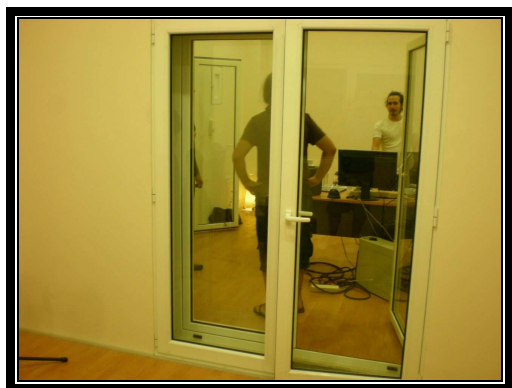
Η κάτοψη του studio 1 :

Το ύψος και στα δύο δωμάτια είναι 3.35 m.

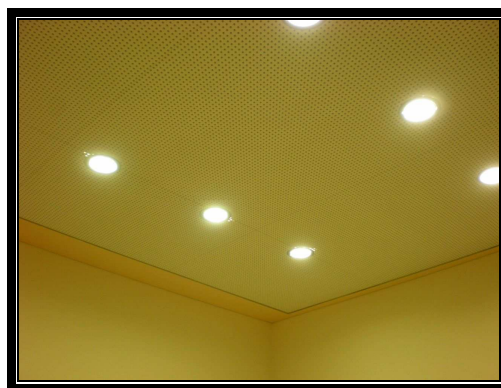


Όλοι οι τοίχοι έχουν δεχτεί την ίδια επένδυση για ηχομονωτική προστασία, που είναι μονός σκελετός με διπλή γυψοσανίδα και πετροβάμβακα.

Το πάτωμα και το ταβάνι έχουν επενδυθεί και αυτά και περιγράφονται παρακάτω.



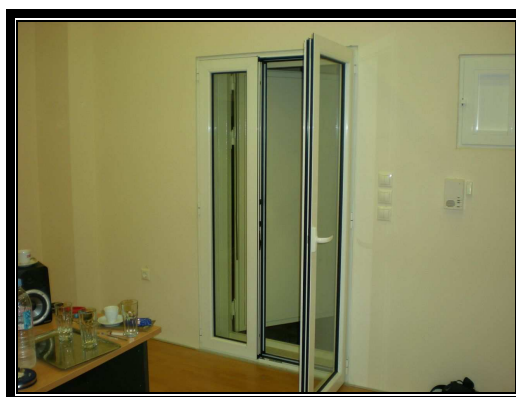
Εικόνα 6.1 Διαχωριστικός τοίχος μεταξύ recording και control room.



Εικόνα 6.2 Ταβάνι recording και control room.



Εικόνα 6.3 Δύο παράθυρα στον τοίχο A2 του recording room.



Εικόνα 6.4 Δύο πόρτες στον τοίχο A1 του control room. Πόρτες εισόδου του studio.

6.1.2. Περιγραφή των δομικών υλικών της κάθε τοιχοποιίας του χώρου control και recording room και υπολογισμός της ηχομονωτική ικανότητα του κάθε τοίχου ξεχωριστά βάσει των κεφαλαίων 2.10.2- 2.13 – 2.16.2.

Τοίχος A, A1, A2:

Οι αρχικές τοιχοποιίες A, A1, A2 έχουν κατασκευαστεί από τα ίδια υλικά (τσιμεντόλιθος) και έχουν υποστεί την ίδια επένδυση. Η διαφορά τους βρίσκεται στο γεγονός ότι περιέχουν πόρτες ή παράθυρα και για το λόγο αυτό εξετάζονται διαφορετικά.

Επίσης, για τις τοιχοποιίες A, A1, A2 θα γίνουν δύο υποθέσεις όσον αφορά στο τσιμεντόλιθο.

Πρώτη υπόθεση είναι ότι ο τσιμεντόλιθος δεν είναι συμπαγής.

Δεύτερη υπόθεση είναι ότι ο τσιμεντόλιθος είναι συμπαγής.

Ο διαχωρισμός γίνεται γιατί ανάλογα με το είδος του τσιμεντόλιθου αλλάζει η επιφανειακή πυκνότητά του.

Τοίχος A - recording room:

Ο τοίχος αποτελείται από:

-σοβά 1cm

- τσιμεντόλιθο 20cm
- σοβά 1cm

Συνολικό πάχος χωρίς την επένδυση: 22 cm

Η επένδυση βρίσκεται σε απόσταση από την τοιχοποιία 16cm και αποτελείται από:

- μεταλλικό σκελετό με διπλή γυψοσανίδα 2,5 cm
- κενό 5cm
- πετροβάμβακα, πυκνότητας 100kg/m^3 , πάχους 5cm.

Συνολικό πάχος με την επένδυση : 45 cm

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w της τοιχοποιίας A χωρίς την επένδυση είναι:

1^η υπόθεση : ο τσιμεντόλιθος δεν είναι συμπαγής.

- Βάσει του τύπου 2.44 ή τη χρήση του λογισμικού " υπολογισμός του R'_w και R_{ges} " : $R'_w = 49\text{dB}$

2^η υπόθεση : ο τσιμεντόλιθος είναι συμπαγής.

- Βάσει του τύπου 2.44 ή τη χρήση του λογισμικού " υπολογισμός του R'_w και R_{ges} " : $R'_w = 51\text{ dB}$.

Η επένδυση δίνει μια αύξηση του R'_w βάσει του πίνακα 2.23 και συγκρίνοντας και με τις τιμές βελτίωσης του πίνακα 2.24 προκύπτει $\Delta R_w = 8\text{ dB}$.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w της τοιχοποιίας A με την επένδυση είναι:

1^η υπόθεση : $R'_w = R'_{\text{αρχικής τοιχοποιίας}} + \Delta R = 49 + 8 = 57\text{dB}$.

2^η υπόθεση : $R'_w = R'_{\text{αρχικής τοιχοποιίας}} + \Delta R = 51 + 8 = 59\text{ dB}$.

Τοίχος A2- recording room:

Ο τοίχος αποτελείται από:

- σοβά 1cm
- τσιμεντόλιθο 20cm
- σοβά 1cm

Συνολικό πάχος χωρίς την επένδυση: 22cm

Η τοιχοποιία A2 είναι σύνθετη γιατί περιέχει και παράθυρο δίφυλλο συρόμενο.

Οι διαστάσεις του παραθύρου είναι : μήκος 2 m
Ύψος 0,8 m

Το παράθυρο αποτελείται από μονό τζάμι 1mm.

Ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης της αρχικής τοιχοποιίας με το τζάμι είναι (ο υπολογισμός του δείκτη ηχομείωσης του μονού τζαμιού γίνεται από τη σχέση 2.74a ή από τη χρήση του λογισμικού excel "Rw παραθύρων"):

- Βάσει της σχέσης 2.75a και 2.76 ή τη χρήση του λογισμικού φύλλου «υπολογισμός R'_w και R_{ges} -sheet 2) :

1^η υπόθεση : $R_{ges} \approx 36 \text{ dB}$ (1^{ος} τρόπος & 2^{ος} τρόπος)

2^η υπόθεση : $R_{ges} \approx 36 \text{ dB}$.

Παρατήρηση : από τον υπολογισμό της σύνθετης τοιχοποιίας επαληθεύεται το συμπέρασμα ότι η επιπλέον αύξηση της επιφανειακής πυκνότητας του ισχυρού στοιχείου (τοιχοποιία) δεν επιφέρει σημαντική βελτίωση στο σύνθετο δείκτη ηχομείωσης. Το σημαντικότερο ρόλο ως προς την αύξηση του σύνθετου δείκτη ηχομείωσης, το έχει το ασθενές στοιχείο (παράθυρο) το οποίο ανάλογα με τις διαστάσεις του και το δείκτη ηχομείωσής του φέρει το ανάλογο αποτέλεσμα. Όσο πιο μικρή είναι η διάστασή του ή όσο πιο μεγάλος είναι ο δείκτης ηχομείωσης του ασθενέστερου στοιχείου (π.χ. παραθύρου) τόσο καλύτερη είναι η τοιχοποιία ηχομονωτικά- τόσο πιο υψηλή τιμή του σύνθετου δείκτη ηχομείωσης θα έχει.

Η επένδυση είναι και αυτή σύνθετη τοιχοποιία. Με κενό 18 cm από την αρχική τοιχοποιία, η επένδυση αποτελείται από:

- μεταλλικό σκελετό με διπλή γυψοσανίδα 2,5 cm
- κενό 5cm
- πετροβάμβακα, πυκνότητας 100 kg/m^3 , πάχους 5cm.

Η επένδυση περιέχει παράθυρο με διαστάσεις: μήκος 2m
Ύψος 0,8m

Το τζάμι αποτελείται από τρεις στρώσεις: τζάμι 4 mm
Κενό 1mm
Τζάμι 6mm.

Συνολικό πάχος με επένδυση: 40,5 cm.

Η επένδυση έχει σύνθετο δείκτη ηχομείωσης R_{ges} :

- Βάσει του τύπου 2.75^ο και 2.76 για τον υπολογισμό της σύνθετης τοιχοποιίας και του 2.74ε για τα διπλά παράθυρα, ή τη χρήση του λογισμικού φύλου «υπολογισμός R'_w και R_{ges} -sheet 2:

$R_{ges} = 20 \text{ dB}$ -1^{ος} τρόπος, $R_{ges} = 21 \text{ dB}$ - 2^{ος} τρόπος

- Βάσει της χρήσης του πίνακα 2.14α για τον υπολογισμό της σύνθετης τοιχοποιίας υπολογίζεται : $R_{ges} = 20 \text{ dB}$.

Παρατήρηση:

Παρατηρείται ότι ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης της τοιχοποιίας η οποία αποτελείται από διπλή γυψοσανίδα με παράθυρο δε διαφέρει από το δείκτη ηχομείωσης της μονής τοιχοποιίας με διπλή γυψοσανίδα. Άρα η βελτίωση που επιφέρει η υπο μελέτη επένδυση ως προς το δείκτη ηχομείωσης, θεωρείται ότι είναι ίδια με τη βελτίωση που φέρει η διπλή γυψοσανίδα. Βάσει του πίνακα 2.23 και συγκρίνοντας και με τις τιμές βελτίωσης του πίνακα 2.24 προκύπτει $\Delta R_w = 15 \text{ dB}$.

Ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης της τοιχοποιίας A2 R_{ges} με την επένδυση υπολογίζεται:

$$R_{ges} = R_{ges} + \Delta R_w = 36 + 15$$

$$\underline{R_{ges} = 51 \text{ dB.}}$$

Τοίχος A1-control room.

Ο τοίχος αποτελείται από:

- σοβά 1cm
- τσιμεντόλιθο 20cm
- σοβά 1cm

Συνολικό πάχος χωρίς την επένδυση: 22cm

Η τοιχοποιία A1 είναι σύνθετη γιατί περιέχει πόρτα.

Η πόρτα έχει διαστάσεις : ύψος 2m
πλάτος 1,10 m
πάχος 9 cm περίπου

Αποτελείται από:

λαμαρίνα	2cm
κενό	1.5 cm
μονή γυψοσανίδα	1,25 cm
κενό	1.5 cm
λαμαρίνα	2 cm

Ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης R_{ges} της αρχικής τοιχοποιίας A1 είναι:

-Βάσει του τύπου 2.75a και 2.76 ή τη χρήση του λογισμικού " υπολογισμός R'_w και R_{ges} - sheet 2" και δέχοντας ότι η πόρτα έχει δείκτη ηχομείωσης 51 dB (η δυσμενέστερη τιμή ηχομείωσης της πόρτας) .

1^η υπόθεση : $R_{ges} = 49 \text{ dB}$ (1^{ος} τρόπος/ 2^{ος} τρόπος).

2^η υπόθεση : $R_{ges} = 51 \text{ dB}$ (1^{ος} τρόπος / 2^{ος} τρόπος)

Αν ο δείκτης ηχομείωσης της πόρτας είναι 57dB θα ισχύει (βάσει των ίδιων τύπων):

1^η υπόθεση : $R_{ges} = 50 \text{ dB}$ (1^{ος} τρόπος/ 2^{ος} τρόπος).

2^η υπόθεση: $R_{ges} = 51,4 \text{ dB}$ (1^{ος} τρόπος/ 2^{ος} τρόπος).

Συνυπολογίζοντας τα δεδομένα θεωρείται ότι ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης της αρχικής A1 τοιχοποιίας είναι :

$$R_{ges} \approx 51 \text{ dB}.$$

Η επένδυση είναι και αυτή σύνθετη τοιχοποιία:

Με κενό 16 cm από την τοιχοποιία, η επένδυση αποτελείται από:

- μεταλλικός σκελετός με διπλή γυψοσανίδα 2,5 cm
- κενό 5cm
- πετροβάμβακας , πυκνότητας 100 kg/m^3 , πάχους 5cm.

Η τοιχοποιία περιέχει πόρτα με διαστάσεις: μήκος 2m
Ύψος 1,10 m

Η πόρτα αποτελείται από διπλό φύλλο τζάμι πάχους 1mm

Συνολικό πάχος της πόρτας με το πλαίσιο είναι 6cm.

Συνολικό πάχος τοίχου με επένδυση : 43 cm

Η επένδυση έχει σύνθετο δείκτη ηχομείωσης R_{ges} :

-Βάσει του τύπου 2.75^a και 2.76 ή τη χρήση του λογισμικού « υπολογισμός R'_w και R_{ges} -sheet2» για τον υπολογισμό της σύνθετης τοιχοποιίας και του τύπου 2.74a για τον υπολογισμό του R'_w του παραθύρου με μονή φέτα:

$$R_{ges} = 21 \text{ dB}$$

Παρατηρείται ότι ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης της τοιχοποιίας η οποία αποτελείται από διπλή γυψοσανίδα με πόρτα ($R_{ges} = 21 \text{ dB}$) δε διαφέρει από ότι μία τοιχοποιία μόνο με διπλή γυψοσανίδα ($R'_w = 20 \text{ dB}$). Άρα η βελτίωση που θα επιφέρει η επένδυση ως προς το δείκτη ηχομείωσης, θεωρείται ότι είναι ίδια με τη βελτίωση που φέρει η διπλή γυψοσανίδα. Βάση του πίνακα 2.23 και συγκρίνοντας και με τις τιμές βελτίωσης του πίνακα 2.24 προκύπτει $\Delta R_w = 8 \text{ dB}$

Ο Σύνθετος δείκτης ηχομείωσης R_{ges} της τοιχοποιίας A1 με την επένδυση είναι:

$$R_{ges} = R_{ges} + \Delta R = 51 + 8$$

$$R_{ges} = 59 \text{ dB.}$$

Τοίχος B- recording & control room

Ο τοίχος αποτελείται από :

- σοβάς 1 cm
- τούβλο 9 cm
- πετροβάμβακας 100 kg/m^3 , πάχους 5 cm
- τούβλο 9 cm
- σοβάς 1cm

Συνολικό πάχος της τοιχοποιίας 25cm

Η επένδυση αποτελείται από:

- μεταλλικός σκελετός με διπλή γυψοσανίδα 2,5 cm
 - κενό 5cm
 - πετροβάμβακας, πυκνότητας 100 kg/m^3 , πάχους 5cm.
- Συνολικό πάχος της τοιχοποιίας με επένδυση είναι: 33 cm.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w της τοιχοποιίας B χωρίς την επένδυση είναι:

- Βάσει της εξίσωσης 2.44 : $R'_w = 62,3 \text{ dB}$.

- Βάσει των κατασκευών που δίνονται στη βιβλιογραφία : $R'_w = 50- 53$.

Λαμβάνοντας υπόψη περισσότερο τις τιμές που δίνει η βιβλιογραφία, εφόσον ανταποκρίνονται σε πραγματικές μετρήσεις, θεωρείται ότι ο $R'_w \approx 51 \text{ dB}$.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w της τοιχοποιίας B με την επένδυση είναι:

$$R'_w = R'_w + \Delta R = 51 + 8$$

$$R'_w = 59 \text{ dB.}$$

Ταβάνι - recording & control room.

Το ταβάνι είναι το ίδιο και στα δύο δωμάτια.

Αποτελείται από:

- πλακάκι 1cm
- πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα 20cm

Συνολικό πάχος πλάκας οπλισμένου σκυροδέματος οροφής χωρίς την επένδυση : 23 cm.

Η επένδυση του ταβανιού αποτελείται από:

- Ελάσματα
- 20cm κενό (μέσα στο κενό 5cm πετροβάμβακα πυκνότητας 100 kg/m^3)

- διπλή γυψοσανίδα 2,5cm
- κενό 3 cm
- γυψοσανίδα διάτρητη 1cm

Συνολικό πάχος ταβανιού με επένδυση 49 cm.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w του ταβανιού χωρίς την επένδυση είναι :

Βάσει του τύπου 2.44 : $R'_w = 55dB$.

Βάσει των παραδειγμάτων της βιβλιογραφίας : $R'_w = 53-55 dB$.

Άρα θεωρούμε ότι ο $R'_w = 55 dB$.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w του ταβανιού με την επένδυση είναι:

Αν στο δείκτη ηχομείωσης του ταβανιού προσθέταμε την βελτίωση που προσφέρουν οι δύο γυψοσανίδες, δηλαδή

$R'_w = R'_w + \Delta R$, θα προέκυπτε ότι

$$R'_w = 55 + 8 \approx 63dB$$

Συνοπολογίζοντας όλα τα δεδομένα θεωρούμε ότι ο R'_w του ταβανιού με την επένδυση είναι:

$$\underline{R'_w = 63 dB.}$$

Επίσης, βάσει του τεχνικού φυλλαδίου της Knauf D11 για τις οροφές:

$R_{L,W,R} = 57-63 dB$ ανάλογα με σκελετό και τη γυψοσανίδα.

Το μέγεθος $R_{L,W,R}$ αντιπροσωπεύει τον πλάγιο δείκτη ηχομείωσης ενός στοιχείου και δηλώνει την ηχομονωτική ικανότητα που προσφέρει ένα στοιχείο πλευρικά, μεταξύ διαδοχικών δωματίων. Ο δείκτης L προκύπτει από το lateral, το οποίο σημαίνει πλευρικός.

Η εκτιμήσιμη πρότυπη στάθμη κτυπογενή ήχου για το πάτωμα με την επένδυση είναι:

Βάσει του πίνακα 2.22 και 2.21 και της εξίσωσης 2.84 είναι:

$$L_{nw} = 69$$

$$\Delta L_w = 34$$

$$L'_{nw} = 69 - 34$$

$$\underline{L'_{nw} = 35 dB.}$$

Πάτωμα- Recording & control room

Το πάτωμα είναι το ίδιο και στο recording και στο control room.

Αποτελείται από :

- τσιμέντο 15 cm

Η επένδυση αποτελείται από:

- Μεταλλικός σκελετός / ελάσματα
- πετροβάμβακας (100 kg/m^3) 5cm
- διπλό MDF 3 cm
- ξύλινο πάτωμα, σαν παρκέ 2cm

Συνολικό πάχος του πατώματος με την επένδυση είναι 25cm

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w του πατώματος με την επένδυση είναι:

Βάσει των παραδειγμάτων της βιβλιογραφίας κυμαίνεται μεταξύ 51-56 dB. Θεωρούμε ότι ο $R'_w = 55$ dB.

Η εκτιμήσιμη πρότυπη στάθμη κτυπογενή ήχου $L'_{n,w}$ για το πάτωμα με την επένδυση :

Βάσει σχημάτων της βιβλιογραφίας : $L'_{n,w} = 52$ dB.

Βάσει του πίνακα 2.22 και της σχέσης 2.84 είναι:

$$L'_{n,w,R} = L_{n,w,eq,R} - \Delta L_{w,R}$$

Για το τσιμέντο πάχους 15cm είναι: $L_{nw} = 74$

Βάσει των σχεδιαγραμμάτων της βιβλιογραφίας η βελτίωση του ταβανιού από την επίστρωση είναι: $\Delta L_w = 30$ dB.

$$L'_{nw} = 74 - \Delta L_w = 74 - 30$$

$$L'_{nw} = 49 \text{ dB.}$$

Άρα θεωρούμε ότι η πρότυπη στάθμη κτυπογενή ήχου $L'_{n,w} = 50$ dB.

Διαχωριστικός τοίχος

Αποτελείται από διπλό σκελετό με τριπλή γυψοσανίδα. Το κενό μεταξύ των τοιχωμάτων από γυψοσανίδα είναι 20cm. Κάθε πλευρά της τοιχοποιίας περιέχει πόρτα.

Πιο αναλυτικά:

- τριπλή γυψοσανίδα 3,75 cm
- πετροβάμβακας (100 kg/m^3) 5cm
- κενό 20 cm
- πετροβάμβακας (100 kg/m^3) 5cm
- τριπλή γυψοσανίδα 3,75 cm

Συνολικό πάχος της τοιχοποιίας 37,5 cm.

Η τοιχοποιία που βρίσκεται στο control room περιέχει πόρτα με διαστάσεις:

Μήκος 1.70cm

Ύψος 1.80 cm

Αποτελείται από διπλό τζάμι με κενό αέρα. Οι στρώσεις έχουν πάχος:

- 10 mm

- 1 mm

- 6 mm.

Η τοιχοποιία που βρίσκεται στο recording room περιέχει πόρτα με διαστάσεις:

Μήκος 1.70cm

Ύψος 1.80 cm

Αποτελείται από μονό τζάμι πάχους 1mm.

- Ο σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης R'_w του διπλού χωρίσματος χωρίς τον συνυπολογισμό των πόρτων είναι περίπου: $R'_w = 66$ dB. (από τεχνικά φυλλάδιο Knayf)

- Με το συνυπολογισμό των πορτών αναμένεται ο δείκτης ηχομείωσης του διαχωριστικού πετάσματος να μειωθεί και να γίνει : $R'_w \approx 50$ dB.

6.1.3. Συχνότητες συντονισμού f_R των τοιχωμάτων.

Τοίχος A

Ο τοίχος Α βάσει της εξίσωσης 2.70γ ή τη χρήση του λογισμικού φύλλου «R' w και R_{ges}» είναι:

$$F_R \approx 160 \sqrt{\frac{s'}{m'_2}},$$

η γραμμική πυκνότητα της γυψοσανίδας είναι 760 kg/m³.

Το πάχος της είναι 0,025m, αφού είναι διπλή.

Άρα m' ₂ = 19 kg/m².

$$\text{Άρα } f_R \approx 160 \sqrt{\frac{4MN / m^3}{19kg / m^2}} \approx 73,4\text{Hz.}$$

Τοίχος Α2

Το διπλό παράθυρο του τοίχου Α2 έχει συχνότητα συντονισμού βάσει της σχέσης 272.β:

$$f_{Gr} = 1200 \sqrt{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_L} + \frac{1}{d_2}} \approx 1200 \sqrt{\left(\frac{1}{4} + \frac{1}{1} + \frac{1}{6}\right)} \approx 1428,3 \text{ Hz.}$$

Το μονό παράθυρο σύμφωνα με τη σχέση 2.72^α

Για γωνία πρόσπτωσης 45° και 90° έχει:

$$f_{Gr} = \frac{12000}{d * \sin^2 \beta} \approx 2400 \text{ Hz για } 45^\circ .$$

$$f_{Gr} = \frac{12000}{d * \sin^2 \beta} \approx 1200 \text{ Hz για } 90^\circ .$$

Η συχνότητα συντονισμού της αρχικής τοιχοποιίας με την επένδυση, υπολογίστηκε προηγουμένως στα f_R = 73,4 Hz.

Ο τοίχος Α2 παρουσιάζει τρεις οριακές συχνότητες και αυτό καθιστά την τοιχοποιία ευάλωτη.

Οι συχνότητες συντονισμού των τζαμιών μπορεί να συμπίπτουν ανάλογα με τη γωνία πρόσκρουσης του ήχου και τότε η ηχομονωτική ικανότητα της τοιχοποιίας γύρω από τις συχνότητες συντονισμού θα μειώνεται.

Τοίχος Α1

Ο τοίχος Α1 παρουσιάζει τη συχνότητα συντονισμού της τοιχοποιίας με την επένδυση όπου υπολογίστηκε στα f_R = 73,4Hz.

Τη συχνότητα συντονισμού του μονού τζαμιού, η οποία ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης θα είναι : θ = 45°, f_R = 2400 Hz.

$$\theta = 90^\circ, f_R = 1200 \text{ Hz.}$$

Αν και είναι δύο συχνότητες συντονισμού, παρατηρείται ότι είναι μακριά η μία με την άλλη.

Θα υπάρχει όμως και η συχνότητα συντονισμού της πόρτας η οποία αναμένεται να είναι κοντά στα 50-60 Hz. Κάτω από το κατώτατο συχνοτικό όριο όπου εξετάζεται μια τοιχοποιία.

Το γεγονός ότι δε συμπίπτουν οι συχνότητες συντονισμού είναι θετικό, δεν αλλάζει όμως το γεγονός ότι επιδρούν αρνητικά στην ηχομονωτική ικανότητα του τοίχου.

Ο τοίχος Β

Ο τοίχος Β χωρίς την επένδυση της γυψοσανίδας έχει συχνότητα συντονισμού

σύμφωνα με τον τύπο 2.70β ή τη χρήση του λογισμικού φύλλου «υπολογισμός R'_w και R_{ges} »
 $F_R = 160,38 \text{ Hz}$.

Με την επένδυση έχει συχνότητα συντονισμού σύμφωνα με τη σχέση 2.70γ $F_R=73 \text{ Hz}$.

Κάτω από το συχνοτικό όριο όπου εξετάζεται η ηχομόνωση της τοιχοποιίας.

Ο διαχωριστικός τοίχος

Ο διαχωριστικός τοίχος σύμφωνα με την εξίσωση 2.70^α έχει $F_R=84,29 \text{ Hz}$.

Το διπλό τζάμι έχει : $f_{Gr} = 1200 \sqrt{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_L} + \frac{1}{d_2}} \approx 1200 \sqrt{\left(\frac{1}{10} + \frac{1}{1} + \frac{1}{6}\right)} \approx 1352 \text{ Hz}$.

Και το μονό τζάμι: $F_R = 1200 \text{ Hz}$ για γωνία πρόσπτωσης 90° και $F_R = 2400 \text{ Hz}$ για γωνία πρόσπτωσης 45° .

Παρατηρείται ότι η συχνότητα συντονισμού του μονό τζαμιού με το διπλό, όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι 45° είναι σχετικά κοντά. Γεγονός που θα μειώσει την ηχομονωτική ικανότητα του τοίχου στην περιοχή γύρω από τα 1200Hz με 1300Hz . Η συχνότητα συντονισμού των δύο πορτών μαζί (του μονού φύλλου και του εσωτερικού του διπλού φύλλου) είναι:

$$f_{Gr} = 1200 \sqrt{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_L} + \frac{1}{d_2}} \approx 1200 \sqrt{\left(\frac{1}{1} + \frac{1}{200} + \frac{1}{10}\right)} \approx 1261 \text{ Hz}$$

6.1.4. Υπολογισμός του χρόνου αντήχησης του control room.

Σε αυτό το μέρος πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του χρόνου αντήχησης της αίθουσας control room. Ακολουθήθηκε η μέθοδος διέγερσης του χώρου με ροζ θόρυβο, ο οποίος θόρυβος μηδενίζεται ακαριαία (Μέθοδος μηδενισμού της πηγής). Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- γεννήτρια ήχου (από υπολογιστή)
- Δωδεκάεδρο ηχείο
- ηχόμετρο Type1 SIP 95(01dB)

Πραγματοποιήθηκαν κάποιες μετρήσεις και τα αποτελέσματα καταχωρήθηκαν στον παρακάτω πίνακα.

χρόνος αντήχησης control room							
Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000
T(sec)	0,65	0,71	0,52	0,5	0,69	0,84	

Πίνακας 6.1 Ο χρόνος αντήχησης του studio 1.

Ο χρόνος αντήχησης της αίθουσας είναι:
 $RT_{60} = 0.67 \text{ sec}$.

Η τιμή του χρόνου αντήχησης του δωματίου λήψης (control room) που μετρήθηκε, είναι αρκετά υψηλή σύμφωνα με τις προδιαγραφές και βάσει τον όγκο του δωματίου ($V_{c,R}=58 \text{ m}^3$) . Αυτό συνέβει γιατί ο χώρος ήταν άδειος τη στιγμή των μετρήσεων. Πέραν της ηχοαπορροφητικής οροφής (διάτρητη γυψοσανίδα), δεν είχε τοποθετηθεί

κάποια ηχοαπορροφητική διάταξη ή διαχυτής στα επιθυμητά σημεία είτε κάποιο απορροφητικό (π.χ. χαλί) στο πάτωμα.

6.1.5. Διαδικασία μέτρησης της ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου από το recording στο control room

Η μέτρηση της ηχομόνωσης από τον αερόφερτο θόρυβο του control room έγινε με τη μέθοδο διέγερσης του recording room με ροζ θόρυβο και την καταγραφή της στάθμης έντασης του ήχου ανα οκτάβες και στα δύο δωμάτια. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- γεννήτρια ήχου (από Η/Υ)
- δωδεκάεδρο ηχείο
- ηχόμετρο Type1 SIP 95(01dB)

Το δωδεκάεδρο ηχείο τοποθετήθηκε σε δύο θέσεις του recording room. Η κάθε θέση βρισκόταν στις γωνίες των τοίχων του δωματίου και το ηχείο απείχε 0.5m από κάθε τοίχο.

Για κάθε θέση του ηχείου πραγματοποιήθηκε μία μέτρηση στο recording room και μία θέση στο control room.

Η κάθε μέτρηση του ηχόμετρου έγινε ακριβώς πίσω από την επιφάνεια του διαχωριστικού στοιχείου και στα δύο δωμάτια, κινώντας το ηχόμετρο κατά μήκος της επιφάνειας. Το ηχόμετρο κατέγραψε το μέσο όρο της στάθμης πίεσης της κάθε μέτρησης και τα αποτελέσματα παραχωρούνται στον παρακάτω πίνακα.

Recording room				control room			
Leq	1/1 oct	T : 30s		Leq	1/1 oct	T : 30s	
G:10-080				G:10-080			
	Μέτρηση 1		Μέτρηση 2		Μέτρηση 1		Μέτρηση 2
Freq	Leq		Leq	Freq	Leq		Leq
Filter A	94,7		74,7	Filter A	41,9		24,4
Filter C	101,4		74,8	Filter C	55,3		43,4
Filter L	101,7		76,5	Filter L	58,3		50,3
31,5	68,5		59,5	31,5	45,2		42,4
63	87		59,7	63	49,6		40,2
125	97,6		60,1	125	53,6		27,2
250	97,7		65,3	250	42,8		17,5
500	90,3		68,8	500	33,1		16,9
1000	86,4		65,6	1000	36		19,7
2000	86		64,7	2000	34		17,2
4000	86,7		68,7	4000	25,7		13,9
8000	82,5		70,4	8000	27,8		13,7
16000	77,4		67,6	16000	33,8		13,1

Πίνακας 6.2
Μετρήσεις
στάθμης
πίεσης του
recording
(δωμάτιο
εκπομπής)
και του
control
room
(δωμάτιο
λήψης)

Ο μέσος όρος της στάθμης πίεσης της πρώτης μέτρησης είναι:

Recording room : $L_A = 95 \text{ dB(A)}$ και $91,7 \text{ dB}$.

Control room : $L_A = 42 \text{ dB(A)}$ και $45,8 \text{ dB}$.

Ο μέσος όρος της στάθμης πίεσης της δεύτερης μέτρησης είναι:

Recording room : $L_A = 75 \text{ dB(A)}$ και $66,5 \text{ dB}$.

Control room : $L_A = 24,5 \text{ dB(A)}$ και $34,6 \text{ dB}$.

Παρατηρήσεις

Παρατηρείται ότι η στάθμη πίεσης της δεύτερης μέτρησης του recording room είναι χαμηλή για τις απαιτήσεις της μέτρησης της ηχομόνωσης. Το γεγονός αυτό μπορεί να προκαλέσει σύγχυση στη δεύτερη μέτρηση στάθμης πίεσης του control room. Η μετρούμενη στάθμη πίεσης του control room μπορεί να περιλαμβάνει και το θόρυβο βάθους. Λόγω της χαμηλής στάθμης, η δεύτερη μέτρηση, δε λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς της ηχομόνωσης.

6.1.6. Υπολογισμός ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου από το recording στο control room βάσει των μετρήσεων.

Ο υπολογισμός της ηχομόνωσης μεταξύ των δύο δωματίων γίνεται με τη χρήση του λογισμικού ΄Γραφική μέθοδος υπολογισμού R'_w .

Μέτρηση 1^η

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό φύλλο "Γραφική μέθοδος υπολογισμού R'_w -sheet1", οι τιμές μετρήσεων συγκρίνονται με την καμπύλη αναφοράς και μετακινώντας την καμπύλη αναφοράς βρίσκεται ο R'_w ως μονότιμο μέγεθος.

Δεδομένα που χρειάζονται

Επιφάνεια του διαχωριστικού πετάσματος:

$$A_0 = 12 \text{ m}^2 .$$

Ο όγκος του δωματίου λήψης (control) είναι:

$$V = 58 \text{ m}^3 .$$

Ο χρόνος αντήχησης του control είναι:

$$T = 0,67 \text{ sec} .$$

Τοποθετώντας τα δεδομένα στο αρχείο excel για οκτάβες προκύπτει:

Συχνότητα σε Hz	125	250	500	1000	2000
Χώρος εκπομπής (Ls)	97,6	97,7	90,3	86,4	86
Χώρος λήψης (LE)	53,6	42,8	33,1	36	34
φαινόμενος δείκτης R' ανά συχνότητα	43,3	54,2	56,5	49,7	51,3
R'_w (dB)	51				

Πίνακας 6.3 Από το λογισμικό φύλλο « Γραφική μέθοδος υπολογισμού R'_w -sheet1» ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης του διαχωριστικού πετάσματος βάσει της στάθμης της ηχητικής πίεσης των δύο δωματίων(1^η μέτρηση), βάσει του χρόνου αντήχησης του control room και βάσει της καμπύλης αναφοράς.

Αφού έχουν δοθεί τα δεδομένα στο λογισμικό φύλλο, δοκιμάζονται διάφορες τιμές στον παρακάτω πίνακα στη στήλη « διαφορά σε dB», έτσι ώστε το άθροισμα των αποκλίσεων να μην υπερβαίνει τα -8 dB.

Δίνοντας την τιμή 1 στη στήλη 4, διαφορά σε dB, πληρούνται τα παραπάνω κριτήρια.

Η τιμή του R'_w , είναι η τιμή στα 500Hz της μετακινούμενης καμπύλης αναφοράς.

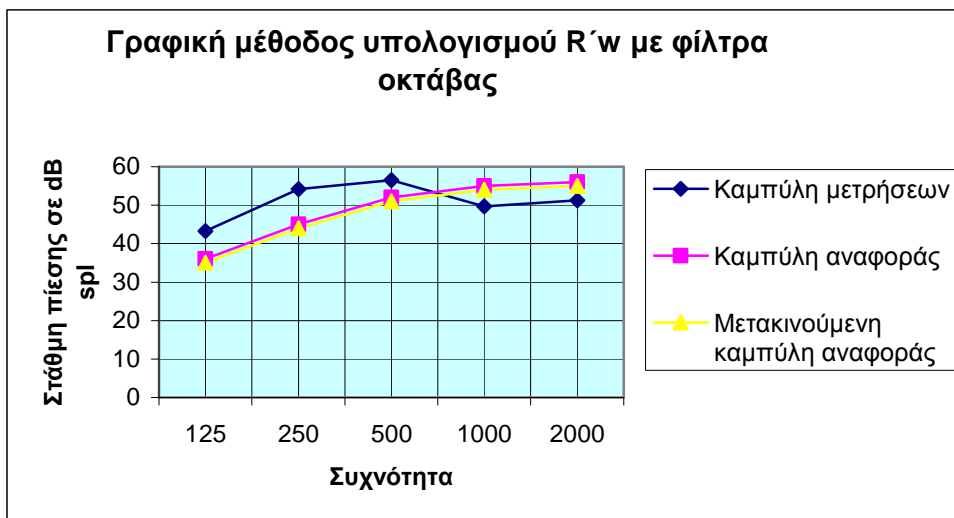
Προκύπτει ότι ο $R'_w = 51 \text{ dB}$.

Συχνότητες	Τιμές μέτρησης σε dB	Τιμές αναφοράς σε dB	Διαφορά σε dB	Μετακινούμενη καμπύλη αναφοράς	Αποκλίσεις
125	43	36	1	35	0

250	54	45	44	0
500	57	52	51	0
1000	50	55	54	-4,3
2000	51	56	55	-3,7
			Άθροισμα αποκλίσεων	-8

Πίνακας 6.4 από το λογισμικό φύλλο «Γραφική μέθοδος υπολογισμού R'w-sheet1» σύγκριση της καμπύλης μέτρησης (1^η μέτρηση) του δείκτη ηχομείωσης με την καμπύλη αναφοράς.

Το αντίστοιχο διάγραμμα των τιμών της μέτρησης, της καμπύλης αναφοράς και της μετακινούμενης καμπύλης αναφοράς είναι:



Σχεδιάγραμμα 6.1 από το λογισμικό φύλλο «Γραφική μέθοδος υπολογισμού R'w-sheet1» οι καμπύλες μέτρησης 1, αναφοράς και μετακινούμενης καμπύλης.

Αποτελέσματα:

Βάσει του γραφικού τρόπου υπολογισμού για το συχνοτικό εύρος από 100-2000Hz ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης είναι **R'w = 51 dB**.

Υπολογίζοντας το φαινόμενο σταθμισμένο δείκτη ηχομείωσης σύμφωνα με την προσεγγιστική μέθοδο υπολογισμού, για το συχνοτικό εύρος από 100-2000Hz, προκύπτει ότι : R'w = 52 dB.

Μέτρηση 2^η

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό φύλλο "Γραφική μέθοδος υπολογισμού R'w-sheet1", οι τιμές μετρήσεων συγκρίνονται με την καμπύλη αναφοράς και μετακινώντας την καμπύλη αναφοράς βρίσκεται ο R'w ως μονότιμο μέγεθος.

Δεδομένα που χρειάζονται

Επιφάνεια του διαχωριστικού πετάσματος:

Ao = 12 m² .

Ο όγκος του δωματίου λήψης (control) είναι:

$V = 58 \text{ m}^3$.

Ο χρόνος αντήχησης του control είναι:

$T = 0,67 \text{ sec.}$

Τοποθετώντας τα δεδομένα στο αρχείο excel για οκτάβες προκύπτει

Συχνότητα σε Hz	125	250	500	1000	2000
Χώρος εκπομπής (Ls)	60,1	65,3	68,8	65,6	64,7
Χώρος λήψης (LE)	27,2	17,5	16,9	19,7	17,2
φαινόμενος δείκτης R' ανά συχνότητα	32,2	47,1	51,2	45,2	46,8
R' w (dB)	46				

Πίνακας 6.5 Από το λογισμικό φύλλο « Γραφική μέθοδος υπολογισμού R' w-sheet1»ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης του διαχωριστικού πετάσματος βάσει της στάθμης της ηχητικής πίεσης των δύο δωματίων(2^η μέτρηση), βάσει του χρόνου αντήχησης του control room και βάσει την καμπύλη αναφοράς.

Αφού έχουν δοθεί τα δεδομένα στο λογισμικό φύλλο, δοκιμάζονται διάφορες τιμές στον παρακάτω πίνακα στη στήλη διαφορά σε dB, έτσι ώστε το άθροισμα των αποκλίσεων να μην υπερβαίνει τα -10 dB.

Δίνοντας την τιμή 6 στη στήλη 4, διαφορά σε dB, πληρούνται τα παραπάνω κριτήρια.

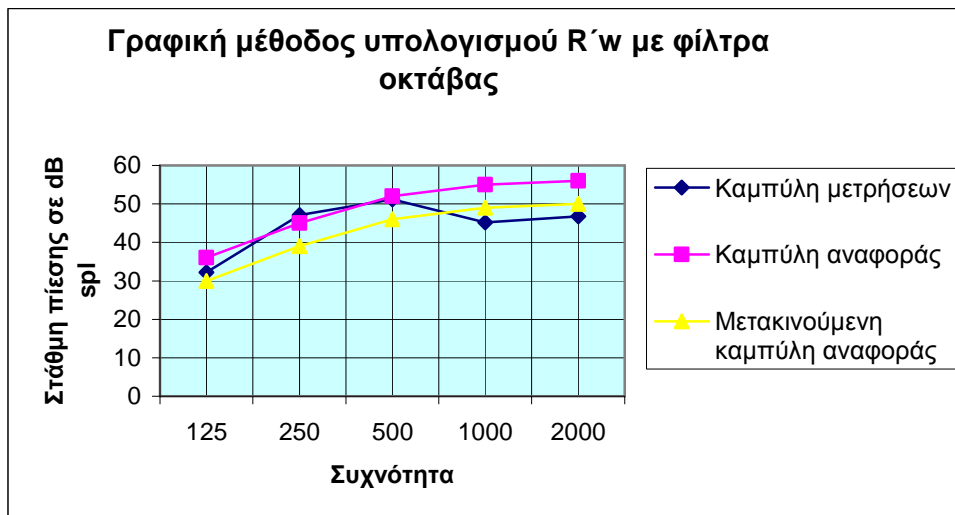
Η τιμή του R' w , είναι η τιμή στα 500Hz της μετακινούμενης καμπύλης αναφοράς.

Προκύπτει ότι ο **R' w = 46 dB**.

Συχνότητες	Τιμές μέτρησης σε dB	Τιμές αναφοράς σε dB	Διαφορά σε dB	Μετακινούμενη καμπύλη αναφοράς	Αποκλίσεις
125	32	36	6	30	0
250	47	45		39	0
500	51	52		46	0
1000	45	55		49	-3,8
2000	47	56		50	-3,2
				Άθροισμα αποκλίσεων	-7

Πίνακας 6.6 Από το λογισμικό φύλλο «Γραφική μέθοδος υπολογισμού R' w-sheet1» σύγκριση της καμπύλης μέτρησης (2^η μέτρηση)του δείκτη ηχομείωσης με την καμπύλη αναφοράς.

Το αντίστοιχο διάγραμμα των τιμών της μέτρησης, της καμπύλης αναφοράς και της μετακινούμενης καμπύλης αναφοράς είναι:



Σχεδιάγραμμα 6.2 Από το λογισμικό φύλλο «Γραφική μέθοδος υπολογισμού R'w-sheet1» οι καμπύλες μέτρησης(2^η μέτρηση), αναφοράς και μετακινούμενης καμπύλης.

Αποτελέσματα :

-Βάσει του γραφικού τρόπου υπολογισμού, για το συχνοτικό εύρος από 100-1600Hz, ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης είναι **R'w = 46dB**.

Υπολογίζοντας το φαινόμενο σταθμισμένο δείκτη ηχομείωσης βάσει της προσεγγιστικής μεθόδου, προκύπτει ότι R'w = 46 dB. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το αποτέλεσμα της προσεγγιστικής μεθόδου συμπίπτει με αυτό της γραφικής.

Αποτελέσματα και των δύο μετρήσεων

Στην πρώτη μέτρηση ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης υπολογίστηκε R'w = 51 dB.

Στη δεύτερη μέτρηση ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης υπολογίστηκε R'w = 46 dB.

Τα αποτελέσματα των δύο μετρήσεων παρουσιάζουν μια σχετική απόκλιση.

Παρατήρηση

Θεωρώντας τη δεύτερη μέτρηση ανεπαρκή για τον υπολογισμό της ηχομόνωσης των δύο δωματίων και παρατηρώντας ότι η πρώτη μέτρηση είναι κοντά στις θεωρητικές προσεγγίσεις της ηχομόνωσης, οι συγκρίσεις των πειραματικών τιμών με τις προδιαγραφές γίνονται βάσει των αποτελεσμάτων της πρώτης μέτρησης.

6.1.7. Προσδιορισμός των προδιαγραφών

Ο προσδιορισμός των προδιαγραφών γίνεται σύμφωνα με:

1. τον ελληνικό κτιριοδομικό κανονισμό,
2. τους σχετικούς πίνακες που ορίζουν την ελάχιστη στάθμη του φαινομένου σταθμισμένου και της κανονικοποιημένης στάθμης ήχου ανάλογα με τον χώρο, πίνακες 3.10 έως 3.12,
3. τις καμπύλες NC, NR, RC. Παρακάτω γίνεται αναφορά στους πίνακες που ορίζουν τις επιθυμητές καμπύλες NC, NR, RC, ανάλογα με το είδος του χώρου που εξετάζεται.

4. τις καμπύλες BBC.
5. την προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου ακουστότητας θορύβου, σύμφωνα με τον AES οργανισμό.



Κριτήρια ακουστικής
Άνεσης, Κτ. Καν. :

1.Κτιριοδομικός κανονισμός (πίνακας 3.16, 3.17, σελ 160-161)

Ο κτιριοδομικός κανονισμός δίνει τις ελάχιστες απαιτούμενες τιμές για κτίρια A « υψηλής ακουστικής άνεσης » και κτίρια B « κανονικής ακουστικής άνεσης »

Το ταβάνι του control και recording room υπολογίστηκε ότι έχει:

$$R'_{w} = 63 \text{ dB}$$

$$L'_{nw} = 35 \text{ dB.}$$

Οι στάθμες αυτές καλύπτουν τις ελάχιστες απαιτήσεις του κτιριοδομικού κανονισμού για το είδος κτιρίου « εμπόριο » και για την «Ηχομόνωση κατοικίας (διαμερίσματος) από άλλο χώρο κύριας χρήσης - 4.2 παράγραφος » στα οποία δίνει

A κατηγορία (πίνακας 3.16): $R'_{w} = 58 \text{ dB} / L'_{n,w} = 52 \text{ dB}$.

B κατηγορία (πίνακας 3.17): $R'_{w} = 52 \text{ dB} / L'_{n,w} = 55 \text{ dB}$.

Ο τοίχος B (recording και control room) που συνορεύει με την αποθήκη ενός μαγαζιού σε όλο το μήκος του, υπολογίστηκε ότι έχει:

$$R'_{w} = 59 \text{ dB.}$$

Η στάθμη αυτή καλύπτει τις απαιτήσεις του κτιριοδομικού κανονισμού για το είδος κτιρίου « εμπόριο » και για «Ηχομόνωση από γειτονικό χώρο κύριας ή βοηθητικής χρήσης - 4.1 παράγραφος » στην οποία δίνει:

A κατηγορία (πίνακας 3.16) : $R'_{w} = 52 \text{ dB}$.

B κατηγορία (πίνακας 3.17) : $R'_{w} = 40 \text{ dB}$.



Πίνακας 3.10 και 3.11

2. - Σύμφωνα με τον πίνακα 3.10 (σελ 154-155)

Για το ταβάνι:

Το ταβάνι βρίσκεται κάτω από βεράντα κατοικίας.

Από τον πίνακα 3.10 θέτονται οι προδιαγραφές για διάφορα ταβάνια. Αν και στο συγκεκριμένο παράδειγμα ο χώρος που βρίσκεται πάνω από το ταβανιού περιγράφεται στην 4^η στήλη, συγκρίνονται οι απαιτήσεις και με τις άλλες προδιαγραφές σε περίπτωση όπου η βεράντα χρησιμοποιείται για τους αντίστοιχους λόγους.

Ταβάνι κάτω από γενικά χρησιμοποιήσιμους χώρους, π.χ. στεγνωτήρια, χώρους αποθήκευσης και πρόσβασης σε αυτούς	$R'_{w} = 53 \text{ dB}$	$L'_{n,w} = 53 \text{ dB}$
Ταβάνι κάτω / πάνω από χώρους για παιχνίδια ή ομαδικές δραστηριότητες.	$R'_{w} = 55 \text{ dB}$	$L'_{n,w} = 46 \text{ dB}$
Ταβάνι μεταξύ ξένων εργασιακών χώρων ή χώρων άλλης χρήσης	$R'_{w} = 54 \text{ dB}$	$L'_{n,w} = 53 \text{ dB}$
Ταβάνια κάτω από τaráτσες και θεωρεία πάνω από χώρους παραμονής	$R'_{w} = -$	$L'_{n,w} = 53 \text{ dB}$

Οι τιμές του ταβανιού που υπολογίστηκαν είναι:

$$R'_{w} = 63 \text{ dB}$$

$$L'_{nw} = 35 \text{ dB}$$

Οι οποίες στάθμες καλύπτουν τις προδιαγραφές του συγκεκριμένου πίνακα.



Πίνακας 3.10 και 3.11

- Σύμφωνα με τον πίνακα 3.11 (σελ 156)

Για τον τοίχο B:

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.11 για τους τοίχους δίνει προδιαγραφές:

Τοίχοι μεταξύ εργασιακών χώρων $R'_{w} = 53 \text{ dB}$

Τοίχοι δίπλα από εισόδους-εξόδους γκαράζ $R'_{w} = 55 \text{ dB}$

Ο τοίχος B, συνορεύει με μία αποθήκη μαγαζιού και υπολογίστηκε ότι έχει : $R'_{w} = 59 \text{ dB}$, η οποία στάθμη καλύπτει τις απαιτήσεις του πίνακα 3.11.

Ακόμη ένα μέτρο σύγκρισης αποτελεί ο πίνακας 3.9, ο οποίος δίνει την αναμενόμενη στάθμη πίεσης η οποία προκαλείται από συγκεκριμένες πηγές.



Πίνακας 3.9

- Σύμφωνα με τον πίνακα 3.9 (σελ. 153):

Η στάθμη πίεσης σε dB(A) για studio ηχογράφησης, πρέπει να είναι $L_A = 20 \text{ dB(A)}$.

Η στάθμη πίεσης που μετρήθηκε σε dB(A) είναι $L_A = 32,5 \text{ dB}$.

Βάσει του πίνακα 3.9 η στάθμη πίεσης του control room δεν πληρεί τις προδιαγραφές.



Καμπύλες NC και RC

3. Σύμφωνα με τις καμπύλες NC/RC. (σχεδ.3.2 σελ136,σχεδ.3.5 σελ 140)

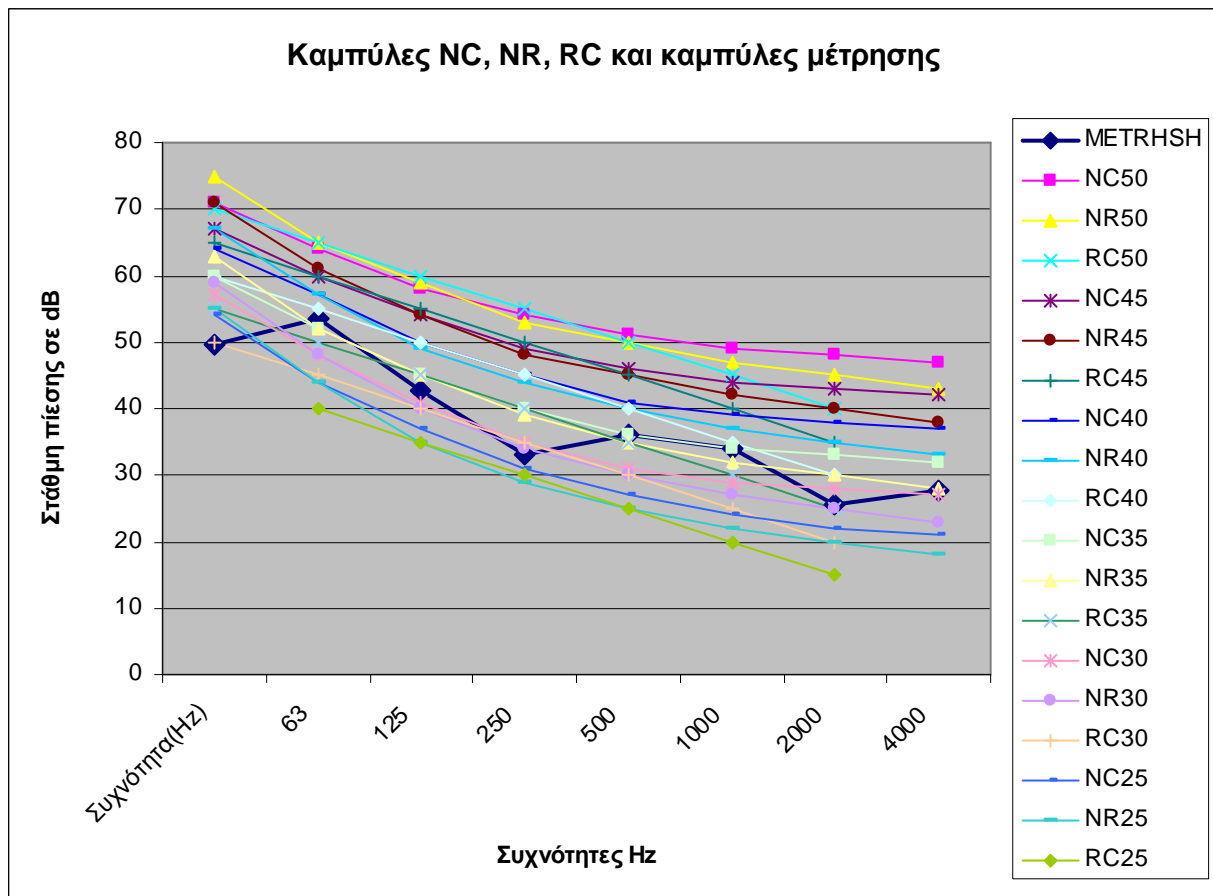
Σύμφωνα με τους πίνακες που ορίζουν την επιθυμητή στάθμη των καμπύλων NR, NC, RC ανάλογα με το χώρο που εξετάζεται προκύπτουν οι παρακάτω παρατηρήσεις.

Οι τιμές που δηλώνουν τη στάθμη πίεσης του control room, κατά τη διάρκεια του πειράματος (μέτρηση1), χωρίς να προσδιορίζεται αν το σύστημα του εξαερισμού ήταν ανοιχτό ή κλειστό, είναι:

Hz	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
L_E σε dB – δωματίου λήψης	45,2	49,6	53,6	42,8	33,1	36	34	25,7	27,8	33,8

(Πίνακας 6.7)

Για να βρεθεί ποια καμπύλη NC, NR, RC καλύπτει τις μετρήσεις της στάθμης του control δημιουργείται το σχετικό γράφημα στο συχνοτικό εύρος από 63Hz -8000Hz.



Σχεδιάγραμμα 6.3 Γράφημα των καμπυλών NC50-25, RC50-25, NR50-25 και η καμπύλη μέτρησης της ηχητικής πίεσης, μέτρηση 1, του control room.

Από το γράφημα παρατηρείται ότι οι καμπύλες που καλύπτουν τη στάθμη πίεσης του control room (μέτρηση1), όταν στο recording room επικρατεί στάθμη πίεσης ήχου στα 95dB(A) είναι:

- NC 35
- NR 35
- RC 35



Πίνακας 3.7

- Βάσει του πίνακα 3.7 (σελ. 151)

Στο control room η στάθμη L_A μετρήθηκε στα 32,5 dB(A).

Βάσει τον πίνακα 3.7 οι καμπύλες που καλύπτουν αυτή τη στάθμη είναι οι NR 25, NC 25 και RC 25-30 και όχι οι καμπύλες NC ,NR, RC 35.

Παρόλο που η στάθμη πίεσης σε dB(A) του control room περιγράφει έναν χώρο πολύ ήσυχο και κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί ως studio ηχογράφησης , όταν συγκρίνονται οι τιμές της οκτάβας με τις καμπύλες NC RC NR προκύπτει ότι οι καμπύλες που καλύπτουν τις στάθμες πίεσης σε dB είναι οι NC 35, NR 35, RC35.

Στο συγκεκριμένο στάδιο, υπάρχει μια σύγχυση. Δεν είναι ξεκάθαρο αν οι μετρήσεις έγιναν με ανοικτό ή κλειστό το σύστημα του εξαερισμού.

Στην περίπτωση όπου ήταν ανοιχτό το σύστημα εξαερισμού, οι καμπύλες NC ,NR, RC 35 μπορούν να περιγράψουν ένα στούντιο ηχογραφήσεων. Στην περίπτωση όμως, όπου ο εξαερισμός ήταν κλειστός, οι καμπύλες NC ,NR, RC 35 δε δίνουν τις προδιαγραφές για ένα στούντιο ηχογραφήσεων.



πίνακας 3.8

- **Βάσει του 3.8 πίνακα** (σελ 152)

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.8 οι καμπύλες NR/NC θα έπρεπε να ήταν οι NR 20 και NC20. Ο συγκεκριμένος πίνακας θέτει πιο αυστηρά κριτήρια για ένα studio ηχογραφήσεων.

Όπως υπολογίστηκε προηγουμένως η μετρούμενη στάθμη πίεσης του control room δεν πληρεί τις προδιαγραφές που θέτουν τα κριτήρια των καμπύλων.

Συμπέρασμα

Σύμφωνα με τις καμπύλες NC, NR, RC και βάσει των πινάκων 3.7 και 3.8, οι οποίοι πίνακες ορίζουν τις επιθυμητές καμπύλες για κάθε χώρο που εξετάζεται και θέτουν τις προδιαγραφές, ο υπό μελέτη χώρος δεν περιγράφεται από τις καμπύλες που ορίζονται για έναν χώρο studio ηχογραφήσεων. Ο θόρυβος βάθους είναι αρκετά πιο ψηλά από τις στάθμες που ορίζουν οι καμπύλες RC 25, NR 25, NC 25.

Το studio κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν άδειο. Η επιπρόσθετη τοποθέτηση απορροφητικών υλικών- κατασκευών ή διαχυτών θα επιφέρει μείωση της στάθμης πίεσης του χώρου και η απόκλιση που προκύπτει βάσει των προδιαγραφών των καμπύλων NC, RC, NR ενδέχεται να μειωθεί.



BBC καμπύλες

4. Σύμφωνα με τις καμπύλες BBC ,(σχεδιάγραμμα 3.9, σελ 145)

Συγκρίνοντας τις στάθμες πίεσης της μέτρησης 1, στο control room με τις στάθμες πίεσης της καμπύλη (α) και (β) του BBC κριτηρίων (σχεδιάγραμμα 3.9) προκύπτει ότι η στάθμη έντασης του control room είναι αρκετά ψηλή και δεν καλύπτεται από τα συγκεκριμένα κριτήρια.

Οι καμπύλες (α) studio για ελαφρύ τύπου ψυχαγωγία και (b) studio ήχου(εκτός από θεατρικές αφηγήσεις), καλύπτουν μόνο τις στάθμες πίεσης της μέτρησης 1 του control room στο συχνотικό εύρος από 31,5-63Hz. Από τη συχνότητα των 63 Hz και πάνω οι στάθμες πίεσης της μέτρησης 1 του control room ξεπερνούν κατά πολύ τις στάθμες των καμπύλων (α) και (b).

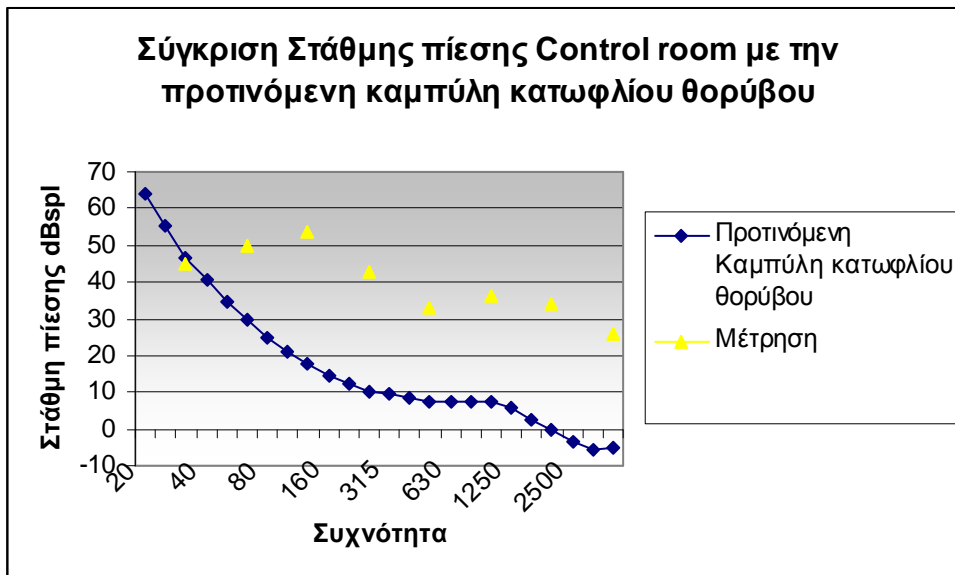
5. Σύμφωνα με την προτεινόμενη

καμπύλη κατωφλίου θορύβου του οργανισμού AES. (σχεδιάγραμμα 3.11.α, σελ 148)



AES προδιαγραφές

Συγκρίνεται η στάθμη πίεσης θορύβου που επικρατεί στο control room, κατά τη διάρκεια της μέτρησης, με την προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου θορύβου βάσει του AES οργανισμού. Το αντίστοιχο σχεδιάγραμμα είναι το εξής:



Σχεδιάγραμμα 6.3.2. Σύγκριση της στάθμης πίεσης θορύβου του control room, studio1, με την προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου θορύβου για χώρους ηχογράφησης.

Η στάθμη πίεσης κατά τη διάρκεια της μέτρησης1 στο control room ξεπερνάει κατά πολύ τις προδιαγραφές που θέτει ο AES οργανισμός μέσω της προτεινόμενης καμπύλης κατωφλίου θορύβου.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων το control room ήταν άδειο. Η περαιτέρω ακουστική επέμβαση στον χώρο, με την τοποθέτηση ηχοαπορροφητικών διατάξεων, διαχυτών, θα φέρει ως αποτέλεσμα η στάθμη πίεσης του θορύβου βάθους να μειωθεί, μειώνοντας έτσι και τη διαφορά σε dB μεταξύ της καμπύλης μέτρησης και της προτεινόμενης AES καμπύλης.

6.1.8. Κοστολόγια των υλικών ηχομόνωσης.

Επένδυση τοίχων

Αρχικά υπολογίζεται η επένδυση όλων των τοίχων με διπλή γυψοσανίδα εκτός από τον διαχωριστικό τοίχο:

Σύμφωνα με την εταιρία Knauf και το σύστημα κοστολόγησής της για την επένδυση της τοιχοποιίας με διπλή γυψοσανίδα πάχους 12,5mm έκαστος και πετροβάμβακα με πυκνότητα 100kg/m³ και πάχος 50mm ισχύει:

- 120,18 € το m² . (συνολικό κόστος με φ.π.α.)

Όλοι οι τοίχοι A, B είναι 79,394 m² .

Αφαιρώντας την πόρτα του τοίχου A1 και το παράθυρο του τοίχου A2 η επιφάνεια που έχει επενδυθεί από διπλή γυψοσανίδα είναι 75,794 m² = 76m².

Άρα αν η διπλή γυψοσανίδα κοστίζει

120,18€
X

1m²
75,794 m²

X= 9,108 €

Στο ποσό αυτό συμπεριλαμβάνεται ο σκελετός, ο στόκος, τα εργατικά και το Φ.Π.Α.

Η εταιρία Knauf κοστολογεί της γυψοσανίδες πάχους 12,5 mm ανάλογα με το είδος της καθεμιάς από 4 - 7 ευρώ m²

Το αναλυτικό τιμολόγιο οικοδομικών εργασιών (ΑΤΟΕ) κοστολογεί τη γυψοσανίδα πάχους 12mm ανάλογα με το είδος της , 3 - 5 ευρώ το m².

Διαχωριστικός τοίχος

Σύμφωνα με την εταιρία Knauf αν στον προηγούμενο υπολογισμό προστεθούν 7 ευρώ στο m² ισχύει για την κάθε πλευρά:

(από τα 12m² του κάθε τοίχου αφαιρούνται τα m² της πόρτας)

127,18 €
Χ

1m²
9m²

Ο κάθε τοίχος του διπλού διαχωριστικού στοιχείου κοστίζει 1144€.

Όλο το διαχωριστικό πέτασμα εκτός των πόρτων κοστίζει **2300€**.

Παράθυρα-πόρτες

Τα παράθυρα και οι πόρτες από τζάμι σύμφωνα με την εταιρία Denal , κοστολογούνται 450-500 ευρώ έκαστος.

Στο studio υπάρχουν 2 παράθυρα, 3 πόρτες από αλουμίνιο και τζάμι.

Συνολικά και χονδρικά οι πόρτες και τα παράθυρα στοιχίζουν **2500** ευρώ.

Η εξωτερική σιδερένια πόρτα (περίπου η ίδια) κοστολογείται από την εταιρία Domino γύρω στα **2700-3500** ευρώ.

Ταβάνι

Από την εταιρία Knauf το ταβάνι που είναι διπλή γυψοσανίδα, πετροβάμβακας και διάτρητη γυψοσανίδα κοστολογείται 71€ το m².

Όλο το ταβάνι είναι 30m².

Άρα κοστολογείται γύρω στα **2.130 €**.

Πάτωμα

Το πάτωμα αποτελείται από διπλή στρώση MDF, μία στρώση ξύλου σαν παρκέ και πετροβάμβακα. σκελετός σιδερένιος και ελαστικά υποστήριξης.

Από τον πίνακα ΑΤΟΕ βρίσκονται οι τιμές για τον πετροβάμβακα, το MDF και το ξύλινο παρκέ.

MDF πάχους 12mm 5€ το m² . Επειδή είναι δύο στρώσεις υπολογίζεται 10 € το m².

Ο πετροβάμβακας 100Kg/m³ από την εταιρία alto 8 € το m²

Το τρίτο στρώμα ξυλείας θεωρείται ότι έχει 10€ το m².

Συνολικά το m² του πατώματος κοστολογείται 28€.

Για τα 30m² του πατώματος το κόστος είναι περίπου 840 €. Μαζί με τα ελάσματα, τα εργατικά και το Φ.Π.Α. κοστολογείται στα **1200€**.

Ενδεικτικό συνολικό κόστος κατασκευής : 19.000 €.

6.1.9. Παρατηρήσεις - διορθώσεις.

Παρατηρήσεις

- Από τα αποτελέσματα της δεύτερης μέτρησης του χώρου εκπομπής βγήκε το συμπέρασμα ότι η δεύτερη μέτρηση δεν είναι επαρκής για να χρησιμοποιηθεί στη μελέτη της ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου μεταξύ των δύο δωματίων. Η χαμηλή στάθμη που επικρατεί στο δωμάτιο λήψης τη στιγμή του πειράματος, μπορεί να προκαλέσει σύγχυση στα αποτελέσματα των μετρήσεων του δωματίου λήψης, διότι δεν είναι ξεκάθαρο αν τα αποτελέσματα είναι η στάθμη πίεσης ή συμπεριλαμβάνεται και ο θόρυβος βάθους.
Θα έπρεπε να γίνει διόρθωση των μετρήσεων με το θόρυβο βάθους.

- Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων του χρόνου αντήχησης, προέκυψε ότι ο χρόνος αντήχησης είναι ψηλός σε σχέση με τις προδιαγραφές των studio. Η ψηλή τιμή του χρόνου αντήχησης αποδίδεται στο γεγονός ότι ο χώρος ήταν άδειος τη στιγμή των μετρήσεων. Δεν είχε τοποθετηθεί κάποια ηχοαπορροφητική διάταξη ή διαχυτής στον χώρο ανάλογα με τα επιθυμητά ακουστικά αποτελέσματα.

- Από τη σύγκριση των μετρήσεων με τις προδιαγραφές προέκυψαν τα εξής: Η στάθμη πίεσης του control room είναι πολύ πιο ψηλή, από τις καμπύλες NC, NR, RC που ορίζουν τις επιθυμητές στάθμες που πρέπει να επικρατούν σε ένα στούντιο ηχογραφήσεων.
Στην περίπτωση όμως όπου οι μετρήσεις έγιναν με ανοιχτό το σύστημα εξαερισμού, τότε οι καμπύλες NC35, NR35, RC35, που περιγράφουν το χώρο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, καλύπτουν τις ανάγκες ενός στούντιο.
Επίσης, βάσει των καμπύλων BBC, προέκυψε ότι οι στάθμες πίεσης του control room, κατά τη διάρκεια της μέτρησης¹, είναι πολύ πιο ψηλές από τις ψηλότερες επιτρεπτές τιμές της στάθμης πίεσης που προτείνουν τα κριτήρια BBC.

Δεδομένου ότι στο studio έχει γίνει η κατάλληλη μέριμνα της μείωσης των πλευρικών μεταδόσεων και η ηχομονωτική ικανότητα των τοίχων υπολογίστηκε ψηλή, συμπεραίνεται ότι οι ψηλές στάθμες του control room οφείλονται στο γεγονός ότι το control room ήταν άδειο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Η ηχομόνωση που θα επιτευχθεί μέσω την ηχοαπορροφητικών διατάξεων, θα μειώσει της στάθμη πίεσης του δωματίου λήψης (control room).
Επίσης, αν τελικά θεωρηθεί ότι ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης του διαχωριστικού τοίχου είναι 50 dB μπορεί να μην είναι αρκετός για τις απαιτήσεις του studio.

Σύμφωνα με τον κτιριοδομικό κανονισμό και τους πίνακες 3.10-3.12 η ηχομονωτική ικανότητα του τοίχου B που είναι ουσιαστικά μεσοτοιχία (μόνο οι τοίχοι που βρίσκονται δεξιά της κάτοψης), καλύπτει το ελάχιστο όριο που θέτει ο κανονισμός.

Διορθώσεις:

- επιθυμητό είναι να τοποθετηθούν ηχοαπορροφητικές διατάξεις-Panel absorbers ή και διαχυτές στους τοίχους του control room ανάλογα με τα επιθυμητά ακουστικά αποτελέσματα.

- επιθυμητή είναι και η τοποθέτηση χαλιού στο control room έτσι ώστε να αυξηθεί η ηχο-απορροφητικότητα του δωματίου.

Ενδεικτικό κόστος αλλαγών 1000€.

6.2. Υπολογισμός της ηχομόνωσης του studio ηχογράφησης 2 'Noise factory' .

Το μέρος αυτό αποτελείται από τα εξής βήματα:

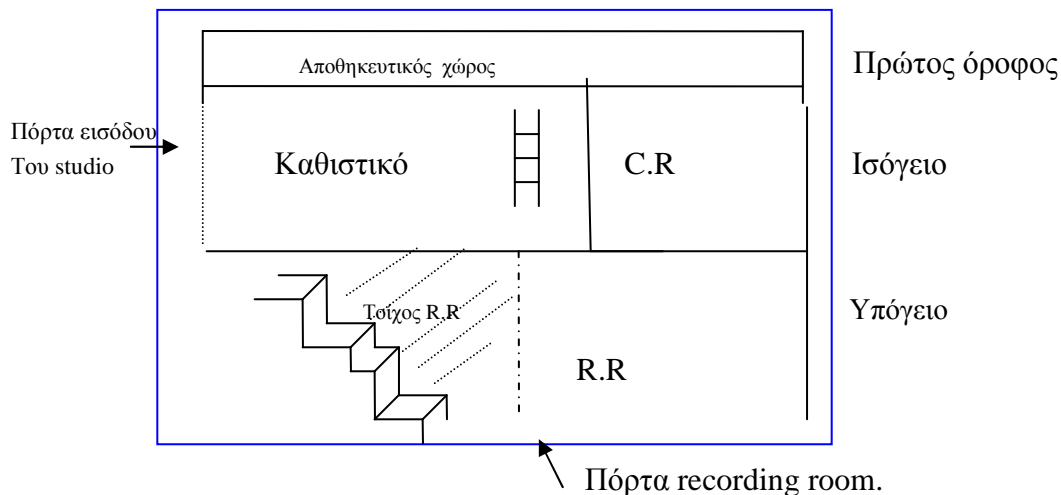
1. Περιγράφονται, με τη χρήση σκαριφήματος, οι χώροι recording και control room, του studio.
2. Περιγράφονται τα δομικά υλικά της κάθε τοιχοποιίας των δύο χώρων και υπολογίζεται η ηχομονωτική ικανότητα του κάθε τοίχου ξεχωριστά , σύμφωνα με τα κεφάλαια 2.10.2- 2.13 – 2.16.2
3. Υπολογίζεται η οριακή συχνότητα του κάθε τοίχου ξεχωριστά.
4. Δίνονται οι μετρήσεις του θορύβου βάθους του control room.
5. Περιγράφεται η διαδικασία μέτρησης του χρόνου αντήχησης του control room.
6. Υπολογίζεται ο χρόνος αντήχησης του control room.
7. Περιγράφεται η διαδικασία μετρήσεων της ηχομόνωσης του studio.
8. Συγκρίνονται οι πειραματικές τιμές στάθμης πίεσης του control room με το θόρυβο βάθους.
9. Υπολογίζεται η ηχομόνωση του αερόφερτου ήχου από το recording στο control room βάσει των μετρήσεων.
10. Προσδιορίζονται οι προδιαγραφές που θα έπρεπε να ακολουθηθούν.
- 11 . Γίνεται κοστολόγηση των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν.
12. Παρατηρήσεις - διορθώσεις.

6.2.1. Περιγραφή του studio "Noise factory"

Η ιδιαιτερότητα του συγκεκριμένου studio έγκειται στο γεγονός ότι το recording και το control room δε συνορεύουν άμεσα.

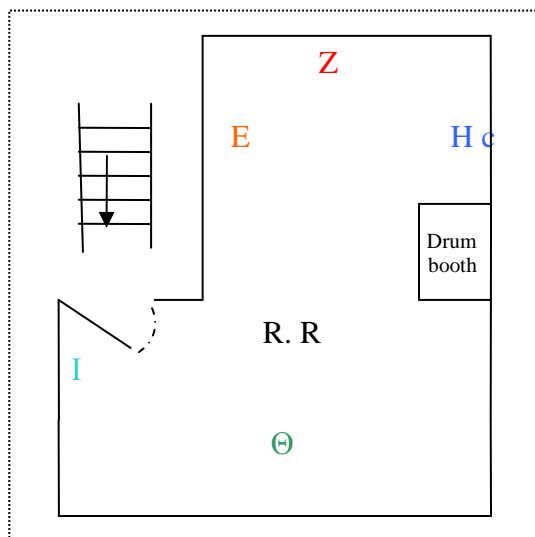
Το recording room βρίσκεται στο υπόγειο και το control room στο ισόγειο του κτιρίου.

Η πλαϊνή όψη του κτιρίου :



Σχήμα 6.2 Πλαϊνή τομή του studio 2 (noise factory).

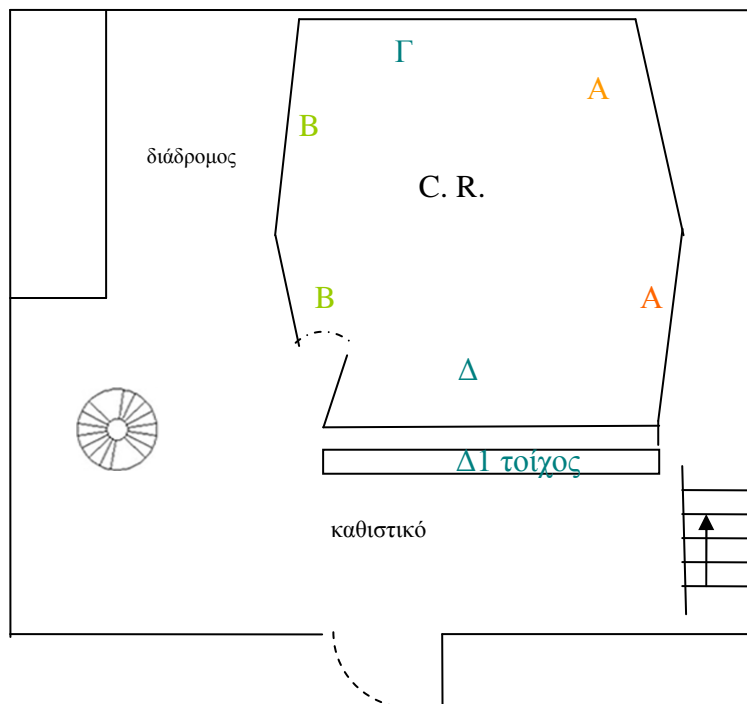
Η κάτοψη του recording room (υπόγειο):



Σχήμα 6.3 Κάτοψη του recording room του studio 2 (Noise Factory)

Ο τοίχος I του υπογείου συνορεύει με το υπόγειο της διπλανής πολυκατοικίας.

Η κάτοψη του control room (ισόγειο):

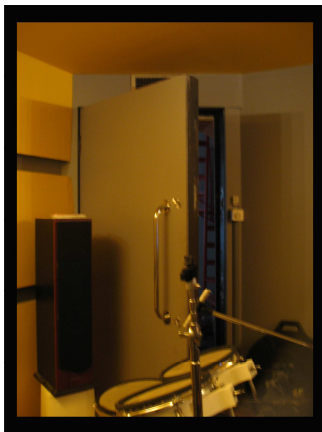


Σχήμα 6.4 Κάτοψη του πρώτου ορόφου και του control room του studio 2 (Noise Factory)

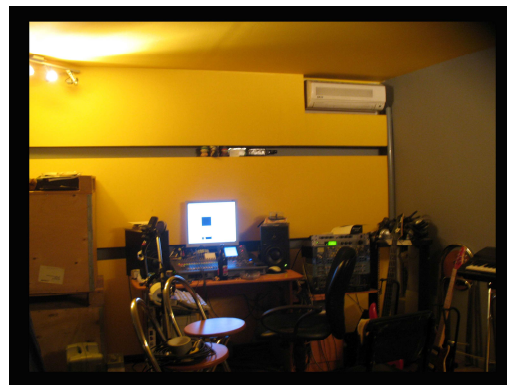
Το control room βρίσκεται στο ισόγειο του κτιρίου. Το ισόγειο ενώνεται με το υπόγειο και τον πρώτο όροφο με εσωτερικές σκάλες. Ο πρώτος όροφος του κτιρίου λειτουργεί ως αποθηκευτικός χώρος και γειτονεύει άμεσα με το ισόγειο (δεν υπάρχει πόρτα εισόδου του πρώτου ορόφου)

Οι διαχωριστικοί τοίχοι του control room Β, Δ συνορεύουν με το διάδρομο και το καθιστικό του ισογείου. Ο τοίχος Α είναι επένδυση της φέρουσας τοιχοποιίας, η οποία είναι μεσοτοιχία με μία πολυκατοικία.

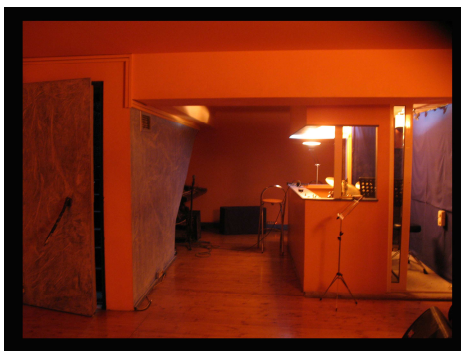
Σημείωση: Και στους δύο χώρους (recording-control room) δεν υπάρχει καμία παραλληλία των τοίχων.



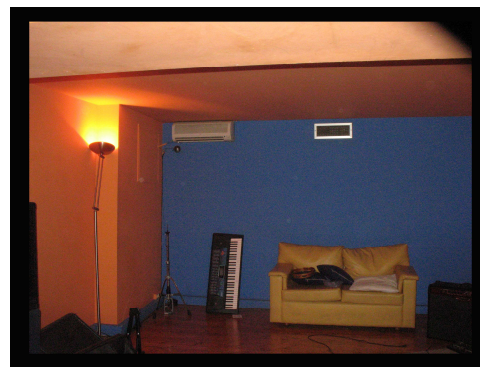
Εικόνα 6.5 Πόρτα εισόδου του control room



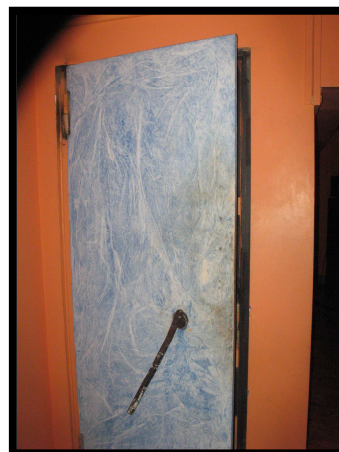
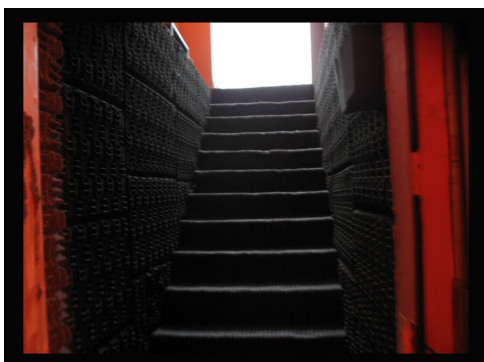
Εικόνα 6.6 Control room.



Εικόνα 6.7 Recording room.



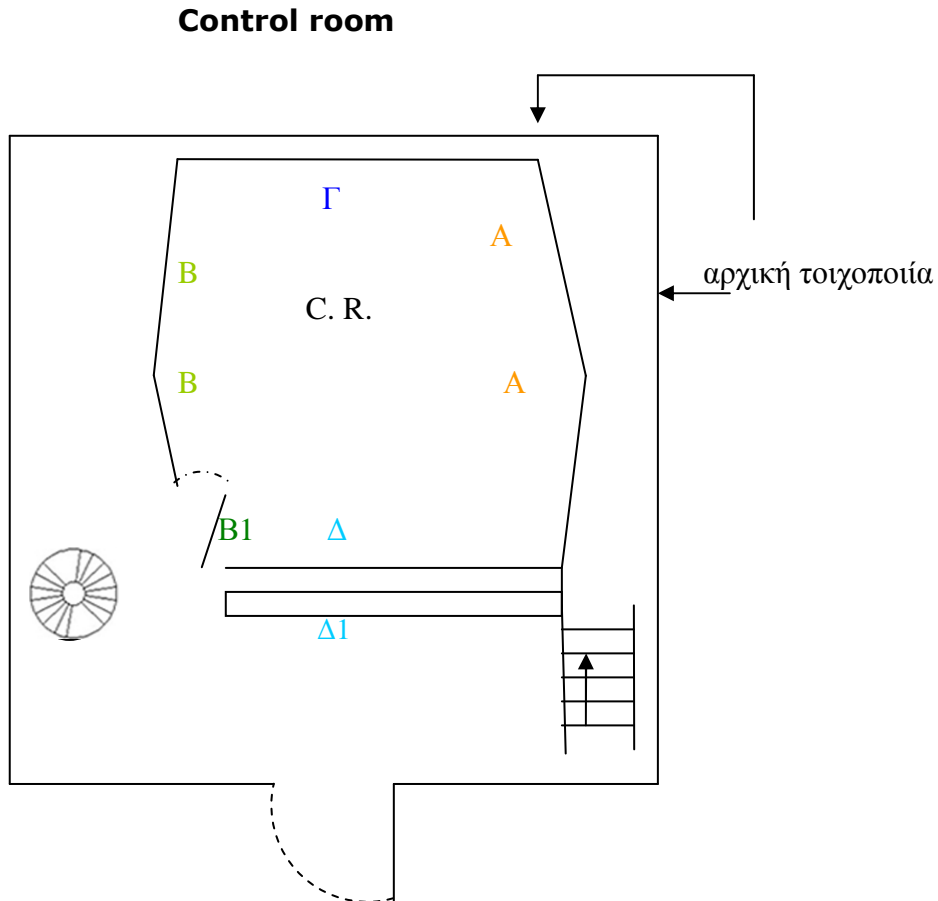
εικόνα 6.8 Recording room.



Εικόνα 6.9 Εσωτερικές σκάλες του κτιρίου μεταξύ ισόγειου και υπογείου - στην είσοδο του recording room.

Εικόνα 6.10 Πόρτα εισόδου στο recording room (στο υπόγειο).

6.2.2. Περιγραφή των δομικών υλικών της κάθε τοιχοποιίας του χώρου control και recording room και υπολογισμός της ηχομονωτική ικανότητα του κάθε τοίχου ξεχωριστά βάσει των κεφαλαίων 2.10.2- 2.13 – 2.16.2 .



Σχήμα 6.4 Κάτοψη του πρώτου ορόφου και του control room του studio 2 (Noise Factory).

Τοίχος Β

- Ο τοίχος Β αποτελείται από :
- επίχρισμα 1cm
 - τριπλή γυψοσανίδα (12,5 mm έκαστος)
 - μονό σκελετό
 - πετροβάμβακα (πυκνότητας 50kg/m³)
 - διπλή γυψοσανίδα (12,5mm έκαστος)
 - επίχρισμα 1 cm

Συνολικό πάχος της τοιχοποιίας Β είναι 14 cm.

Ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης, R'_w είναι:

- βάσει του τύπου 2.68 ή της χρήσης του λογισμικού "υπολογισμός R'_w και R_{ges} ":
- $R'_w = 39$ dB.

- βάσει των προδιαγραφών της εταιρίας Knauf (για την W112 τοιχοποιία): $R_w = 51 \text{ dB}$. Με τη μετατροπή του πίνακα 4 του κτιριοδομικού κανονισμού είναι, $R'_w = 48 \text{ dB}$.

- βάσει του σχεδιαγράμματος Α.4. από το παράρτημα Α : $R_w = 52 \text{ dB}$. Με τη διόρθωση του πίνακα 4 του κτιριοδομικού κανονισμού είναι $R'_w = 49 \text{ dB}$.

Θεωρείται ότι ο δείκτης ηχομείωσης του τοίχου Β είναι : $R'_w = 49 \text{ dB}$.

Τοίχος Β1

Περιέχει μόνο την πόρτα η οποία αποτελείται από

- κόντρα πλακέ θαλάσσης 1.5 cm
 - κοιλοδοκό
 - πετροβάμβακας 10cm
 - κόντρα πλακέ 1.5 cm
- Συνολικό πάχος πόρτας 14 cm.

Βάσει της βιβλιογραφίας και του πίνακα Α.13 (παράρτημα Α) αναμένεται ότι ο δείκτης ηχομείωσης της πόρτας είναι $R_w = 40 \text{ dB}$. Με τη διόρθωση του πίνακα 4 γίνεται $R'_w = 40 \text{ dB}$.

Τοίχος Α

Ο τοίχος Α αποτελείται από:

- σοβά
- τριπλή γυψοσανίδα
- μονό μεταλλικό σκελετό με πετροβάμβακα 50 Kg/m^3
- κενό (διαφέρει το πάχος του κενού μεταξύ της τοιχοποιίας Α και της αρχικής τοιχοποιίας, λόγω της κλίσης του τοίχου Α)

- πετροβάμβακας 50 kg/m^3 . (οι στρώσεις του πετροβάμβακα κατά μήκος της τοιχοποιίας Α διαφέρουν και κυμαίνονται από 1-4 στρώσεις και είναι καρφωμένοι στην αρχική τοιχοποιία)
- αρχική τοιχοποιία.

Η αρχική τοιχοποιία αποτελείται από τούβλα και είναι διπλή τοιχοποιία με τούβλα.

Η αρχική τοιχοποιία έχει πάχος 25cm.

Η τοιχοποιία Α έχει πάχος 9cm.

Οι στρώσεις του πετροβάμβακα έχουν πάχος από 10-35cm.

Ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης της αρχικής τοιχοποιίας από διπλό τούβλο είναι περίπου (παράδειγμα studio 1 τοίχος Β): $R'_w = 55 \text{ dB}$.

Ο τοίχος Α θα επιφέρει μία αύξηση του δείκτη ηχομείωσης η οποία θα ποικίλει λόγω της κλίσης του τοίχου Α και λόγω των διαφορετικών στρώσεων του πετροβάμβακα μεταξύ της τοιχοποιίας Α και της αρχικής.

Βάσει του πίνακα 2.23 και συγκρίνοντας και με τις τιμές βελτίωσης του πίνακα 2.24 προκύπτει ότι η βελτίωση που θα επιφέρει η τοιχοποιία Α είναι κατά μέσο όρο $\Delta R_w = 8$.

Άρα,

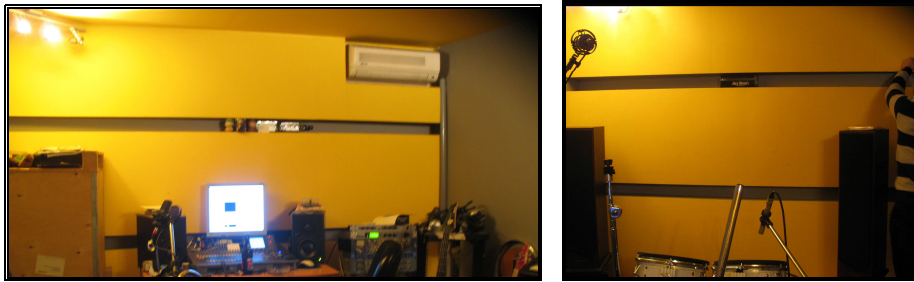
ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης του τοίχου Α με την αρχική τοιχοποιία θα είναι κατά προσέγγιση : $R'_w + \Delta R_w = 55 + 8 = 63 dB$.

Τοίχος Γ

Στον τοίχος Γ, ο οποίος είναι η αρχική επένδυση της φέρουσας τοιχοποιίας, έχει γίνει επένδυση μιας τοιχοποιίας « ηχοπαγίδας » ο οποίος χωρίζεται σε τρία μέρη. Η επένδυση αποτελείται από:

- σοβά
- κόντρα πλακέ ελαστικό 5mm
- πισσόχαρτο κολλημένο
- πετροβάμβακας 50Kg/m^3
- κενό 2-3cm από την τοιχοποιία Γ.

Το πάχος της επένδυσης «ηχοπαγίδα» είναι 14cm και το ύψος του κάθε κομματιού είναι (από πάνω) 60cm, 62cm, 79 cm αντίστοιχα. Τα δύο κενά έχουν πάχος 13cm περίπου.



Εικόνα 6.11 Εξωτερική επιφάνεια της επένδυσης-“ηχοπαγίδας” control room, τοίχος Γ αριστερά-τοίχος Δ δεξιά.

Ο τοίχος Γ αποτελείται από:

- τριπλή γυψοσανίδα
 - μονός μεταλλικό σκελετό με πετροβάμβακα 50kg/m^3
- Ο τοίχος Γ έχει πάχος 14cm.

-κενό (5cm)

- μία στρώση πετροβάμβακα 50kg/m^3 (καρφωμένος στην αρχική τοιχοποιία)
- αρχική τοιχοποιία.

Η αρχική τοιχοποιία είναι διπλή από τούβλο. Όπως και στον τοίχο ένα το συνολικό του πάχος είναι 25cm.

Ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης της αρχικής τοιχοποιίας από διπλό τούβλο είναι περίπου: $R'_w = 55 dB$.

Η βελτίωση που θα φέρει ο τοίχος Γ είναι προσεγγιστικά $\Delta R = 8 \text{ dB}$.

Άρα ,

ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης του τοίχου Γ με την αρχική τοιχοποιία θα είναι : $R'_w + \Delta R_w = 55 + 8 = 63 \text{ dB}$.

Τοίχος Δ

Ο τοίχος Δ είναι ο ίδιος με τον τοίχο Γ.

Δεν υπάρχει όμως αρχική τοιχοποιία πίσω από αυτόν. Αντίθετα υπάρχει ο τοίχος Δ1, ο οποίος αποτελείται από μονό σκελετό με μονή γυψοσανίδα και στις δύο μεριές και μία στρώση πετροβάμβακα στο διάκενο.

Η παρακάτω φωτογραφία απεικονίζει το κενό μεταξύ της τοιχοποιίας Δ και Δ1.



Εικόνα 6.12 Κενό μεταξύ της τοιχοποιίας Δ και Δ1 του control room.

Άρα είναι:

(από μέσα από το control room προς τα έξω)

- σοβάς
- κόντρα πλακέ ελαστικό 5mm
- πισσόχαρτο κολλημένο
- πετροβάμβακας 50Kg/m³
- κενό 2-3cm
- τριπλή γυψοσανίδα
- μονός μεταλλικός σκελετός με δύο στρώσεις πετροβάμβακα 50kg/m³
- κενό (5cm)

-σοβάς

- τοιχοποιία από μονό σκελετό με μονή γυψοσανίδα και πετροβάμβακα.(τοίχος Δ1)

-σοβάς.

Υπολογίζεται προσεγγιστικά ότι ο τοίχος Δ χωρίς την επένδυση της "τοιχοποιίας-ηχοπαγίδας" θα έχει φαινόμενο δείκτη ηχομείωσης $R'_w = 27\text{dB}$.

Το κενό που ακολουθεί και η τοιχοποιία Δ1 θα εμποδίσει περισσότερο το θόρυβο που έρχεται κάθετα σε αυτόν (τοίχο Δ1) να διαπεράσει στο control room. Επειδή όμως ο τοίχος Δ1 δεν ενώνεται στη μία πλευρά με τον τοίχο Δ, ο θόρυβος που περνά από το κενό αν και ένα μέρος του θα ελαττώνεται (λόγω απόσβεσης στο κενό) θα διαπερνάει τον τοίχο Δ και θα εισέρχεται στο control room.

Πάτωμα control room

Το αρχικό πάτωμα αποτελείται από:

- τσιμέντο 15 cm.

Η επίστρωση αποτελείται από:

- αντικραδασμικά
- σκελετός από σιδερένιο κοιλοδοκό

- πετροβάμβακας
 - κόντρα πλακέ θαλάσσης 2 στρώσεις (συνολικό πάχος 2cm)
 - στρώση ξύλου 3cm.
- Συνολικό πάχος του πατώματος είναι 25cm.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης του πατώματος αναμένεται να είναι :

-Βάσει των παραδειγμάτων της βιβλιογραφίας, οι οποίες τιμές του φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης κυμαίνονται μεταξύ 51-56dB, $R'_w = 55dB$.

Η εκτιμήσιμη πρότυπη στάθμη κτυπογενή ήχου $L'_{n,w}$ για το πάτωμα με την επένδυση:

- Βάσει σχημάτων της βιβλιογραφίας : $L'_{n,w} = 52 dB$.
- Βάσει του πίνακα 2.22 και της σχέσης 2.84 είναι:

$$L'_{n,w,R} = L_{n,w,eq,R} - \Delta L_{w,R}$$

Για το τσιμέντο πάχους 15cm είναι: $L_{nw} = 74$

- Βάσει των σχεδιαγραμμάτων της βιβλιογραφίας, η βελτίωση του πατώματος από την επίστρωση είναι: $\Delta L_w = 30 dB$.

$$L'_{nw} = 74 - \Delta L_w = 74 - 30$$

$$L'_{nw} = 49dB.$$

Άρα θεωρείται ότι η πρότυπη στάθμη κτυπογενή ήχου $L'_{n,w} = 50dB$.

Ταβάνι.

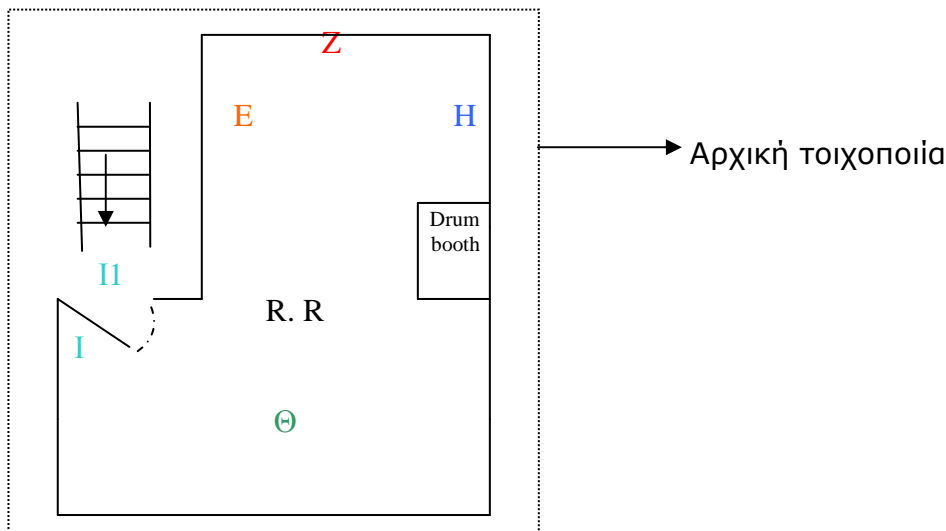
Το ταβάνι του control room είναι ψευδοροφή και αποτελείται από:

- μεταλλικό σκελετό- κοιλοδοκός
 - πετροβάμβακας $50kg/m^3$, μία στρώση
 - τριπλή γυφσοσανίδα (3,75 cm)
- Συνολικό πάχος ταβανιού: 10 cm.

Ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης μιας τέτοιας οροφής αναμένεται να είναι πολύ χαμηλός περίπου $R'_w = 30dB$.

Η εκτιμήσιμη πρότυπη στάθμη κτυπογενή ήχου $L'_{n,w}$ του ψευδοταβανιού δεν μπορεί να υπολογιστεί καθώς δε διαθέτει πάνω από το μεταλλικό σκελετό κάποια στρώση ξύλου ή άλλου υλικού.

Recording room



Σχήμα 6.3

Το recording room βρίσκεται στο υπόγειο του κτιρίου. Η πρόσβαση σε αυτό γίνεται μέσω της σκάλας.

Τοίχος Θ

Η επένδυση του τοίχου αποτελείται από:

- τριπλή γυψοσανίδα
- μονός σκελετός
- διπλός πετροβάμβακας
- κενό (5cm)

-αρχική τοιχοποιία –μπετόν.

Η αρχική τοιχοποιία αποτελείται από μπετόν πάχους 20 cm.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w της τοιχοποιίας B χωρίς την επένδυση είναι:

- Βάσει της εξίσωσης 2.44: $R'_w = 55 \text{ dB}$

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w της τοιχοποιίας B με την επένδυση είναι:

Θεωρώντας ότι η επένδυση θα επιφέρει αύξηση του δείκτη ηχομείωσης κατά 8 dB περίπου $R'_w = R'_w + \Delta R = 55 + 8 = 63 \text{ dB}$.

Τοίχος I

Αποτελείται από:

- τριπλή γυψοσανίδα
- μονός μεταλλικός σκελετός
- 4 πετροβάμβακας
- κενό (5cm)

-αρχική τοιχοποιία.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w της τοιχοποιίας I χωρίς την επένδυση είναι:

- Βάσει της εξίσωσης 2.44 : $R'_w = 55 \text{ dB}$

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w της τοιχοποιίας B με την επένδυση είναι:

Θεωρώντας ότι η επένδυση θα επιφέρει αύξηση του δείκτη ηχομείωσης κατά 8 dB περίπου $R'_w = R'_w + \Delta R = 55 + 8 = 63 \text{ dB}$.

Οι περισσότερες στρώσεις του πετροβάμβακα ίσως αυξήσουν κατά 1-2dB, τον φαινόμενο σταθμισμένο δείκτη ηχομείωσης της τοιχοποιίας I.

Τοίχος I1

Ο τοίχος I1 αποτελείται μόνο από την τοιχοποιία και την πόρτα η οποία είναι ίδια με την πόρτα του control room. Το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας το καλύπτει η πόρτα.

Ο τοίχος αποτελείται από:

- σοβά
- τριπλή γυψοσανίδα
- μονό μεταλλικό σκελετό με μία στρώση πετροβάμβακα
- διπλή γυψοσανίδα.

Συνολικό πάχος της τοιχοποιίας : 15cm.

Ο δείκτης ηχομείωσης του τοίχου είναι περίπου $R'_w = 50\text{dB}$.

Ο δείκτης ηχομείωσης της πόρτας είναι περίπου $R'_w = 40\text{dB}$

Το εμβαδόν της πόρτας είναι $0.8 \times 2 = 1,6\text{m}^2$

Το εμβαδόν του τοίχου είναι $2.20 \times 1.20 = 2,64\text{m}^2$.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w της τοιχοποιίας I1:

- Βάσει τη χρήση του πίνακα 2.14α για τον υπολογισμό της σύνθετης τοιχοποιίας υπολογίζεται : $R_{ges} = 46\text{ dB}$.

- Βάσει του τύπου 2.75α για τον υπολογισμό της σύνθετης τοιχοποιίας και δέχοντας ότι η πόρτα έχει δείκτη ηχομείωσης 50 dB, προκύπτει:

$R_{ges} = 42\text{ dB}$.

Θεωρείται ότι ο τοίχος I1 έχει $R'_w = 45\text{ dB}$.

Τοίχος E

Αποτελείται από:

- σοβά
- τριπλή γυψοσανίδα
- σκελετό μεταλλικό με 1 στρώση πετροβάμβακα (50Kg/m^3)
- διπλή γυψοσανίδα
- Τεκνοφον κολλημένο στο εξωτερικό μέρος της τοιχοποιίας.

Συνολικό πάχος της τοιχοποιίας 17cm

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w της τοιχοποιίας E είναι:

- Βάσει του τύπου 2.68 ή της χρήσης του λογισμικού φύλλου « υπολογισμός R'_w και R_{ges} -sheet 1, μέρος 1β» είναι : $R'_w = 39\text{dB}$.

- Βάσει της εταιρίας Knauf: $R_w = 51\text{dB}$. Με τη διόρθωση του πίνακα 4 του κτιριοδομικού κανονισμού γίνεται $R'_w = 48\text{ dB}$

Θεωρείται ότι ο R'_w της τοιχοποιίας E είναι $R'_w = 48\text{dB}$.

Το Τεκνοφον θα απορροφήσει το θόρυβο που θα βρίσκεται στις σκάλες εμποδίζοντας λίγο τη διάδοσή του από το ένα επίπεδο στο άλλο.

Τοίχος Z

Αποτελείται από :

- τριπλή γυψοσανίδα
- μονός σκελετός με διπλή στρώση πετροβάμβακα (50kg/m^3)
- κενό (5cm)
- εξηλασμένη πολυστερίνη ή φελιζόλ (για την υγρασία)
- αρχική τοιχοποιία

Η αρχική τοιχοποιία αποτελείται από μπετόν πάχους 20 cm.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w της τοιχοποιίας Z χωρίς την επένδυση είναι:

-Βάσει της εξίσωσης 2.44 : $R'_w = 55 \text{ dB}$

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w της τοιχοποιίας Z με την επένδυση είναι:

Θεωρώντας ότι η επένδυση θα επιφέρει αύξηση του δείκτη ηχομείωσης κατά 8 dB περίπου $R'_w = R'_w + \Delta R = 55 + 8 = 63 \text{ dB}$.

τοιχος Η

Ο τοίχος Η σε κάποια σημεία έχει μικρή κλίση έτσι ώστε να μην υπάρχει παραλληλία με τον τοίχο Ι και Ε.

Αποτελείται από :

- σοβά
- διπλή γυψοσανίδα
- πετροβάμβακας 50 Kg/m^3 (2-4 στρώσεις ανάλογα με την κλίση του τοίχου)
- κενό (5cm)
- αρχική τοιχοποιία.

Πάχος της τοιχοποιίας Η: 5-10 cm

Η αρχική τοιχοποιία αποτελείται από μπετόν πάχους 20 cm.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w της τοιχοποιίας Η χωρίς την επένδυση είναι:

- Βάσει της εξίσωσης 2.44 : $R'_w = 55 \text{ dB}$

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w της τοιχοποιίας Z με την επένδυση είναι:

Θεωρώντας ότι η επένδυση θα επιφέρει αύξηση του δείκτη ηχομείωσης κατά 8 dB περίπου $R'_w = R'_w + \Delta R = 55 + 8 = 63 \text{ dB}$.

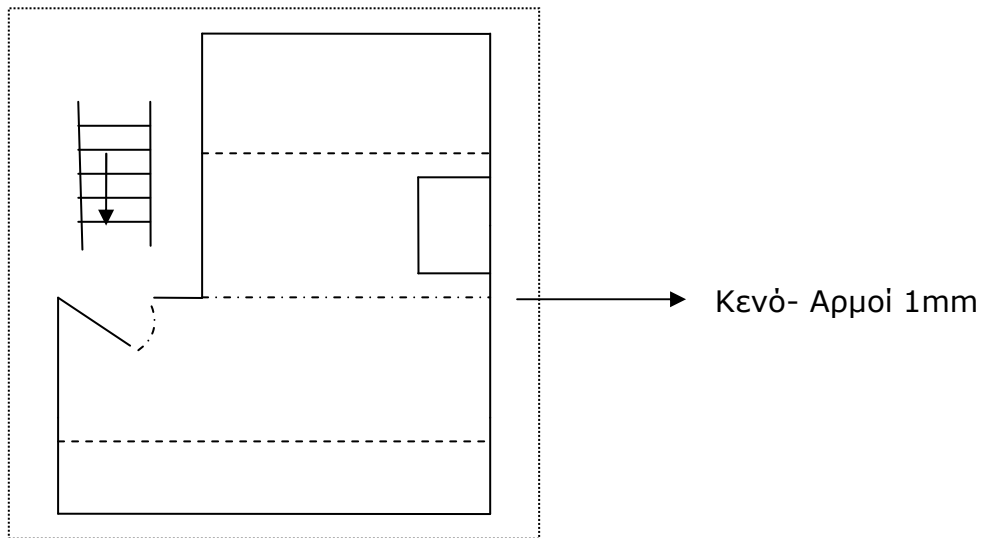
Πάτωμα

Η αρχική στρώση είναι:

- μπετόν 15 cm
- Η επένδυση του πατώματος είναι:
- αντικραδασμικά
 - ξύλινος σκελετός
 - πετροβάμβακας (50 Kg/m^3)
 - ραμποτέ ξύλο 1,2 cm.

Το πάτωμα είναι χωρισμένο σε 4 μέρη, έχει τρεις αρμούς με κενό, έτσι ώστε να εμποδίζει τη διάδοση του ήχου.

Συνολικό πάχος δαπέδου: 22cm



Σχήμα 6.5.α Διαχωρισμός του δαπέδου του recording room σε τρία μέρη. Ο διαχωρισμός είναι αρμοί πάχους 1mm.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης του πατώματος αναμένεται να είναι :

- Βάσει των παραδειγμάτων της βιβλιογραφίας, οι οποίες τιμές του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης κυμαίνονται μεταξύ 51-56dB, $R'_w = 51 \text{ dB}$.

Η εκτιμήσιμη πρότυπη στάθμη κτυπογενή ήχου $L'_{n,w}$ για το πάτωμα με την επένδυση :

- Βάσει σχημάτων της βιβλιογραφίας : $L'_{n,w} = 52 \text{ dB}$.
 - Βάσει του πίνακα 2.22 και της σχέσης 2.84 είναι:

$$L'_{n,W,R} = L_{n,W,eq,R} - \Delta L_{W,R}$$

Για το τσιμέντο πάχους 15cm είναι: $L_{nw} = 74$

- Βάσει των σχεδιαγραμμάτων της βιβλιογραφίας η βελτίωση του πατώματος από την επιστρωση είναι: $\Delta L_w = 30 \text{ dB}$.

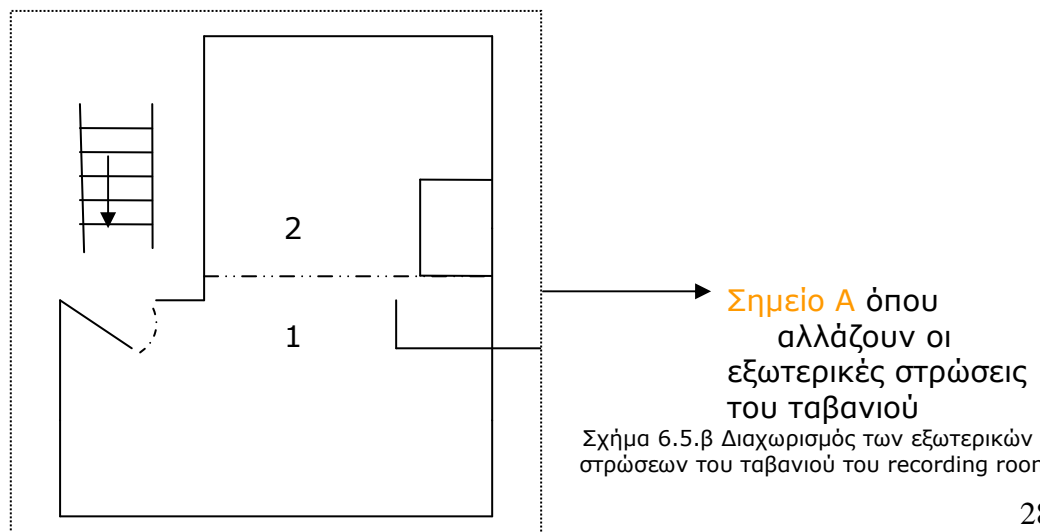
$$L'_{nw} = 74 - \Delta L_w = 74 - 30$$

$$L'_{nw} = 49 \text{ dB}$$

Άρα θεωρούμε ότι η πρότυπη στάθμη κτυπογενή ήχου $L'_{n,w} = 49 \text{ dB}$.

Ταβάνι

Η εξωτερική στρώση του ταβανιού του recording room διαφέρει σε όλη την επιφάνειά του σε δύο σημεία.



Για την περιοχή 1 μέχρι το σημείο A , το ταβάνι αποτελείται από:

- στρώση ξύλου 3cm
- κόντρα πλακέ θαλάσσης 2 στρώσεις (συνολικό πάχος 2cm)
- πετροβάμβακας 50kg/m³ 1στρώση
- σκελετός από σιδερένιο κοιλοδοκό
- αντικραδασμικά
- μπετόν (20cm)

- αντικραδασμικά
- σκελετός
- πετροβάμβακας 50kg/m³ 1στρώση
- διπλή γυψοσανίδα (απόσταση 10cm από την πλάκα οροφής- οπλισμένο σκυρόδεμα).

Στο μέρος αυτό αναμένεται ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης να είναι πολύ ψηλός , $R'_{w} \geq 65dB$ και η ισοδύναμη στάθμη κτυπογενή ήχου να είναι πολύ χαμηλή $L'_{nw} \approx 30 dB$.

Για την περιοχή 2 μέχρι το σημείο A , το ταβάνι αποτελείται από:

- πλακάκι
- μπετόν (20cm)
- αντικραδασμικά
- σκελετός
- πετροβάμβακας 50kg/m³ 1στρώση
- διπλή γυψοσανίδα(απόσταση 10cm από την πλάκα οροφής- οπλισμένο σκυρόδεμα).

Στο μέρος αυτό αναμένεται ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης και η ισοδύναμη στάθμη κτυπογενή ήχου να είναι :

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_{w} του ταβανιού χωρίς την επένδυση είναι :

- Βάσει του τύπου 2.44 : $R'_{w} = 55dB$
 - Βάσει των παραδειγμάτων της βιβλιογραφίας : $R'_{w} = 53-55 dB$.
- Άρα θεωρείται ότι ο $R'_{w} = 55 dB$.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_{w} του ταβανιού με την επένδυση είναι:

Βάσει του τεχνικού φυλλαδίου της Knauf D11 για τις οροφές:

$R_{L,w,R} = 57-63 dB$ ανάλογα με σκελετό και τη γυψοσανίδα.

Αν στο δείκτη ηχομείωσης του ταβανιού προσθέταμε την βελτίωση που προσφέρουν οι δύο γυψοσανίδες, δηλαδή

$R'_{w} = R'_{w} + \Delta R$, θα προέκυπτε ότι

$R'_{w} = 55 + 8 \approx 63dB$

Συνοψολογίζοντας όλα τα δεδομένα θεωρούμε ότι ο R'_{w} του ταβανιού με την επένδυση είναι:

$$R'_w = 63 \text{ dB.}$$

Η εκτιμήσιμη πρότυπη στάθμη κτυπογενή ήχου για το ταβάνι με την επένδυση είναι: Βάσει του πίνακα 2.22 και 2.21 και της εξίσωσης 2.84 είναι:

$$L_{nw} = 69$$

$$\Delta L_w = 34$$

$$L'_{nw} = 69 - 34$$

$$L'_{nw} = 35 \text{ dB.}$$

6.2.3. Συχνότητες συντονισμού f_R των τοιχωμάτων.

Control room

Τοίχος A:

Η αρχική τοιχοποιία (διπλό τούβλο) που βρίσκεται πίσω από την τοιχοποιία A έχει συχνότητα συντονισμού, βάσει της εξίσωσης 2.70β ή τη χρήση του λογισμικού φύλλου « υπολογισμός R'_w και R_{ges} , sheet1, μέρος 3^ο » η οποία είναι:

$$F_R \approx 900 \sqrt{\frac{s'}{m'_2}}.$$

Το τούβλο έχει πυκνότητα περίπου 1300 Kg/m³.

Το πάχος του τούβλου είναι 0,09m. Η επιφανειακή του πυκνότητα είναι 117Kg/m².

Η συχνότητα συντονισμού προκύπτει:

$$F_R \approx 900 \sqrt{\frac{s'}{m'_2}} = 900 \sqrt{\frac{4}{117}} = 166 \text{ Hz.}$$

Η συχνότητα συντονισμού της αρχικής τοιχοποιίας αν και είναι πάνω από τα 100Hz, πάνω δηλαδή από το κατώτερο συχνοτικό όριο της μέγιστης σημασίας για την ηχομόνωση, είναι χαμηλή και καθιστά των τοίχο ηχομονωτικά καλό.

Η συχνότητα συντονισμού του τοίχου A, βάσει της εξίσωσης 2.69γ ή τη χρήση του λογισμικού φύλλου « R'_w και R_{ges} , sheet1, μέρος 3^ο » είναι:

$$F_R \approx \frac{60}{\sqrt{m'_2 \cdot d_L}}.$$

Η γραμμική πυκνότητα της γυψοσανίδας είναι 760 kg/m³.

Το πάχος της είναι 0,0375m, αφού είναι τριπλή.

Άρα η επιφανειακή πυκνότητα είναι: $m'_2 = 28,5 \text{ kg/m}^2$.

Η απόσταση της επένδυσης της γυψοσανίδας από την αρχική τοιχοποιία διαφέρει λόγω της κλίσης της επένδυσης και κυμαίνεται μεταξύ 10-20 cm.

Εξετάζονται οι δύο αποστάσεις αυτές.

Για να μην υπάρχει αυτή η ανομοιομορφία στην απόσταση, στην αρχική τοιχοποιία έχουν κολληθεί διάφορες στρώσεις πετροβάμβακα πυκνότητας 50Kg/m³, από 1-4 στρώσεις, κάνοντας έτσι την απόσταση να είναι ίδια.

Παρόλα αυτά,

Όταν η απόσταση από την αρχική τοιχοποιία είναι 10 cm θα ισχύει:

$$F_R \approx \frac{60}{\sqrt{m'_2 \cdot d_L}} = \frac{60}{\sqrt{28,5 \cdot 0,1}} = \mathbf{35,5 \text{ Hz}}$$

Όταν η απόσταση από την αρχική τοιχοποιία είναι 20 cm θα ισχύει:

$$F_R \approx \frac{60}{\sqrt{m'_2 \cdot d_L}} = \frac{60}{\sqrt{28,5 \cdot 0,2}} = \mathbf{25 \text{ Hz.}}$$

Παρατηρείται ότι:

Η συχνότητα συντονισμού και στις δύο περιπτώσεις είναι αρκετά χαμηλή, γεγονός που κάνει την τοιχοποιία πολύ αποτελεσματική.

Οι συχνότητες συντονισμού του τοίχου A και της αρχικής τοιχοποιίας δεν είναι κοντά στο συχνοτικό εύρος και αυτό είναι θεμιτό ως προς την ηχοπροστασία.

Τοίχος Β

Η συχνότητα συντονισμού του τοίχου B, βάσει της εξίσωσης 2.70a ή τη χρήση του λογισμικού φύλλου « R'_w και R_{ges} sheet1, μέρος 3^ο » είναι:

$$F_R \approx 225 \sqrt{\frac{s'}{m'_2}}.$$

Η γραμμική πυκνότητα της γυψοσανίδας είναι 760 kg/m^3 .

Το πάχος της διαφέρει στην κάθε πλευρά καθώς στη μία πλευρά είναι διπλή και στην άλλη τριπλή.

Θεωρείται ότι είναι και στις δύο τριπλή με πάχος $0,0375 \text{ m}$.

Άρα η επιφανειακή πυκνότητα θα είναι : $m'_2 = 28,5 \text{ kg/m}^2$.

Η δυναμική σκληρότητα του πετροβάμβακα είναι 4 MN/m^3 .

Η συχνότητα συντονισμού προκύπτει :

$$F_R \approx 225 \sqrt{\frac{s'}{m'_2}} = 225 \sqrt{\frac{4}{28,5}} = 84,3 \text{ Hz.}$$

Στην περίπτωση όπου ήταν διπλή γυψοσανίδα και στις δύο μεριές η συχνότητα συντονισμού θα ήταν 103 Hz .

Παρατηρείται ότι η συχνότητα συντονισμού της τοιχοποιίας B είναι και αυτή κάτω από τα 100 Hz , κάτω δηλαδή από το χαμηλότερο συχνοτικό όριο που καθορίζει την ηχομονωτική ικανότητα του τοίχου. Η τοιχοποιία B ως προς τη συχνότητα συντονισμού είναι πολύ καλή ηχομονωτικά.

Τοίχος Γ

Ο τοίχος Γ από τη σκοπιά της ηχομόνωσης, αποτελείται από δύο κέλυφες.

Το ένα κέλυφος είναι η επένδυση από γυψοσανίδα και το δεύτερο είναι η αρχική τοιχοποιία από διπλό τούβλο.

Η αρχική τοιχοποιία έχει παρουσιάζει τη συχνότητα συντονισμού στα $f_R = 166 \text{ Hz}$.

Το δεύτερο κέλυφος, που είναι η επένδυση με γυψοσανίδα και θεωρώντας ότι απέχει 10 cm από την αρχική τοιχοποιία, παρουσιάζει συχνότητα συντονισμού στα $f_R = 35,5 \text{ Hz}$.

Το πρώτο κέλυφος είναι η επένδυση με μονή γυψοσανίδα πάχους $0,0125 \text{ m}$ και πετροβάμβακα σε απόσταση 3 cm από την επένδυση της τριπλής γυψοσανίδας.

Η συχνότητα συντονισμού του πρώτου κελύφους με την επένδυση της γυψοσανίδας είναι βάσει του τύπου 2.69a ή τη χρήση του αντίστοιχου λογισμικού « R'_w και R_{ges} sheet1, μέρος 3^ο » είναι:

$$f_R = \frac{85}{\sqrt{m'_2 \cdot d_L}} = \frac{85}{\sqrt{9,5 \cdot 0,03}} \approx 160 \text{ Hz.}$$

Παρατηρείται ότι:

Αν και οι τρεις συχνότητες συντονισμού είναι χαμηλές, η συχνότητα συντονισμού της αρχικής τοιχοποιίας με τη συχνότητα συντονισμού του πρώτου και δεύτερου κελυφους είναι πολύ κοντά, γεγονός που θα μειώσει την ηχομονωτική ικανότητα όλου του πετάσματος στις συχνότητες γύρω από τα 160 Hz.

Τοίχος Δ

Οι συχνότητες συντονισμού του τοίχου Δ εξετάζονται και με την τοιχοποιία Δ1.

Άρα προκύπτουν πάλι τρεις συχνότητες συντονισμού.

Η πρώτη αφορά τον τοίχο Δ που είναι το πέτασμα της "τοιχοποιίας-ηχοπαγίδας" σε απόσταση 3cm από το πέτασμα με την τριπλή γυψοσανίδα.

Η δεύτερη αφορά το πέτασμα της τριπλής γυψοσανίδας από τον τοίχο Δ1.

Η τρίτη αφορά τον τοίχο Δ1.

Η συχνότητα συντονισμού του πρώτου με του δεύτερου πετάσματος υπολογίστηκε και στον τοίχο Γ και είναι :

$$f_R \approx 160 \text{ Hz.}$$

Η συχνότητα συντονισμού του δεύτερου πετάσματος σε σχέση με την τοιχοποιία Δ1, είναι βάσει της εξίσωσης 2.70α είναι:

$$F_R \approx 225 \sqrt{\frac{s'}{m'_2}} \approx 225 \sqrt{\frac{4}{28,5}} \approx 85 \text{ Hz.}$$

Η συχνότητα συντονισμού του τοίχου Δ1 είναι βάσει της εξίσωσης 2.70α:

$$F_R \approx 225 \sqrt{\frac{s'}{m'_2}} \approx 225 \sqrt{\frac{4}{9,5}} \approx 145 \text{ Hz.}$$

Παρατηρείται ότι:

Η συχνότητα συντονισμού του πρώτου πετάσματος με το δεύτερο και της τοιχοποιίας Δ1 είναι σχετικά κοντά γεγονός που θα προκαλέσει μείωση της ηχομονωτικής ικανότητας του συνολικού πετάσματος (τοίχος Δ και Δ1) γύρω από το συχνοτικό εύρος 140-160Hz.

Πάτωμα

Βάσει του πίνακα 2.10 και της εξίσωσης 2.70γ η συχνότητα συντονισμού του πατώματος είναι (θεωρώντας ότι η επιφανειακή πυκνότητα της επίστρωσης του φέροντος πατώματος είναι 30Kg/m²):

$$F_R \approx 160 \sqrt{\frac{s'}{m'_2}} \approx 160 \sqrt{\frac{20}{30}} \approx 130 \text{ Hz.}$$

Η συχνότητα συντονισμού του πατώματος αν και βρίσκεται πάνω από το κατώτερο όριο της ηχομονωτικής σημασίας, πάνω από τα 100 Hz, καθιστά το πάτωμα σχετικά καλό ηχομονωτικά.

Recording Room

Τοίχος Θ, Ι, Η

Η συχνότητα συντονισμού των τριών τοίχων βάσει της εξίσωσης 2.69γ ή της χρήσης του λογισμικού φύλλου «*R'w και Rgesr sheet1, μέρος 3^ο*» είναι:

$$f_R = \frac{60}{\sqrt{m'_2 \cdot d_L}}.$$

Η επένδυση και των τριών τοίχων είναι από τριπλή γυψοσανίδα.

Η επιφανειακή μάζα του εύκαμπτου κελύφους (τριπλή γυψοσανίδα) είναι

$$m' = 25,8 \text{ kg/m}^2.$$

Η απόσταση της επένδυσης από την αρχική τοιχοποιία- μπετόν είναι 0,05m. Άρα η συχνότητα συντονισμού είναι:

$$f_R = \frac{60}{\sqrt{m'_2 \cdot d_L}} = \frac{60}{\sqrt{25,8 \cdot 0,05}} \approx 53 \text{ Hz}.$$

Η συχνότητα συντονισμού των τριών τοίχων καθιστά τις τοιχοποιίες ηχομονωτικά καλές, καθώς η f_R βρίσκεται κάτω από τη συχνότητα των 100 Hz. Τα 100 Hz είναι το κατώτατο συχνοτικό όριο που έχει σημαντικό ρόλο ως προς την ηχομόνωση.

Τοίχος Ε

ο τοίχος Ε είναι ίδιος με τον τοίχο Β του control room.

Αποτελείται από μονό σκελετό και στη μία πλευρά έχει τριπλή στρώση γυψοσανίδας και στην άλλη διπλή. Αν η τριπλή στρώση είναι στο εσωτερικό του δωματίου υπολογίστηκε προηγουμένως ότι η συχνότητα συντονισμού είναι:

$$F_R \approx 225 \sqrt{\frac{s'}{m'_2}} = 225 \sqrt{\frac{4}{28,5}} = 84,3 \text{ Hz}.$$

Στην περίπτωση όπου η διπλή γυψοσανίδα και στην εσωτερική μεριά η συχνότητα συντονισμού θα ήταν 103 Hz.

Παρατηρείται ότι η συχνότητα συντονισμού της τοιχοποιίας Ε είναι και αυτή κάτω από τα 100 Hz, κάτω δηλαδή από το χαμηλότερο συχνοτικό όριο που κυρίως καθορίζει την ηχομονωτική ικανότητα του τοίχου. Η τοιχοποιία Ε ως προς τη συχνότητα συντονισμού είναι πολύ καλή ηχομονωτικά.

Τοίχος Η

Ο τοίχος Η είναι σχεδόν ίδιος με τους τοίχους Θ, Ι, Ζ. Η επένδυση έχει διπλή και όχι τριπλή γυψοσανίδα.

Σε αυτήν την περίπτωση η γραμμική πυκνότητα της επένδυσης είναι $m' = 19 \text{ kg/m}^2$. Η απόσταση από την αρχική τοιχοποιία είναι 0,05 m.

Άρα βάσει εξίσωσης 2.69γ ή της χρήσης του λογισμικού φύλλου « R'_w και R_{ges} , sheet1, μέρος 3^ο» η συχνότητα συντονισμού είναι:

$$f_R = \frac{60}{\sqrt{m'_2 \cdot d_L}} \approx \frac{60}{\sqrt{19 \cdot 0,05}} \approx 61,5 \text{ Hz}.$$

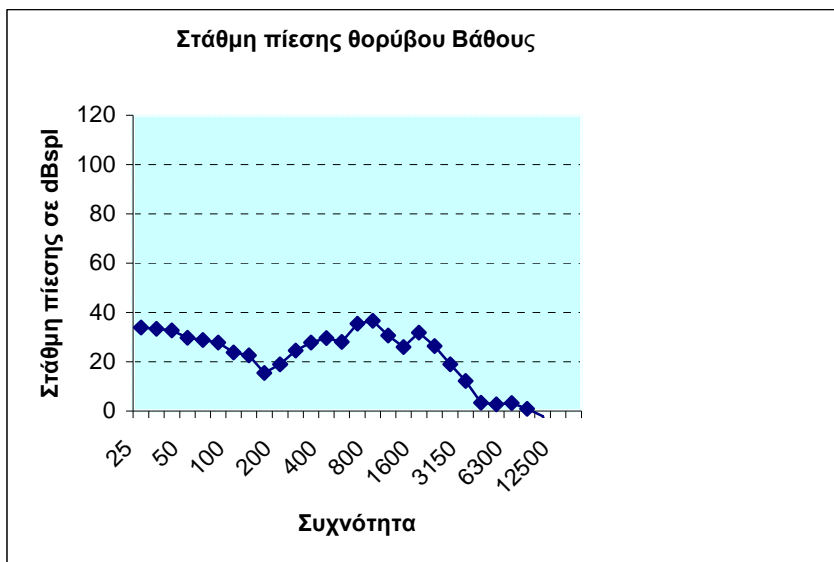
Η τοιχοποιία Η είναι καλή ηχομονωτικά ως προς τη συχνότητα συντονισμού η οποία βρίσκεται κάτω από τα 100 Hz.

6.2.4. Θόρυβος βάθους του control room.

Για τον έλεγχο του θορύβου βάθους του control room, πραγματοποιήθηκε μία μέτρηση της στάθμης έντασης του δωματίου σε ζώνες τριτοκτάβας, όταν όλα τα μηχανήματα του χώρου (υπολογιστής, εξαερισμός) ήταν ανενεργά. Η στάθμη μετρήθηκε σε dB spl. Τα αποτελέσματα καταχωρούνται στον παρακάτω πίνακα.

Control room				
Hz	Μετρηση1	Hz	Μετρηση1	dB(A)
25	33,9	800	36,6	25,7
31,5	33,4	1000	30,6	
40	32,7	1250	26	
50	29,7	1600	31,8	
63	28,8	2000	26,3	
80	27,8	2500	18,9	
100	23,8	3150	12,2	
125	22,6	4000	3,4	
160	15,5	5000	2,7	
200	18,9	6300	3,3	
250	24,6	8000	0,9	
315	27,8	10000	-2,1	
400	29,6	12500	-21,8	
500	28,1	16000	-44,5	
630	35,5			

Πίνακας 6.8 Μετρήσεις θορύβου βάθους του control room.



Σχεδιάγραμμα 6.4 Διάγραμμα θορύβου βάθους του control room.

Παρατηρήσεις

Από τη συχνότητα 4000Hz και πάνω οι μετρήσεις αποδίδονται σε πειραματικά σφάλματα.

Γενικά παρατηρείται ότι η στάθμη θορύβου του control room είναι ψηλή για τις προδιαγραφές των studio (κυρίως από τη συχνότητα 630Hz και πάνω).

Ο μέσος όρος όμως σε dB(A) κυμαίνεται στις αναμενόμενες τιμές σύμφωνα με τις προδιαγραφές.

Στο συχνοτικό εύρος από 25-3150 Hz, ο μέσος όρος της στάθμης πίεσης του θορύβου βάθους του control room σε dB(A) είναι: **27 dB(A)**.

Στο συχνοτικό εύρος από 25-3150 Hz, ο μέσος όρος της στάθμης πίεσης του θορύβου βάθους του control room σε dB είναι: **30,3 dB**.



BBC καμπύλες

Σύμφωνα με τα κριτήρια BBC, (σχεδιάγραμμα 3.9, σελ 145)

Αν και τα κριτήρια BBC αφορούν στάθμες πίεσης του θορύβου βάθους όταν τα μηχανήματα (εξαερισμός κ.τ.λ) είναι ενεργά γίνεται σύγκριση με τις μετρήσεις του παραδείγματος.

Οι μετρήσεις στάθμης του θορύβου βάθους του control room καλύπτεται από την καμπύλη (a) των κριτηρίων BBC σχεδιαγραμμα 3.9 και μέχρι τη συχνότητα των 500 Hz καλύπτεται από την καμπύλη (b). Η καμπύλη (a) αφορά studio που προορίζονται για «ελαφριού» τύπου ψυχαγωγία, γεγονός που δεν καλύπτει τις απαιτήσεις ενός studio ηχογραφήσεων.

Η καμπύλη (b) BBC θέτει τα κριτήρια για όλα τα studio π.χ. της τηλεόρασης και όχι τα κριτήρια για ένα studio ηχογραφήσεων.

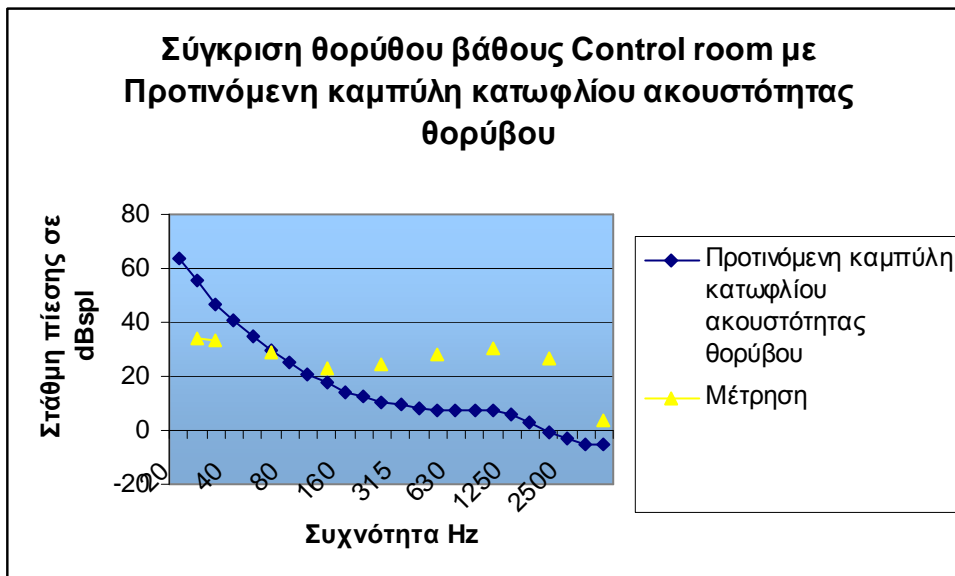
Παρατηρείται λοιπόν και από τα κριτήρια BBC ότι ο θόρυβος βάθους του studio είναι ψηλός.



AES προδιαγραφές

Σύμφωνα με τα κριτήρια AES, (σχεδιάγραμμα 3.11.α, σελ 148)

Συγκρίνοντας το θόρυβο βάθους του control room όταν όλα τα μηχανήματα είναι ανενεργά προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα.



Σχεδιάγραμμα 6.4.1. Σύγκριση Θορύβου βάθους του control room του studio2, με την προτεινόμενη καμπύλη για χώρους ηχογράφησης του οργανισμού AES.

Από τη σύγκριση προκύπτει ότι ο υπό μελέτη χώρος μέχρι τη συχνότητα των 100Hz θεωρείται ότι δεν έχει καθόλου θόρυβο. Από τα 100Hz και πάνω ξεπερνάει αρκετά την προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου ακουστότητας θορύβου, υποδηλώνοντας έτσι ότι ο χώρος δεν είναι κατάλληλος για ηχογράφησης.

Έχοντας μελετήσει το κατασκευαστικό μέρος του control room πρωτύτερα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι τοιχοποιίες οι οποίες πιθανώς οφείλονται στην μεγάλη στάθμη θορύβου βάθους είναι οι τοίχοι Β, Δ και το ταβάνι καθώς και το σημείο όπου βρίσκονται αυτοί. Οι τοίχοι αυτοί δεν αποτελούν επένδυση μιας αρχικής

τοιχοποιίας. Δημιουργήθηκαν για το σχηματισμό του control room και δε φέρουν ψηλό δείκτη ηχομείωσης.

Οι τοίχοι Β και Δ είναι διαχωριστικοί τοίχοι μεταξύ του control room και του διαδρόμου και του καθιστικού γεγονός που δηλώνει ότι αν επικρατεί υψηλή στάθμη θορύβου σε αυτά τα μέρη (π.χ. αρκετός κόσμος) θα διαπεράσει ένα σημαντικό ποσοστό του θορύβου στο control room.

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι το ισόγειο συνορεύει με εσωτερική σκάλα με τον πρώτο όροφο. Ο πρώτος όροφος χρησιμοποιείται για αποθηκευτικούς χώρους. Όμως ο θόρυβος που δημιουργείται στο ισόγειο, στο καθιστικό και στο διάδρομο μπορεί εύκολα να περάσει στον πρώτο όροφο και μέσω του ταβανιού να περάσει στο control room. Το ταβάνι του control room είναι μια απλή ψευδο οροφή, η οποία επιτρέπει σχετικά εύκολα τη διέλευση του ήχου και από μέσα προς τα έξω και από έξω προς τα μέσα κυρίως στις χαμηλές συχνότητες.

6.2.5. Διαδικασία μέτρησης του χρόνου αντήχησης στο control room.

Ακολουθήθηκε η μέθοδος διέγερσης του χώρου με ροζ θόρυβο, ο οποίος θόρυβος μηδενίζεται ακαριαία (Μέθοδος μηδενισμού της πηγής).

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- γεννήτρια ήχου (μοντέλο cesva AP 600)
- Δωδεκάεδρο ηχείο (cesva BP012)¹³
- ηχόμετρο Type2 (the audio toolbox terrasonde)

Πραγματοποιήθηκαν τέσσερις μετρήσεις. Το δωδεκάεδρο ηχείο τοποθετήθηκε στη μία γωνία του δωματίου σε απόσταση 0,5m από κάθε τοίχο. Σε τέσσερις διαφορετικές θέσεις το ηχόμετρο κατέγραψε τον χρόνο αντήχησης του control room:



Σχήμα 6.6 Διάταξη της μέτρησης του χρόνου αντήχησης στο control room. Οι θέσεις μετρήσεων του ηχομέτρου είναι αντίστοιχα οι: (1), (2), (3), (4).

6.2.6. Υπολογισμός του χρόνου αντήχησης του control room

Το ηχόμετρο που χρησιμοποιήθηκε υπολογίζει το μέσο όρο του χρόνου αντήχησης σε κάθε μέτρηση. Από τις τιμές που έδωσε σε κάθε θέση υπολογίζεται ο μέσος όρος.

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

¹³ Οι τεχνικές πληροφορίες του δωδεκάεδρου ηχείου πληρούν τις προδιαγραφές που θέτει το ISO 140.

RT ₆₀ control room						
Μέτρηση	Απόσταση από την πηγή	Decay Time (ms)	RT ₆₀ (ms)	Μέγιστη και ελάχιστη στάθμη πίεσης κατά τη διάρκεια μέτρησης		Μέσος όρος του RT ₆₀
	1	1.7 m	362	598	max	
2	1.9 m	362	580	max	91 min 49	
3	2.1 m	376	578	max	91 min 46	582
4	1.6 m	352	571	max	91 min 47	

Πίνακας 6.9 Τιμές του χρόνου αντήχησης του control room με τη μέθοδο μηδενισμού της πηγής.

Ο μέσος όρος του χρόνου αντήχησης του control room είναι 0,582 sec, δηλαδή περίπου 0,6 sec.

Η τιμή κρίνεται ικανοποιητική για τον υπό μελέτη χώρο. Ο χώρος (control room) έχει όγκο 33m³. Οι τοίχοι και η οροφή του control room είναι από γυψοσανίδα και το πάτωμα είναι ξύλινο. Στον χώρο δεν έχει τοποθετηθεί κάποια ηχοαπορροφητική διάταξη ούτε διαχυτής.

Στο control room εκτός από την κονσόλα και το ζευγάρι ηχείων του ηχολήπτη, υπάρχουν πολλά όργανα (όπως drums, πλήκτρα, κιθάρες) τα οποία απορροφούν ένα μέρος της ενέργειας.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, δεν αφαιρέθηκαν τα όργανα από τον χώρο έτσι ώστε οι μετρήσεις να γίνουν στις πραγματικές συνθήκες εργασίας.

6.2.7. Διαδικασία μέτρησης της ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου από το recording στο control room.

Στο συγκεκριμένο υπό μελέτη χώρο αν και το control και το recording room δε συνορεύουν άμεσα μέσω ενός διαχωριστικού τοίχου, εξετάζεται η στάθμη έντασης που περνάει από το υπόγειο (recording room) στο control room(ισόγειο).

Στο μέρος αυτό αναφέρεται η διαδικασία μέτρησης της ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου.

Η μέτρηση της ηχομόνωσης από τον αερόφερτο θόρυβο του control room έγινε με τη μέθοδο διέγερσης του recording room με ροζ θόρυβο και την καταγραφή της στάθμης έντασης του ήχου ανα τριτοκτάβες και στα δύο δωμάτια. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- γεννήτρια ήχου (μοντέλο cesva AP 600)
- Δωδεκάεδρο ηχείο (cesva BP012)
- ηχόμετρο Type2 (the audio toolbox terrasonde)

Το δωδεκάεδρο ηχείο τοποθετήθηκε σε δύο θέσεις του recording room. Η κάθε θέση βρισκόταν στις γωνίες των τοίχων του δωματίου και το ηχείο απείχε 0.5m από κάθε τοίχο.

Για κάθε θέση του ηχείου πραγματοποιήθηκαν τέσσερις μετρήσεις στάθμης πίεσης στο recording room και τέσσερις στο control room.

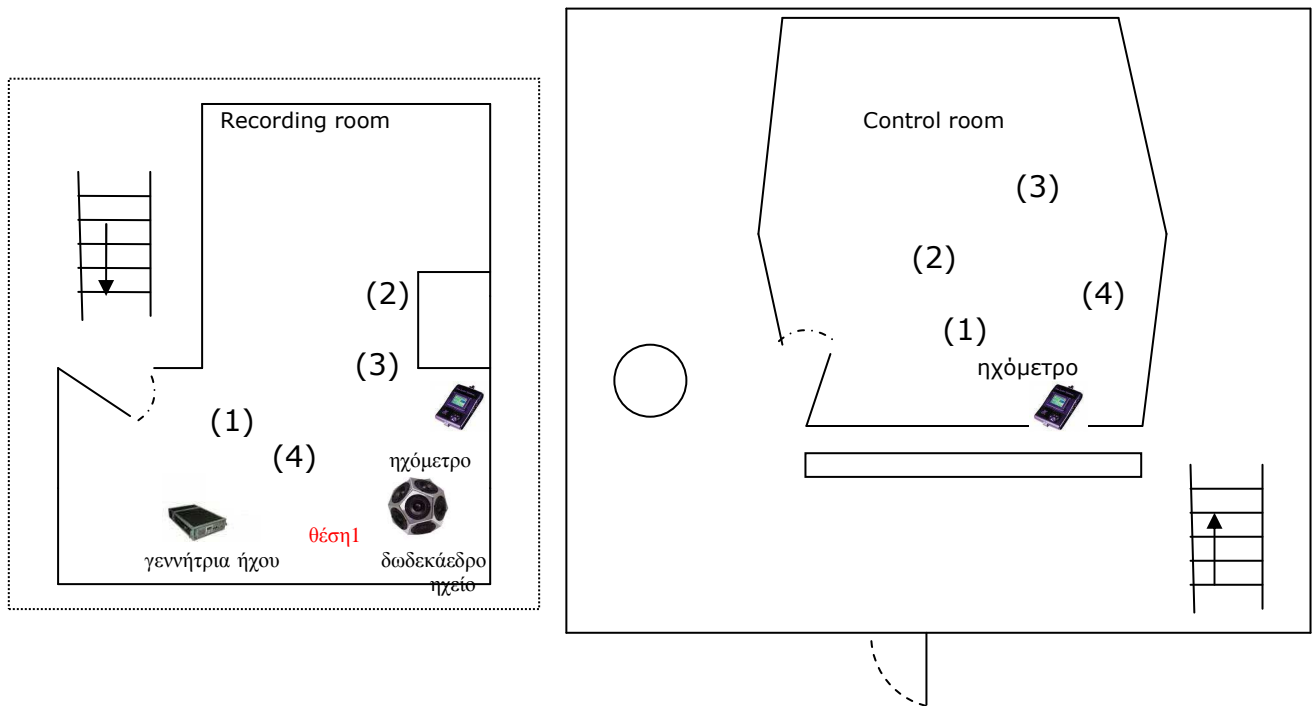
Οι αποστάσεις του ηχείου από τα όρια των τοίχων καθώς και οι αποστάσεις των θέσεων του ηχόμετρου σε σχέση με τα όρια των τοίχων και του ηχείου ακολουθούν τις προδιαγραφές του ISO 140.

Ενδεικτικά αναφέρονται οι εξής αποστάσεις:

- το ηχείο πρέπει να είναι 0,5 m από κάθε όριο τοίχου
- οι θέσεις του μικροφώνου πρέπει να απέχουν 0,7m μεταξύ τους.
- οι θέσεις του μικροφώνου πρέπει να απέχουν 0,5m από κάθε όριο τοίχου ή διαχυτή.
- οι θέσεις του μικροφώνου πρέπει να απέχουν 1m από την πηγή.

Μέτρηση 1^η :

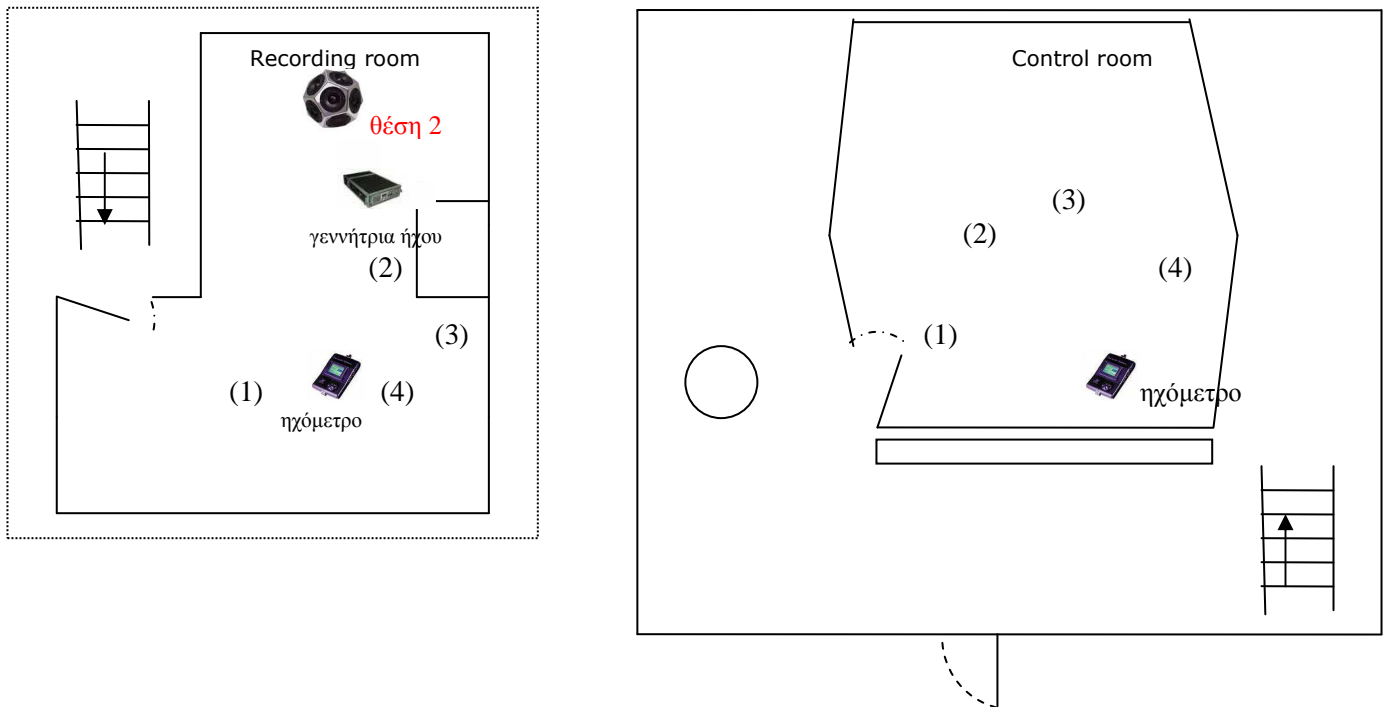
Θέση 1 του ηχείου στο recording room(δωμάτιο εκπομπής) και θέσεις του ηχόμετρου στο recording και control room.



Σχήμα 6.7.α Διάταξη των οργάνων της μεθόδου μέτρησης της ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου από το recording στο control room. Η πρώτη θέση του ηχείου είναι η θέση 1 και οι θέσεις του ηχόμετρου στο recording room είναι οι (1), (2), (3), (4). Στο control room οι θέσεις του ηχόμετρου είναι οι (1),(2),(3),(4).

Μέτρηση 2^η :

Θέση 2 του ηχείου στο recording room(δωμάτιο εκπομπής) και θέσεις του ηχόμετρου στο recording και control room.



Σχήμα 6.7.β Διάταξη των οργάνων της μεθόδου μέτρησης της ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου από το recording στο control room. Η δεύτερη θέση του ηχείου είναι η θέση 2 και οι θέσεις του ηχομέτρου στο recording room είναι οι (1), (2), (3),(4). Στο control room οι θέσεις του ηχομέτρου είναι οι (1),(2),(3),(4).

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρατίθενται στους πίνακες:

Μέτρηση 1^η :

Noise Factory 24/10/09

Θέση 1 ηχείο	Recording room				Μέσος όρος Στάθμης πίεσης ανα συχνότητα (dB)
	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέτρηση 4	
25	72,8	64	66,3	69,8	69,5
31,5	78,2	69,9	74	68,7	74,3
40	82,8	70,1	71,7	61,7	77,3
50	82,2	75,1	72,4	78,2	78,5
63	80,8	77,2	73,5	77,7	78
80	66,4	70,1	78,2	79,4	76,2
100	82	77	81,9	84,3	82
125	90,8	91,6	87,5	90,2	90,3
160	104,7	91,5	98,4	100,5	100,9
200	99,6	96	101,7	101,3	100,1
250	97,3	96,6	99,1	99,5	98,3
315	96,2	92,8	93,6	101,5	97,5
400	92,6	96,2	93,1	95,4	94,6
500	94	91,2	92,6	92	92,6
630	93,2	88,6	90,6	93,2	91,8
800	94,6	88,7	91,7	94,8	93,1
1000	93,7	86,8	89,7	92,2	91,3
1250	90,2	88,2	91	93,6	91,2
1600	94,9	91,8	92,1	93,8	93,3
2000	94,5	90,9	92,4	93,3	93

2500	92,8	88	90,6	91,7	91,1
3150	88,7	85	88	88,3	87,7
4000	84,3	81,1	83,2	87,3	84,6
5000	84,4	82,8	85,1	84,7	84,3
6300	88	83,3	85,2	87,7	86,4
8000	82,9	78	81,9	83,4	82
10000	80	76,4	79,8	81,5	79,8
12500	73,4	66,5	73,2	73,3	72,3
16000	60,7	79,8	75,2	57,6	75,1

Πίνακας 6.10α Τιμές της στάθμης πίεσης του recording room για τη θέση 1 του δωδεκάεδρου ηχείου.

Noise Factory 24/10/09

Θέση 1 ηχείο

Control room					Μέσος όρος στάθμης πίεσης ανα συχνότητα (dB)
Hz	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέτρηση 4	
25	45,1	49,8	39,6	39,3	45,6
31,5	42,3	39,2	39,1	40,4	40,5
40	47,6	40,7	38,9	43,6	44
50	33,4	36,4	32	40,5	36,8
63	46,4	46,1	45,3	43,9	45,5
80	49,6	51,9	51,4	52,3	51,4
100	50,1	45,3	47,6	45,4	47,6
125	30,3	34,4	32,4	32,5	32,6
160	36,7	35,7	34,4	32	35
200	27,2	36,2	35,2	27,9	33,3
250	27,7	43,8	39,4	22,4	39,2
315	30,9	40,6	38,1	27,7	36,9
400	29,2	44,4	39,3	28,9	39,7
500	28	48,1	42,4	32,2	43,2
630	27,9	50	44,5	35,6	45,2
800	25,5	49,7	44,6	34,2	45
1000	31,7	43	39,2	27,3	38,8
1250	15,2	40,9	35,6	25,4	36,1
1600	20	48,6	44,4	35,2	44,1
2000	14	39,3	34,4	24,7	34,6
2500	18	36,5	33,1	10,8	32,2
3150	-45,3	33,4	36,6	-0,8	32,3
4000	-1,7	32,7	30,6	70,1	64,1
5000	-47,4	32,7	31,1	-11,9	29
6300	70,1	33,5	37,1	76,1	71,1
8000	266	34,2	36,1	76,1	260
10000	-60,6	34,5	34,9	74,8	68,8
12500	73,1	26,1	26,6	74,8	71
16000	76,1	16,1	21,1	76,1	73,1

Πίνακας 6.10β Τιμές της στάθμης πίεσης του control room για τη θέση 1 του δωδεκάεδρου ηχείου.

Παρατηρήσεις

Στις μετρήσεις της στάθμης πίεσης του control room, συγκεκριμένα στις μετρήσεις 1 και 4, (όταν στο recording room ο μέσος όρος της στάθμης έντασης είναι 93dB spl), παρατηρείται ότι από τα 2000Hz και πάνω καταγράφηκαν κάποιες στάθμες οι οποίες δεν είναι λογικές.

Π. χ. στα 3150 Hz, η στάθμη έντασης στη μέτρηση 1 είναι: -45,3 dB
και στη μέτρηση 4 είναι: - 0.8 dB.

Τα αποτελέσματα αυτά αποδίδονται σε πειραματικό σφάλμα μετρήσεων, το οποίο σχετίζεται με τις ρυθμίσεις αλλά και την αξιοπιστία (κατηγορία 2) του ηχόμετρου. Επίσης σε κάποιες μετρήσεις, π.χ. στα 6300 Hz και 8000Hz παρατηρείται πάλι πειραματικό σφάλμα μετρήσεων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση μπορεί να εξηγηθεί ως ότι το ηχόμετρο συνυπολόγισε το θόρυβο βάθους με τη στάθμη πίεσης στο δωμάτιο τη συγκεκριμένη στιγμή.

Δεδομένου ότι το συχνοτικό εύρος όπου εξετάζεται η ηχομονωτική ικανότητα κάθε τοιχοποιίας στην οικοδομική ακουστική είναι από 100-3150 Hz (σύμφωνα με το πρότυπο ISO 140 είναι από 100-4000 Hz) και σε αυτό το εύρος αφορούν οι μετρήσεις της ηχομόνωσης δύο δωματίων, δε δίνεται περαιτέρω βαρύτητα στα πειραματικά σφάλματα.

Από τη συχνότητα των 4000 Hz και πάνω, θεωρείται ότι κάθε τοιχοποιία μπορεί να εμποδίσει τη διάδοση θορύβου που προέρχεται από αυτές τις συχνότητες. Οι μετρήσεις 1 και 4, απορρίπτονται από τη συχνότητα των 2500Hz και άνω.

Το εύρος όπου γίνεται η σύγκριση της στάθμης πίεσης των δωματίων, κατά τη διάρκεια της πρώτης μέτρησης, είναι:

Στο συχνοτικό εύρος από 25-3150 Hz, ο μέσος όρος της στάθμης πίεσης του recording room είναι: **89,3 dB(A)** και **93,8 dB**.

Στο συχνοτικό εύρος από 25-3150 Hz, ο μέσος όρος της στάθμης πίεσης του control room είναι: **37,3 dB(A)** και **43,3 dB**.

Μέτρηση 2^η:

Θέση 2 ηχείο Hz	Recording room				Μέσος όρος Στάθμης πίεσης ανα συχνότητα (dB)
	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέτρηση 4	
25	54,4	70,8	69,5	63,9	67,7
31,5	58,3	72	75,2	70,7	71,9
40	60,3	63,7	58,5	62,7	61,8
50	56,1	72,5	70,3	65,6	69,1
63	55,9	72,2	65,3	72	69,6
80	68,2	87	79,5	86,7	84,3
100	71,2	84	82,9	84,4	82,6
125	83,4	93,1	91,8	90,1	90,8
160	97,1	102,8	94,7	93,6	98,7
200	94,8	104,8	98,5	97,8	100,6
250	96,1	99,2	99,5	100,4	99,1
315	95,7	95,8	93,1	98,5	96,2
400	88,9	92,2	92,2	89,9	91
500	87,1	94	89,5	93,1	91,7
630	87,4	94,1	90,6	90,8	91,4
800	87,1	90,5	90,8	91,9	90,4
1000	86,5	92,2	90,7	86	89,6
1250	88,2	92,6	88,7	92,1	90,8
1600	89,5	93,9	92,4	92,9	92,5

2000	89,9	92,3	92,7	94,3	92,6
2500	87,3	91,7	89,7	90,8	90,2
3150	84,6	91	88	88,3	88,5
4000	79,8	85,2	85,4	85	84,4
5000	81,3	86	83,9	85,8	84,6
6300	80,2	84,7	82,8	83,7	83,1
8000	77,6	83,2	82	80,7	81,3
10000	73,6	79,8	77	78,3	77,7
12500	62,9	70,3	67,3	67,3	67,7
16000	73,1	70,3	73,1	74,8	73,1

Πίνακας 6.11α Τιμές της στάθμης πίεσης του recording room για τη θέση 2 του δωδεκάεδρου ηχείου.

Οι μετρήσεις της στάθμης πίεσης στο control room, όταν το ηχείο βρίσκεται στη θέση 2 στο recording room ήταν τέσσερις. Επειδή όμως η μία μέτρηση εκ των τεσσάρων παρουσίασε αρκετά πειραματικά σφάλματα αποφασίστηκε να μη συνυπολογιστεί με τις υπόλοιπες μετρήσεις καθώς επηρέαζε λανθασμένα τις υπόλοιπες. Το πειραματικό σφάλμα της τέταρτης μέτρησης αποδίδεται σε λανθασμένη απόκριση του ηχόμετρου.

Control room				
Θέση 2 ηχείο				Μέσος όρος Στάθμης πίεσης ανα συχνότητα (dB)
Hz	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	
25	40,7	41,3	37,8	40,2
31,5	40,8	35,2	36,9	38,3
40	43	32,4	33,1	39
50	38,3	37,5	32	36,7
63	41,4	37,6	35,5	38,9
80	37	37,5	41,6	39,2
100	35,9	34	39,2	36,9
125	35,3	31,2	31,2	33
160	34,2	34,9	33,7	34,3
200	34,6	32,7	31,2	33,1
250	40,6	39,1	36,8	39,1
315	41,4	40,9	37,6	40,3
400	41,8	42,6	37,3	41,1
500	43,5	44,3	38,8	42,8
630	50,2	49,5	44,5	48,7
800	48,4	48,2	45,1	47,5
1000	41,8	43	39,8	41,7
1250	43,5	39,7	39	41,2
1600	47,3	45,5	43,2	45,6
2000	36,6	38	34,3	36,6
2500	34,1	30,7	30,4	32,1
3150	26,7	20,6	23,9	24,4
4000	29,8	7	23,3	25,9
5000	26,8	3,3	21,7	23,2
6300	30,1	-4,2	27,2	27,1
8000	31	10,5	26,5	27,6
10000	29,8	4,8	20,9	25,6
12500	21,5	73,1	10,7	68,3

16000	14	76,1	70,1	72,3
-------	----	------	------	------

Πίνακας 6.11β Τιμές της στάθμης πίεσης του control room για τη θέση 2 του δωδεκάεδρου ηχείου.

Παρατηρήσεις

Από τη συχνότητα των 4000Hz και άνω παρατηρείται ότι οι μετρήσεις στάθμης πίεσης στο control room έχουν πειραματικά σφάλματα. Όπως και προηγουμένως το σφάλμα αποδίδεται στην απόκριση του ηχόμετρου.

Δεδομένου όμως ότι το συχνοτικό εύρος όπου γίνονται οι μετρήσεις ηχομόνωσης ανάμεσα σε δύο δωμάτια(βάσει της βιβλιογραφίας και του πρότυπου ISO 140) είναι από 100- 3150 Hz, δεν αναλύονται περαιτέρω τα σφάλματα που παρουσιάζονται στις συχνότητες άνω των 4000Hz.

Το συχνοτικό εύρος όπου γίνεται σύγκριση των δύο δωματίων ως προς τη στάθμη πίεσης, κατά τη διάρκεια της δεύτερης μέτρησης είναι:

Στο συχνοτικό εύρος από 25-3150 Hz, ο μέσος όρος της στάθμης πίεσης του recording room είναι: **88,5 dB(A)** και **93,2 dB**.

Στο συχνοτικό εύρος από 25-3150 Hz, ο μέσος όρος της στάθμης πίεσης του control room είναι: **39,5 dB(A)** και **41,5 dB**.

6.2.8. Σύγκριση της στάθμης πίεσης των μετρήσεων στο Control room με το θόρυβο βάθους.

Στο μέρος αυτό γίνεται σύγκριση του μέσου όρου της στάθμης πίεσης που μετρήθηκε στο control room με το θόρυβο βάθους, έτσι ώστε να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις αν η διαφορά είναι μικρότερη των 10dB ή τον 10dB(A).

Όταν οι μετρήσεις γίνονται σε dB, στο συχνοτικό φάσμα μεταξύ 25 -3150 Hz, ισχύει:
Θόρυβος βάθους : **30,3 dB**

Στάθμη πίεσης control room μέτρηση 1: **43,3 dB**

Στάθμη πίεσης control room μέτρηση 2 : **41,5 dB**.

Παρατηρείται ότι η διαφορά μεταξύ της στάθμης πίεσης των μετρήσεων και του θορύβου βάθους είναι μεγαλύτερη των 10dB. Δε γίνεται κάποια διόρθωση στις στάθμες πίεσης των μετρήσεων 1, 2 του control room.

Όταν οι μετρήσεις γίνονται σε dBA, στο συχνοτικό φάσμα μεταξύ 25 -3150 Hz, ισχύει:

Θόρυβος βάθους : **27 dB(A)**

Στάθμη πίεσης control room μέτρηση 1: **37,3 dB(A)**

Στάθμη πίεσης control room μέτρηση 2 : **39,5 dB(A)**.

Πάλι παρατηρείται ότι η διαφορά μεταξύ της στάθμης πίεσης των μετρήσεων και του θορύβου βάθους είναι μεγαλύτερη των 10dBA. Δε γίνεται κάποια διόρθωση στις στάθμες πίεσης των μετρήσεων 1, 2 του control room

6.2.9. Υπολογισμός ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου από το recording στο control room βάσει των μετρήσεων

Ο υπολογισμός της ηχομόνωσης μεταξύ των δύο δωματίων γίνεται με τη χρήση του λογισμικού " Γραφική μέθοδος υπολογισμού R'_w " .

Μέτρηση 1

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό φύλλο " Γραφική μέθοδος υπολογισμού R'_w –sheet3 ", οι τιμές μετρήσεων συγκρίνονται με την καμπύλη αναφοράς και μετακινώντας την καμπύλη αναφοράς βρίσκεται ο R'_w ως μονότιμο μέγεθος.

Τα δεδομένα που χρειάζονται εδώ είναι :

Επιφάνεια του διαχωριστικού πετάσματος:

$A_0 = 23 \text{ m}^2$

Ο όγκος του δωματίου λήψης (control) είναι:

$V = 33 \text{ m}^3$

Ο χρόνος αντήχησης του control είναι:

$T = 0,6 \text{ sec}$

Συχνότητα σε Hz	100	125	160	200	250	315	400	500
Χώρος εκπομπής (Ls)	82	90,3	100,9	100	98,3	97,5	94,6	92,6
Χώρος λήψης (LE)	47,6	32,6	35	33,3	39,2	36,9	39,7	43,2
φαινόμενος δείκτης R' ανά συχνότητα	38,5	61,8	70	70,9	63,2	64,7	59	53,5

630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
91,8	93,1	91,3	91,2	93,3	93	91,1	87,7
45,2	38,8	38,8	36,1	44,1	34,6	32,2	32,3
50,7	58,4	56,6	59,2	53,3	62,5	63	59,5

Πίνακας 6.12 Τιμές του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης του διαχωριστικού στοιχείου (πάτωμα) βάσει της στάθμης πίεσης (μέτρηση1) και βάσει τον χρόνο αντήχησης του control room.

Αφού έχουν δοθεί τα δεδομένα στο λογισμικό φύλλο, δοκιμάζονται διάφορες τιμές στον παρακάτω πίνακα στη στήλη διαφορά σε dB, έτσι ώστε το άθροισμα των αποκλίσεων να μην υπερβαίνει τα -2 dB και η κάθε απόκλιση να μην υπερβαίνει τα -8dB.

Δίνοντας την τιμή -5 στη στήλη 4, διαφορά σε dB, πληρούνται τα παραπάνω κριτήρια.

Η τιμή του R'_w , είναι η τιμή στα 500Hz της μετακινούμενης καμπύλης αναφοράς.

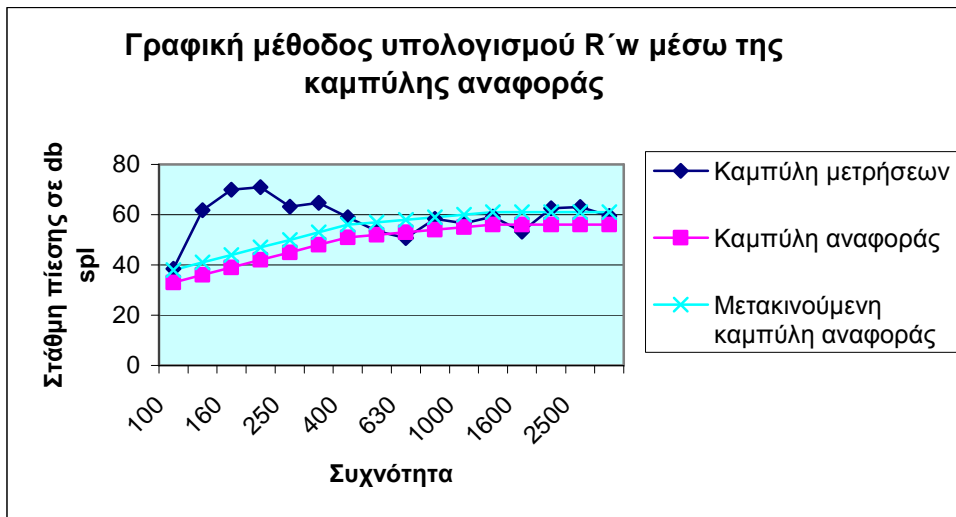
Προκύπτει ότι ο $R'_w = 57\text{dB}$.

Συχνότητες	Τιμές μέτρησης σε dB	Τιμές αναφοράς σε dB	Διαφορά σε dB	Μετακινούμενη καμπύλη αναφοράς
100	39	33	-5	38
125	62	36		41
160	70	39		44
200	71	42		47
250	63	45		50

Αποκλίσεις
0
0
0
0
0

315	65	48	53	0
400	59	51	56	0
500	54	52	57	-3,5
630	51	53	58	-7,3
800	58	54	59	-0,6
1000	57	55	60	-3,4
1250	59	56	61	-1,8
1600	53	56	61	-7,7
2000	63	56	61	0
2500	63	56	61	0
3150	60	56	61	-1,5
			Άθροισμα αποκλίσεων	-1,6125

Πίνακας 6.13 Σύγκριση των τιμών του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης (μέτρηση1) με τις τιμές της πρότυπης καμπύλη αναφοράς για την εύρεση του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης.



Σχεδιάγραμμα 6.5 Διάγραμμα τιμών καμπύλης μέτρησης 1, καμπύλης αναφοράς και μετακινούμενης καμπύλης αναφοράς.

Επίσης, ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w μπορεί να υπολογιστεί με την προσεγγιστική μέθοδο. Βάσει αυτής της μεθόδου προκύπτει ότι : $R'_w = 59dB$. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η τιμή του R'_w της προσεγγιστικής μεθόδου αποκλίνει λίγο από την τιμή της γραφικής μεθόδου.

Παρατηρήσεις

Βάσει των θεωρητικών υπολογισμών ο R'_w του πατώματος υπολογίστηκε στα 55 dB. Βάσει της γραφικής μεθόδου υπολογισμού ο $R'_w = 57 dB$. Βάσει της προσεγγιστικής μεθόδου υπολογισμού, προέκυψε: $R'_w = 59dB$. Παρατηρείται ότι τα θεωρητικά αποτελέσματα επαληθεύονται βάσει των μετρήσεων. Πρέπει να σημειωθεί όμως, ότι τα πειραματικά αποτελέσματα δεν προέκυψαν σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων, αλλά μόνο από την περιοχή των 100-3150 Hz. Η περιοχή αυτή έχει οριστεί ως η πιο κρίσιμη και ουσιαστική για την εξέταση της ηχομονωτικής ικανότητας μιας τοιχοποιίας.

Μέτρηση 2

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό φύλλο " Γραφική μέθοδος υπολογισμού R'w- sheet3 " , οι τιμές μετρήσεων συγκρίνονται με την καμπύλη αναφοράς και μετακινώντας την καμπύλη αναφοράς βρίσκεται ο R'w ως μονότιμο μέγεθος.

Τα δεδομένα που χρειάζονται και εδώ είναι :

Επιφάνεια του διαχωριστικού πετάσματος:

$$A_0 = 23 \text{ m}^2$$

Ο όγκος του δωματίου λήψης (control) είναι:

$$V = 33 \text{ m}^3$$

Ο χρόνος αντήχησης του control είναι:

$$T = 0,6 \text{ sec}$$

Συχνότητα σε Hz	100	125	160	200	250	315	400	500
Χώρος εκπομπής (Ls)	82,6	90,8	98,7	100,6	99,1	96,2	91	91,7
Χώρος λήψης (LE)	36,9	33	34,3	33,1	39,1	40,3	41,1	42,8
φαινόμενος δείκτης R' ανά συχνότητα	49,8	61,9	68,5	71,6	64,1	60	54	53

630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
91,4	90,4	89,6	90,8	92,5	92,6	90,2	88,5
48,7	47,5	41,7	41,2	45,6	36,6	32,1	24,4
46,8	47	52	53,7	51	60,1	62,2	68,2

Πίνακας 6.14 Τιμές του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης του διαχωριστικού στοιχείου (πάτωμα) βάσει της στάθμης πίεσης (μέτρηση2) και βάσει τον χρόνο αντήχησης του control room.

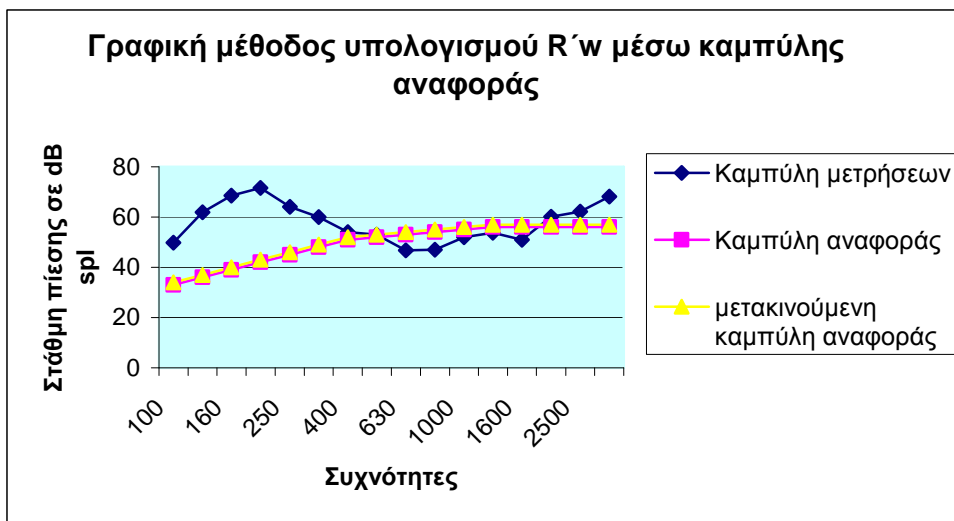
Συχνότητες	Τιμές μέτρησης σε dB	Τιμές αναφοράς σε dB	Διαφορά σε dB	Μετακινούμενη καμπύλη αναφοράς	Αποκλίσεις
100	50	33	-1	34	0
125	62	36		37	0
160	69	39		40	0
200	72	42		43	0
250	64	45		46	0
315	60	48		49	0
400	54	51		52	0
500	53	52		53	0
630	47	53		54	-7,2
800	47	54		55	-8
1000	52	55		56	-4
1250	54	56		57	-3,3
1600	51	56		57	-6
2000	60	56		57	0
2500	62	56		57	0
3150	68	56		57	0
Άθροισμα αποκλίσεων					-1,9

Πίνακας 6.15 Σύγκριση των τιμών του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης (μέτρηση2) με τις τιμές της πρότυπης καμπύλη αναφοράς για την εύρεση του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης.

Αφού έχουν δοθεί τα δεδομένα στο λογισμικό φύλλο, δοκιμάζονται διάφορες τιμές στον παρακάτω πίνακα στη στήλη διαφορά σε dB, έτσι ώστε το άθροισμα των αποκλίσεων να μην υπερβαίνει τα 2 dB και η κάθε απόκλιση να μην υπερβαίνει τα - 8dB.

Δίνοντας την τιμή -1 στη στήλη 4, διαφορά σε dB, πληρούνται τα παραπάνω κριτήρια.

Η τιμή του R'_w , είναι η τιμή στα 500Hz της μετακινούμενης καμπύλης αναφοράς. Προκύπτει ότι ο $R'_w = 53 \text{ dB}$.



Σχεδιάγραμμα 6.6 Διάγραμμα τιμών καμπύλης μέτρησης 2, καμπύλης αναφοράς και μετακινούμενης καμπύλης αναφοράς.

Επίσης, ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w μπορεί να υπολογιστεί με τη χρήση της προσεγγιστικής μεθόδου. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή προκύπτει ότι $R'_w = 58 \text{ dB}$. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η τιμή του R'_w της προσεγγιστικής μεθόδου αποκλίνει κατά πολύ, 5 dB, από την τιμή που δίνει η γραφική μέθοδος υπολογισμού.

Για το λόγο αυτό, η προσεγγιστική μέθοδος δε θεωρείται ότι δίνει πάντα έγκυρα αποτελέσματα.

Παρατηρήσεις

Βάσει των θεωρητικών υπολογισμών ο R'_w του πατώματος υπολογίστηκε στα 55 dB.

Βάσει της γραφικής μεθόδου υπολογισμού ο $R'_w = 53 \text{ dB}$

Βάσει του προσεγγιστικού υπολογισμού προέκυψε $R'_w = 58 \text{ dB}$.

Παρατηρείται ότι τα θεωρητικά αποτελέσματα έχουν είναι σχετικά κοντά με το αποτέλεσμα που προκύπτει από τη γραφική μέθοδο υπολογισμού.

6.2.10. Συγκρίνονται πειραματικές τιμές με προδιαγραφές.

Ο προσδιορισμός των προδιαγραφών γίνεται σύμφωνα με:

1. τον ελληνικό κτιριοδομικό κανονισμό,
2. τους σχετικούς πίνακες που ορίζουν την ελάχιστη στάθμη του φαινόμενου σταθμισμένου και της κανονικοποιημένης στάθμης ήχου ανάλογα με το χώρο, πίνακες 3.10 έως 3.12,
3. τις καμπύλες NC, NR, RC.
Παρακάτω γίνεται αναφορά στους πίνακες που ορίζουν τις επιθυμητές καμπύλες NC, NR, RC, ανάλογα με το είδος του χώρου που εξετάζεται.
4. τις καμπύλες BBC.
5. την προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου ακουστότητας θορύβου για χώρους ηχογράφησης σύμφωνα με τον AES οργανισμό.



Κριτήρια ακουστικής
Άνεσης, Κτ. Καν. :

1. Κτιριοδομικός κανονισμός (πίνακας 3.16, 3.17, σελ 160-161)

Το υπό μελέτη studio στεγάζεται σε ένα κτίριο το οποίο είναι αυτόνομο. Η μόνη πλευρά που εξετάζεται είναι η δεξιά μεριά (κοιτώντας τις κατόψεις) των τοίχων του studio, οι οποίες συνορεύουν με μία πολυκατοικία.

Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές που θέτει ο κτιριοδομικός κανονισμός για τον υπό μελέτη χώρο και για τα δύο είδη κτιρίων A, B δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας απαιτήσεων για κατηγορία κτιρίων A ακουστικής άνεσης :

Είδος κτιρίου	Ηχομόνωση κατοικίας (διαμερίσματος) από άλλο χώρο κύριας χρήσης- (4.2 παρ).
Εμπόριο	$R'_w = 58 \text{ dB}$ $L'_{n,w} = 52 \text{ dB}$

Πίνακας απαιτήσεων για κατηγορία κτιρίων B ακουστικής άνεσης :

Είδος κτιρίου	Ηχομόνωση κατοικίας (διαμερίσματος) από άλλο χώρο κύριας χρήσης- (4.2 παρ).
Εμπόριο	$R'_w = 52 \text{ dB}$ $L'_{n,w} = 55 \text{ dB}$

Τοίχοι studio

Ισόγειο

Ο δεξιά τοίχος του ισογείου όπου βρίσκεται το control room, χωρίζεται δομικά σε δύο μέρη. Το ένα μέρος είναι ο τοίχος του control room και το άλλο μέρος είναι απλά η αρχική τοιχοποιία.

Για τον τοίχο A του control room, υπολογίστηκε η τιμή του R'_w στα:

$$R'_w = 63 \text{ dB}$$

Για τον υπόλοιπο τοίχο, ο οποίος είναι η φέρουσα τοιχοποιία υπολογίστηκε ότι ο $R'_w = 55 \text{ dB}$.

Οι μετρημένες τιμές αυτές καλύπτουν τα κριτήρια του κτιριοδομικού κανονισμού και για τα δύο είδη κτιρίων.

Υπόγειο

Τα κριτήρια που εξετάζεται ο δεξιά τοίχος του υπογείου (recording room-τοίχος I) είναι τα ίδια, παρόλο το γεγονός ότι δίπλα από τον δεξί τοίχο του υπό μελέτη υπογείου (recording room) βρίσκεται το υπόγειο της διπλανής κατοικίας.

Ο δεξιά τοίχος του υπογείου χωρίζεται και αυτός δομικά σε δύο μέρη.

Το μέρος όπου βρίσκεται η τοιχοποιία του recording room έχει,

$$R'_w = 63\text{dB}.$$

Το μέρος όπου βρίσκεται η φέρουσα τοιχοποιία μόνο έχει ,

$$R'_w = 57\text{ dB}.$$

Οι μετρημένες τιμές αυτές καλύπτουν τα κριτήρια του κτιριοδομικού κανονισμού και για τα δύο είδη κτιρίων.



Πίνακας 3.10 και 3.11

2. Πίνακες 3.10 και 3.11, (σελ 154-155)

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.11 οι διαχωριστικοί τοίχοι σπιτιών πρέπει να έχουν ελάχιστο $R'_w = 57\text{ dB}$.

Στο studio ισχύει :

Ισόγειο : $R'_w = 63\text{dB}$ και $R'_w = 55\text{ dB}$.

Το μέρος του τοίχου του ισογείου όπου βρίσκεται το control room καλύπτει αυτό το κριτήριο.

Το μέρος του τοίχου όπου βρίσκεται η φέρουσα τοιχοποιία δεν καλύπτει το κριτήριο.

Αν όμως θεωρήσουμε ότι στη διπλανή πολυκατοικία ο χώρος που βρίσκεται δίπλα από το διαχωριστικό τοίχο, στο μέρος της φέρουσας τοιχοποιίας, χρησιμοποιείται για άλλο σκοπό πέραν του ύπνου (π.χ. είναι εργασιακός χώρος, ή χώρος για ομαδικές δραστηριότητες κ.τ.λ.) ο πίνακας 2.29 θέτει το κριτήριο του διαχωριστικού χώρου να είναι $R'_w = 55\text{dB}$. Σε αυτήν την περίπτωση όλη η δεξιά τοιχοποιία του ισογείου του studio πληρεί τις προδιαγραφές .

Βάσει των πινάκων 3.11 και 3.10 ο δεξιά τοίχος του υπογείου του studio πληρεί όλες τις προδιαγραφές.



Πίνακας 3.7



πίνακας 3.8

3.Καμπύλες RC, NC, NR πίνακες 3.7-3.8 (σελ. 151-152)



Καμπύλες NC, RC, NR

(σελ 134,136,140)

Ο μέσος όρος των στάθμεων που μετρήθηκε στο control room και για τις δύο μετρήσεις είναι:

Hz	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ls (dB) δωμάτιο λήψης	39,5	43,3	32,8	39,2	43	40,5	35,7	61,1	257

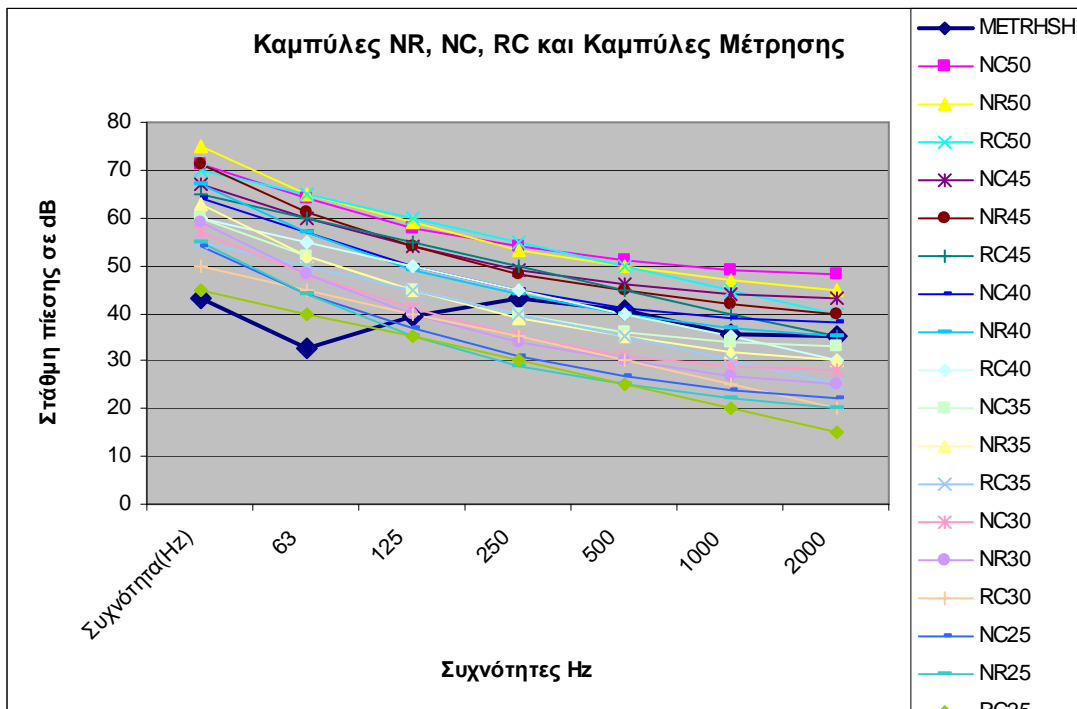
Πίνακας 6.16 τιμές του μέσου όρου των μετρήσεων 1,2 της στάθμης πίεσης του control room

Λόγω των πειραματικών σφαλμάτων που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο των μετρήσεων της στάθμης έντασης στο control room, η εξέταση των κριτηρίων της μέτρησης βάσει των καμπυλών NC, NR, RC γίνεται μέχρι τη συχνότητα 2000 Hz.

Για να βρεθεί ποια καμπύλη NC, NR, RC καλύπτει τις μετρήσεις των στάθμων του control δημιουργείται ο σχετικός πίνακας και το αντίστοιχο γράφημα.

Συχνότητα(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000
METRHS	43,3	32,8	39,2	43	40,5	35,7	61,1
NC50	71	64	58	54	51	49	48
NR50	75	65	59	53	50	47	45
RC50	70	65	60	55	50	45	40
NC45	67	60	54	49	46	44	43
NR45	71	61	54	48	45	42	40
RC45	65	60	55	50	45	40	35
NC40	64	57	50	45	41	39	38
NR40	67	57	49	44	40	37	35
RC40	60	55	50	45	40	35	30
NC35	60	52	45	40	36	34	33
NR35	63	52	45	39	35	32	30
RC35	55	50	45	40	35	30	25
NC30	57	48	41	35	31	29	28
NR30	59	48	40	34	30	27	25
RC30	50	45	40	35	30	25	20
NC25	54	44	37	31	27	24	22
NR25	55	44	35	29	25	22	20
RC25	45	40	35	30	25	20	15

Πίνακας 6.17 τιμές του μέσου όρου των μετρήσεων της στάθμης ηχητικής πίεσης του control room και τιμές των καμπυλών NC50-20, NR50-20, RC50-20.



Σχεδιάγραμμα 6.7 Η καμπύλη της μέτρησης της στάθμης πίεσης του control room (μέσος όρος μετρήσεων 1,2) και τα αντίστοιχα διαγράμματα των καμπυλών NC50-20, NR50-20, RC50-20

Το διάγραμμα εξετάζεται μέχρι τη συχνότητα 2000 Hz.

Από το γράφημα παρατηρείται ότι οι καμπύλες που καλύπτουν τις στάθμες της μέτρησης για το control room είναι:

NC 40
NR 40
RC 40.



Πίνακας 3.7

Βάσει του πίνακα 3.7 (σελ. 151) **ισχύει:**

Στο control room ο μέσος όρος στάθμης (από μέτρηση 1 και 2) υπολογίστηκε στα :
 $L_A = 38,5 \text{ dB A}$.

Οι καμπύλες που καλύπτουν αυτή τη στάθμη είναι οι καμπύλες NC 30, NR 30, RC30, οι οποίες περιγράφουν έναν χώρο ως ήρεμο. Οι καμπύλες όμως αυτές δεν προορίζονται για τις απαιτήσεις των studio. Για τα στούντιο θα έπρεπε να ισχύουν οι καμπύλες NC 25, NR 25, RC 25.



Πίνακας 3.9

Βάσει του πίνακα 3.9 (σελ. 153):

Για τις απαιτήσεις των studio η L_A τιμή πρέπει να είναι κοντά στα 20dB(A).



πίνακας 3.8

Βάσει του πίνακα 3.8(σελ 152):

Για studio ηχογράφησης οι καμπύλες που πληρούν τις προδιαγραφές είναι οι NR 20 και NC 20.

Σύμφωνα λοιπόν με τις καμπύλες NC, NR , RC και βάσει και των τριών πινάκων που θέτουν τις προδιαγραφές ο υπό μελέτη χώρος δεν πληρεί τις προϋποθέσεις ενός πολύ ήσυχου, ενός χώρου studio ηχογραφήσεων. Είναι αρκετά πιο ψηλά από τις στάθμες που ορίζουν οι καμπύλες RC 25, NR 25, NC 25.



BBC καμπύλες

4. Σύμφωνα με τις καμπύλες BBC (σχεδιάγραμμα 3.9, σελ 145):

Συγκρίνοντας τη στάθμη πίεσης του control room, της μέτρησης 1, της μέτρησης 2 καθώς και του μέσου όρου των μετρήσεων προκύπτουν τα εξής ίδια συμπεράσματα:

i) οι καμπύλες (a) και (b) των κριτηρίων BBC καλύπτουν τις στάθμες πίεσης του control room, σε όλες τις μετρήσεις και στο μέσο όρο αυτών, στο συχνοτικό εύρος από 31 Hz έως 250Hz.

ii) από τη συχνότητα 500 Hz και πάνω καμία καμπύλη των κριτηρίων BBC δεν καλύπτει τη στάθμη πίεσης του control room κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

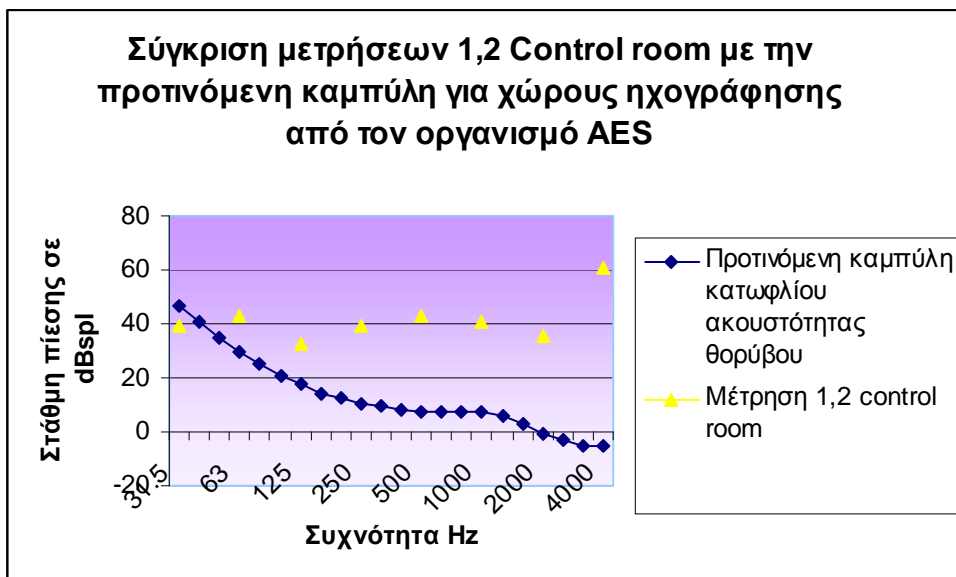
Σύμφωνα με τα κριτήρια BBC, ο υπό μελέτης χώρος υπερβαίνει κατά πολύ τις ανώτατες επιτρεπτές στάθμες θορύβου βάθους συνεπώς ως χώρος δε θεωρείται κατάλληλος για τη χρήση στούντιο ήχου.

5. Σύμφωνα με την προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου ακουστότητας θορύβου, καμπύλη AES. (σχεδιάγραμμα 3.11.α, σελ 148)



AES προδιαγραφές

Συγκρίνοντας το μέσο όρο των μετρήσεων 1,2 του control room του studio2, με την προτεινόμενη καμπύλη AES προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα.



Σχεδιάγραμμα 6.7.2. Σύγκριση του μέσου όρου στάθμης πίεσης (μετρήσεις 1,2) του control room , κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με τις προδιαγραφές που θέτει ο AES, την προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου ακουστότητας θορύβου.

Όπως ήταν αναμενόμενο, λόγω της αυστηρότητας των προδιαγραφών του οργανισμού AES για τους χώρους ηχογράφησης, ο υπό μελέτη χώρος ξεπερνάει κατά πολύ την προτεινόμενη καμπύλη AES. Ο χώρος του control room κρίνεται ακατάλληλος για ηχογραφήσεις, βάσει των προδιαγραφών AES. Οι ακουστικές και κατασκευαστικές επεμβάσεις στον χώρο είναι απαραίτητες.

6.2.11. Κοστολογήσεις

Control room

Σύμφωνα με την εταιρία Knauf η επένδυση τριπλής γυψοσανίδας 12,5mm σε μονό μεταλλικό σκελετό, με πετροβάμβακα πάχους 50mm και πυκνότητας 50 kg/m³ κοστίζει : 69 € το m² με το Φ.Π.Α και τα εργατικά.

Άρα για τους τοίχους Α, Γ, Δ που είναι επένδυση τριπλής γυψοσανίδας και έχουν επιφάνεια συνολικά: 23m² το κόστος τους είναι:
 $X = 23 * 69 = \mathbf{1587€}$.

Οι επενδύσεις «ηχοπαγίδες» στους τοίχους Γ και Δ, η οποίες είναι κόντρα πλακέ πετροβάμβακας και έχουν εμβαδόν και οι δύο 11m² :

Θεωρώντας το κόντρα πλακέ ως MDF από τον πίνακα ΑΤΟΕ έχει τιμή 2€ το m². Άρα για τα 11m² θα είναι **22 €**.

Για τον τοίχο Δ1, που είναι μονός σκελετός με γυψοσανίδα 12,5mm και πετροβάμβακα πυκνότητας 50 kg/m³ και πάχος 50mm το κοστολόγιο βάσει την εταιρία Κnauf είναι:

29 € το m² με το Φ.Π.Α και τα εργατικά.

Άρα για τα 7m² που είναι ο τοίχος Δ1 το κόστος είναι **203 €**.

Το κόστος του τοίχου Β, ο οποίος είναι μονός σκελετός πάχους 75mm με διπλή και τριπλή στρώση γυψοσανίδας 12,5 mm έκαστος και πετροβάμβακα πυκνότητας 50 kg/m³ πάχους 50mm, σύμφωνα με την εταιρία Κnauf είναι 110 € το m² με το Φ. Π. Α και τα εργατικά.

Άρα για 15m² το κόστος είναι 15*110 = **1.650 m²**.

Το πάτωμα έχει εμβαδόν 14m² και αποτελείται από διπλή στρώση κόντρα πλακέ και μία στρώση ξύλου θαλάσσης. Στο διάκενο έχει τοποθετηθεί και πετροβάμβακας. Θεωρώντας ότι το κόντρα πλακέ ως MDF, από τον πίνακα ΑΤΟΕ κοστολογείται στα 2€ το m² θεωρώντας το ξύλο θαλάσσης να κοστίζει περίπου 10€ το m² (κωδικός 246 από τον ΑΤΟΕ), συνολικά το m² του πατώματος θα είναι 14€.

Άρα για τα 14 m² το κόστος θα είναι **196€**.

Η οροφή κοστολογείται από την εταιρία Κnauf στα 18€ το m².

Άρα για 14m² θα είναι : **250 €**.

Ο πετροβάμβακας που βρίσκεται στους τοίχους Γ, Δ (στην κατασκευή ηχοπαγίδας) καλύπτει εμβαδόν περίπου 9m² (δεν καλύπτει όλον τον τοίχο).

Ο πετροβάμβακας που βρίσκεται στο δάπεδο καλύπτει 14 m².

Ο πετροβάμβακας που βρίσκεται κολλημένος στην αρχική τοιχοποιία πίσω από τον τοίχο Α καλύπτει εμβαδόν 11m² και αποτελείται από 3 στρώσεις περίπου. Άρα καλύπτει εμβαδόν 33m².

Ο πετροβάμβακας που βρίσκεται κολλημένος στην αρχική τοιχοποιία πίσω από τον τοίχο Γ καλύπτει εμβαδόν 5m².

Συνολικά πρέπει να κοστολογηθεί ο πετροβάμβακας πάχους 50mm και πυκνότητας 50 kg/m³ που καλύπτει εμβαδόν 61 m².

Από την εταιρία ALTO ο πέτροβάμβακας πάχους 50mm και πυκνότητα 50Kg/m³ κοστίζει 5€ το m².

Άρα το κόστος του πετροβάμβακα για όλη την επιφάνεια είναι **305€**.

Η πόρτα κοστολογείται γύρω στα **500€**.

Recording room

Για τους τοίχους Θ, Ι, Ζ οι οποίοι είναι επένδυση στη φέρουσα τοιχοποιία με τριπλή γυψοσανίδα, σύμφωνα με την εταιρία Κnauf η επένδυση, τριπλής γυψοσανίδας 12,5mm σε μονό μεταλλικό σκελετό, με πετροβάμβακα πάχους 50mm και πυκνότητας 50 kg/m³, κοστίζει : 69 € το m² με το Φ.Π.Α και τα εργατικά.

Ο τοίχος Θ έχει επιφάνεια : 9m²

Ο τοίχος Ι έχει επιφάνεια : 10m²

Ο τοίχος Ζ έχει επιφάνεια: 7m².

Για το συνολικό εμβαδόν των τριών τοίχων, δηλαδή 26m² το κόστος είναι :

1794 €.

Ο τοίχος Η είναι επένδυση της αρχικής τοιχοποιίας με διπλή γυψοσανίδα και πετροβάμβακα $50\text{kg}/\text{m}^3$ πάχους 50 διαφορετικών στρώσεων. Για μία στρώση πετροβάμβακα η εταιρία Knauf κοστολογεί την επένδυση 60€ το m^2 . Με το Φ.Π.Α και τα εργατικά.

Για την επιφάνεια του τοίχου Η, 21m^2 το κόστος είναι : **1260 m²**.

Ο Τοίχος Ε έχει επιφάνεια 8m^2 και αποτελείται από μονό σκελετό με διπλή και τριπλή στρώση πετροβάμβακα. Σύμφωνα με την εταιρία Knauf μία τέτοια τοιχοποιία κοστίζει 135 € με το Φ.Π.Α και τα εργατικά. Άρα ο τοίχος Ε κοστίζει:

1080 €.

Το πάτωμα καλύπτει επιφάνεια 26m^2 . Αποτελείται από ξύλινο σκελετό , πετροβάμβακα και ραμποτέ στρώση ξύλου.

Από τον πίνακα ΑΤΟΕ το ραμποτέ κοστίζει περίπου 10€ το m^2 . Μαζί με τον ξύλινο σκελετό ενδεικτικά κοστίζει 15€ το m^2 .

Όλη η επιφάνεια του πατώματος κοστολογείται στα : **390 €.**

Το ταβάνι καλύπτει επιφάνεια 26m^2 . Σύμφωνα με την εταιρία Knauf η οροφή με διπλή γυψοσανίδα και πετροβάμβακα κοστίζει 117 € με το Φ.Π.Α και τα εργατικά.

Άρα όλη η οροφή κοστολογείται στα: **3.420 €.**

Ο πετροβάμβακας που βρίσκεται καρφωμένος πίσω από τον τοίχο Θ και δε συνυπολογίστηκε πριν καλύπτει επιφάνεια 9m^2 .

Ο πετροβάμβακας που βρίσκεται καρφωμένος πίσω από τον τοίχο Ι και δε συνυπολογίστηκε πριν καλύπτει επιφάνεια 10m^2 . Επειδή είναι τρεις στρώσεις, καλύπτει επιφάνεια 30m^2 .

Ο πετροβάμβακας της τοιχοποιίας Ζ, η δεύτερη στρώση, καλύπτει επιφάνεια 7m^2 .

Ο πετροβάμβακας του τοίχου Η, η δεύτερη και τρίτη στρώση, καλύπτει επιφάνεια $2 \cdot 21 = 42\text{m}^2$.

Ο πετροβάμβακας του πατώματος καλύπτει επιφάνεια 26m^2 .

Συνολικά ο πετροβάμβακας καλύπτει 114m^2 .

Από την εταιρία ALTO ο πέτροβάμβακας πάχους 50mm και πυκνότητα $50\text{Kg}/\text{m}^3$ κοστίζει 5€ το m^2 .

Άρα το κόστος του πετροβάμβακα για όλη την επιφάνεια είναι **570 €.**

Η πόρτα κοστολογείται γύρω στα **500 €.**

Ενδεικτικό κόστος κατασκευής: 14.200 €

6.2.12. Παρατηρήσεις - διορθώσεις.

Παρατηρήσεις

Συνοψίζοντας όλες τις παρατηρήσεις καταλήγουμε στα εξής:

- Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων του θορύβου βάθους του control room, προέκυψε το συμπέρασμα ότι η στάθμη θορύβου βάθους του control room είναι ψηλή. Τα αποτελέσματα αυτά αποδίδονται :

- i) στην ελλιπή ηχομονωτική ικανότητα των τοίχων Β και Δ συνυπολογίζοντας και το γεγονός ότι είναι διαχωριστικοί τοίχοι μεταξύ του control και του recording room.
- ii) κυρίως στην ψευδοροφή, μέσω της οποίας ο θόρυβος μεταδίδεται αρκετά εύκολα και από εξωτερικούς και από εσωτερικούς θορύβους του control room.

Το εξωτερικό μέρος του ταβανιού βρίσκεται στον πρώτο όροφο, ο οποίος έρχεται σε σύζευξη με το ισόγειο μέσω εσωτερικής σκάλας.

iii) στη σφράγιση και το σχεδιασμό της πόρτας.

- Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τις στάθμες πίεσης του control room και τη σύγκριση αυτών με τα κριτήρια καμπυλών NC –NR- RC, προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι στάθμες πίεσης που μετρήθηκαν στο δωμάτιο λήψης (control room) είναι ψηλές. Οι ψηλές στάθμες αποδίδονται:

i) στη μη επαρκή ηχομόνωση των τοίχων Β, Δ

iii) πιθανώς στη σφράγιση της πόρτας και την ίδια την πόρτα.

ii) στην οροφή του control room, καθώς δεν παρέχει καθόλου ηχομόνωση. Έτσι περνάει εύκολα ο θόρυβος που έχει φτάσει στον πρώτο όροφο (στερεόφερτα ή αερόφερτα) από το δωμάτιο εκπομπής (recording room). Καθώς ο πρώτος όροφο-ο όροφος πάνω από το control- είναι ο τελευταίος όροφος του κτιρίου, είναι πιθανόν η στάθμη πίεσης που φτάνει εκεί να ενισχύεται και ένα μεγάλο μέρος να επιστρέφει μέσω της ψευδοροφής στο control room.

- από τη σύγκριση των στάθμων θορύβου βάθους των καμπύλων BBC με τις στάθμες πίεσης του control room κατά τη διάρκεια όλων των μετρήσεων, προέκυψε ότι ο χώρος θεωρείται ακατάλληλος για να χρησιμοποιηθεί ως στούντιο ήχου. Οι πιθανοί λόγοι που οδήγησαν στις ψηλές στάθμες πίεσης στο control room, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, δίνονται παραπάνω.

- από τη σύγκριση των μετρήσεων με τις προδιαγραφές του κτιριοδομικού κανονισμού και τους πίνακες 3.10-3.11 προέκυψε ότι οι ηχομονωτικές ικανότητες των τοιχωμάτων του studio, πληρούν τις προδιαγραφές και δεν παρουσιάζουν ενόχληση στο διπλανό κτίριο. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο τοίχος του πρώτου ορόφου, που συνορεύει με τη διπλανή πολυκατοικία δεν έχει μελετηθεί.

- Στις μετρήσεις, παρατηρήθηκαν πειραματικά σφάλματα τα οποία σημειώθηκαν τόσο στις μετρήσεις θορύβου βάθους του control room, όσο και στις στάθμες πίεσης του control room, όταν αυτό λειτουργεί ως δωμάτιο λήψης.

Τα πειραματικά σφάλματα αποδίδονται στη λανθασμένη απόκριση του ηχόμετρου.

Το συχνοτικό εύρος όπου παρατηρήθηκαν τα σφάλματα είναι:

i) Για το θόρυβο βάθους από τα 4000 Hz και πάνω.

ii) Για τη 1^η μέτρηση της στάθμης της πίεσης του control room, όταν λειτουργεί ως δωμάτιο λήψης, από τα 2000 Hz και πάνω.

iii) Για τη 2^η μέτρηση της στάθμης της πίεσης του control room, όταν λειτουργεί ως δωμάτιο λήψης, από τα 4000 Hz και πάνω.

Λόγω του ότι το ανώτατο συχνοτικό όριο όπου γίνεται η μελέτη ως προς την ηχομόνωση είναι τα 3150 Hz, δε δόθηκε περαιτέρω βαρύτητα στα πειραματικά λάθη. Όλοι οι πειραματικοί υπολογισμοί έγιναν μέχρι τη συχνότητα των 3150Hz.

Διορθώσεις

Οι διορθώσεις που μπορεί να γίνουν στο studio έχουν ως κύριο παράγοντα το χρηματικό κόστος.

Στην παρούσα κατάσταση οι προτάσεις βελτίωσης της ηχομόνωσης αφορούν και τον κτυπογενή και τον αερόφερτο θόρυβο, καθώς το αποτέλεσμα και των δύο φέρουν ψηλές στάθμες ακουστικής πίεσης.

Στο control room :

i) Είναι επιθυμητό ένα μέρος του πατώματος του recording room, ανάλογα και με την ακουστική που επιθυμείτε να υπάρχει στον χώρο, να καλυφθεί με χαλί.

Αυτό θα φέρει αύξηση της ηχομονωτικής ικανότητας (ως προς τον κτυπογενή ήχο) του πατώματος και θα μειώσει το χρόνο αντήχησης του δωματίου.

ii) μπορούν να τοποθετηθούν κατάλληλες διατάξεις, Panel absorbers και διαχυτές ή όποια άλλη διάταξη χρειάζεται ακουστικά ο χώρος στα επιθυμητά σημεία. Με τις διατάξεις θα μειωθεί ο χρόνος αντήχησης.

Στο recording room :

i) είναι θεμιτό να τοποθετηθεί χαλί στο μεγαλύτερο μέρος του χώρου, μειώνοντας έτσι τους στερεόφερτους και αερόφερτους θορύβους. Υπάρχει χαλί μόνο κάτω από το set των drums.

ii) επιθυμητό είναι επίσης το σετ των drums να μην εφάπτονται με το δάπεδο, παρόλο που το πάτωμα του recording room διαιρείται μέσω αρμών σε τέσσερα σημεία μειώνοντας έτσι τη διάδοση στερεόφερτων ήχων. Επειδή όμως στην παρούσα κατασκευή το σετ των drums βρίσκεται μέσα σε ένα drum booth, το οποίο περικλύει το μπροστινό μέρος της drums με έναν τοίχο και έχει συγκεκριμένο ύψος, σε περίπτωση που υψωνόταν η drums θα διαπερνούσε σε ύψος τον τοίχο που κατασκευάστηκε γι αυτό το λόγο.

Η πιο απλή λύση είναι η τοποθέτηση περισσότερων στρώσεων χαλιού κάτω από τη drums.

Ενδεικτικό κόστος αλλαγών περίπου 2000 Hz.

Επιθυμητή είναι η κατασκευή οροφής του control room με υψηλές ηχομονωτικές προδιαγραφές.

Πιθανόν και οι αλλαγές της πόρτας με πόρτες υψηλότερων ηχομονωτικών προδιαγραφών.

Πρόταση σχεδιασμού του studio

Στο στάδιο αυτό παρουσιάζεται ένα πιθανό σενάριο αρχικού σχεδιασμού του studio βασισμένο στη θεωρία και βασισμένο στο σχεδιασμό του τωρινού studio.

Οι αλλαγές θα αφορούσαν μόνο το control room.

Όσον αφορά στις διαστάσεις, θα ήταν τέτοιες ώστε να καλύπτουν τους βέλτιστους λόγους μεταξύ των διαστάσεων ενός ορθογωνίου δωματίου για την ευνοϊκή κατανομή των τρόπων ταλάντωσης. Εκτός από τη σχετική βιβλιογραφία, οι διαστάσεις αυτές αναλύονται στην πτυχιακή εργασία «Ακουστική και σχεδιαστικές αρχές ηχογραφικών κέντρων».

Αρχικά θα γινόταν αλλαγή της οροφής με μία αντίστοιχη του υπάρχον ταβανιού του recording room. Δηλαδή διπλή γυψοσανίδα με πετροβάμβακα στο κενό και επένδυση άλλης μίας στρώσης διάτρητης γυψοσανίδας σε απόσταση από την αρχική.

Ο τοίχος Β θα ήταν από διπλό σκελετό 75mm με διπλή στρώση στο εσωτερικό μέρος του control και τριπλή στο εξωτερικό μέρος.

Το ίδιο και ο τοίχος Δ με όσο το δυνατόν μεγάλο κενό μεταξύ των σκελετών έτσι ώστε να αποφευχθεί ο τοίχος Δ1.

Το πάτωμα του control room θα επενδυόταν με χαλί κάποιο μέρος του.

Οι πόρτες θα ήταν ειδικές για τις απαιτήσεις του studio και στους δύο χώρους.

Ενδεικτικό κόστος υποθετικής κατασκευής: 6.500€ (το υπάρχον control room στοίχισε 4.700€).

6.3. Υπολογισμός της ηχομόνωσης του studio ηχογράφησης 3.

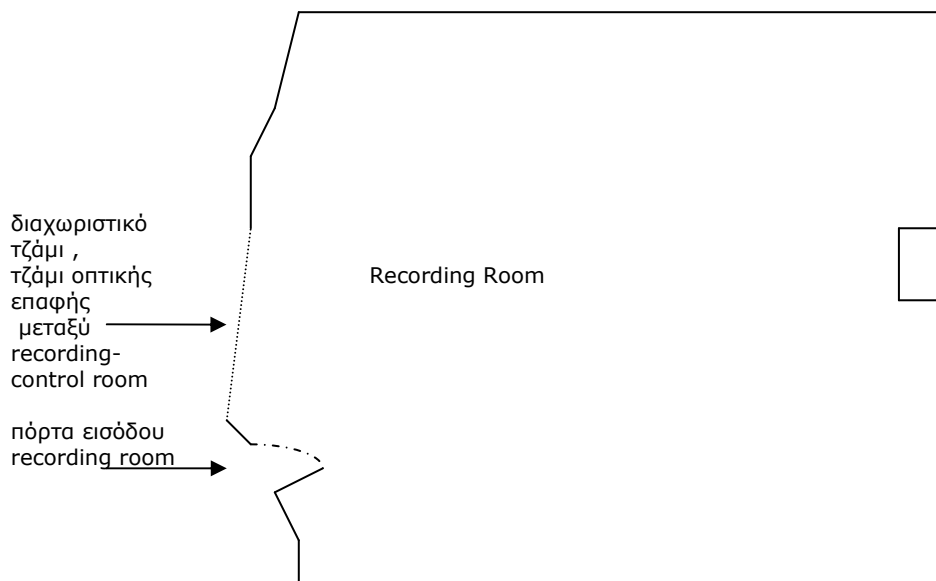
Το μέρος αυτό αποτελείται από τα εξής βήματα:

1. Περιγράφονται, με τη χρήση σκαριφήματος, οι χώροι recording και control room, του studio.
2. Περιγράφονται τα δομικά υλικά της κάθε τοιχοποιίας των δύο χώρων και υπολογίζεται η ηχομονωτική ικανότητα του κάθε τοίχου ξεχωριστά , σύμφωνα με τα κεφάλαια 2.10.2- 2.13 – 2.16.2.
3. Υπολογίζεται η οριακή συχνότητα του κάθε τοίχου ξεχωριστά.
4. Δίνονται οι μετρήσεις του θορύβου βάθους του control room.
5. Περιγράφεται η διαδικασία μέτρησης του χρόνου αντήχησης του control room.
6. Υπολογίζεται ο χρόνος αντήχησης του control room.
7. Περιγράφεται η διαδικασία μετρήσεων της ηχομόνωσης του studio.
8. Συγκρίνονται οι πειραματικές τιμές στάθμης πίεσης του control room Με το θόρυβο βάθους.
9. Υπολογίζεται η ηχομόνωση του αερόφερτου ήχου από το recording στο control room βάσει των μετρήσεων.
10. Προσδιορίζονται οι προδιαγραφές που θα έπρεπε να ακολουθηθούν.
11. Γίνεται κοστολόγηση των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν.
12. Παρατηρήσεις και προτάσεις βελτίωσης.

6.3.1. Περιγραφή του studio “Πολυφωνική”.

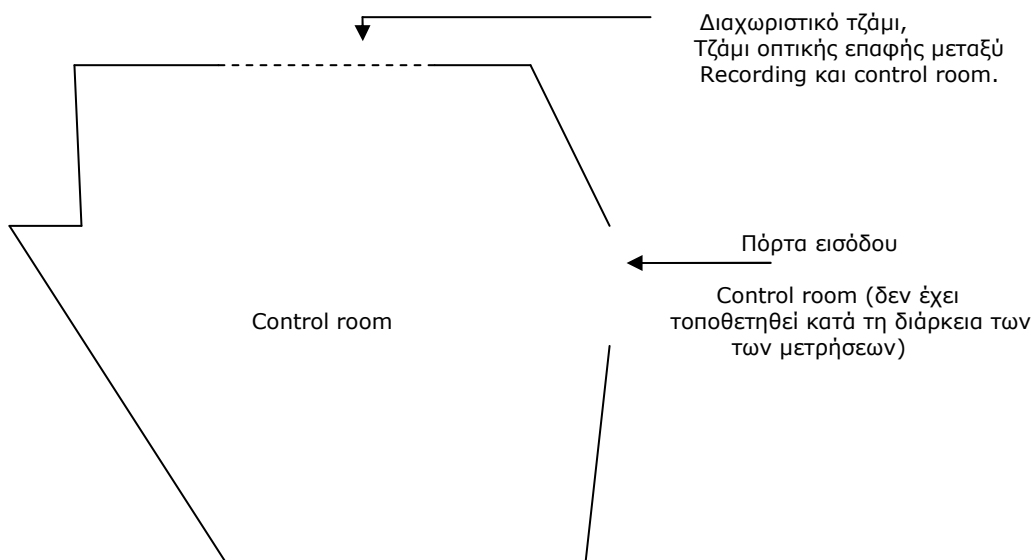
“Πολυφωνική” studio 24/10/09

Κάτοψη του recording room:



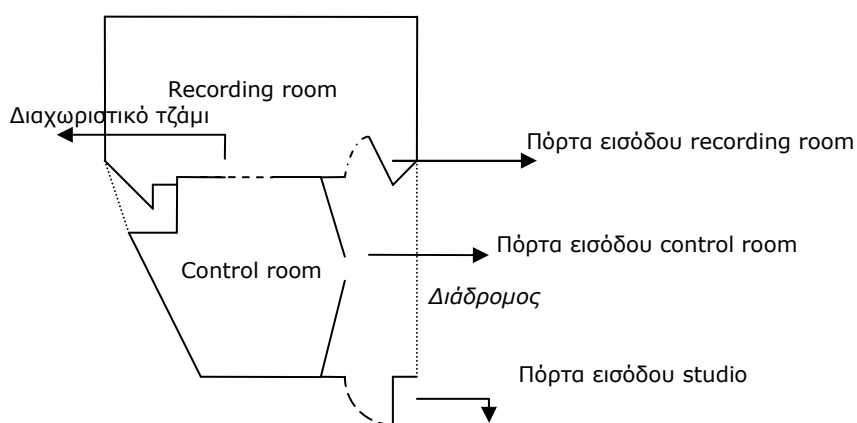
Σχήμα 6.8 Κάτοψη του recording room του studio 3 (Πολυφωνική)

Κάτοψη control room :



Σχήμα 6.9 Κάτοψη του control room του studio 3 (Πολυφωνική)

Κάτοψη του studio :



Σχήμα 6.10 Κάτοψη του studio 3 (Πολυφωνική)

Το studio "πολυφωνική" βρίσκεται στο υπόγειο ενός εμπορικού κέντρου. Τα μέρη τα οποία συνορεύουν με άλλα εμπορικά μαγαζιά είναι:
 ι) Ο δεξιά τοίχος (κοιτώντας την κάτοψη) είναι μεσοτοιχία με ένα μαγαζί.

ii) Μέρος του ταβανιού του recording room συνορεύει με ένα άλλο μαγαζί.

Σημείωση: Σε κανένα τοίχο του control και του recording room δεν εμφανίζεται παραλληλία.



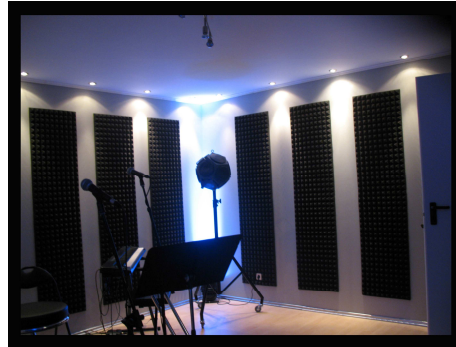
Εικόνα 6.13 Recording room



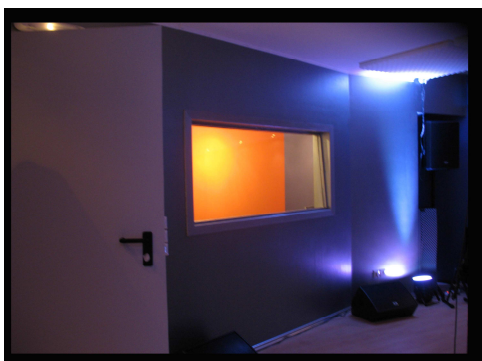
Εικόνα 6.14 Recording room



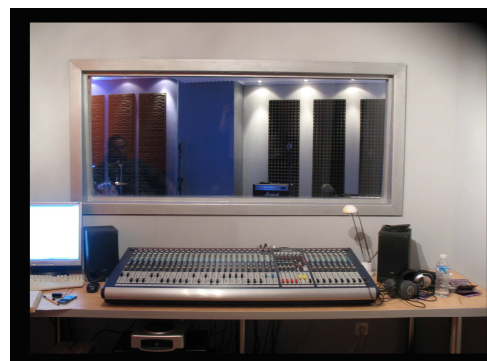
Εικόνα 6.15 Recording room



Εικόνα 6.16 Recording room



Εικόνα 6.17 Recording room

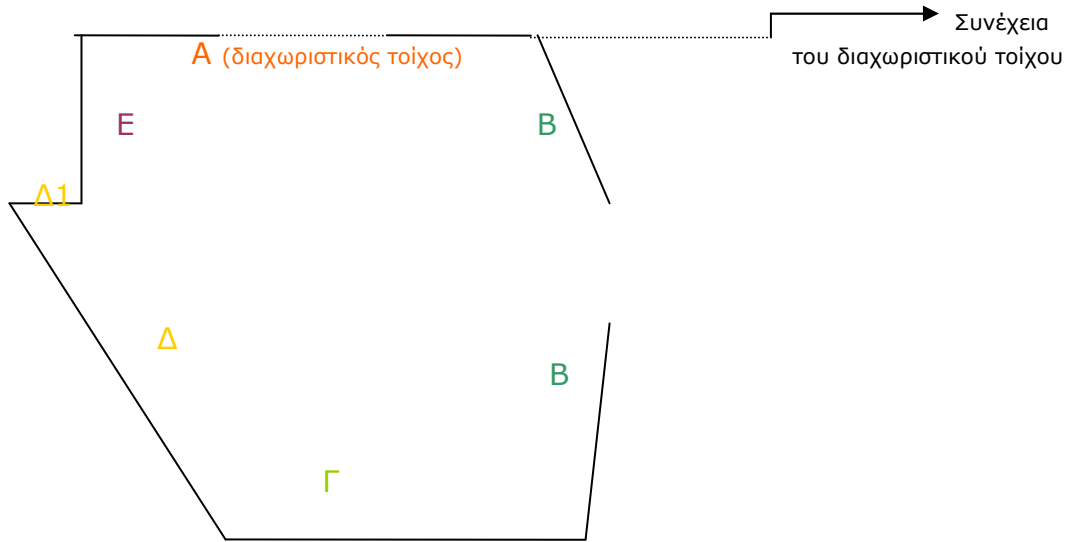


Εικόνα 6.18 control room

6.3.2. Περιγραφή των δομικών υλικών της κάθε τοιχοποιίας του χώρου control και recording room και υπολογισμός της ηχομονωτική ικανότητα του κάθε τοίχου ξεχωριστά βάσει των κεφαλαίων 2.10.2- 2.13 – 2.16.2.

Control room

Στο control room , ο τοίχος B είναι ακόμα υπό κατασκευή. Δεν έχει τοποθετηθεί η πόρτα εισόδου. Οι τιμές του δείκτη ηχομείωσης δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα, καθώς δεν μπορεί να υπολογιστεί ο δείκτης ηχομείωσης λόγω του κενού μέρους της πόρτας.



Σχήμα 6.11 Αρίθμηση των τοίχων του control room.

Τοίχος A (Διαχωριστικός τοίχος)*:

Η τοιχοποιία A είναι σύνθετη τοιχοποιία. Αποτελείται από διπλό μεταλλικό σκελετό με διπλή γυψοσανίδα και το διαχωριστικό τζάμι επαφής μεταξύ recording και control room.

Η τοιχοποιία A αποτελείται από:

- σοβά
- μεταλλικός σκελετός
- διπλή γυψοσανίδα (2,5 cm)
- πετροβάμβακα (50kg/m^3)
- κενό (5cm)
- μεταλλικός σκελετός
- διπλή γυψοσανίδα
- σοβάς.

Συνολικό πάχος τοιχοποιία 17cm

Το τζάμι αποτελείται από:

- τζάμι πάχους 5mm
- κενό αέρα (5mm)
- τζάμι πάχους 5mm

το τζάμι έχει διαστάσεις 1,78m πλάτος και 0,70m ύψος.

Συνολικό πάχος παραθύρου, με το διάκενο 4cm

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w της τοιχοποιίας χωρίς τον υπολογισμό του διαχωριστικού τζαμιού είναι :

* Γίνονται δυο υποθέσεις όσο αφορά στον διαχωριστικό τοίχο A. Οι υποθέσεις αναλύονται στην περιγραφή του recording room.

- Σύμφωνα με τη σχέση 2.68 ή τη χρήση του λογισμικού αρχείου " υπολογισμός R'_w και R'_{ges} , sheet 1, μέρος 1β.":

$$R'_w = 29 \text{ dB.}$$

- Σύμφωνα με την εταιρία Knauf είναι: $R_w \approx 62 \text{ dB}$. (με τη διόρθωση του κτιριοδομικού κανονισμού και πέρνωντας τη , πίνακας 4 $R'_w = 56 \text{ dB}$).

- Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (πίνακας A.5. παράρτημα A) : $R_w = 58 \text{ dB}$. Με τη διόρθωση του πίνακα 4 του κτιριοδομικού κανονισμού γίνεται: $R'_w = 52 \text{ dB}$. Συνυπολογίζοντας τα δεδομένα θεωρείται ότι ο $R'_w = 54 \text{ dB}$.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w του τζαμιού είναι:

- Βάσει της σχέσης 2.72β ή τη χρήση του λογισμικού φύλλου "Υπολογισμός σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης R'_w για παράθυρα μονά και διπλά ", προκύπτει $R'_w = 28 \text{ dB}$.

- Βάσει της βιβλιογραφίας $R_w = 35-34 \text{ dB}$.

Θεωρείται ότι ο σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης είναι

$$R'_w = 29 \text{ dB.}$$

Ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης της τοιχοποιίας R'_w είναι:

- Βάσει του τύπου 2.75α ή της χρήσης του λογισμικού " υπολογισμός R'_w και R_{ges} -sheet 2 (1^{ος} τρόπος)": $R'_w = 42 \text{ dB}$.

- Βάσει του πίνακα 2.14^a, $R_w \approx 44 \text{ dB}$ και με τη διόρθωση του πίνακα 4 του κτιριοδομικού κανονισμού $R'_w = 42 \text{ dB}$.

- Βάσει της σχέσης 2.76 ή της χρήσης του λογισμικού " υπολογισμός R'_w και R_{ges} -sheet 2 (2^{ος} τρόπος)": προκύπτει $R_{ges} = 42,5$. Με τη διόρθωση του πίνακα 4 του κτιριοδομικού κανονισμού γίνεται $R'_w = 40 \text{ dB}$.

Συνυπολογίζοντας τα δεδομένα θεωρείται ότι ο σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης είναι

$$R'_w = 42 \text{ dB.}$$

Τοίχος Β

Ο τοίχος Β είναι σύνθετη τοιχοποιία καθώς περιέχει πόρτα. Τη στιγμή των μετρήσεων, η πόρτα δεν είχε τοποθετηθεί. Το γεγονός αυτό είναι κατασταλτικό ώστε να υπολογιστεί βάσει των τύπων της θεωρίας ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης της πόρτας. Γίνεται μόνο μια υπόθεση του δείκτη ηχομείωσης της τοιχοποιίας Β, αν προστεθεί πόρτα ίδιας ηχομονωτικής ικανότητας με την πόρτα του recording room.

Ο τοίχος Β αποτελείται από:

-σοβά

-μονό μεταλλικό σκελετό

-πετροβάμβακα (50 kg/m^3)

-διπλή στρώση γυψοσανίδας (και στις δύο πλευρές)

-σοβάς.

Συνολικό πάχος της τοιχοποιίας 10cm .

Το εμβαδόν του τοίχου Β είναι $8,21 \text{ m}^2$.

Το εμβαδόν του ανοίγματος(πόρτα) $1,8 \text{ m}^2$.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w του τοίχου Β είναι:

- Βάσει της εταιρίας Knauf $R_w = 51 \text{ dB}$. Με τη διόρθωση του πίνακα 4 του κτιριοδομικού κανονισμού είναι $R'_w = 48 \text{ dB}$.

- βάσει της βιβλιογραφίας $R_w = 48$ dB. Με τη διόρθωση του πίνακα 4 του κτιριοδομικού κανονισμού είναι $R'_w = 46$ dB.

Θεωρείται ότι ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w του τοίχου B είναι $R'_w = 45$ dB.

Υπόθεση:

1^η (δυσμενέστερη κατάσταση ηχομονωτικά)

Αν στον τοίχο B τοποθετηθεί πόρτα με $R_w = 26$ dB (και θεωρήσουμε $R_w = 48$ dB) ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης της τοιχοποιίας θα είναι

- βάσει του πίνακα 2.14α ο $R_w = 33$ dB.

- βάσει της σχέσης 2.76 ή το λογισμικό φύλλο «υπολογισμός R'_w και R_{ges} -sheet2, 2^{ος} τρόπος»: $R_w = 33$ dB.

2^η (μέτρια κατάσταση ηχομονωτικά)

Αν στον τοίχο B τοποθετηθεί πόρτα με $R_w = 35$ dB (και θεωρήσουμε $R_w = 48$ dB) ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης της τοιχοποιίας θα είναι

- βάσει του πίνακα 2.14α ο $R_w = 41$ dB.

- βάσει της σχέσης 2.76 ή το λογισμικό φύλλο «υπολογισμός R'_w και R_{ges} -sheet2, 2^{ος} τρόπος»: $R_w = 41$ dB.

Με τη διόρθωση του κτιριοδομικού κανονισμού γίνεται $R'_w = 41$ dB.

3^η (καλή προς μέτρια κατάσταση ηχομονωτικά)

Αν στον τοίχο B τοποθετηθεί πόρτα με $R_w = 59$ dB (και θεωρήσουμε $R_w = 48$ dB) ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης της τοιχοποιίας θα είναι

- βάσει της σχέσης 2.76 ή το λογισμικό φύλλο «υπολογισμός R'_w και R_{ges} -sheet2, 2^{ος} τρόπος»: $R_w = 49$ dB.

Με τη διόρθωση του κτιριοδομικού κανονισμού γίνεται $R'_w = 46$ dB

Τοίχος Γ, Δ

Ο τοίχος Γ και Δ αποτελείται από:

- αρχική τοιχοποιία
- κενό
- μεταλλικός σκελετός
- πετροβάμβακας
- διπλή γυψοσανίδα.

Η αρχική τοιχοποιία είναι τζάμι πάχους 1.5 cm

Συνολικό πάχος τοιχοποιίας : 7cm.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w της αρχικής τοιχοποιίας είναι:

- βάσει του τύπου 2.44 και τη χρήση του λογισμικού φύλλου υπολογισμός "R'_w και R_{ges} , sheet 1, μέρος 1α.":

$$R'_w = 33 \text{ dB.}$$

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w της τοιχοποιίας Γ, Δ, αντίστοιχα είναι:

- βάσει του πίνακα 2.23 και συγκρίνοντας και με τις τιμές βελτίωσης του πίνακα 2.24 η επένδυση θα προκαλέσει αύξηση του δείκτη ηχομείωσης κατά $\Delta R_w = 15$.

Άρα, $R'_w = R'_w + \Delta R = 33 + 15 = 48$ dB.

(η τιμή των 48 dB θεωρείται και η μέγιστη τιμή που μπορεί να έχει η τοιχοποιία Γ, Δ)

Τοίχος Ε

Ο τοίχος Ε, καταλαμβάνει μικρή επιφάνεια σε σχέση με τους υπόλοιπους τοίχους του control room. Η αρχική τοιχοποιία είναι η κολώνα του κτιρίου.

Παρόλα αυτά αναφέρεται ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης του.

Οι τοίχος Ε αποτελείται από:

- σοβά
- διπλή γυψοσανίδα (2,5 cm)
- μονός μεταλικός σκελετός με πετροβάμβακα (50kg/m^3)
- κενό (2cm)
- αρχική τοιχοποιία

Η αρχική τοιχοποιία είναι από μπετόν 20 cm.

Το συνολικό πάχος της τοιχοποιίας είναι: 25,5 cm.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης της αρχικής τοιχοποιίας είναι:

- Βάσει του τύπου 2.44 ή της χρήσης του λογισμικού φύλλου 'υπολογισμός R'_w και R_{ges} -sheet 1 (1.a) ο R'_w είναι : $R'_w = 55 \text{ dB}$.

Η επένδυση από γυψοσανίδα θα επιφέρει μία αύξηση του δείκτη ηχομείωσης της αρχικής τοιχοποιίας βάσει του πίνακα 2.23 και 2.24 της τάξης των 8 dB.

Άρα,

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης της τοιχοποιίας Ε είναι:

$$R'_w = R'_w + \Delta R = 55 + 8 = 63 \text{ dB}$$

Ταβάνι

Το Ταβάνι του control room, είναι το ίδιο με το ταβάνι του recording room.

Αποτελείται από:

- τη φέρουσα πλάκα οροφής, 20cm, (ταβάνι με νευρώσεις/ ενισχύσεις) με κολλημένη μία στρώση πετροβάμβακα (50kg/m^3)
- κενό 20 cm
- αντικραδασμικά
- σκελετός
- πετροβάμβακας 50kg/m^3 1στρώση
- διπλή γυψοσανίδα.

Το συνολικό πάχος του ταβανιού είναι περίπου 38 cm.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w του ταβανιού χωρίς την επένδυση είναι :

- Βάσει του πίνακα 2.22, $R'_w = 48\text{dB}$. (που είναι μικρή τιμή για πλάκα οροφής πάχους 15-20 cm)

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R'_w του ταβανιού με την επένδυση είναι:

- Βάσει του τεχνικού φυλλαδίου της Knauf D11 για τις οροφές:

$R_{L,w,R} = 57-63 \text{ dB}$ ανάλογα με σκελετό και τη γυψοσανίδα.

Αν στο δείκτη ηχομείωσης του ταβανιού προσθέταμε την βελτίωση που προσφέρουν οι δύο γυψοσανίδες, δηλαδή

$R'_w = R'_w + \Delta R$, θα προέκυπτε ότι

$$R'_w = 48 + 15 \approx 63 \text{ dB}.$$

Συνυπολογίζοντας όλα τα δεδομένα θεωρείται ότι ο R'_w του ταβανιού με την επένδυση είναι:

$$R'_w = 63 \text{ dB.}$$

Η εκτιμήσιμη πρότυπη στάθμη κτυπογενή ήχου για την οροφή με την επένδυση είναι:

Βάσει του πίνακα 2.22 και 2.21 και της εξίσωσης 2.84 είναι:

$$L_{nw} = 76$$

$$\Delta L_w = 34$$

$$L'_{nw} = 76 - 34$$

$$L'_{nw} = 42 \text{ dB.}$$

Πάτωμα

Στο πάτωμα του control room, δεν έχουν ληφθεί ιδιαίτερα μέτρα προστασίας ως προς τον κτυπογενή θόρυβο και τον αερόφερτο. Η ίδια επίστρωση του δαπέδου έχει γίνει και στο recording room.

Αποτελείται από:

- την αρχική τοιχοποιία (μπετόν 15cm)
- μάρμαρο
- αντικραδασμικό φύλλο 2mm
- μία στρώση dow
- δύο στρώσεις MDF (2cm)
- στρώση ξύλου απλού.

Συνολικό πάχος πατώματος 20cm.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης του δαπέδου:

- Βάσει της βιβλιογραφίας υπολογίζεται ότι η αρχική τοιχοποιία μπετόν με μάρμαρο έχει φαινόμενο σταθμισμένο δείκτη ηχομείωσης $R'_w = 55 \text{ dB}$.

Με την επένδυση υπολογίζεται ότι ο φαινόμενος σταθμισμένο δείκτη ηχομείωσης $R'_w = 56 \text{ dB}$.

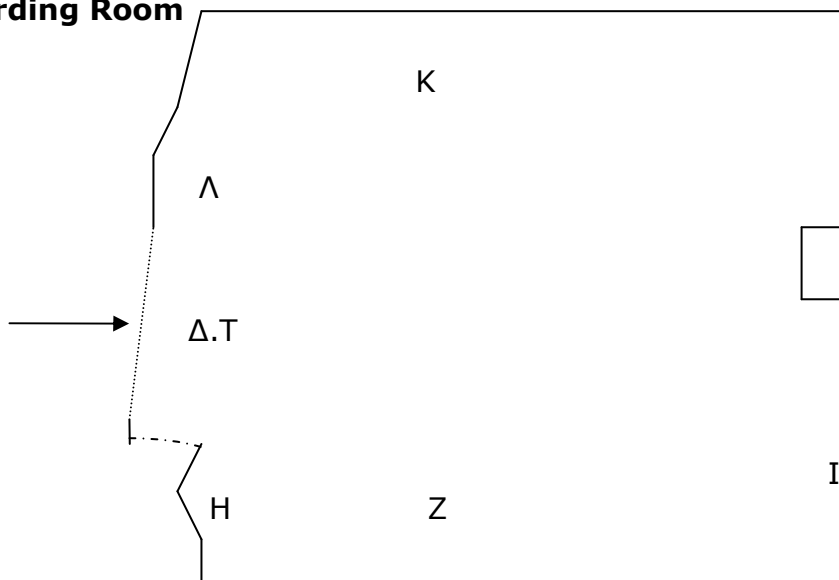
Η κανονικοποιημένη στάθμη κτυπογενή ήχου του δαπέδου:

- Βάσει τον πινάκων 2.21 και 2.22 η εκτιμήσιμη πρότυπη στάθμη κτυπογενή ήχου είναι:

$$L'_{nw} = 74 - \Delta L_w = 74 - 24$$

$$L'_{nw} = 50 \text{ dB.}$$

Recording Room



Σχήμα 6.12 Ονομασία των τοίχων του recording room

Στο recording room θα γίνουν δύο υποθέσεις όπου αφορούν το διαχωριστικό τοίχο και τον τοίχο Η.

Ο διαχωριστικός τοίχος Α μεταξύ του recording και του control room συνεχίζεται ως τοίχος Η. Ο τοίχος Η είναι ο διαχωριστικός τοίχος μεταξύ του recording room και του διαδρόμου.

Η τοιχοποιία θα θεωρηθεί:

-ως μία σύνθετη ή

-ως δύο σύνθετες.

Εξετάζονται και οι δύο περιπτώσεις.

1^η υπόθεση:

Ο διαχωριστικός τοίχος Α και ο τοίχος Η, εξετάζονται ως δύο τοιχοποιίες.

Στην περίπτωση αυτή, ο τοίχος Α όπως έχει υπολογιστεί προηγουμένως έχει $R'_w = 42$ dB.

Τοίχος Η

ο τοίχος Η είναι σύνθετη τοιχοποιία γιατί συμπεριλαμβάνεται η πόρτα εισόδου του recording room.

Η πόρτα έχει διαστάσεις 2,15m ύψος και 1m πλάτος.

Ο τοίχος Η είναι ίδιος με το διαχωριστικό τοίχο.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης της τοιχοποιίας Η χωρίς το συνυπολογισμό της πόρτας είναι $R'_w = 50$ dB.

Η πόρτα

Δεν έχει ληφθεί κάποιο μέτρο έτσι ώστε η πόρτα να έχει ηχομονωτικές ικανότητες. Τα μέτρα που λήφθηκαν αφορούσαν μόνο την πυραντίσταση της πόρτας. Με τα δεδομένα αυτά υπολογίζεται ότι η πόρτα έχει φαινόμενο σταθμισμένο δείκτη ηχομείωσης $R_w \approx 26$ dB.

Ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης της τοιχοποιίας Η είναι:

-βάσει της εξίσωσης 2.75α ή τη χρήση του λογισμικού φύλλου 'Υπολογισμός του R'_w και R_{ges} -sheet2, 1^{ος} τρόπος', $R_{ges} = 28$ dB.

- βάσει της σχέσης 2.76 ή το λογισμικό φύλλο «υπολογισμός R'_w και R_{ges} -sheet2, 2^{ος} τρόπος » $R_{ges} = 28$ dB.

Άρα ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης είναι $R_{ges} = 28$ dB.

2^η υπόθεση:

Ο διαχωριστικός τοίχος Α και Η είναι μία σύνθετη τοιχοποιία. Αποτελείται από τον τοίχο, την πόρτα και το διαχωριστικό κρύσταλλο.

Ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης της τοιχοποιίας (Α, Η) είναι:

τα δεδομένα είναι

$$S_{\text{πόρτας}} = 2 \text{ m}^2, R_{w\text{πόρτας}} = 26\text{dB}$$

$$S_{\text{κρύσταλλου}} = 1,2 \text{ m}^2, R_{w, \text{κρύσταλλου}} = 30\text{dB}$$

$$S_{\text{τοιχίου}} = 6,5 \text{ m}^2, R_{w, \text{τοιχίου}} = 52 \text{ dB}.$$

- βάσει σχέσης 2.76 ή το λογισμικό φύλλο «υπολογισμός R'_w και R_{ges} -sheet2, 2^{ος} τρόπος », προκύπτει ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης, $R_{ges} = 32$ dB.

Τοίχος Κ, Ι, Λ

Οι τοίχος Κ, Ι αποτελούνται από:

- σοβά
- διπλή γυψοσανίδα (2,5 cm)
- μονός μεταλλικός σκελετός με πετροβάμβακα (50kg/m^3)
- κενό (2cm)
- αρχική τοιχοποιία

Η αρχική τοιχοποιία είναι από μπετόν 20 cm.

Το συνολικό πάχος της τοιχοποιίας είναι: 25,5 cm.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης της αρχικής τοιχοποιίας είναι:

- Βάσει του τύπου 2.44 ή της χρήσης του λογισμικού φύλλου 'υπολογισμός R'_w και R_{ges} '-sheet 1 (1.a) ο R'_w είναι : $R'_w = 55 \text{ dB}$.

Η επένδυση από γυψοσανίδα θα επιφέρει μία αύξηση του δείκτη ηχομείωσης της αρχικής τοιχοποιίας βάσει του πίνακα 2.23 και 2.24 της τάξης των 8 dB.

Άρα,

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης της τοιχοποιίας Κ, Ι και Λ είναι:

$$R'_w = R'_w + \Delta R = 55 + 8 = 63 \text{ dB}.$$

Τοίχος Ζ

Ο τοίχος Ζ αποτελείται από :

- σοβά
- διπλή γυψοσανίδα
- μονό μεταλλικό σκελετό με πετροβάμβακα (πάχους 5cm και πυκνότητα 50kg/m^3)
- κενό (5cm)
- αρχική τοιχοποιία.

Η αρχική τοιχοποιία αποτελείται από alfa block. Θεωρείται ότι το πάχος του alfa block είναι 15cm.

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης της αρχικής τοιχοποιίας είναι:

- βάσει μιας αντιπροσωπευτικής εταιρίας (του Y-tong) είναι $R_w = 35-38 \text{ dB}$, με τη διόρθωση του πίνακα 4 του κτιριοδομικού κανονισμού γίνεται $R'_w = 35-38 \text{ dB}$.

- βάσει της χρήσης του λογισμικού φύλλου "υπολογισμός R'_w και R_{ges} '-sheet 1 (1.a)" ή της εξίσωσης 2.44, $R'_w = 31 \text{ dB}$.

Θεωρώντας ότι ο R'_w της αρχικής τοιχοποιίας είναι 31 dB, η επένδυση της γυψοσανίδας θα επιφέρει αύξηση του δείκτη ηχομείωσης κατά 15 dB (πίνακα 2.23 και 2.24).

Άρα ,

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης της τοιχοποιίας Ζ είναι:

$$R'_w = R'_w + \Delta R = 31 + 15 = 46 \text{ dB}.$$

Ταβάνι

Το ταβάνι είναι το ίδιο με το ταβάνι του control room.

Όπως υπολογίστηκαν πριν:

-Ο R'_w του ταβανιού με την επένδυση είναι:

$$R'_w = 63 \text{ dB}.$$

- Η εκτιμήσιμη πρότυπη στάθμη κτυπογενή ήχου είναι
 $L'_{nw} = 42 \text{ dB}$.

Πάτωμα

Η επίστρωση του πατώματος είναι η ίδια με την επίστρωση στο control room. Στο πάτωμα του recording room, δεν έχουν ληφθεί ιδιαίτερα μέτρα προστασίας ως προς τον κτυπογενή θόρυβο και τον αερόφερτο.

Όπως υπολογίστηκε πριν ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης είναι
 $R'_w = 56 \text{ dB}$. Και η εκτιμήσιμη πρότυπη στάθμη κτυπογενή είναι:
 $L'_{nw} = 50 \text{ dB}$.

Διάδρομος

Ο διάδρομος έχει όγκο 13 m^3 .

Η επένδυση που έχει γίνει αφορά το ταβάνι και τον δεξί τοίχο(κοιτώντας την κάτοψη), ο οποίος συνορεύει με διπλανό μαγαζί.

Οροφή

η επένδυση που έχει γίνει στην οροφή είναι:

- πετροβάμβακας (50 kg/m^3), πάχους 5 cm , κολλημένος στην αρχική τοιχοποιία
- κενό 5 cm
- πετροβάμβακας (50 kg/m^3) πάχους 5 cm
- δύο στρώσεις μορισανίδας.

Αναμένεται ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης να είναι περίπου $R'_w = 40 \text{ dB}$
 και η ισοδύναμη κανονικοποιημένη στάθμη κτυπογενή ήχου $L'_{nw} = 48 \text{ dB}$.

Δεξιά τοίχος (κοιτώντας την κάτοψη)

Είναι ίδιος με τον τοίχο Z του Recording room. Όπως υπολογίστηκε προηγουμένως, ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης είναι:

$$R'_w = R'_w + \Delta R = 31 + 15 = 46 \text{ dB}.$$

6.3.3. Συχνότητες συντονισμού f_R των τοιχωμάτων.

Control room

Τοίχοι Γ, Δ

Σύμφωνα με την εξίσωση 2.70γ ή τη χρήση του λογισμικού φύλλου « R'_w και R_{ges} , sheet1, μέρος 3^ο -3.3» η συχνότητα συντονισμού των τοίχων είναι:

$$F_R \approx 160 \sqrt{\frac{s'}{m'_2}} \approx 225 \sqrt{\frac{4}{37.5}} \approx 73,5 \text{ Hz}.$$

Παρατηρείται ότι η συχνότητα συντονισμού των τοίχων Γ και Δ, βρίσκεται κάτω από τα 100 Hz , γεγονός που κάνει την τοιχοποιία καλή ηχομονωτικά ως προς τη συχνότητα συντονισμού.

Τοίχος Ε

Σύμφωνα με την εξίσωση 2.70γ ή τη χρήση του λογισμικού φύλλου « R'_w και R_{ges} , sheet1, μέρος 3^ο -3.3» η συχνότητα συντονισμού των τοίχων είναι:

$$F_R \approx 160 \sqrt{\frac{s'}{m'_2}} \approx 160 \sqrt{\frac{4}{22.5}} \approx 67,5 \text{ Hz}.$$

Η συχνότητα συντονισμού της τοιχοποιίας E είναι και αυτή κάτω από τα 100Hz. Κάτω από το κατώτερο συχνοτικό όριο που εξετάζεται η ηχομόνωση κάθε τοιχοποιίας.

Τοίχος B

Η συχνότητα συντονισμού του τοίχου B εξετάζεται υποθετικά, καθώς δεν έχει ολοκληρωθεί κατασκευαστικά και λείπει η πόρτα.

Κάνοντας την υπόθεση ότι η πόρτα θα είναι η ίδια με την πόρτα του recording room ισχύει:

Ο τοίχος B έχει συχνότητα συντονισμού βάσει την εξίσωση 2.70α ή τη χρήση του λογισμικού φύλλου « R'_w και R_{ges} , sheet1, μέρος 3^ο -3.1»:

$$F_R \approx 225 \sqrt{\frac{s'}{m'_2}} \approx 225 \sqrt{\frac{4}{22.5}} \approx 94,8 \text{ Hz}$$

Η συχνότητα συντονισμού της πόρτας, θεωρώντας ότι είναι γυψοσανίδα πυραντίστασης-πετροβάμβακας γυψοσανίδα πυραντίστασης εξετάζεται με την ίδια σχέση. Άρα

$$F_R \approx 225 \sqrt{\frac{s'}{m'_2}} \approx 225 \sqrt{\frac{4}{11.25}} \approx 134 \text{ Hz.}$$

Η συχνότητα συντονισμού της πόρτας είναι κατά λίγο πάνω από το κατώτερο συχνοτικό όριο των 100 Hz όπου εξετάζεται η ηχομόνωση.

Δεν είναι όμως κοντά στην συχνότητα συντονισμού του τοίχου B και αυτό είναι θετικό γιατί δε συμπίπτουν οι δύο συχνότητες. Παρόλα αυτά η συγκεκριμένη πόρτα θα μειώσει την ηχομονωτική ικανότητα της σύνθετης τοιχοποιίας B.

Τοίχος A

Η συχνότητα συντονισμού του τοίχου A εξετάζεται στο recording room κάνοντας δύο υποθέσεις.

Recording room

Τοίχοι K, Λ, I, Z

Η συχνότητα συντονισμού των τοίχων K, Λ, I, Z εξετάζεται βάσει της ίδιας συχνότητας παρόλο που η αρχική τοιχοποιία του τοίχου Z είναι alfablock και όχι μπετόν που είναι στις υπόλοιπες.

Βάσει του τύπου εξίσωσης 2.70γ ή τη χρήση του λογισμικού φύλλου « R'_w και R_{ges} , sheet1, μέρος 3^ο -3.3» η συχνότητα συντονισμού των τοίχων είναι:

$$F_R \approx 160 \sqrt{\frac{s'}{m'_2}} \approx 160 \sqrt{\frac{4}{22.5}} \approx 67,5 \text{ Hz.}$$

Παρατηρείται πάλι ότι η συχνότητα συντονισμού βρίσκεται κάτω από το κατώτατο συχνοτικό όριο, 100 Hz, όπου μελετάτε η ηχομονωτική ικανότητα ενός τοίχου. Αυτό κάνει τους παραπάνω τοίχους να είναι καλοί ηχομονωτικά ως προς τη συχνότητα συντονισμών τους.

Διαχωριστικός Τοίχος

Η τοιχοποιία αυτή εξετάζεται με δύο υποθέσεις.

1^η υπόθεση) θεωρείται ενιαίος τοίχος με την τοιχοποιία H, η οποία περιέχει την πόρτα

2^η υπόθεση) εξετάζεται ξεχωριστά από την τοιχοποιία H

Πρώτη υπόθεση

Σύμφωνα με την πρώτη υπόθεση πρέπει να εξεταστούν και να συγκριθούν τρεις συχνότητες συντονισμού.

Της τοιχοποιίας, του κρυστάλλου (διαχωριστικό τζάμι), της πόρτας.

Η συχνότητα συντονισμού της τοιχοποιίας εξετάζεται βάσει του τύπου 2.70α ή τη χρήση του λογισμικού φύλλου « R'_w και R_{ges} , sheet1, μέρος 3^ο -3.1». Άρα,

$$F_R \approx 225 \sqrt{\frac{s'}{m'_2}} \approx 225 \sqrt{\frac{4}{22.5}} = 94.8$$

Η συχνότητα συντονισμού του κρυστάλλου βάσει της σχέσης 272.β είναι:

$$f_{Gr} = 1200 \sqrt{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_L} + \frac{1}{d_2}} \approx 1200 \sqrt{\left(\frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5}\right)} \approx 929,5 \text{ Hz.}$$

Παρατηρείται ότι η οριακή συχνότητα είναι πολύ ψηλή, γεγονός που θα επηρεάσει αρνητικά το δείκτη ηχομείωσης της τοιχοποιίας.

Από τα 1000Hz μέχρι τα 3150 Hz από την περιοχή του τζαμιού θα περνάει πιο εύκολα ο θόρυβος-ήχος.

Η συχνότητα συντονισμού της πόρτας υπολογίστηκε πριν και είναι:

$$f_R = 134 \text{ Hz.}$$

Εξετάζοντας την τοιχοποιία ως ενιαία, έχοντας δηλαδή τρεις συχνότητες συντονισμού προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο δείκτης ηχομείωσης της τοιχοποιίας επηρεάζεται αρνητικά καθώς στην επιφάνεια υπάρχουν τρεις συχνότητες συντονισμού. Το γεγονός ότι οι συχνότητες συντονισμού δε συμπίπτουν είμαι μεν θετικό, δεν εξαλείφει όμως το πρόβλημα που δημιουργείται από την ύπαρξη των τριών συντονισμών.

Δεύτερη υπόθεση

Σε αυτήν την υπόθεση, η τοιχοποιία Η εξετάζεται μεμονωμένα από τον διαχωριστικό τοίχο. Αυτό προσφέρει μία καλύτερευση στη διαχωριστική τοιχοποιία ως προς την ηχομόνωση καθώς τώρα δύο είναι οι συχνότητες συντονισμού που την περιγράφουν. Η συχνότητα συντονισμού του κρυστάλλου και η συχνότητα συντονισμού της τοιχοποιίας. Το μεγαλύτερο πρόβλημα ηχομονωτικά το προκαλεί η συχνότητα συντονισμού του κρυστάλλου καθώς βρίσκεται κοντά στα 1000Hz.

6.3.4. Θόρυβος βάθους control room

Για τον έλεγχο του θορύβου βάθους του control room, πραγματοποιήθηκε μία μέτρηση της στάθμης έντασης του δωματίου σε ζώνες τριτοκτάβας, όταν όλα τα μηχανήματα του χώρου (υπολογιστής, εξαερισμός) ήταν ανενεργά. Η στάθμη μετρήθηκε σε dB SPL.

Σημείωση:

Στο control room δεν έχει εγκατασταθεί ακόμα πόρτα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια σύζευξη των χώρων του control room και του διαδρόμου.

Ο διάδρομος έχει μικρότερο όγκο από ότι το control room.

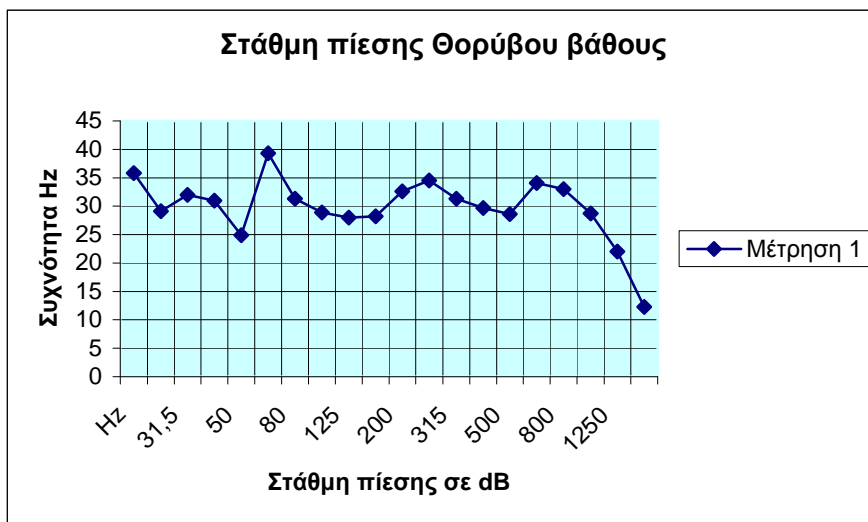
Αναμένεται ο θόρυβος βάθους να είναι πιο ψηλός από ότι θα είναι όταν εγκατασταθεί η πόρτα.

Με τις παρούσες συνθήκες, εισέρχεται στο control room πολύ πιο εύκολα ο ανεπιθύμητος θόρυβος που περνάει από την εξωτερική πόρτα του studio εισέρχεται στο διάδρομο και από κει στο control room.

Τα αποτελέσματα καταχωρούνται στον παρακάτω πίνακα.

Hz	Μέτρηση 1	dB(A) για το συχνοτικό εύρος από 25Hz-2000Hz 25,5
25	35,8	
31,5	29,1	
40	32	
50	31	
63	24,9	
80	39,3	
100	31,3	
125	28,9	
160	28	
200	28,2	
250	32,6	
315	34,5	
400	31,3	
500	29,7	
630	28,6	
800	34,1	
1000	33	
1250	28,7	
1600	22	
2000	12,3	

Πίνακας 6.18 Τιμές του θορύβου βάθους του control room.



Σχεδιάγραμμα 6.8 Διάγραμμα του θορύβου βάθους του control room.

Παρατηρήσεις:

Από τη συχνότητα 2000 Hz και πάνω τα αποτελέσματα αποδίδονται σε πειραματικό σφάλμα.

Η στάθμη θορύβου βάθους είναι αρκετά ψηλή σε όλο το φάσμα, ειδικά μέχρι τη συχνότητα 1250 Hz.

Ο μέσος όρος σε dB(A) μέχρι τη συχνότητα 2000Hz κυμαίνεται στις αναμενόμενες τιμές βάσει της βιβλιογραφίας.

Ο μέσος όρος της στάθμης πίεσης τριού θορύβου βάθους στο συχνοτικό εύρος από 25Hz -2000Hz, σε dB(A) είναι: **25,5 dB(A)**.

Ο μέσος όρος της στάθμης πίεσης τριού θορύβου βάθους στο συχνοτικό εύρος από 25Hz -2000Hz, σε dB είναι: **32,2 dB**.

Γενικά, παρατηρείται ότι ο θόρυβος βάθους του control room είναι ψηλός. Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του μέρους 3, το control room είναι σε άμεση επαφή με το διάδρομο. Το γεγονός αυτό προκαλεί αύξηση της στάθμης θορύβου καθώς διαπερνά στο control room πιο εύκολα ο θόρυβος που έρχεται από την εξωτερική μεριά του studio.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι η εξωτερική πόρτα του studio δεν έχει ιδιαίτερες ηχομονωτικές προδιαγραφές. Γεγονός που αυξάνει το θόρυβο βάθους του control room.

Ακόμα και στην περίπτωση όπου εγκατασταθεί η πόρτα, ο τοίχος B ανάλογα με την πόρτα θα έχει $R'_w = 33-46$ dB. Θα είναι ηχομονωτικά ασθενής έτσι ώστε να αποτρέψει ένα μέρος του θορύβου να εισέλθει στο control room.

Επίσης, εκτός από το γεγονός ότι δεν υπάρχει πόρτα του control room, υπολογίστηκαν ότι οι τοίχοι Γ και Δ, οι οποίοι αποτελούν τους διαχωριστικούς τοίχους με τον εξωτερικό θόρυβο, έχουν χαμηλό φαινόμενο σταθμισμένο δείκτη ηχομείωσης της τάξης των 48dB. Σε περίπτωση αρκετά αυξημένης στάθμης στον εξωτερικό χώρο, ο θόρυβος βάθους του control room ενδείκνυται να αυξηθεί και άλλο.

Σύμφωνα με τα κριτήρια BBC

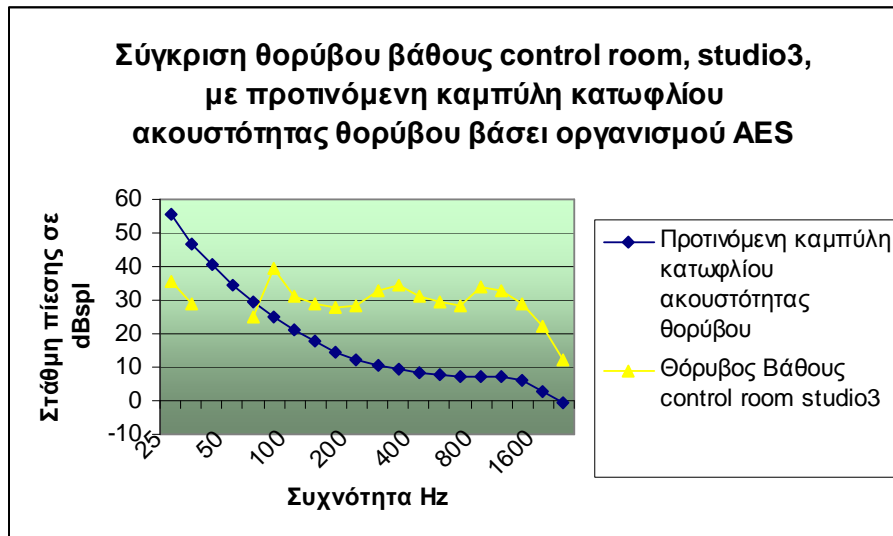
Αν και τα κριτήρια BBC αφορούν στάθμες πίεσης του θορύβου βάθους όταν τα μηχανήματα (εξαερισμός κ.τ.λ) είναι ενεργά γίνεται σύγκριση με τις μετρήσεις του παραδείγματος.

Σύμφωνα με το σχεδιάγραμμα 3.9, κριτήριο BBC, οι μετρήσεις θορύβου βάθους μέχρι τη συχνότητα 250 καλύπτονται και από τις τρεις καμπύλες BBC με εξαίρεση στην περιοχή των 1000Hz. Στα 1000Hz η μέτρηση ξεπερνάει αρκετά το κατώτερο όριο που θέτει η καμπύλη a, η οποία είναι η πιο ψηλή ως προς τη στάθμη πίεσης θορύβου βάθους.

Παρατηρείται ότι η στάθμη πίεσης του θορύβου βάθους του control room σε σύγκριση με τις καμπύλες BBC είναι ψηλή σε όλο το φάσμα μέχρι τα 2000Hz, καθότι στο control room όλες οι συσκευές ήταν ανενεργές ενώ οι καμπύλες BBC αφορούν χώρους όπου οι συσκευές βρίσκονται σε λειτουργία.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές AES οργανισμού

Συγκρίνοντας το θόρυβο βάθους του control room, όταν όλα τα μηχανήματα ήταν ανενεργά, με την προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου ακουστότητας προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα.



Σχεδιάγραμμα 6.8.1. Σύγκριση θορύβου βάθους control room του studio 3, με την προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου ακουστότητας θορύβου σύμφωνα με τον AES οργανισμό.

Ο θόρυβος βάθους του control room ξεπερνάει αρκετά την προτεινόμενη στάθμη θορύβου του οργανισμού AES. Στο συχνοτικό φάσμα από 80 Hz και κάτω ο χώρος θεωρείται πολύ ήσυχος. Από τα 80Hz και πάνω, ο χώρος θεωρείται ακατάλληλος για ηχογραφήσεις.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ο υπό μελέτη χώρος δεν είχε ολοκληρωθεί. Η βασική έλλειψη της πόρτας, ενώνοντας έτσι το control room με το διάδρομο, ανεβάζει κατά πολύ τη στάθμη πίεσης θορύβου βάθους.

Με την ολοκλήρωση κατασκευαστικά του χώρου και την κατάλληλη ακουστική επέμβαση, μέσω ηχοαπορροφητικών διατάξεων και διαχυτών, αναμένεται να μειωθεί αρκετά η στάθμη πίεσης θορύβου βάθους του control room.

6.3.5. Διαδικασία μέτρησης χρόνου αντήχησης του control room.

Σε αυτό το μέρος πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του χρόνου αντήχησης της αίθουσας παρόλο το γεγονός ότι στο control room δεν έχει τοποθετηθεί πόρτα. Γίνεται σύζευξη του control room με το διάδρομο και αναμένονται τα αποτελέσματα να είναι ψηλότερα.

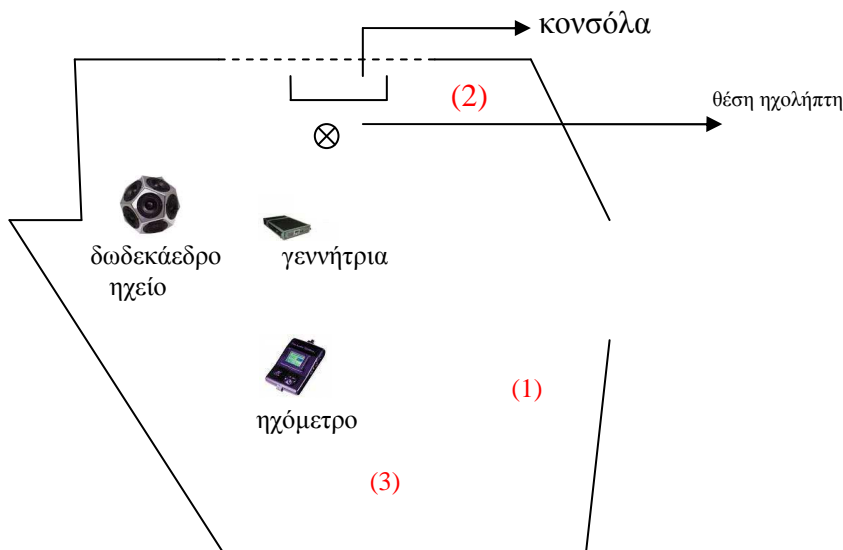
Ακολουθήθηκε η μέθοδος διέγερσης του χώρου με ροζ θόρυβο, ο οποίος θόρυβος μηδενίζεται ακαριαία (Μέθοδος μηδενισμού της πηγής).

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- γεννήτρια ήχου (μοντέλο cesva AP 600)
- Δωδεκάεδρο ηχείο (cesva BP012)¹⁴
- ηχόμετρο Type2 (the audio toolbox terrasonde)

Πραγματοποιήθηκαν τρεις μετρήσεις. Το δωδεκάεδρο ηχείο τοποθετήθηκε στη μία γωνία του δωματίου σε απόσταση 0,5m από κάθε τοίχο. Σε τρεις διαφορετικές θέσεις το ηχόμετρο κατέγραψε τον χρόνο αντήχησης του control room.

¹⁴ Οι τεχνικές πληροφορίες του δωδεκάεδρου ηχείου πληρούν τις προδιαγραφές που θέτει το ISO 140.



Σχήμα 6.13 Διάταξη της μέτρησης του χρόνου αντήχησης στο control room. Οι θέσεις μετρήσεων είναι αντίστοιχα οι: (1), (2), (3).

6.3.6. Υπολογισμός του χρόνου αντήχησης του control room

Το ηχώμετρο που χρησιμοποιήθηκε υπολογίζει το μέσο όρο του χρόνου αντήχησης σε κάθε μέτρηση. Από τις τιμές που έδωσε σε κάθε θέση υπολογίζεται ο μέσος όρος.

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

RT ₆₀ control room						
Μέτρηση	Απόσταση από την πηγή	Decay Time (ms)	RT ₆₀ (ms)	Μέγιστη και ελάχιστη στάθμη πίεσης κατά τη διάρκεια μέτρησης		Μέσος όρος του RT ₆₀
				max	min	
Μέτρηση 1	1.7 m	368	613	91	49	622
Μέτρηση 2	1.7 m	398	623	92	48	
Μέτρηση 3	1.7 m	389	630	92	49	

Πίνακας 6.19 Τιμές του χρόνου αντήχησης του control room.

Συμπεράσματα:

Ο μέσος όρος του χρόνου αντήχησης του control room είναι 0,622 sec .

Ο χώρος (control room) έχει όγκο περίπου 28 m³ ενώ ο χώρος του διαδρόμου είναι μικρότερος στα 13m³.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι υψηλά λόγω της σύζευξης που αναφέρθηκε παραπάνω.

Ακόμα και να υπήρχε πόρτα στο control room, ο χρόνος αντήχησης θα ήταν ψηλός σε σχέση με τον όγκο του δωματίου γιατί στον χώρο (control room) δεν υπάρχει κάποια απορροφητική διάταξη.

6.3.7. Διαδικασία μέτρησης της ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου από το recording στο control room

Η μέτρηση της ηχομόνωσης από τον αερόφερτο θόρυβο του control room έγινε με τη μέθοδο διέγερσης του recording room με ροζ θόρυβο και την καταγραφή της στάθμης έντασης του ήχου ανα τριτοκτάβες και στα δύο δωμάτια. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- γεννήτρια ήχου (μοντέλο cesva AP 600)
- Δωδεκάεδρο ηχείο (cesva BP012)
- ηχόμετρο Type2 (the audio toolbox terrasonde)

Το δωδεκάεδρο ηχείο τοποθετήθηκε σε δύο θέσεις του recording room. Η κάθε θέση βρισκόταν στις γωνίες των τοίχων του δωματίου και το ηχείο απείχε 0.5m από κάθε τοίχο.

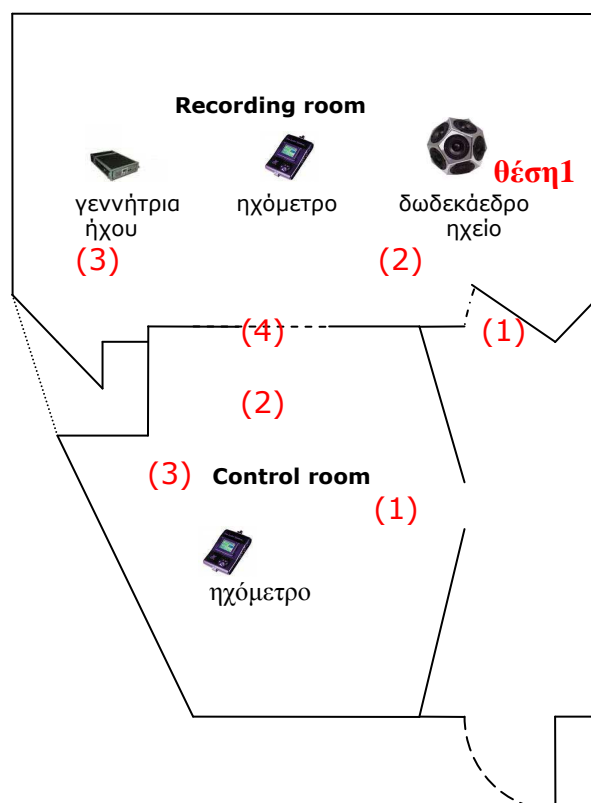
Για κάθε θέση του ηχείου πραγματοποιήθηκαν τρεις μετρήσεις στάθμης πίεσης στο recording room και τρεις στο control room.

Οι αποστάσεις του ηχείου από τα όρια των τοίχων καθώς και οι αποστάσεις των θέσεων του ηχομέτρου σε σχέση με τα όρια των τοίχων και του ηχείου ακολουθούν τις προδιαγραφές του ISO 140. Ενδεικτικά αναφέρονται οι εξής αποστάσεις:

- το ηχείο πρέπει να είναι 0,5 m από κάθε όριο τοίχου
- οι θέσεις του μικροφώνου πρέπει να απέχουν 0,7m μεταξύ τους.
- οι θέσεις του μικροφώνου πρέπει να απέχουν 0,5m από κάθε όριο τοίχου ή διαχωστή.
- οι θέσεις του μικροφώνου πρέπει να απέχουν 1m από την πηγή.

1η μέτρηση:

Θέση 1 του ηχείου στο recording room(δωμάτιο εκπομπής) και θέσεις του ηχομέτρου στο recording και control room.

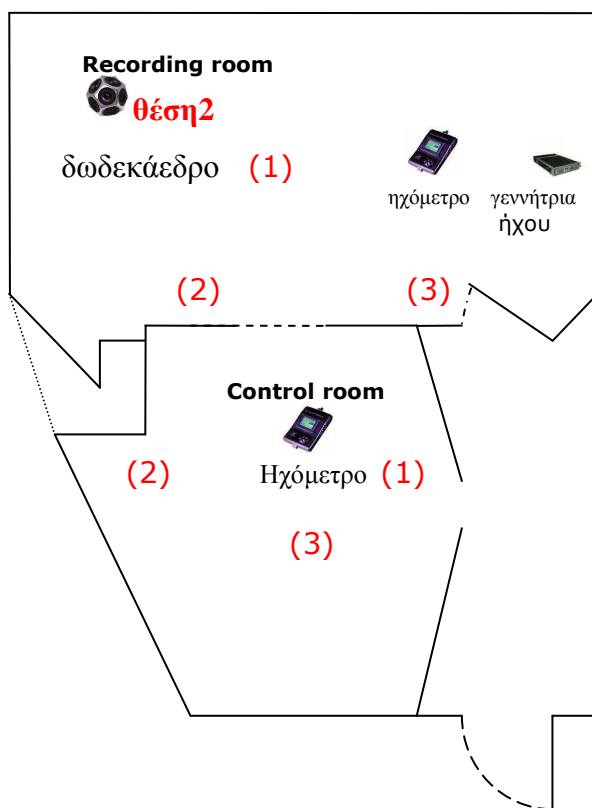


Σχήμα 6.14.α

Σχήμα 6.14.α Διάταξη των οργάνων της μεθόδου μέτρησης (1^η μέτρηση) της ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου από το recording στο control room. Η πρώτη θέση του ηχείου είναι η θέση 1 και οι θέσεις του ηχώμετρου στο recording room είναι οι (1), (2), (3). Στο control room οι θέσεις του ηχώμετρου είναι οι (1),(2),(3).

2η μέτρηση:

Θέση 2 του ηχείου στο recording room(δωμάτιο εκπομπής) και θέσεις του ηχώμετρου στο recording και control room.



Σχήμα 6.14.β Διάταξη των οργάνων της μεθόδου μέτρησης (2^η μέτρηση) της ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου από το recording στο control room. Η δεύτερη θέση του ηχείου είναι η θέση 2 και οι θέσεις του ηχώμετρου στο recording room είναι οι (1), (2), (3). Στο control room οι θέσεις του ηχώμετρου είναι οι (1),(2),(3).

Τα αποτελέσματα δίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Μέτρηση 1^η

Polyphoniki 24/10/09

Θέση 1 ηχείο		Recording room				Μέσος όρος μετρήσεων ανα συχνότητα (Στάθμη πίεσης σε dB)	Μέσος όρος στάθμης πίεσης dB(A) 87,6
		Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3			
Hz	Μέτρηση 1						
25	76,3	72,4	65,9	73,3			
31,5	76,9	75,7	69,2	75			
40	79	78,5	73,8	77,6			
50	80,1	79,2	82,7	80,9			
63	81,6	76,8	86,3	83,1			
80	80,3	81,2	81,8	81,1			
100	77,9	77	85	81,5			
125	93,6	90,4	92,9	92,5			
160	95,8	95,5	98	96,6			
200	102,2	101,2	100,7	101,4			
250	99,9	98	100,4	99,5			
315	98,9	99,6	97,2	98,7			
400	95,5	93,4	95,2	94,8			
500	90,7	95,4	94,6	94			
630	92,6	93	94,5	93,4			
800	91,7	93,2	90,1	91,8			
1000	89,6	89,5	89,1	89,4			
1250	90,4	89,4	87,6	89,3			
1600	91,3	92,5	89,1	91,2			
2000	92,6	91,1	89,4	91,2			
2500	89	89,9	87,8	89			
3150	89,1	86,4	84,9	87,2			
4000	84	81,8	80,1	82,3			
5000	84,3	82,4	80,8	82,7			
6300	84,1	82,5	82,3	83			
8000	79,4	78,7	78,7	78,9			
10000	78,9	76,6	77,2	77,7			
12500	70,8	71,2	70,7	70,9			
16000	75,3	78,1	78,1	77,4			

Πίνακας 6.20α Τιμές της στάθμης πίεσης της μέτρησης 1 του recording room.

Polyphoniki 24/10/09

Control room

Θέση 1 ηχείο

Hz	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέσος όρος Στάθμης πίεσης ανα συχνότητα(dB)	Μέσος όρος στάθμης πίεσης σε dB(A)
25	62,8	65,9	65,9	65,1	58,4
31,5	63,2	64,7	67	65,3	
40	61,7	62,5	58,9	61,3	
50	73,4	74,8	66	72,7	
63	72,5	66,4	72,4	71,2	
80	68,3	57,8	62,4	64,8	
100	62,4	56,9	58,9	60	
125	66,1	67,2	60,4	65,4	
160	72,7	69,2	66,8	70,2	
200	66	62,1	62,1	63,8	
250	67,6	72,7	68,1	70,1	
315	71,2	72,8	70,7	71,7	
400	68	67,2	66,2	67,2	
500	64,7	64	67	65,4	
630	63,5	63,4	63,8	63,6	
800	61,7	62,3	60,9	61,7	
1000	59	59,4	58,6	59	
1250	56,8	58,2	56,3	57,2	
1600	47,3	51,7	53,4	51,5	

Πίνακας 6.20β Τιμές της στάθμης πίεσης της μέτρησης 1 του control room.

Παρατηρήσεις

Στις μετρήσεις στάθμης πίεσης στο control room παρατηρείται ότι από τη συχνότητα 2000 Hz και πάνω οι μετρήσεις παρουσιάζουν πειραματικό σφάλμα. Το σφάλμα αποδίδεται στις ρυθμίσεις του ηχόμετρου και στη λανθασμένη απόκρισή του. Γενικά παρατηρείται λόγω της απουσίας της πόρτας στο control room, ότι η στάθμη πίεσης του control room είναι αρκετά ψηλή σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων. Αναμένεται οι τιμές των υπολογισμών του δείκτη ηχομείωσης βάσει των μετρήσεων να είναι αρκετά χαμηλοί.

Δεδομένου ότι το συχνοτικό εύρος όπου εξετάζεται η ηχομονωτική ικανότητα κάθε τοιχοποιίας είναι από 100-3150 Hz (σύμφωνα με το πρότυπο ISO 140 είναι από 100-3150 Hz, ομοίως και από τη βιβλιογραφία) και σε αυτό το εύρος αφορούν οι μετρήσεις της ηχομόνωσης δύο δωματίων, δε δίνεται περαιτέρω βαρύτητα στα πειραματικά σφάλματα άνω των 3150 Hz.

Ο μέσος όρος της στάθμης πίεσης του recording room, στο συχνοτικό εύρος από 25Hz- 1600Hz είναι **94,2 dB** και **88,2 dB(A)**.

Ο μέσος όρος της στάθμης πίεσης του control room, στο συχνοτικό εύρος 25-1600Hz είναι : **67,2 dB** και **58,4 dB(A)**.

Μέτρηση 2^η

Recording room						
Θέση 2 ηχείο					Μέσος όρος στάθμης πίεσης ανα συχνότητα (dB)	Μέσος όρος στάθμης πίεσης σε dB(A) 86,8
Hz	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3			
25	69,2	72,5	71,3	71,2		
31,5	76,9	82,4	75,4	79,3		
40	83,6	83,2	84,2	83,7		
50	82,7	84,2	82,4	83,2		
63	88,7	93,5	81,6	90,2		
80	91,1	87,3	89,9	89,7		
100	96,1	94,8	91	94,4		
125	100,8	94	90,1	97,1		
160	103,1	97,6	93,1	99,7		
200	97,8	90,7	94,1	95,1		
250	95,4	96,2	93,5	95,2		
315	95,7	99,2	93,3	96,7		
400	94	95,9	93	94,5		
500	94	93,5	91,1	93		
630	94,6	95,3	93,2	94,5		
800	89,6	91	90,2	90,3		
1000	87,3	90,8	88,3	89,1		
1250	91	89,4	87,9	89,6		
1600	90,8	90,1	88,2	89,8		
2000	94,1	88	86,3	90,8		
2500	91,2	87,9	85,7	88,9		
3150	86,9	87,9	83,4	86,5		
4000	82,9	83	79	82		
5000	86	83,3	80,4	83,8		
6300	84,1	82,7	81,9	83		
8000	78,5	76,3	75,1	76,9		
10000	78,5	75,8	72,7	76,3		
12500	69,1	68,4	63,3	67,6		
16000	75,3	79,8	81,1	79,3		

Πίνακας 6.21α Τιμές της στάθμης πίεσης της μέτρησης 2 του recording room.

Control room				
Θέση 2 ηχείο				
Hz	Μέτρηση 1	Μέτρηση 2	Μέτρηση 3	Μέσος όρος Στάθμης πίεσης ανα συχνότητα (dB)
25	58,7	61,3	60,7	60,4
31,5	58,5	64	64,1	62,9
40	56	65,8	58	62,1
50	65,9	69,7	58,8	66,7
63	76,9	76,6	67,6	75,2
80	68,3	60,9	66,7	66,3
100	67,1	61	64,3	64,8
125	67	61,2	58,7	63,7
160	70,3	66,3	71,3	69,8
200	60,1	58,8	57,9	59
250	68,8	69,9	70,2	69,7
315	67,3	67,9	70	68,6
400	68,5	67,8	69,5	68,7
500	64,5	65,1	65,1	64,9
630	63,3	63,8	64,1	63,7
800	61,3	61,2	62,6	61,7
1000	58,2	58,2	59,7	58,8
1250	54,5	53,8	57,2	55,4
1600	49,1	51,3	50,4	50,4

Μέσος όρος στάθμης πίεσης σε dB(A)
57,8

Πίνακας 6.21β Τιμές της στάθμης πίεσης της μέτρησης 2 του control room.

Παρατηρήσεις

Στο control room, στη μέτρηση 2, παρατηρείται το ίδιο πειραματικό σφάλμα μετρήσεων στις συχνότητες 2000-16000 Hz όπως παρουσιάστηκε στην πρώτη μέτρηση. Το πειραματικό σφάλμα αποδίδεται στον ίδιο λόγο που αναλύθηκε προηγουμένως.

Εφ' όσον όμως το συχνотικό εύρος όπου γίνονται οι μετρήσεις ηχομόνωσης ανάμεσα σε δύο δωμάτια (σύμφωνα με τη βιβλιογραφία και το πρότυπο ISO 140) είναι από 100- 3150 Hz, δεν αναλύονται περαιτέρω τα σφάλματα που παρουσιάζονται στις συχνότητες άνω των 4000Hz.

Ο μέσος όρος της στάθμης πίεσης του recording room, στο συχνотικό εύρος από 25-1600Hz είναι: **87,2 dB(A) και 93,5 dB.**

Ο μέσος όρος της στάθμης πίεσης του control room, στο συχνотικό εύρος από 25-1600Hz είναι: **57,8dB(A) και 67 dB.**

Πάλι παρατηρείται λόγω της απουσίας της πόρτας στο control room, ότι η στάθμη πίεσης του control room είναι αρκετά ψηλή σε όλο το φάσμα των συχνотήτων. Αναμένεται οι τιμές των υπολογισμών του δείκτη ηχομείωσης βάσει των μετρήσεων να είναι αρκετά χαμηλοί.

Οι υπολογισμοί του δείκτη ηχομόνωσης του studio "Πολυφωνική", λόγω των πειραματικών σφαλμάτων, γίνονται μέχρι τη συχνотητα των 1600Hz.

6.3.8. Σύγκριση της στάθμης πίεσης των μετρήσεων στο Control room με το θόρυβο βάθους.

Στο μέρος αυτό γίνεται σύγκριση της στάθμης πίεσης που μετρήθηκε στο control room με το θόρυβο βάθους, έτσι ώστε να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις αν η διαφορά είναι μικρότερη των 10dB ή τον 10dB(A).

Έχοντας αναφερθεί στο κατασκευαστικό μέρος του control room και σημειώνοντας ότι γίνεται σύζευξη του control με το διάδρομο, αναμένονται τα αποτελέσματα να έχουν πολύ μεγαλύτερη διαφορά από 10dB ή 10dB(A).

Όταν οι μετρήσεις γίνονται σε dB(A) , στο συχνотικό φάσμα μεταξύ 31,5 -1600 Hz, ισχύει:

Θόρυβος βάθους - **25,8dB(A)**

Στάθμη πίεσης control room μέτρηση 1- **58,4 dB(A)**

Στάθμη πίεσης control room μέτρηση 2- **57,8 dB(A)**

Η διαφορά μεταξύ της στάθμης πίεσης των μετρήσεων και του θορύβου βάθους είναι πολύ μεγαλύτερη των 10dB(A), όπως αναμενόταν. Δε γίνεται κάποια διόρθωση στις στάθμες πίεσης των μετρήσεων 1, 2 του control room.

Όταν οι μετρήσεις γίνονται σε dB , στο συχνотικό φάσμα μεταξύ 31,5 -1600Hz, ισχύει:

Θόρυβος βάθους - **32,2 dB**

Στάθμη πίεσης control room μέτρηση 1- **67,2 dB**

Στάθμη πίεσης control room μέτρηση 2- **67 dB**.

Πάλι παρατηρείται ότι η διαφορά μεταξύ της στάθμης πίεσης των μετρήσεων και του θορύβου βάθους είναι πολύ μεγαλύτερη των 10dB, όπως αναμενόταν. Δε γίνεται κάποια διόρθωση στις στάθμες πίεσης των μετρήσεων 1, 2 του control room.

6.3.9. Υπολογισμός ηχομόνωσης του αερόφερτου ήχου από το recording στο control room βάσει των μετρήσεων.

Ο υπολογισμός της ηχομόνωσης μεταξύ των δύο δωματίων γίνεται με τη χρήση του λογισμικού `Γραφική μέθοδος υπολογισμού R'_w (δύο τρόποι)`.

Μέτρηση 1

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό φύλλο `Γραφική μέθοδος υπολογισμού R'_w - sheet 3` , οι τιμές μετρήσεων συγκρίνονται με την καμπύλη αναφοράς και μετακινώντας την καμπύλη αναφοράς βρίσκεται ο R'_w ως μονότιμο μέγεθος.

Δεδομένα που χρειάζονται

Επιφάνεια του διαχωριστικού πετάσματος:

$$A_0 = 6,5 \text{ m}^2 .$$

Ο όγκος του δωματίου λήψης (control) είναι:

$$V = 28 \text{ m}^3 .$$

Ο χρόνος αντήχησης του control είναι:

$$T = 0,62 \text{ sec}$$

Στη γραφική μέθοδο υπολογισμού επειδή τα πειραματικά σφάλματα στο συχνотικό εύρος μεταξύ 2000-3150 Hz επηρεάζει πολύ τα αποτελέσματα, ο υπολογισμός του R'_w γίνεται μέχρι τη συχνότητα των 1600 Hz.

Αυτός ο υπολογισμός προαπαιτεί κάποιες αλλαγές στο αρχείο " γραφική μέθοδος υπολογισμού R' w ". Για παράδειγμα το άθροισμα των αποκλίσεων διαιρείται με λιγότερες συχνότητες.

Έτσι προκύπτει :

Συχνότητα σε Hz	100	125	160	200	250	315	
Χώρος εκπομπής (Ls)	81,5	92,5	96,6	101	99,5	98,7	
Χώρος λήψης (LE)	60	65,4	70,2	63,8	70,1	71,7	
φαινόμενος δείκτης R' ανά συχνότητα	21	26,6	25,9	37,1	28,9	26,5	
Συχνότητα σε Hz	400	500	630	800	1000	1250	1600
Χώρος εκπομπής (Ls)	94,8	94	93,4	91,8	89,4	89,3	91,2
Χώρος λήψης (LE)	67,2	65,4	63,6	61,7	59	57,2	51,5
φαινόμενος δείκτης R' ανά συχνότητα	27,1	28,1	29,3	29,6	29,9	31,6	39,2
R' w (dB)	31						

Πίνακας 6.22 Τιμές του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης του διαχωριστικού στοιχείου βάσει της πρώτης μέτρησης της στάθμης πίεσης και βάσει τον χρόνο αντήχησης του control room.

Αφού έχουν δοθεί τα δεδομένα στο λογισμικό φύλλο, δοκιμάζονται διάφορες τιμές στον παρακάτω πίνακα στη στήλη διαφορά σε dB, έτσι ώστε το άθροισμα των αποκλίσεων να μην υπερβαίνει τα -2 dB.

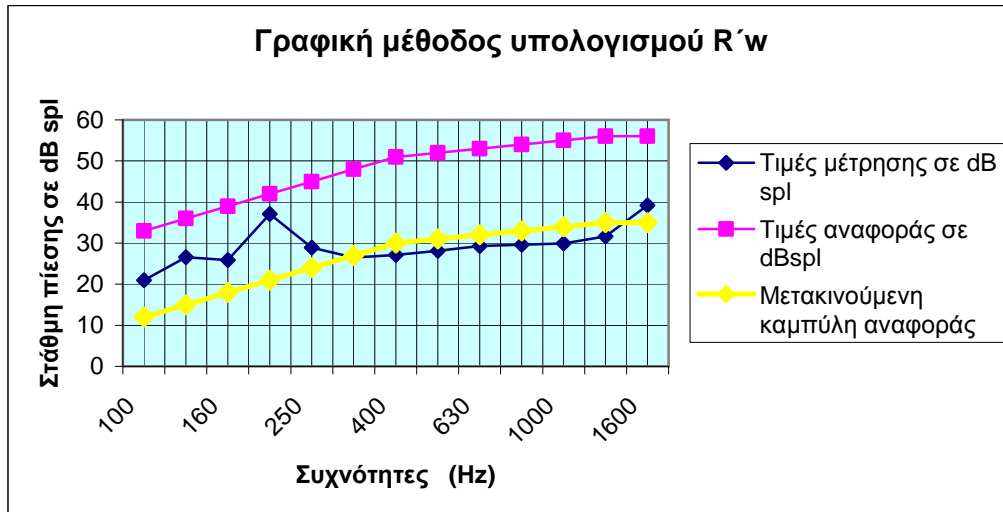
Δίνοντας την τιμή 21 στη στήλη 4, διαφορά σε dB, πληρούνται τα παραπάνω κριτήρια.

Η τιμή του R' w, είναι η τιμή στα 500Hz της μετακινούμενης καμπύλης αναφοράς. Προκύπτει ότι ο **R' w = 31 dB**.

Συχνότητες	Τιμές μέτρησης σε dB	Τιμές αναφοράς σε dB	Διαφορά σε dB	Μετακινούμενη καμπύλη αναφοράς	Αποκλίσεις
100	21	33	21	12	0
125	27	36		15	0
160	26	39		18	0
200	37	42		21	0
250	29	45		24	0
315	27	48		27	-0,5
400	27	51		30	-2,9
500	28	52		31	-2,9
630	29	53		32	-2,7
800	30	54		33	-3,4
1000	30	55		34	-4,1
1250	32	56		35	-3,4
1600	39	56		35	0
				Άθροισμα αποκλίσεων	1,658333333

Πίνακας 6.23 Σύγκριση τιμών του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης της μέτρησης 1 με τις τιμές τις πρότυπης καμπύλης αναφοράς. Από τη σύγκριση προκύπτει ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης.

Το αντίστοιχο διάγραμμα των τιμών της μέτρησης, της καμπύλης αναφοράς και της μετακινούμενης καμπύλης αναφοράς είναι:



Σχεδιάγραμμα 6.9 Καμπύλη της μέτρησης 1 της στάθμης πίεσης του control room, καμπύλη αναφοράς και μετακινούμενη καμπύλη αναφοράς.

Χρησιμοποιώντας την προσεγγιστική μέθοδο υπολογισμού του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης προκύπτει ότι $R'_w = 29\text{dB}$.

Αποτελέσματα:

- Βάσει της γραφικής μεθόδου του υπολογισμού για το συχνотικό εύρος από 100-1600Hz ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης είναι $R'_w = 31\text{ dB}$.
 - Βάσει του προσεγγιστικού τρόπου υπολογισμού για το συχνотικό εύρος από 100-1600Hz ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης είναι $R'_w = 29\text{ dB}$.
- Παρατηρείται ότι αποκλίνει κατά 2dB από τη γραφική μέθοδο υπολογισμού.

Συμπεράσματα

Θεωρώντας ότι $R'_w = 31\text{ dB}$, επαληθεύεται η αρχική υπόθεση που στηριζόταν στη μη ολοκλήρωση της κατασκευής του τοίχου B.

Δηλαδή στο γεγονός ότι δεν υπάρχει πόρτα στο control room.

Επιπλέον πρέπει να σημειωθεί ότι ο τοίχος B, ο διαχωριστικός τοίχος μεταξύ του control room και του διαδρόμου, δεν έχει σοβατεπί κάνοντας έτσι την τοιχοποιία λιγότερο αποτελεσματική ηχομονωτικά.

Άλλος ένας λόγος του χαμηλού φαινομένου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης είναι η ηχομόνωση που προσφέρει ο διαχωριστικός τοίχος.

Ο R'_w του διαχωριστικού τοίχου υπολογίστηκε στο δεύτερο μέρος:

- 42dB στην πρώτη υπόθεση και
- 32 dB στη δεύτερη υπόθεση.

Ως ηχομόνωση και στις δύο περιπτώσεις θεωρείται μέτρια.

Λόγω όμως της έλλειψης της πόρτας δεν μπορεί να συγκριθούν τα αποτελέσματα τις θεωρίας με τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Μέτρηση 2^η

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό φύλλο "Γραφική μέθοδος υπολογισμού R'_w -sheet 3", οι τιμές μετρήσεων συγκρίνονται με την καμπύλη αναφοράς και μετακινώντας την καμπύλη αναφοράς βρίσκεται ο R'_w ως μονότιμο μέγεθος.

Δεδομένα που χρειάζονται

Επιφάνεια του διαχωριστικού πετάσματος:

$A_0 = 6,5 \text{ m}^2$.

Ο όγκος του δωματίου λήψης (control) είναι:

$V = 28 \text{ m}^3$.

Ο χρόνος αντήχησης του control είναι:

$T = 0,62 \text{ sec}$.

Και στη γραφική μέθοδο υπολογισμού επειδή τα πειραματικά σφάλματα στο συχνοτικό εύρος μεταξύ 2000-3150 Hz επηρεάζουν πολύ τα αποτελέσματα, ο υπολογισμός του R'_{w} γίνεται μέχρι τη συχνότητα των 1600 Hz.

Αυτός ο υπολογισμός προαπαιτεί κάποιες αλλαγές στο αρχείο " γραφική μέθοδος υπολογισμού R'_{w} ". Για παράδειγμα το άθροισμα των αποκλίσεων διαιρείται με λιγότερες συχνότητες.

Έτσι προκύπτει :

Συχνότητα σε Hz	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
Χώρος εκπομπής (Ls)	94,4	97,1	99,7	95,1	95,2	96,7	94,5	93	94,5	90,3	89,1	89,6	89,8
Χώρος λήψης (LE)	64,8	63,7	69,8	59	69,7	68,6	68,7	64,9	63,7	61,7	58,8	55,4	50,4
φαινόμενος δείκτης R' ανά συχνότητα	29,1	32,9	29,4	35,6	25	27,6	25,3	27,6	30,3	28,1	29,8	33,7	38,9

Πίνακας 6.24 Τιμές του φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης του διαχωριστικού στοιχείου βάσει της πρώτης μέτρησης της στάθμης πίεσης και βάσει τον χρόνο αντήχησης του control room.

Αφού έχουν δοθεί τα δεδομένα στο λογισμικό φύλλο, δοκιμάζονται διάφορες τιμές στον παρακάτω πίνακα στη στήλη διαφορά σε dB, έτσι ώστε το άθροισμα των αποκλίσεων να μην υπερβαίνει τα -2 dB.

Δίνοντας την τιμή 21 στη στήλη 4, διαφορά σε dB, πληρούνται τα παραπάνω κριτήρια.

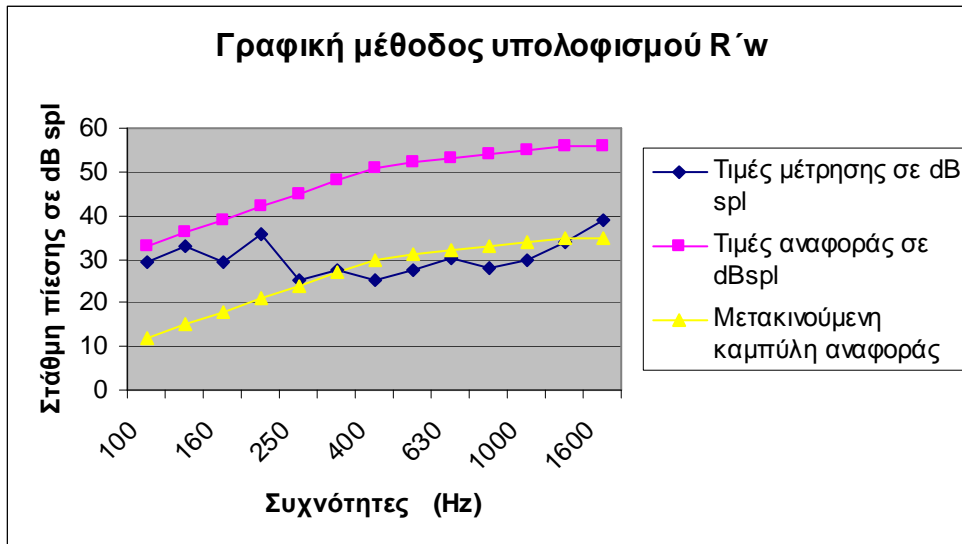
Η τιμή του R'_{w} , είναι η τιμή στα 500Hz της μετακινούμενης καμπύλης αναφοράς.

Προκύπτει ότι ο $R'_{w} = 31 \text{ dB}$.

Συχνότητες	Τιμές μέτρησης σε dB	Τιμές αναφοράς σε dB	Διαφορά σε dB	Μετακινούμενη καμπύλη αναφοράς	Αποκλίσεις
100	29	33	21	12	0
125	33	36		15	0
160	29	39		18	0
200	36	42		21	0
250	25	45		24	0
315	28	48		27	0
400	25	51		30	-4,7
500	28	52		31	-3,4
630	30	53		32	-1,7
800	28	54		33	-4,9
1000	30	55		34	-4,2
1250	34	56		35	-1,3
1600	39	56		35	0
				Άθροισμα αποκλίσεων	- 1,68333333

Πίνακας 6.25 Σύγκριση τιμών του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης της δεύτερης μέτρησης με την καμπύλη αναφοράς για τον υπολογισμό του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης.

Το αντίστοιχο διάγραμμα των τιμών της μέτρησης, της καμπύλης αναφοράς και της μετακινούμενης καμπύλης αναφοράς είναι:



Σχεδιάγραμμα 6.10 Καμπύλη του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης της δεύτερης μέτρησης, καμπύλη αναφοράς, μετακινούμενη καμπύλη αναφοράς.

Επίσης, μέσω της προσεγγιστικής μεθόδου υπολογισμού του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης, ο R'_{w} προκύπτει 29 dB. Όπως και στην πρώτη μέτρηση, η διαφορά στην τιμή του R'_{w} από την τιμή που προκύπτει από τη γραφική μέθοδο είναι 2 dB.

Αποτελέσματα:

-Βάσει της γραφικής μεθόδου υπολογισμού για το συχνотικό εύρος από 100-1600Hz ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης είναι $R'_{w} = 31 \text{ dB}$.

-Βάσει της προσεγγιστικής μεθόδου υπολογισμού για το συχνотικό εύρος από 100-1600Hz ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης είναι $R'_{w} = 30 \text{ dB}$.

Αποτελέσματα και των δύο μετρήσεων

Στην πρώτη μέτρηση ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης υπολογίστηκε $R'_{w} = 31 \text{ dB}$.

Στη δεύτερη μέτρηση ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης υπολογίστηκε $R'_{w} = 31 \text{ dB}$.

Συμπεράσματα

Θεωρώντας ότι ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης είναι $R'_{w} \approx 31 \text{ dB}$, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι δεν είναι αρκετός για τις ηχομονωτικές απαιτήσεις μεταξύ του control room και του recording room. Επαληθεύεται και η υπόθεση που έγινε σε αρχικό στάδιο, πριν τον υπολογισμό των μετρήσεων, η οποία προέβλεπε το αποτέλεσμα του δείκτη ηχομείωσης να είναι χαμηλό λόγω των ελλειψών κατασκευαστικών στοιχείων.

Η χαμηλή στάθμη του δείκτη ηχομείωσης όπως προαναφέρθηκε οφείλεται στα εξής:

- τη μη ολοκλήρωση των κατασκευαστικών απαιτήσεων. Δηλαδή στο γεγονός ότι δεν υπάρχει πόρτα στην τοιχοποιία B στο control room.

- στην τοιχοποιία B, η οποία είναι ο διαχωριστικός τοίχος μεταξύ του control room και του διαδρόμου. Η τοιχοποιία B εκτός από την απουσία της πόρτας, δεν έχει και σοβατεπί, φέρνοντας έτσι χαμηλότερα ηχομονωτικά αποτελέσματα

- στο διαχωριστικό στοιχείο, του οποίου ο δείκτης ηχομείωσης από τη θεωρία υπολογίστηκε στα 42-32 dB. Είναι μέτρια δηλαδή η ηχομονωτική του ικανότητα. Βέβαια λόγω της έλλειψης της πόρτας δεν μπορεί να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα θεωρητικά αποτελέσματα. Με την εφαρμογή της πόρτας στο control room αναμένεται να αυξηθεί ο δείκτης ηχομείωσης μεταξύ control και recording room.

6.3.10. Συγκρίνονται πειραματικές τιμές με προδιαγραφές.

Ο προσδιορισμός των προδιαγραφών γίνεται σύμφωνα με:

1. τις καμπύλες NC, NR, RC και τους πίνακες που ορίζουν τις επιθυμητές καμπύλες NC, NR, RC, ανάλογα με το είδος του χώρου που εξετάζεται.
2. τις καμπύλες BBC,
3. την προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου ακουστότητας θορύβου σύμφωνα με τον AES οργανισμό.
4. τον ελληνικό κτιριοδομικό κανονισμό,
5. τους σχετικούς πίνακες που ορίζουν την ελάχιστη στάθμη του φαινομένου σταθμισμένου και της κανονικοποιημένης στάθμης ήχου ανάλογα με το χώρο, πίνακες 3.10 έως 3.12.

Παρακάτω γίνεται αναφορά στους πίνακες που ορίζουν τις επιθυμητές καμπύλες NC, NR, RC, ανάλογα με το είδος του χώρου που εξετάζεται.

1. Καμπύλες RC, NC, NR πίνακες 3.7-3.8 , (σελ. 151)



Πίνακας 3.7



πίνακας 3.8

(σελ 152)



Καμπύλες NC, RC, NR

(σελ 134,136,140)

Ο μέσος όρος των μετρήσεων της στάθμης πίεσης που μετρήθηκε στο control room και για τις δύο μετρήσεις στο συχνοτικό εύρος από 25- 1600 Hz είναι:

Hz	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
Ls -dB δωμάτιο λήψης	63,4	64,3	61,7	70,7	73,6	65,6	63	64,6	70	62	69,9	70,4	68	65,2	63,7	61,7	58,9	56,4	74,3

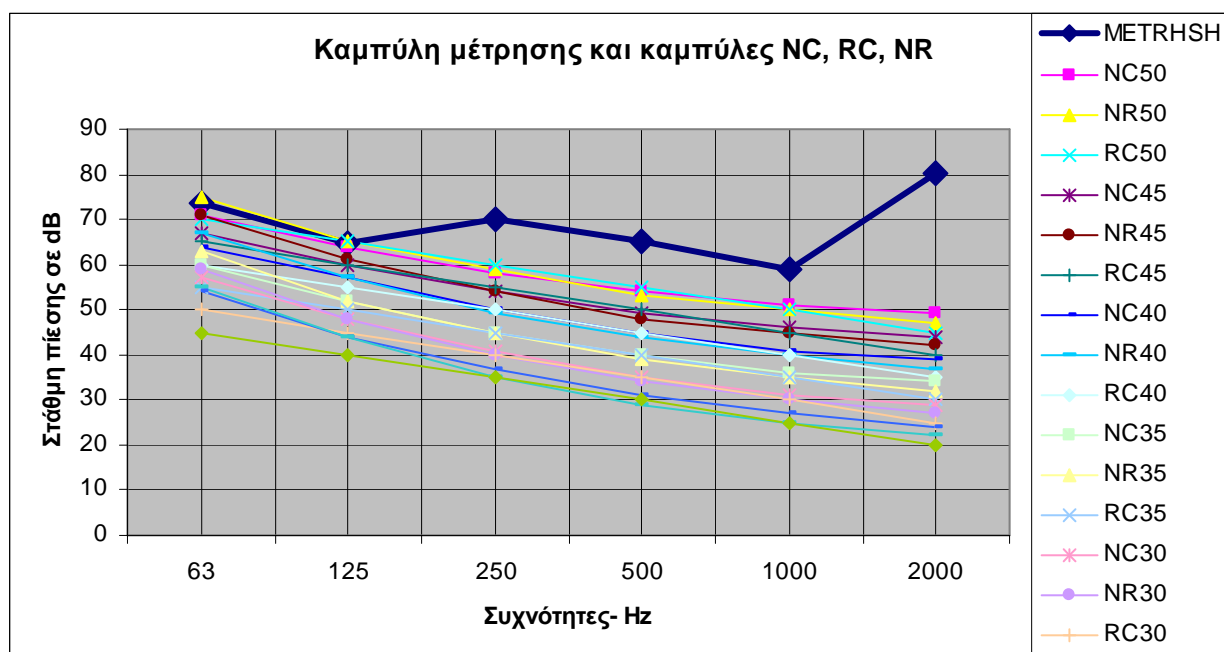
Πίνακας 6.25 Μέσος όρος των μετρήσεων 1,2, της στάθμης πίεσης του control room.

Λόγω των πειραματικών σφαλμάτων που αναφέρθηκαν στο μέρος των μετρήσεων της στάθμης έντασης στο control room, η εξέταση των κριτηρίων της μέτρησης βάσει των καμπυλών NC, NR, RC γίνεται μέχρι τη συχνότητα 1600 Hz.

Για να βρεθεί ποια καμπύλη NC, NR, RC καλύπτει τις μετρήσεις της στάθμης πίεσης του control room, όταν στο recording room εκπέμπεται μέσος όρος στάθμης περίπου 95dB, δημιουργείται ο σχετικός πίνακας και το αντίστοιχο γράφημα.

Συχνότητα(Hz)	63	125	250	500	1000	2000
ΜΕΤΡΗΣΗ	73,6	64,6	69,9	65,2	58,9	80,1
NC50	71	64	58	54	51	49
NR50	75	65	59	53	50	47
RC50	70	65	60	55	50	45
NC45	67	60	54	49	46	44
NR45	71	61	54	48	45	42
RC45	65	60	55	50	45	40
NC40	64	57	50	45	41	39
NR40	67	57	49	44	40	37
RC40	60	55	50	45	40	35
NC35	60	52	45	40	36	34
NR35	63	52	45	39	35	32
RC35	55	50	45	40	35	30
NC30	57	48	41	35	31	29
NR30	59	48	40	34	30	27
RC30	50	45	40	35	30	25
NC25	54	44	37	31	27	24
NR25	55	44	35	29	25	22
RC25	45	40	35	30	25	20

Πίνακας 6.26 Τιμές του μέσου όρου των μετρήσεων της στάθμης πίεσης του control room και οι τιμές των καμπύλων NC50-25, NR50-25, RC50-25.



Σχεδιάγραμμα 6.11 Καμπύλη του μέσου όρου της μέτρησης στάθμης πίεσης του control room και οι καμπύλες NC50-25, NR50-25, RC50-25.

Το διάγραμμα εξετάζεται μέχρι τη συχνότητα 2000 Hz.

Από το γράφημα παρατηρείται ότι η καμπύλη των μετρήσεων δεν καλύπτεται από καμία καμπύλη κριτηρίου. Τα ανώτατα επιτρεπτά όρια των καμπύλων κριτηρίων που

χρησιμοποιούνται στο παράδειγμα τα θέτουν οι καμπύλες NC 50, NR 50, RC 50. Οι καμπύλες αυτές θέτουν τα όρια, τα οποία ξεπερνούν κατά πολύ τις επιθυμητές στάθμες που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση ενός studio.



Πίνακας 3.7

Βάσει του πίνακα 3.7 ισχύει (σελ. 151):

Οι προδιαγραφές για ένα studio ηχογράφησης απαιτούν οι ανώτατες καμπύλες των κριτηρίων να είναι οι NR25, NC25, RC30. Βάσει αυτών των καμπυλών, ο χώρος δίνει την υποκειμενική αίσθηση ενός ήσυχου μέρους.

Για τις καμπύλες NR25, NC25, RC30 αντιστοιχεί ο μέσος όρος στάθμης πίεσης, μετρημένος σε dB(A), να είναι $L_A = 30-35$ dB(A).

Στο control room ο μέσος όρος στάθμης (από μέτρηση 1 και 2) υπολογίστηκε στα : $L_A = 66,2$ dB A. Ως τιμή υπερβαίνει πολύ τις προδιαγραφές, οι οποίες απαιτούν στάθμη πίεσης σε dB(A) στα 30-35 dB(A).

Σύμφωνα λοιπόν με τα κριτήρια των καμπυλών, συμπεραίνεται ότι η στάθμη πίεσης του control room είναι πολύ ψηλή.



Πίνακας 3.9

Βάσει του πίνακα 3.9 (σελ. 153):

Για τις απαιτήσεις των studio η L_A τιμή πρέπει να είναι κοντά στα 20dB(A). Στον υπό μελέτη χώρο αυτό το κριτήριο δεν τηρείται.



πίνακας 3.8

Βάσει του πίνακα 3.8 (σελ 152):

Για studio ηχογράφησης οι καμπύλες που πληρούν τις προδιαγραφές είναι οι NR 20 και NC 20. Επίσης , στον υπό μελέτη χώρο δεν τηρείται αυτό το κριτήριο.

Συμπέρασμα

Σύμφωνα με τις καμπύλες NC, NR , RC και βάσει και των τριών πινάκων που θέτουν τις προδιαγραφές ο υπό μελέτη χώρος δεν πληρεί τις προϋποθέσεις ενός πολύ ήσυχου χώρου, ενός χώρου studio ηχογραφήσεων. Είναι αρκετά πιο ψηλά από τις στάθμες που ορίζουν οι καμπύλες RC 25, NR 25, NC 25.



BBC καμπύλες

2. Καμπύλες BBC, (σχεδιάγραμμα 3.9, σελ 145) :

Συγκρίνοντας τη στάθμη πίεσης του control room, της μέτρησης 1 και 2 καθώς και το μέσο όρο τους, με τις καμπύλες (α) και (β) των κριτηρίων BBC, σχεδιάγραμμα 3.9, προκύπτει ότι καμία από τις δύο καμπύλες δεν καλύπτουν τη στάθμη πίεση του control room κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

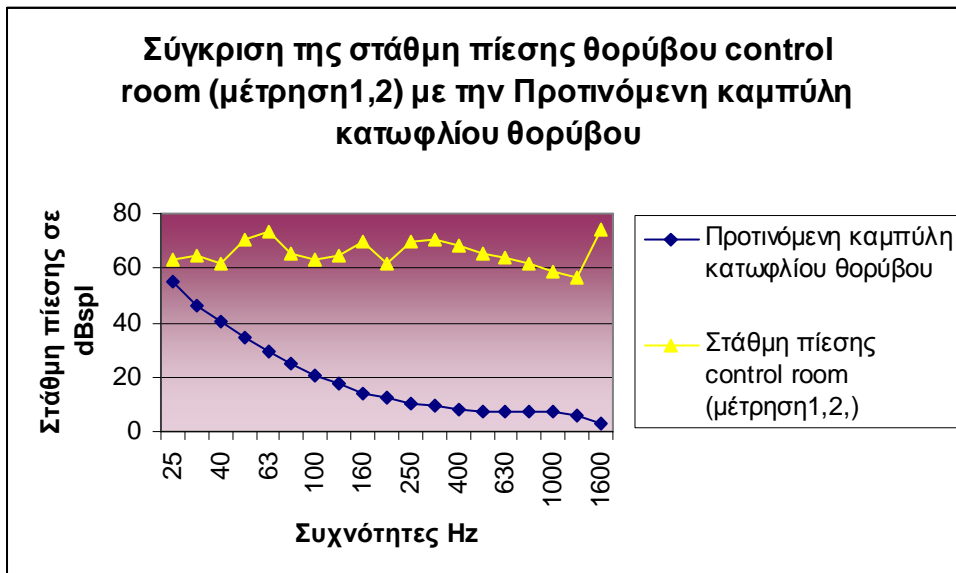
Αντιθέτως, οι στάθμες πίεσης των μετρήσεων 1 και 2, του control room, ξεπερνούν κατά πολύ το ανώτατο όριο των καμπυλών BBC.

3. Προδιαγραφές AES για χώρους ηχογράφησης. Προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου ακουστότητας θορύβου σύμφωνα με τον AES οργανισμό. (σχεδιάγραμμα 3.11.α, σελ 148)



AES προδιαγραφές

Λόγω των κατασκευαστικών ατελειών που επικρατούν στο control room, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, αναμένεται η στάθμη πίεσης του control room να ξεπερνάει κατά πολύ τις στάθμες της προτεινόμενης καμπύλης κατωφλίου θορύβου. Η σύγκριση δίνεται στο παρακάτω σχεδιάγραμμα.



Σχεδιάγραμμα 6.11.1 Σύγκριση του μέσου όρου (μέτρηση 1,2) της στάθμης πίεσης του control room, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ηχομόνωσης, με την προτεινόμενη καμπύλη κατωφλίου ακουστότητας θορύβου.

Όπως ήταν αναμενόμενο, ο υπό μελέτη χώρος δεδομένου της κατασκευαστικές ατέλειες κρίνεται ακατάλληλος για χώρος ηχογράφησης. Οι κατασκευαστικές ελλείψεις του χώρου είναι πολύ σημαντικές κάνοντας το χώρο ανίκανο και ακατάλληλο για μετρήσεις.

Με την ολοκλήρωση του control room η στάθμη πίεσης θα μειωθεί αρκετά. Στο συγκεκριμένο όμως στάδιο, δεν είναι εφικτό να γίνουν προβλέψεις. Παρακάτω σημειώνονται οι διορθώσεις που αφορούν στον χώρο αυτόν.



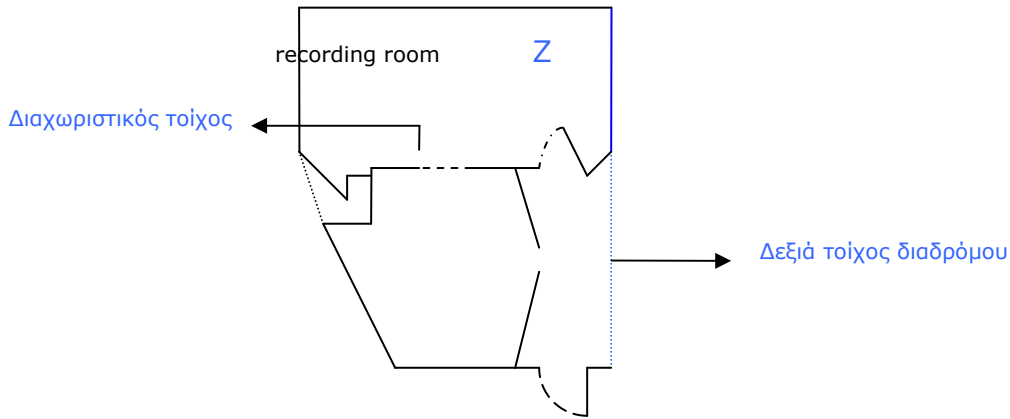
Κριτήρια ακουστικής Άνεσης, Κτ. Καν.

4. Κτιριοδομικός κανονισμός (πίνακας 3.16, 3.17, σελ 160-161):

Για να βρεθούν οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές της ηχομόνωσης του studio πρέπει αρχικά να επιλεγεί από τον κτιριοδομικό κανονισμό το είδος κτιρίου. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το studio συγκαταλέγεται στο είδος κτιρίου- εμπόριο. Στη συνέχεια διαλέγονται τα κριτήρια που θέτει ο ελληνικός κτιριοδομικός κανονισμός βάσει του χώρου που εξετάζεται και των χώρων που συνορεύει αυτός. Το υπό μελέτη studio βρίσκεται στο υπόγειο ενός εμπορικού κέντρου.

Οι τοίχοι που συνορεύουν με άλλα μαγαζιά είναι:

ο τοίχος Z του recording room και ο δεξιά τοίχος του διαδρόμου. Ένα μέρος της οροφής του recording room συνορεύει με μαγαζί στον πρώτο όροφο.



Σχήμα 6.15 Δεξιά τοίχος (κοιτώντας την κάτοψη) του studio3.

Άρα τα κριτήρια που θέτει ο κτιριοδομικός κανονισμός για αυτήν την περίπτωση αναγράφονται στη στήλη «Ηχομόνωση κατοικίας (διαμερίσματος) από άλλο χώρο κύριας χρήσης - 4.2 παράγραφος, άρθρο 12 ». Εξετάζονται τα κριτήρια για τα κτίρια A ακουστικής άνεσης και B ακουστικής άνεσης.

Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές που θέτει ο κτιριοδομικός κανονισμός για τον υπό μελέτη χώρο και για τα δύο είδη κτιρίων A, B δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας απαιτήσεων για κατηγορία κτιρίων A ακουστικής άνεσης :

Είδος κτιρίου	Ηχομόνωση κατοικίας (διαμερίσματος) από άλλο χώρο κύριας χρήσης- (4.2 παρ).	
Εμπόριο	$R'_w = 58 \text{ dB}$	$L'_{n,w} = 52 \text{ dB}$

Πίνακας απαιτήσεων για κατηγορία κτιρίων B ακουστικής άνεσης :

Είδος κτιρίου	Ηχομόνωση κατοικίας (διαμερίσματος) από άλλο χώρο κύριας χρήσης- (4.2 παρ).	
Εμπόριο	$R'_w = 52 \text{ dB}$	$L'_{n,w} = 55 \text{ dB}$

Τοίχοι studio

Τοίχος Z: ο τοίχος Z υπολογίστηκε ότι έχει βάσει της θεωρίας $R'_w = 46\text{dB}$

Τοίχος δεξιάς του διαδρόμου: ο δεξιά τοίχος του διαδρόμου υπολογίστηκε ότι έχει βάσει της θεωρίας $R'_w = 46\text{dB}$

Ταβάνι recording room : το ταβάνι του recording room υπολογίστηκε ότι έχει : $R'_w = 63 \text{ dB}$

$$L'_{n,w} = 42 \text{ dB.}$$

Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρατηρείται ότι μόνο το ταβάνι του recording room πληρεί τις προδιαγραφές που θέτει ο κτιριοδομικός κανονισμός.

Ο τοίχος Z και ο δεξής τοίχος του διαδρόμου απέχουν αρκετά από τις κατώτατες τιμές που θέτει ο κτιριοδομικός κανονισμός. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, στο διπλανό μαγαζί να μην επικρατεί η επιθυμητή στάθμη θορύβου και να υπάρχει ενόχληση στους εργαζόμενους του μαγαζιού.



Πίνακας 3.10 και 3.11

5. Πίνακες 3.10-3.11, (σελ 154-155)

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.10 ισχύει ότι τα ταβάνια που διαχωρίζουν χώρους εργασίας πρέπει να τηρούν το ελάχιστο όριο που είναι:

$$R'_{w} = 54 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} = 53 \text{ dB.}$$

Για το ταβάνι του recording room ισχύει:

$$R'_{w} = 63 \text{ dB}$$

$$L'_{n,w} = 42 \text{ dB.}$$

Το ταβάνι πληρεί τις προϋποθέσεις του πίνακα 3.11.

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.10 οι διαχωριστικοί τοίχοι μεταξύ εργασιακών χώρων πρέπει να έχουν ελάχιστο δείκτη ηχομείωσης: $R'_{w} = 53 \text{ dB}$.

Για τους διαχωριστικούς τοίχους του studio, (Z) και του διαδρόμου ισχύει: $R'_{w} = 46 \text{ dB}$.

Οι τοίχοι δεν πληρούν τις προδιαγραφές του πίνακα 3.10.

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.11 τα ταβάνια κάτω από διαδρόμους πρέπει να έχουν ελάχιστο $L'_{n,w} = 53 \text{ dB}$.

Για το ταβάνι του control room, το οποίο βρίσκεται κάτω από διάδρομο ισχύει $L'_{n,w} = 53 \text{ dB}$.

Το ταβάνι πληρεί τις προδιαγραφές του πίνακα 3.11.

Συμπεράσματα

Παρατηρείται ότι οι τοίχοι Z του recording room και ο δεξής τοίχος του διαδρόμου δεν πληρούν τις προδιαγραφές των πινάκων 3.10-3.11. Αυτό θα δημιουργήσει όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, την ενόχληση του διπλανού μαγαζιού. Το αντίθετο δεν αναμένεται καθώς το διπλανό εμπορικό μαγαζί δεν αναπτύσσει τόσο ψηλές στάθμες πίεσης σε σύγκριση με το studio.

6.3.11. Κοστολογήσεις

- Επένδυση της τοιχοποιίας με μονό σκελετό, διπλή γυψοσανίδα 12,5mm έκαστος και πετροβάμβακα 50kg/m³.

Η επένδυση αυτή βρίσκεται στους τοίχους Δ, Γ του control room και στους τοίχους Z, I, K, Λ του recording room και στο δεξί τοίχο του διαδρόμου.

Συνολικά η επένδυση καλύπτει επιφάνεια 58m².

Από την εταιρία knauf, η επένδυση τοιχοποιίας με μονό σκελετό και διπλή γυψοσανίδα κοστολογείται περίπου στα 50 € το m², με το Φ.Π.Α. και τα εργατικά.

Άρα για τα 58m² το κόστος θα είναι: **2.900€.**

- Επένδυση οροφής με διπλή γυψοσανίδα και πετροβάμβακα (50kg/m³)

Το εμβαδόν των δύο ταβανιών (control-recording room) και του διαδρόμου είναι 49m².

Από την εταιρία κнауφ μια τέτοια επένδυση οροφής στοιχίζει :65€ το m².

Άρα για 49m² το κόστος είναι **3185€.**

Τοίχος Β.

Ο τοίχος Β αποτελείται από μονό σκελετό με διπλή γυψοσανίδα.

Από την εταιρία κнауφ αυτό κοστολογείται στα 60€ το m².

Για τα 11m² της τοιχοποιίας Β, το κόστος θα είναι: **660€.**

Διαχωριστικός τοίχος

Ο διαχωριστικός τοίχος μεταξύ recording και control room αποτελείται από διπλό σκελετό με διπλή στρώση γυψοσανίδας και στις δύο μεριές.

Αν αφαιρεθούν το εμβαδόν της πόρτας και του κρύσταλλου, το εμβαδόν που μένει και είναι του τοίχου αντιστοιχεί σε 7m².

Το κόστος είναι: **900€.**

Πάτωμα

το πάτωμα και των δύο δωματίων αποτελείται από 43m² με:

1 στρώση αντικραδασμικού φύλλου- 1€ το m² από τη fibran εταιρία.

1 στρώση Dow – 7€ περίπου το m²

2 στρώσεις MDF- (2€ η μία στρώση) 4€ το m² από τον πίνακα ΑΤΟΕ.

1 στρώση κοινού ξύλου- 10 € το m². από τον πίνακα ΑΤΟΕ.

Όλες οι στρώσεις κοστίζουν 22€ το m². Τα 43 m² που καλύπτουν οι επενδύσεις όλου του πατώματος κοστίζουν **946€.**

Το διαχωριστικό τζάμι από την εταιρία Denal κοστολογείται στα **450€.**

Οι πόρτες των studio (εξωτερική και πόρτα εισόδου του recording room) κόστισαν 300€ έκαστος. Άρα **600€.**

Πετροβάμβακας

Ο πετροβάμβακας που δεν έχει συνυπολογιστεί στις κατασκευές και βρίσκεται στην οροφή όλου του studio (καρφωμένος στην οροφή) καλύπτει εμβαδόν 50m².

Από την εταιρία Alto ο πετροβάμβακας 50kg/m³ και πάχους 50mm κοστίζει 5€ το m².

Τα 50m² κοστίζουν **250€.**

Ενδεικτικό κόστος κατασκευής: 10.000 €

6.3.12. Παρατηρήσεις - διορθώσεις.

Παρατηρήσεις

Συνοψίζοντας όλες τις παρατηρήσεις καταλήγουμε στα εξής:

- Αρχικά αναφέρονται τα πειραματικά σφάλματα τα οποία παρατηρήθηκαν τόσο στις μετρήσεις θορύβου βάθους του control room, όσο και στις στάθμες πίεσης του control room, όταν αυτό λειτουργεί ως δωμάτιο λήψης.

Τα πειραματικά σφάλματα αποδίδονται στη λανθασμένη απόκριση του ηχόμετρου.

Το συχνотικό εύρος όπου παρατηρήθηκαν τα σφάλματα είναι από τα 2000 Hz και πάνω. Όλοι οι πειραματικοί υπολογισμοί έγιναν μέχρι τη συχνότητα των 2000Hz.

- Λόγω των ελλειπών κατασκευαστικών δεδομένων (δεν υπάρχει πόρτα στο control room) δεν μπορεί να γίνει σύγκριση μεταξύ των θεωρητικών υπολογισμών και των υπολογισμών των μετρήσεων.

- Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων του θορύβου βάθους του control room, προέκυψε το συμπέρασμα ότι η στάθμη θορύβου βάθους του control room είναι ψηλή. Τα αποτελέσματα αυτά αποδίδονται :

i) στην απουσία της πόρτας του control room που φέρει ως αποτέλεσμα τη σύζευξη του χώρου με τον διάδρομο, ii) στην ελλιπή ηχομονωτική ικανότητα του τοίχου Β και το διάκενο στο κάτω μέρος αυτού (κενό κάτω από το σκελετό 2,5cm),iii) την χαμηλή ηχομονωτική ικανότητα της εξωτερικής πόρτας του studio, iv) την ύπαρξη άκαμπτης επιφάνειας (μάρμαρο) στο πάτωμα του διαδρόμου.

- Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων μεταξύ του χώρου λήψης και του χώρου εκπομπής, βγήκε το συμπέρασμα ότι η ηχομόνωση δεν είναι αρκετή για τον επαγγελματικό χώρο. Οι ψηλές στάθμες πίεσης που μετρήθηκαν στο δωμάτιο λήψης (control room) αποδίδονται στα εξής:

στην απουσία της πόρτας στο control room, την ελλιπή ηχομονωτική ικανότητα του τοίχου Β, την ελλιπή ηχομονωτική ικανότητα του διαχωριστικού τοίχου, το κατασκευαστικό μέρος των πατωμάτων (δεν είναι πλωτά), στη χαμηλή ηχομονωτική ικανότητα της πόρτας του recording room.

- Από τη σύγκριση των μετρήσεων με τις προδιαγραφές προέκυψαν τα εξής:

Στο control room επικρατεί ψηλή στάθμη θορύβου βάθους.

Η στάθμη πίεσης του control room ως δωμάτιο λήψης είναι αρκετά ψηλή.

Η ηχομόνωση των τοίχων Ζ του recording room και ο δεξής τοίχος του διαδρόμου, οι οποίοι συνορεύουν με το διπλανό μαγαζί είναι κάτω από τις κατώτατες επιθυμητές στάθμες, με αποτέλεσμα να προκαλούν ενόχληση στο διπλανό μαγαζί.

Παρόλα αυτά, η οροφή με τον επάνω όροφο καλύπτουν τα όρια ακουστικής άνεσης.

Διορθώσεις

Οι διορθώσεις που μπορεί να γίνουν στο studio έχουν ως κύριο παράγοντα το χρηματικό κόστος.

Στην παρούσα κατάσταση οι προτάσεις βελτίωσης της ηχομόνωσης αφορούν και τον κτυπογενή και τον αερόφερτο θόρυβο, καθώς το αποτέλεσμα και των δύο φέρουν ψηλές στάθμες ακουστικής πίεσης.

Στο recording room :

i) Στο recording room μία μικρή επιφάνεια του πατώματος καλύπτεται από χαλί. Ένα μέρος που καλύπτεται με χαλί είναι κάτω από το σετ των drums. Είναι θεμιτό μια μεγαλύτερη επιφάνεια να καλυφθεί με χαλί, εμποδίζοντας έτσι τη μετάδοση των στερεόφερτων ήχων.

ii) να δημιουργηθεί ένα βάραθρο στο σετ των drums, το οποίο στις βάσεις του να έχει ελατήρια ή ελαστικά ελάσματα για την αποφυγή των κραδασμών.

iii) να τοποθετηθούν κατάλληλες διατάξεις στους τοίχους όπως panel absorbers , διάτρητες επιφάνειες, απορροφητές τύπου μεμβράνης στα σημεία όπου θα φέρουν τα επιθυμητό αποτέλεσμα.

Με την εγκατάσταση των παραπάνω, η στάθμη έντασης θα μειωθεί με αποτέλεσμα η ηχομονωτική ικανότητα του χώρου, να αυξηθεί.

Κόστος αλλαγών περίπου 1000€

Διάδρομος :

Στο διάδρομο είναι θεμιτό να τοποθετηθεί χαλί έτσι ώστε να καλυφθεί η σκληρή επιφάνεια του μαρμάρου και να μικρύνει η αντήχηση του χώρου.

Recording room:

- i) η κύρια μέριμνα πρέπει να δωθεί στην πόρτα και τα κουφώματά της. Η πόρτα πρέπει να έχει όσο το δυνατόν, βάσει της κατασκευής της τοιχοποιίας Β, ψηλό δείκτη ηχομείωσης.
- ii) το κενό κάτω από την τοιχοποιία Β, κάτω από το σκελετό, είναι θεμιτό να καλυφθεί με παχύ αλλά και ελαστικό υλικό π.χ. ελαστική στήριξη από λάστιχο αντίστοιχου πάχους ή ακόμα και άμμο με ειδική τοποθέτηση έτσι ώστε να αποφευχθούν οι κραδασμοί. Το σοβατεπί της πόρτας Β, πρέπει να σφραγίσει το κενό ερμητικά.
- iii) η τοποθέτηση απορροφητών και διαχυτών στα σημεία όπου απαιτείται ακουστική βελτίωση θα επιφέρει αύξηση της ηχομόνωσης του δωματίου.
- iv) η τοποθέτηση χαλιού, αν δεν επηρεάζει την επιθυμητή ακουστική του χώρου θα εξυπηρετήσει στην ηχομόνωση.

Κόστος αλλαγών περίπου 1200€.

Μια σημαντική αλλαγή σε μετέπειτα χρονικά στάδια, είναι η αλλαγή των πόρτων και των κουφωμάτων τους με ειδικές πόρτες ηχομόνωσης, η οποία θα ενίσχυε την ηχομονωτική ικανότητα του studio.

Πρόταση σχεδιασμού του studio

Στο στάδιο αυτό παρουσιάζεται ένα πιθανό σενάριο αρχικού σχεδιασμού του studio βασισμένο στη θεωρία και βασισμένο στο σχεδιασμό του τωρινού studio.

Οι αλλαγές αφορούν τα πατώματα και τα ταβάνια των δύο χώρων, τον τοίχο Β του control room και τον τοίχο Ζ του recording room, τον διαχωριστικό τοίχο. Οι πόρτες όλες θα αντικαθίσταντο με πόρτες ηχομονωτικών προδιαγραφών. Οι προσθήκες απαιτούν την κατασκευή μίας ακόμα σύνθετης τοιχοποιίας με πόρτα.

Η αρχική αλλαγή θα ήταν στις διαστάσεις των δύο χώρων.

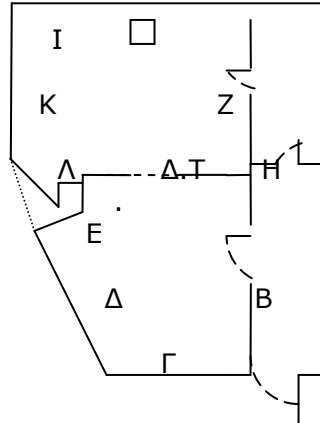
Control room

Όσον αφορά στο control room οι διαστάσεις θα ήταν τέτοιες ώστε να καλύπτουν τους βέλτιστους λόγους μεταξύ των διαστάσεων ενός ορθογωνίου δωματίου για την ευνοϊκή κατανομή των τρόπων ταλάντωσης. Εκτός από τη σχετική βιβλιογραφία, οι διαστάσεις αυτές αναλύονται στην πτυχιακή εργασία «Ακουστική και σχεδιαστικές αρχές ηχογραφικών κέντρων».

Ηχομονωτικά οι αλλαγές θα αφορούσαν τον τοίχο Β, ο οποίος θα ήταν διπλός σκελετός 75mm, με διπλή στρώση γυψοσανίδας στην εσωτερική μεριά και τριπλή στρώση στην εξωτερική.

Το πάτωμα θα ήταν πλωτό, πιθανώς μια κατασκευή με μεταλλικό ή ξύλινο σκελετό, ελάσματα, πετροβάμβακας (100 kg/m^3), διπλό MDF, στρώση ξύλου.

Η οροφή θα είχε μια επένδυση παραπάνω με διάτρητη γυψοσανίδα.



Σχήμα 6.16 Πρόταση σχεδιασμού του studio 3, βασισμένη στον υπάρχοντα σχεδιασμό και τη βιβλιογραφία.

Ο διαχωριστικός τοίχος θα τελείωνε στα όρια που θέτουν ο τοίχος Β του control και ο τοίχος Ζ του recording room. Θα ήταν ίδιο με μεγαλύτερο διάκενο ανάμεσα στους δύο σκελετούς και το διαχωριστικό τζάμι θα είχε ξεχωριστά στηρίγματα και θα ήταν μικρότερων διαστάσεων (40cm × 70cm το κάθε τζάμι). Το πάχος των κρυστάλλων θα ήταν 10mm από τη θορυβώδη μεριά (μεριά recording room) και 6mm από την άλλη, με διάκενο της τάξης των 10 cm.

Recording room

Το πάτωμα και το ταβάνι θα δέχονταν τις ίδιες αλλαγές με τις αλλαγές του control room.

Οι αλλαγές των διαστάσεων του recording room θα γίνονταν με την αλλαγή του τοίχου Ζ, ο οποίος θα χτιζόταν στα 2 m από την κολώνα που βρίσκεται στο χώρο (στα 2m η εσωτερική του μεριά). Το μήκος του τοίχου Ι θα γινόταν 5m (είναι 7m τώρα).

Ο τοίχος Ζ θα ήταν από διπλό σκελετό πάχους 75mm με διπλή στρώση γυψοσανίδας στο εσωτερικό και τριπλή στο εξωτερικό.

Θα ήταν σύνθετη τοιχοποιία καθώς θα είχε πόρτα εισόδου.

Με αυτόν τον τρόπο θα δημιουργούταν ένα κενό μήκους 1,5m από την αρχική τοιχοποιία, η οποία έχει επενδυθεί με γυψοσανίδα. Το κενό αυτό θα λειτουργούσε ως προθάλαμος για το recording room.

Αυτό θα απαιτούσε τη δημιουργία ακόμα ενός τοίχου, τοίχος Η, ο οποίος θα ήταν ανεξάρτητος με τη διαχωριστική τοιχοποιία. Θα αποτελούταν από μονό σκελετό με τριπλή γυψοσανίδα και θα περιείχε πόρτα με ψηλό δείκτη ηχομείωσης.

Στο πάτωμα του προθάλαμου του recording room θα υπήρχε χαλί. Έτσι ώστε να αποφεύγονται οι στερεόφερτες μεταδόσεις.

Ενδεικτικό κόστος υποθετικής κατασκευής : 13.500€

Επίλογος

Στα πλαίσια της εργασίας εξετάστηκαν ως προς την ηχομονωτική ικανότητα οι συμβατικές μονές και διπλές τοιχοποιίες, οι σύνθετες τοιχοποιίες, οι τοιχοποιίες ξηράς δόμησης μονές και διπλές, τοιχοποιίες από υαλότουβλα, τα πλωτά δάπεδα και οι επενδύσεις σε συμβατικές τοιχοποιίες.

Στο θεωρητικό μέρος εξετάστηκαν οι βασικές παράμετροι που σχετίζονται με την οικοδομική ηχομόνωση και την τεχνολογία υλικών, μελετήθηκε ο τρόπος προσδιορισμού της απόδοσης μιας κατασκευής και παρουσιάστηκαν θεωρητικά μοντέλα υπολογισμού και πρόβλεψης της ηχομονωτικής ικανότητας των συχνότερα εφαρμοζόμενων κατασκευών.

Στο πειραματικό μέρος επιχειρήθηκε η επαλήθευση και ο έλεγχος των διαφόρων θεωρητικών μοντέλων μέσω μετρήσεων σε πραγματικές κατασκευές και η επεξήγηση των βημάτων για τη διεκπεραίωση της ηχομονωτικής μελέτης ενός χώρου.

Συνοψίζοντας και για λόγους οικονομίας κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν εν συντομία τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την παραπάνω μελέτη:

I) Πρώτο γενικό συμπέρασμα, αφορά στη σημασία της μάζας της τοιχοποιίας και ισχύει:

- Στις μονές τοιχοποιίες, ο διπλασιασμός της μάζας προσφέρει αύξηση του φαινόμενου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης, R'_w , περίπου 7,5dB.
- Στις διπλές τοιχοποιίες, ο διπλασιασμός της μάζας επιτυγχάνει αύξηση του φαινόμενου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης, R'_w , περίπου κατά 15 dB.
- Οι μονοί τοίχοι δύσκολα επιφέρουν ηχομονωτικά αποτελέσματα πάνω από 50dB. Για λόγους στατικότητας και θερμοχωρητικότητας, για ηχομόνωση της τάξης των 55dB και πάνω είναι απαραίτητη η χρήση διπλής τοιχοποιίας. Τα διπλά οικοδομικά στοιχεία, λόγω του ενδιάμεσου στρώματος αέρα ή μονωτικού υλικού, με μικρή επιφανειακή μάζα δίνουν ψηλές τιμές του δείκτη ηχομείωσης.

II) Δεύτερο γενικό συμπέρασμα αφορά στο διάκενο των διπλών πετασμάτων, και ισχύει:

- Το μεγαλύτερο δυνατό διάκενο μεταξύ της διπλής τοιχοποιίας επιφέρει καλύτερη ακουστική απομόνωση μεταξύ των κελυφών, αυξάνοντας έτσι την ηχομονωτική ικανότητα της τοιχοποιίας, κυρίως όταν η τοιχοποιία έχει μικρή επιφανειακή πυκνότητα.
- Με το διπλασιασμό της απόστασης των κελυφών επιτυγχάνεται αύξηση του φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης περίπου κατά 6dB.
- Μία ελαφριά κατασκευή διπλού χωρίσματος με κενό 50mm θα αυξήσει την ηχομόνωση στις μεσαίες και ψηλές συχνότητες. Για να επιτευχθεί καλή ηχομόνωση και στις χαμηλές συχνότητες πρέπει το κενό μεταξύ των χωρισμάτων να είναι από 150mm και πάνω.
- Όσο αυξάνεται η απόσταση των κελυφών τόσο μικραίνει η οριακή συχνότητα. Όσο πιο χαμηλή είναι η συχνότητα συντονισμού των διπλών κελυφών τόσο πιο αποτελεσματική είναι η συμπεριφορά της κατασκευής ως προς την ηχομόνωση.

- Ο δείκτης ηχομείωσης αυξάνει περίπου 4,5dB με το διπλασιασμό του διάκενου μεταξύ των κρυστάλλων (παραθύρων).

III) Τρίτο γενικό συμπέρασμα αφορά στη χρήση του μονωτικού υλικού στο διάκενο της τοιχοποιίας και ισχύει:

- Όταν στο διάκενο υπάρχει μονωτικό υλικό πρέπει να δίνεται μέγιστη προσοχή έτσι ώστε να αποφεύγεται στην κοιλότητα να πέφτουν μπάζα ή λάσπη, τα οποία λειτουργούν σαν ηχητική γέφυρα μεταξύ των δύο κελυφών. Εάν συμβεί αυτό τα δύο κελύφη είναι μηχανικά ενωμένα μεταξύ τους και η ηχομονωτική τους ικανότητα ελαττώνεται κατά πολύ.
- Αν το μονωτικό υλικό που τοποθετείται στο διάκενο είναι θερμομονωτικό αλλά όχι ηχοαπορροφητικό (όπως λ.χ. οι πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης «DOW» που χρησιμοποιούνται ευρύτατα τελευταία), παρατηρείται πτώση του δείκτη ηχομείωσης, ακόμα και στις διπλές τοιχοποιίες με μεγάλη επιφανειακή πυκνότητα, η οποία οφείλεται στην με απόσβεση των συντονισμών της κοιλότητας μεταξύ των δύο κελυφών και πολλές φορές στην γεφύρωση της.
- Ο υαλοβάμβακας/πετροβάμβακας πρέπει να εφάπτεται στις γυφωσανίδες για να υπάρχει απόσβεση των ταλαντώσεων. Όταν χρησιμοποιηθεί υαλοβάμβακας/πετροβάμβακας και στους δύο σκελετούς γίνεται απόσβεση των ταλαντώσεων και στα δύο χωρίσματα με αποτέλεσμα να βελτιώνεται σημαντικά ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης κυρίως στην περιοχή γύρω από την κρίσιμη συχνότητα.
- Όταν χρησιμοποιείται εύκαμπτο μονωτικό στρώμα με μικρή δυναμική σκληρότητα στο διάκενο των κελυφών, το οποίο είναι συνδεδεμένο σε όλη την επιφάνεια των κελυφών, επιφέρει σχεδόν την ίδια συχνότητα συντονισμού με το ελεύθερο τοποθετημένο μονωτικό στρώμα. Όσο μικρότερη είναι η δυναμική σκληρότητα του μονωτικού υλικού τόσο πιο χαμηλή είναι η συχνότητα συντονισμού. Όσο πιο χαμηλή είναι η συχνότητα συντονισμού τόσο καλύτερη είναι η ηχομόνωση της τοιχοποιίας.
- Στις διπλές τοιχοποιίες ξηράς δόμησης παρατηρήθηκε ότι η πυκνότητα του μονωτικού υλικού, συγκεκριμένα του πετροβάμβακα, που επιφέρει τις μεγαλύτερες τιμές σε όλο το εύρος των συχνοτήτων είναι η πυκνότητα των 40kg/m^3 . Μεγαλύτερες πυκνότητες της τάξης των 100kg/m^3 και των 120kg/m^3 , επιφέρουν αύξηση στο δείκτη ηχομείωσης μόνο κάτω από την περιοχή των 160Hz. Αυτό συμβαίνει γιατί οι συχνότητες κάτω από τα 160Hz έχουν μεγάλη ενέργεια και απαιτείται το μονωτικό υλικό να φέρει αντίσταση και αδράνεια.
- Στις επιστρώσεις γυμνών εξωτερικών δομικών στοιχείων (λ.χ. πλάκα τaráτσας- μονοί εξωτερικοί τοίχοι) με διπλή στρώση μονωτικού υλικού θα πρέπει η τοποθέτηση να πραγματοποιείται σταυρωτά ούτως ώστε να ελαττώνονται οι ανοιχτοί αρμοί και να αποφεύγονται οι ηχητικές γέφυρες. Επιπλέον, το μονωτικό στρώμα πρέπει να καλύπτεται με ένα διαχωριστικό στρώμα το οποίο δε θα επιτρέπει τη διείσδυση της υγρασίας, δε θα

καταστρέφεται από αυτήν, δε θα αφήνει ατμούς να το διαπεράσουν και θα αντέχει σε μηχανική καταπόνηση.

IV) Τέταρτο γενικό συμπέρασμα αφορά στις λεπτομέρειες της κατασκευής και της τοποθέτησης της διπλής τοιχοποιίας και ισχύει:

- Στις διπλές κατασκευές ξηράς δόμησης, μπορεί να επιτευχθεί αρκετά υψηλή ηχομόνωση όταν το κάθε πέτασμα τοποθετείται σε ανεξάρτητο σκελετό. Με αυτόν τον τρόπο υπάρχει μηχανική απομόνωση του κάθε κελύφους.
- Στις διπλές κατασκευές ξηράς δόμησης, κρυστάλλων, υαλότουβλων και γενικότερα στις κατασκευές με μικρή επιφανειακή πυκνότητα, είναι σημαντικό να μην χρησιμοποιείται το ίδιο πάχος στις δύο μεριές καθώς αυξάνεται η κρίσιμη συχνότητα. Όταν τα δύο κελύφη έχουν το ίδιο πάχος, λόγω της κρίσιμης συχνότητας μπορεί να εμφανιστεί σημαντική πτώση του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης στη συχνότητα αυτή. Για τους υαλοπίνακες, η βέλτιστη σχέση άνισων παχών είναι 1:2.
- Όταν μία διπλή κατασκευή, είτε είναι ξηράς δόμησης τοιχοποιία είτε διπλός υαλοπίνακας, αποτελείται από άνισα στο πάχος κελύφη, δίνεται προσοχή στο συμπληρωματικό κέλυφος (ελαφρύτερο), το οποίο πρέπει να τοποθετείται στη θορυβώδη πλευρά του οικοδομικού στοιχείου.
- Στις διπλές κατασκευές ξηράς δόμησης, πρέπει να γίνεται ελαστική στηρίξη και στερέωση των δύο χωρισμάτων σε δάπεδο και οροφή καθώς και να δημιουργούνται αρμοί στις πλάκες δαπέδου και οροφής μεταξύ των στοιχείων.
- Οι αρμοί των γυψοσανίδων πρέπει να είναι όσο το δυνατό λεπτοί, ομαλοί, να στοκάρονται επιμελώς και να καλύπτονται με ταινία. Όταν ένα χώρισμα αποτελείται πάνω από μία στρώση γυψοσανίδας, η διαδικασία με τους αρμούς πρέπει να γίνεται σε κάθε στρώση. Οι γυψοσανίδες πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε οι αρμοί δύο διαδοχικών στρώσεων να μη συμπίπτουν.
- Στις τοιχοποιίες ξηράς δόμησης προσοχή πρέπει να δίνεται και στην απόσταση των ορθοστατών. Η μεγάλη απόσταση των ορθοστατών $\sim 200\text{mm}$ δίνει καλύτερα αποτελέσματα στις χαμηλές συχνότητες, αλλά στο εύρος μεταξύ 250-2000Hz ελαττώνεται η ηχομονωτική ικανότητα της τοιχοποιίας.
- Στις διπλές συμβατικές τοιχοποιίες, η μηχανική απομόνωση επιτυγχάνεται όταν οι δύο τοίχοι συνδέονται με συνδετήρες από ελαφρύ μέταλλο υπό μορφή ελάσματος επιφέροντας έτσι ψηλότερο δείκτη ηχομείωσης. Ιδιαίτερα σε κατασκευές υψηλών απαιτήσεων, όπως ένας τοίχος studio και εφόσον για κάποιο λόγο απαιτείται σύνδεση μεταξύ των δυο τοίχων, πρέπει να χρησιμοποιούνται εύκαμπτα δεσίματα μεταξύ των δύο τοίχων που αποτελούν τη διπλή τοιχοποιία.
- Στις επενδύσεις σε συμβατική τοιχοποιία, ο σκελετός δεν πρέπει να στηρίζεται στο βαρύ στοιχείο, έτσι ώστε να επιτευχθεί βελτίωση του δείκτη ηχομείωσης καθώς και να γίνεται ελαστική στερέωση στο δάπεδο και την οροφή.

- Στις κατασκευές τύπου δωμάτιο σε δωμάτιο (room in a room), είναι πολύ σημαντικό οι εσωτερικοί κάθετοι τοίχοι να εφάπτονται ελαστικά με την πλάκα οροφής και δαπέδου και όχι με την πλωτή επένδυση αυτών. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγονται οι πλευρικές μεταδόσεις.
- Σε όλες τις κατασκευές που γίνονται για την ηχομονωτική βελτίωση ενός χώρου, πρέπει να αποφεύγονται οι ηχητικές γέφυρες που δημιουργούνται στα σημεία συνένωσης μεταξύ της κάθε τοιχοποιίας. Πρέπει πάντοτε να παρεμβάλλεται κάποιο μονωτικό ελαστικό υπόστρωμα και η σφράγιση των αρμών να είναι μεν ερμητική αλλά με ελαστικά μέσα (λ.χ. με χρήση μαστίχης παραμένουσας ελαστικότητας). Οι εγκαταστάσεις σωληνώσεων για τα συστήματα εξαερισμού πρέπει να είναι εγκιβωτισμένες και επενδυμένες με ηχοαπορροφητικό υλικό.

V) Πέμπτο γενικό συμπέρασμα αφορά στις σύνθετες τοιχοποιίες και ισχύει:

- Το ποσοστό της αύξησης του σύνθετου δείκτη ηχομείωσης το καθορίζει το ασθενέστερο οικοδομικό στοιχείο. Όσο πιο μικρή είναι η διάστασή του ή όσο πιο μεγάλος είναι ο δείκτης ηχομείωσης του ασθενέστερου στοιχείου (π.χ. παραθύρου), τόσο καλύτερη είναι η τοιχοποιία ηχομονωτικά. Η προσπάθεια αύξησης της επιφανειακής πυκνότητας του ισχυρού στοιχείου θα επιβαρύνει οικονομικά την κατασκευή χωρίς να φέρει κάποιο αποτέλεσμα ηχομονωτικά.
- Οι πόρτες αποτελούν τα αδύναμα ηχοτεχνικά σημεία σε κάθε τοιχοποιία. Για το λόγο αυτό πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην κατασκευή τους και στην τοποθέτησή τους. Η χρήση ακουστικών προθαλάμων με δυο ξεχωριστές πόρτες σε απόσταση μεταξύ τους αυξάνει σημαντικά την ηχομόνωση και είναι η πλέον ενδεδειγμένη λύση στις περιπτώσεις που μπορεί να εφαρμοσθεί. Οι ηχομονωτικές πόρτες θα πρέπει να έχουν μεγάλο επιφανειακό βάρος, να γίνεται καλή στεγανοποίηση της εγκοπής της πόρτας και να υπάρχει καλή σφράγιση μεταξύ θυρόφυλλου- πατώματος, θυρόφυλλου και κάσας το οποίο πρακτικά σημαίνει διπλές πατούρες και ειδικά ελαστομερή σφράγισης.

VI) Έκτο γενικό συμπέρασμα αφορά στη σωστή επιλογή των υλικών που χρησιμοποιούνται στην οικοδομική ηχομόνωση, η οποία γίνεται βάση τεσσάρων παραγόντων:

- της φυσικής ιδιότητας του κάθε υλικού, π.χ. πυκνότητα, θερμική αγωγιμότητα, αντοχή, σκληρότητα κ.α.
- της μηχανικής ιδιότητας του κάθε υλικού, π.χ. αντοχή στη θλίψη, εφελκυσμό, κρούση κ.α.
- της πυρο-συμπεριφοράς του κάθε υλικού, π.χ. το χρόνο και τον τρόπο όπου αντιδράει ένα υλικό στη φωτιά.
- της οικολογικής συμπεριφοράς του υλικού ως προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον, τόσο στο στάδιο παραγωγής του όσο και στο στάδιο εγκατάστασης και χρήσης αυτού.

Ολοκληρώνοντας την εργασία και έχοντας αναπτύξει όλους τους παράγοντες που απαιτούνται για την διεκπεραίωση μιας σωστής ηχομονωτικής μελέτης καθώς και τις συνέπειες από τυχών λάθη ή παραλείψεις, γίνεται σαφής η αναγκαιότητα πραγματοποίησης μιας αντίστοιχης μελέτης ήδη από το αρχικό στάδιο του σχεδιασμού.

Ο σύμβουλος ακουστικής και ηχομόνωσης πρέπει να συμμετέχει από την αρχή του σχεδιασμού ενός έργου έτσι ώστε να υπάρχει σωστή συνεννόηση μεταξύ αυτού, του αρχιτέκτονα και του πολιτικού μηχανικού και ο εκάστοτε χώρος να πληρεί της προδιαγραφές της ηχομόνωσης.

Επιπλέον, αν για λόγους κόστους δε ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για τον ηχομονωτικό σχεδιασμό, οι μετέπειτα επεμβάσεις θα αυξήσουν κατά πολύ το κόστος και στις περισσότερες περιπτώσεις χωρίς να μπορούν πλέον να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Κάθε μελέτη ακουστικής θα πρέπει να αποτελείται από τα τρία στάδια:

- την προμελέτη όπου προσδιορίζονται οι στόχοι της μελέτης και ελέγχεται η δυνατότητα επίτευξης τους με διάφορες ρεαλιστικές κατασκευές που υπόκεινται στους κατασκευαστικούς περιορισμούς του έργου
- την οριστική μελέτη όπου προσδιορίζεται (λαμβάνοντας υπόψη την ηχομονωτική απόδοση, το κόστος, την υγιεινή και ασφάλεια, την ευκολία εφαρμογής κλπ) η συγκεκριμένη κατασκευή που θα εφαρμοστεί
- τη μελέτη εφαρμογής όπου με βάση την λύση που επιλέχθηκε μελετώνται οι συγκεκριμένες λεπτομέρειες και προδιαγραφές για την εφαρμογή στο συγκεκριμένο έργο.

Δεδομένου ότι η δημιουργία ενός ειδικού επαγγελματικού χώρου όπως ένα studio ηχογραφήσεων, απαιτεί υψηλές ηχομονωτικές προδιαγραφές και κατασκευές υψηλού κόστους θα πρέπει να διασφαλιστεί η ακριβής εφαρμογή της μελέτης και να γίνει κατανοητό στα αντίστοιχα συνεργία ότι για οποιαδήποτε απορία ή τροποποίηση θα πρέπει να έρχονται σε επικοινωνία με το σύμβουλο ακουστικής και ηχομόνωσης.

Κλείνοντας πιστεύουμε ότι, εφόσον υπάρξει ενδιαφέρον από κάποιον άλλο σπουδαστή, θα ήταν πολύ χρήσιμη η μελλοντική επέκταση της εργασίας αυτής και σε θέματα μηχανολογικού θορύβου και θορύβου των δικτύων κλιματισμού.

7. Βιβλιογραφία.

1.Βιβλία

- [1] Ακουστική & Κτιριακές Εφαρμογές, θεωρία και πράξη, Διονύσιος Ευθυμιάτος
- [2] Δομική Φυσική, Θερμομόνωση-Ηχομόνωση-Πυροπροστασία, Walter Blasi
- [3] Engineering Noise Control, Theory and Practise, third edition, David A. Bies and Colin H.Hansen
- [4] Sound Research Labs, edited by AlanFrey, "Noise Control in Building Services", Pergamon Press 1988
- [5] Εφαρμοσμένη Ακουστική, δεύτερη έκδοση, Δημήτρης Σκαρλάτος
- [6] Τεχνολογία των Δομικών Υλικών, δεύτερη έκδοση, Γ.Καλκάνης, Ι.Χατήρης, Χ. Σταθουλοπούλου.
- [7] Ηχομόνωση, Βασικές εφαρμογές, fibran, Αθανάσιος τροχίδης
- [8] Detailing for acoustics, third edition, Peter Lord and Ducan Templeton.

2. Επιστημονικά άρθρα.

- [1] ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ και ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ ΑΙΜ. Γ. ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ, Γ.- ΦΟΙΒΟΣ ΣΑΡΓΕΝΤΗΣ ΥΠ. ΔΡ. Ε.Μ.ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ(2008)
- [2] « Συγκριτική αξιολόγηση πετροβάμβακα και εξηλασμένης πολυστερίνης», Κ.Γράψας, Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Νοέμβριος 2007)
- [3] « Effect of roskwool bulk density on the airborne sound insulation of lightweight double walls», A. Uris (corresponding author), A. Llopis, J. Llinarew,Applied Acoustics 58 (1999) 327-331.
- [4] BS EN ISO 140-4:1998, Acoustics- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms.
- [5] « Determining Noise Criteria for Recording Environment » . Elisabeth A.Cohen, AES Member & Louis D.Fielder, AES Fellow.
- [6] «Οικολογική Δόμηση», συντ. Ευθυμιόπουλος Η., Διεπιστημονικό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Ερευνών, ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα 2000
- [7] «Δομικά Υλικά και Οικολογία», Σαργέντης Φ., Ε.Μ.Π., Εργαστήριο Τεχνικών Υλικών, Αθήνα 2002
- [8] «Ενέργεια και Εσωτερική Ρύπανση Χώρων», Μπαλάρας Κ., Σανταμούρης Μ., Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας, Αθήνα 1996
- [9] «Οικολογία για Μηχανικούς», Χατζημπίρος Κ., Ανδρεαδάκης Α., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2000
- [10] «Ecologic Architecture», Richard I. Crowther, Boston: Butterworth Architecture, 1992
- [11] "A Green Vitruvius (principles and practice of sustainable architectural design)", London, James & James, 1999

[12] "Green Building Handbook: a guide to building products and their impact on the environment", vol. 1, Wooley T., Kimmins S., Great Britain: E & FN SPON, c1997

[13] «Περιβαλλοντικές παράμετροι στον κύκλο ζωής των κτιρίων», Περιοδικό *ΚΤΙΡΙΟ*

[14] «Σπάταλα Κτίρια», εφημερίδα *Ελευθεροτυπία*, ένθετο «Διακόσμηση», Σάββατο 5 Απριλίου 2003, σελ.12

[15] «Τα συν και τα πλην των υλικών», «Τα «άρρωστα» κτίρια», εφημερίδα *Ελευθεροτυπία*, ένθετο «Διακόσμηση», Σάββατο 12 Απριλίου 2003, σελ. 16, 18

[16] «Τα «άρρωστα» κτίρια», εφημερίδα *Το Έθνος της Κυριακής*, 14 Σεπτεμβρίου 2003, σελ. 41-42

3. Σημειώσεις Μαθημάτων

[1] Εφαρμοσμένη Ακουστική ΙΙ –σημειώσεις εργαστηρίου, 2008, Κουζούπης Σπύρος-Σηφάκης Μηνάς.

[2] Σημειώσεις εργαστηρίου Μηχανικής Ήχου 1, χρήστος Κουτσοδημάκης.

4. Τεχνικά φυλλάδια

[1] Συστήματα εσωτερικής τοιχοποιίας knauf, τεχνικό φυλλάδιο W11.

[2] Οροφές με γυψοσανίδες knauf, τεχνικό φυλλάδιο D11.

[3] Vibro, η λύση στο πρόβλημα των κραδασμών, τεχνικό φυλλάδιο της alpha Acoustiki.

[4] Teknofon, ηχοαπορροφητικά και ηχομονωτικά, teknofoam.

5. Αναφορές

[1](Davy, 2000),στο βιβλίο: Engineering Noise Control, Theory and Practise, third edition, David A. Bies and Colin H.Hansen, κεφάλαιο 8.2.2.

[2](Cremer 1942), στο βιβλίο: Engineering Noise Control, Theory and Practise, third edition, David A. Bies and Colin H.Hansen, κεφάλαιο 8.2.4.

[3] (Sharp,1978), στο βιβλίο: Engineering Noise Control, Theory and Practise, third edition, David A. Bies and Colin H.Hansen, κεφάλαιο 8.2.6.

[4] (Davy, 1993), στο βιβλίο: Engineering Noise Control, Theory and Practise, third edition, David A. Bies and Colin H.Hansen, κεφάλαιο 8.2.6.

[5] (Maidanik, 1962), στο βιβλίο: όπως διορθώθηκε από Price & Crocker 1970), Engineering Noise Control, Theory and Practise, third edition, David A. Bies and Colin H.Hansen, κεφάλαιο 7.8.2.

[6](Fahy, 1985, σελίδες 94-96), στο βιβλίο: Engineering Noise Control, Theory and Practise, third edition, David A. Bies and Colin H.Hansen, κεφάλαιο 8.2.6.

[7], (Davy, 1998), στο βιβλίο:Engineering Noise Control, Theory and Practise, third edition, David A. Bies and Colin H.Hansen, κεφάλαιο 8.2.6.

[8] (Rindel and Hoffmeyer,1991), στο βιβλίο: Engineering Noise Control, Theory and Practise, third edition, David A. Bies and Colin H.Hansen, κεφάλαιο 8.2.6.

6. Διαδυσκτιακός τόπος

[1] site isover

[2] site knauf

[3] site Lafage

[4] site fibran

- [5] site alpha acoustiki
- [6] site ergoakoustiki
- [7] site lazarakis
- [8] site domonorm
- [9] site Ακεκ Α.ε.
- [10] site Getzner
- [11]site choromonotiki
- [12]site alto
- [13] <http://gaec.nrcps.ariadne.t.gr/radonio/RadonIndex.html>
- [14] <http://europa.eu.int/smartapi/cgi/>
- [15] http://europa.eu.int/comm/environment/waste/pvc/green_paper_pvc.html
- [16] www.buildinggreen.com/elists/halpaper.html
- [17] www.buildinggreen.com/features/ins/insulation.html
- [18] www.greenbuilder.com/sourcebook/EarthGuidelines.html
- [19] <http://oikos.com/news/2003/01.html>
- [20] <http://oikos.com/news/2003/02.html>
- [21] www.sciencedirect.com/
- [22] <http://archive.greenpeace.org/~toxics/pvcdatabase/bad.html>
- [23] <http://archive.greenpeace.org/~ozone/excuse/2excuse.html>
- [24] <http://archive.greenpeace.org/~usa/reports/toxics/PVC/cradle/dcg03.html>
- [25] <http://archive.greenpeace.org/~toxics/html/content/danishtable.html>
- [26] http://archive.greenpeace.org/toxics/virtual_house/windows.html
- [27] www.umanitoba.ca/academic/faculties/archticture/la/sustainable/cases/ecolonia/ecoindux.html

Παραδείγματα.

- Παράδειγμα 1,2,3,4 (κεφάλαιο πτυχιακής, 2.3.2.3.) - Δομική Φυσική, Walter Blasi (κεφ.3.9.2)
- Παράδειγμα 5 (κεφάλαιο πτυχιακής, 2.9.1.) - Δομική Φυσική, Walter Blasi (κεφ.3.11.1, κεφ.3.11.2, κεφ 3.12.3)
- Παράδειγμα 6 (κεφάλαιο πτυχιακής, 2.10.1.) - Δομική φυσική,Walter Blasi (κεφ.3.12.1)
- Παράδειγμα 7 (κεφάλαιο πτυχιακής, 2.10.2.) - Δομική φυσική,Walter Blasi (κεφ.3.12.2.1)
- Παράδειγμα 8 (κεφάλαιο πτυχιακής, 2.12.4.) - Engineering Noise Control, David A.Bies. and Colin H.Hansen, third edition, (κεφ.8.2.6)
- Παράδειγμα 9, 10, 11 (κεφάλαιο πτυχιακής, 2.14.1.) - Δομική Φυσική, Walter Blasi (κεφ.3.12.2.)
- Παράδειγμα 12, 13, 14 (κεφάλαιο πτυχιακής, 2.14.2.) - Δομική Φυσική, Walter Blasi (κεφ.3.13.3)
- Παράδειγμα 15 (κεφάλαιο πτυχιακής, 2.15.1.) - Engineering Noise Control, David A.Bies. and Colin H.Hansen, third edition, (κεφ.8.4.4.)
- Παράδειγμα 16, 17, 18 (κεφάλαιο πτυχιακής, 2.15.1.) - Δομική φυσική,Walter Blasi (κεφ.3.17.)
- Παράδειγμα 19 (κεφάλαιο πτυχιακής, 2.15.4.) - Δομική φυσική,Walter Blasi (κεφ.3.17.)
- Παράδειγμα 20 (κεφάλαιο πτυχιακής, 2.16.1.) - Δομική φυσική,Walter Blasi (κεφ.3.12.2.3)
- Παράδειγμα 21 (κεφάλαιο πτυχιακής, 2.16.1.) - Δομική φυσική,Walter Blasi (κεφ.3.12.2.3)
- Παράδειγμα 22 (κεφάλαιο πτυχιακής, 2.16.2.) - Δομική φυσική,Walter Blasi (κεφ.3.12.2.4)
- Παράδειγμα 23 (κεφάλαιο πτυχιακής, 2.16.2.) - Δομική φυσική,Walter Blasi (κεφ.3.12.2.4)
- Παράδειγμα 24 (κεφάλαιο πτυχιακής, 2.16.2.) - Engineering Noise Control, David A.Bies. and Colin H.Hansen, third edition, (κεφ.8.4.4)
- Παράδειγμα 25 (κεφάλαιο πτυχιακής, 2.16.3.) - Ακουστική & Κτιριακές εφαρμογές, Διονύσης Ευθυμιάτος (κεφ.3.2.4)
- Παράδειγμα 26 (κεφάλαιο πτυχιακής, 2.18.) - Δομική φυσική,Walter Blasi (κεφ.3.14)
- Παράδειγμα 27, 28, 29, 30 (κεφάλαιο πτυχιακής, 2.21.) - Δομική φυσική,Walter Blasi (κεφ.3.15)
- Παράδειγμα 31 (κεφάλαιο πτυχιακής, 2.22.1.) - Δομική φυσική,Walter Blasi (κεφ.3.14.3)
- Παράδειγμα 32, 33, 34 (κεφάλαιο πτυχιακής, 2.22.1.) - Δομική φυσική,Walter Blasi (κεφ.3.16)
- Παράδειγμα 35 (κεφάλαιο πτυχιακής, 3.16.2.) - Δομική φυσική,Walter Blasi (κεφ.3.16.)
- Παράδειγμα 36 (κεφάλαιο πτυχιακής, 3.26.) - βασισμένο σε τυχαία δεδομένα.

- Παράρτημα Α, κεφ.Α.1.- παράδειγμα 1, 2, 3, 4, 5 - Ακουστική & Κτιριακές εφαρμογές, Διονύσης Ευθυμιάτος (κεφ.3.2.3.1)
- Παράρτημα Α, κεφ.Α.1. - παράδειγμα 6 - Διαδικτυακός τόπος Isover
- Παράρτημα Α, κεφ.Α.1. - παράδειγμα 7, 8,9 - Ακουστική & Κτιριακές εφαρμογές, Διονύσης Ευθυμιάτος (κεφ.3.2.3.1 και 3.4.8.3-για το 9^ο παράδειγμα)
- Παράρτημα Α, κεφ.Α.1. – παράδειγμα 10, 11 - Ακουστική & Κτιριακές εφαρμογές, Διονύσης Ευθυμιάτος (κεφ.3.2.3.3)
- Παράρτημα Α, κεφ.Α.3. – παράδειγμα 12, 13, 14, 15 - Τεχνικό φυλλάδιο Knauf W11
- Παράρτημα Α, κεφ.Α.4. – παράδειγμα 16, 17 - Φυλλάδιο knauf –πίνακες κοστολόγησης 09/2007
- Παράρτημα Α, κεφ.Α.5. – παράδειγμα 18, 21 - Τεχνικό φυλλάδιο Knauf D11

Σχήματα

- Παράρτημα Α, κεφ.Α.2. - σχήμα Α.2., Α.3.α,β,γ,δ, Α.4.α-θ - Detailing for acoustics, Peter Lord and Duncan Templeton, third edition (κεφ.Walls, μόνο για το σχήμα Α.4.θ. κεφ. Composite floors)
- Παράρτημα Α, κεφ.Α.2.1. - σχήμα Α.5.α-θ, Α.6.α-ε - Δομική φυσική,Walter Blasi (κεφ.3.13.5)
- Παράρτημα Α, κεφ.Α.2.2. - σχήμα Α.7.α-γ, Α.8.α-β - Δομική φυσική,Walter Blasi (κεφ.3.18)
- Παράρτημα Α, κεφ.Α.2.2. - σχήμα Α.9.α-ε, Α.6.α-ε - Fibran, Ηχομόνωση βασικές Αρχές και Εφαρμογές, Αθανάσιος Τροχίδης (κεφ.2)
- Παράρτημα Α, κεφ.Α.2.2. - σχήμα Α.10.α-δ - Ακουστική & Κτιριακές εφαρμογές, Διονύσης Ευθυμιάτος (κεφ.3.2.5)

Εικόνες

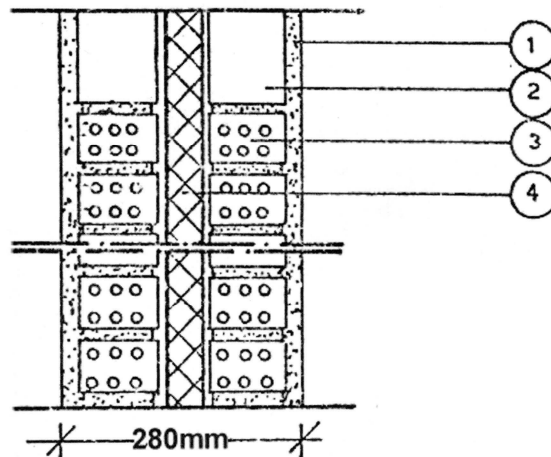
- Παράρτημα Β, κεφ.Β.3., εικόνα Β.4.α-κ - Διαδικτυακός τόπος choromonotiki
- Παράρτημα Β, κεφ.Β.3. – εικόνα Β.4.λ-μ , Β.5.α-γ - Τεχνικό φυλλάδιο Teknofon, εταιρία Teknofoam hellas Ε.Π.Ε.

Παράρτημα Α

Παραδείγματα του δείκτη ηχομείωσης μονών και διπλών κατασκευών και παραδείγματα της κανονικοποιημένης στάθμης κτυπογενή ήχου.

Α.1. Συνήθης κατασκευές και συγκρίσεις

Παράδειγμα 1
Διπλή τοιχοποιία από τούβλα



- 1.επίχρισμα 2cm
- 2.τούβλα διάτρητα 9*6*20 cm(σφηνωτά)
- 3.τούβλα διάτρητα 9*6*20 cm
- 4.πλάκες υαλοβάμβακα 5cm, 2,5kg/m², σε διάκενο 6cm

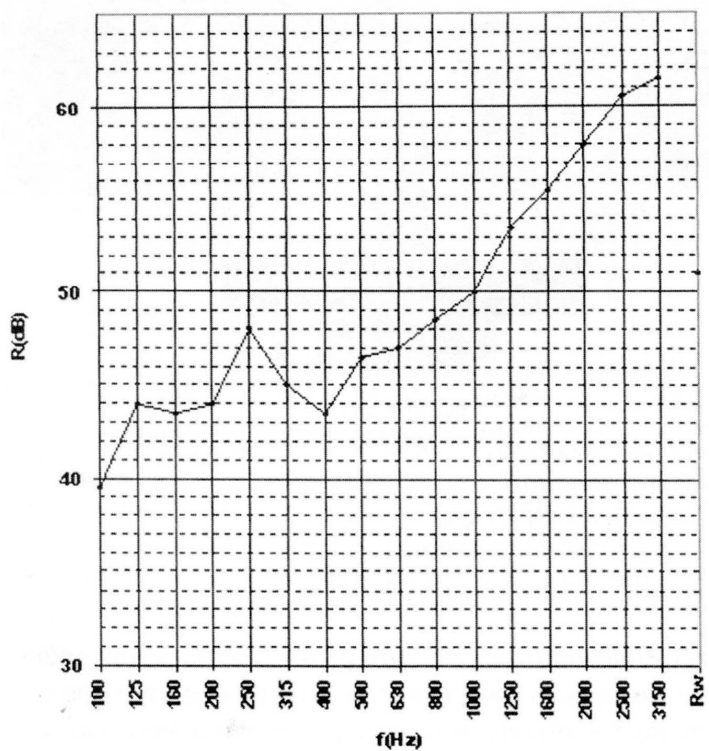
Σχήμα Α.1. Διπλό χώρισμα από τούβλα.

Στο σχήμα Α1 απεικονίζεται ένα σύνηθες για την Ελλάδα διπλό χώρισμα. Αποτελείται από δύο δρομικούς τοίχους από τούβλα. Τα τούβλα είναι διάτρητα με πάχος 9cm. Το διάκενο είναι 5-6cm και είναι γεμισμένο με υαλοβάμβακα. Κάθε εξωτερική πλευρά των τούβλων έχει επίχρισμα (σοβάς) 1,5-2cm.

Οι μετρήσεις του δείκτη ηχομείωσης αυτού του διπλού χωρίσματος έγιναν στο εργαστήριο ηχοτεχνίας του Ε.Μ.Π. και έγινε η εξής κατασκευή. Τα άκρα συμπληρώθηκαν με σφηνωτά τούβλα και το κενό δεν τοποθετήθηκε στον αρμό, αλλά όλο το χώρισμα κατασκευάστηκε από την πλευρά του θαλάμου εκπομπής.

Ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης αυτής της μέτρησης υπολογίστηκε στα 51dB.

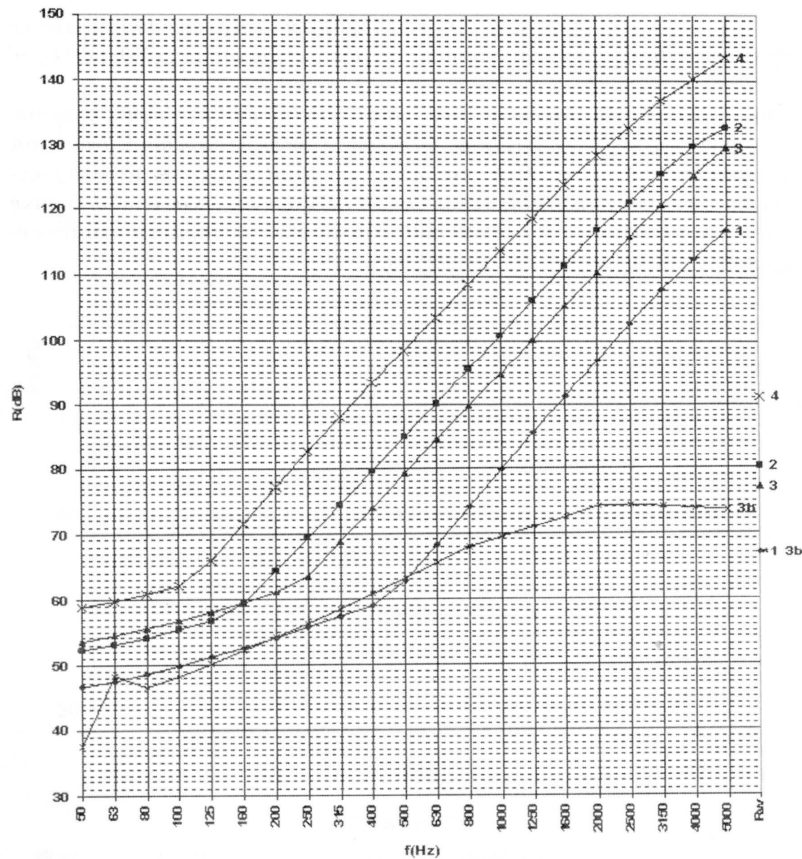
Το διάγραμμα του δείκτη ηχομείωσης του διπλού τοιχώματος από δρομικά τούβλα βρίσκεται παρακάτω.



Σχεδιάγραμμα Α.1. Δείκτης ηχομείωσης διπλού δρομικού τοίχου.

Παράδειγμα 2

Σύνηθες διπλές κατασκευές, για την Ελλάδα, με μεγάλη μάζα



Σχεδιάγραμμα Α.2.

Δείκτης ηχομείωσης διπλών χωρισμάτων μεγάλης επιφανειακής πυκνότητας με αρμό.

1: Δύο τοίχοι από συμπαγή τούβλα, 115mm, 1400kg/m³, επίχρισμα 10mm, κενό με 20mm ηχοαπορροφητικό, επιφανειακή πυκνότητα 2*171= 342 kg/m².

2: Δύο τοίχοι από συμπαγή τούβλα, 175mm, 1800kg/m³, επίχρισμα 10mm, κενό με 40mm ηχοαπορροφητικό, επιφανειακή πυκνότητα 2*325= 650 kg/m².

3: Δύο τοίχοι από σκυρόδεμα, 160mm, 2300kg/m³, επίχρισμα 10mm, κενό με 22/20mm συμπιεσμένο ηχοαπορροφητικό, επιφανειακή πυκνότητα 2*378 = 756kg/m².

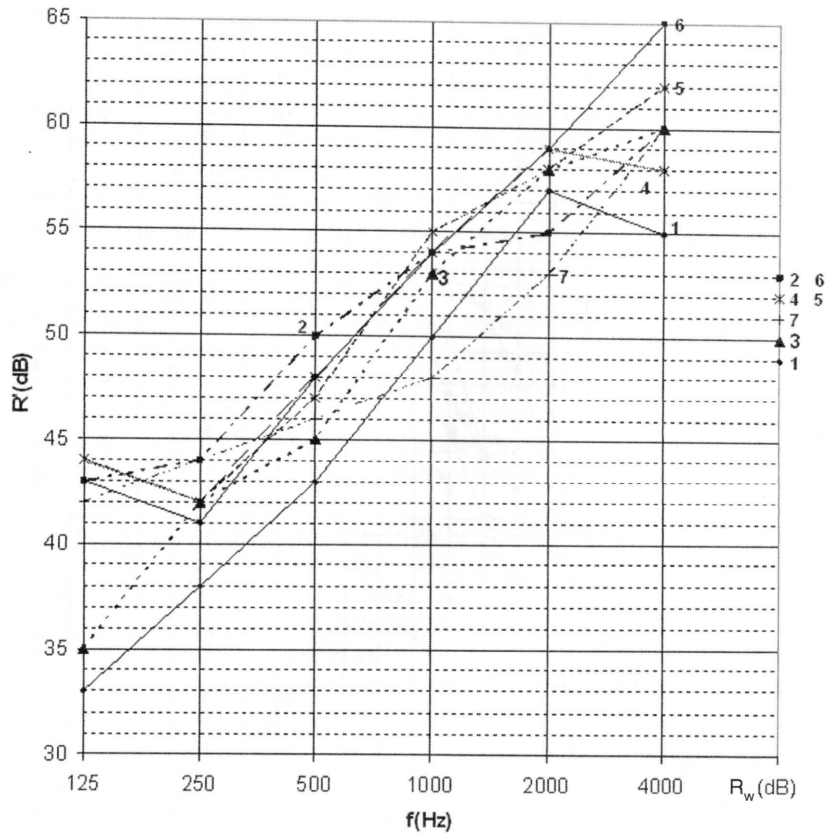
3b: Μονός τοίχος από σκυρόδεμα, 300mm, 2400kg/m³, από τις δύο πλευρές επίχρισμα 15mm, επιφανειακή πυκνότητα 770Kg/m², προς σύγκριση με την 3, ίσης περίπου επιφανειακής πυκνότητας.

4: Δύο τοίχοι από σκυρόδεμα, 300mm, 2300kg/m³, επίχρισμα 10mm κενό με 22/20 συμπιεσμένο ηχοαπορροφητικό, επιφανειακή πυκνότητα 2*700 = 1400kg/m².

Τα χωρίσματα αυτά κατασκευάζονται για υψηλές ηχομονωτικές απαιτήσεις και συνήθως κατασκευάζεται και αρμός.

Παράδειγμα 3

Διπλά χωρίσματα με μεγάλη επιφανειακή πυκνότητα χωρίς αρμό.



Σχεδιάγραμμα Α.3.

Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης διπλών χωρίσμάτων μεγάλης επιφανειακής πυκνότητας χωρίς αρμό

1: σκυρόδεμα 40mm- κενό 25mm-σκυρόδεμα 70mm, επιφανειακή πυκνότητα 275Kg/m^2 , συνολικό πάχος 135mm.

2: σκυρόδεμα 70mm- κενό 10mm-σκυρόδεμα 70mm, επιφανειακή πυκνότητα 340Kg/m^2 , συνολικό πάχος 150mm.

3: σκυρόδεμα 40mm- κενό 50mm-σκυρόδεμα 70mm, επιφανειακή πυκνότητα 275Kg/m^2 , συνολικό πάχος 160mm.

4: σκυρόδεμα 70mm- κενό 50mm-σκυρόδεμα 70mm, επιφανειακή πυκνότητα 340Kg/m^2 , συνολικό πάχος 190mm.

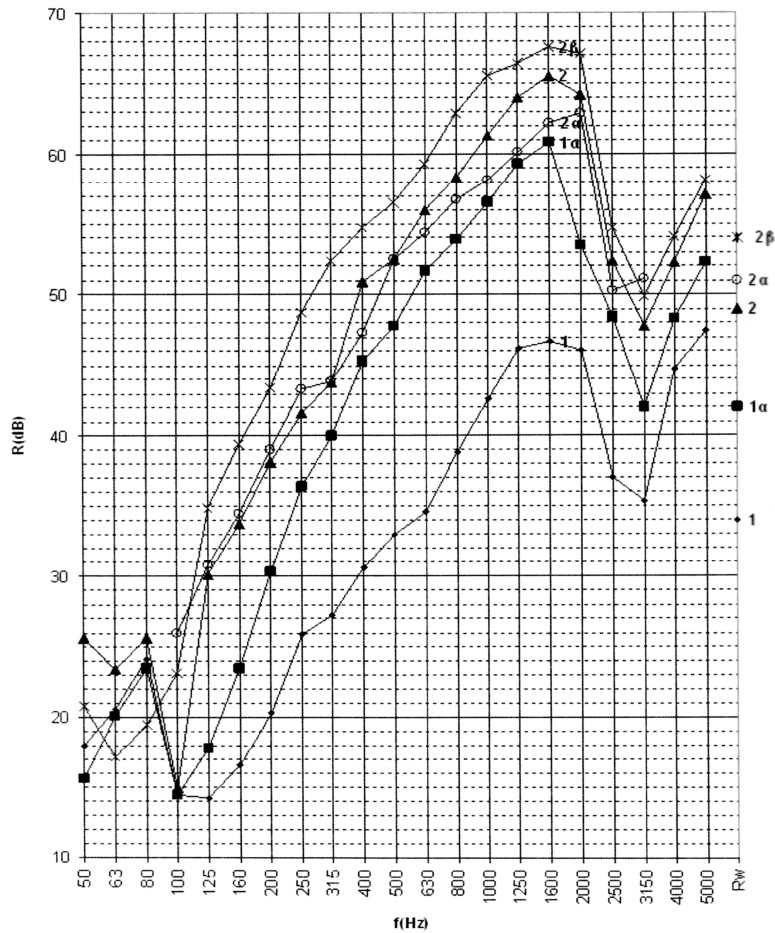
5: σκυρόδεμα 40mm- κενό 100mm-σκυρόδεμα 70mm, επιφανειακή πυκνότητα 275Kg/m^2 , συνολικό πάχος 210mm.

6: σκυρόδεμα 70mm- κενό 100mm-σκυρόδεμα 70mm, επιφανειακή πυκνότητα 340Kg/m^2 , συνολικό πάχος 240mm.

7: σκυρόδεμα 70mm- κενό 110mm-σκυρόδεμα 120mm, επιφανειακή πυκνότητα 175Kg/m^2 , συνολικό πάχος 300mm.

Παράδειγμα 4

Διπλά ελαφριά χωρίσματα γυψοσανίδας με μεταλλικό σκελετό.



Σχεδιάγραμμα Α.4.
Διπλά ελαφριά χωρίσματα γυψοσανίδας με μεταλλικό σκελετό.

1: 1 γυψοσανίδα 12,5 mm, σκελετός 50mm με αέρα στο κενό, 1 γυψοσανίδα 12,5 mm, επιφανειακή πυκνότητα $2 \cdot 8,5 = 17 \text{kg/m}^2$.

1α: 1 γυψοσανίδα 12,5 mm, σκελετός 50mm με 50mm υαλοβάμβακα στο κενό, 1 γυψοσανίδα 12,5 mm, επιφανειακή πυκνότητα $2 \cdot 8,5 = 17 \text{kg/m}^2$

2: 2 γυψοσανίδες 12,5 mm, σκελετός 50mm με 50mm υαλοβάμβακα στο κενό, 2 γυψοσανίδες 12,5 mm, επιφανειακή πυκνότητα $2 \cdot 17 = 34 \text{kg/m}^2$

2α: 2 γυψοσανίδες 12,5 mm, σκελετός 50mm με 50mm υαλοβάμβακα στο κενό, 2 γυψοσανίδες 12,5 mm, επιφανειακή πυκνότητα $2 \cdot 18 = 36 \text{kg/m}^2$

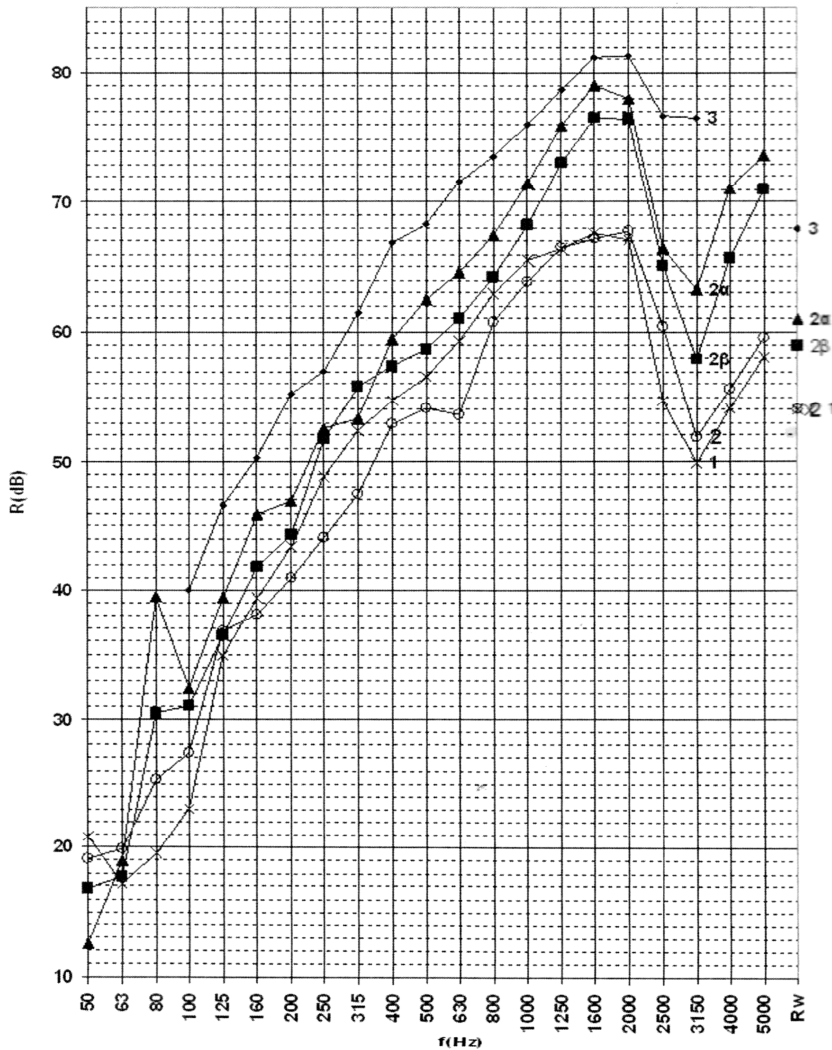
2β: 2 γυψοσανίδες 12,5 mm, σκελετός 75mm με 75mm υαλοβάμβακα στο κενό, 2 γυψοσανίδες 12,5 mm, επιφανειακή πυκνότητα $2 \cdot 18 = 36 \text{kg/m}^2$.

Σε όλα τα διαγράμματα παρατηρούνται δύο βυθίσματα.

Το πρώτο αντιστοιχεί στη συχνότητα σύμπτωσης-κρίσιμη συχνότητα- και το δεύτερο στη συχνότητα συντονισμού του διάκενου.

Παράδειγμα 5

Διπλά ελαφριά χωρίσματα γυψοσανίδας με μεταλλικό σκελετό αυξημένου δείκτη ηχομείωσης.



Σχεδιάγραμμα Α.5.

Διπλά ελαφριά χωρίσματα γυψοσανίδας με μεταλλικό σκελετό αυξημένου δείκτη ηχομείωσης.

1: 2 γυψοσανίδες 12,5 mm, σκελετός 75mm με 75mm υαλοβάμβακα στο κενό, 2 γυψοσανίδες 12,5 mm, επιφανειακή πυκνότητα $2 \cdot 18 = 36 \text{ kg/m}^2$ (ίδιο με το 2β του σχήματος 2.23 προς σύγκριση)

2: 2 γυψοσανίδες 12,5 mm, σκελετός 100mm με 100mm υαλοβάμβακα στο κενό, 2 γυψοσανίδες 12,5 mm, επιφανειακή πυκνότητα $2 \cdot 17 = 34 \text{ kg/m}^2$

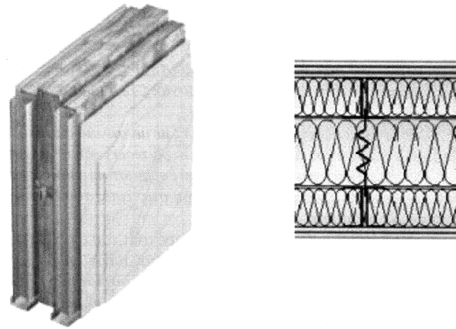
2^α: 2 γυψοσανίδες 12,5 mm, σε δύο εντελώς ανεξάρτητους σκελετούς των 50mm, με 50mm υαλοβάμβακα σε κάθε σκελετό, 2 γυψοσανίδες 12,5 mm, επιφανειακή πυκνότητα $2 \cdot 17 = 34 \text{ kg/m}^2$

2β: 2 γυψοσανίδες 12,5 mm, σε δύο εντελώς ανεξάρτητους σκελετούς των 50mm, με 50mm υαλοβάμβακα στον ένα σκελετό, 2 γυψοσανίδες 12,5 mm, επιφανειακή πυκνότητα $2 \cdot 17 = 34 \text{ kg/m}^2$

3: 2 γυψοσανίδες 12,5 mm, σε δύο εντελώς ανεξάρτητους σκελετούς των 100mm, με 100mm υαλοβάμβακα στον ένα σκελετό, 2 γυψοσανίδες 12,5 mm, επιφανειακή πυκνότητα $2 \cdot 24 = 48 \text{kg/m}^2$

Παράδειγμα 6

Ελαφρύ διπλό χώρισμα γυψοσανίδας με πολύ ψηλό σταθμισμένο δείκτη ηχομείωσης.



Εικόνα Α.1., Α.2. Ελαφρύ χώρισμα πολύ ψηλού σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης (παράδειγμα από ιστοσελίδα της εταιρίας isover).

Αποτελείται από:

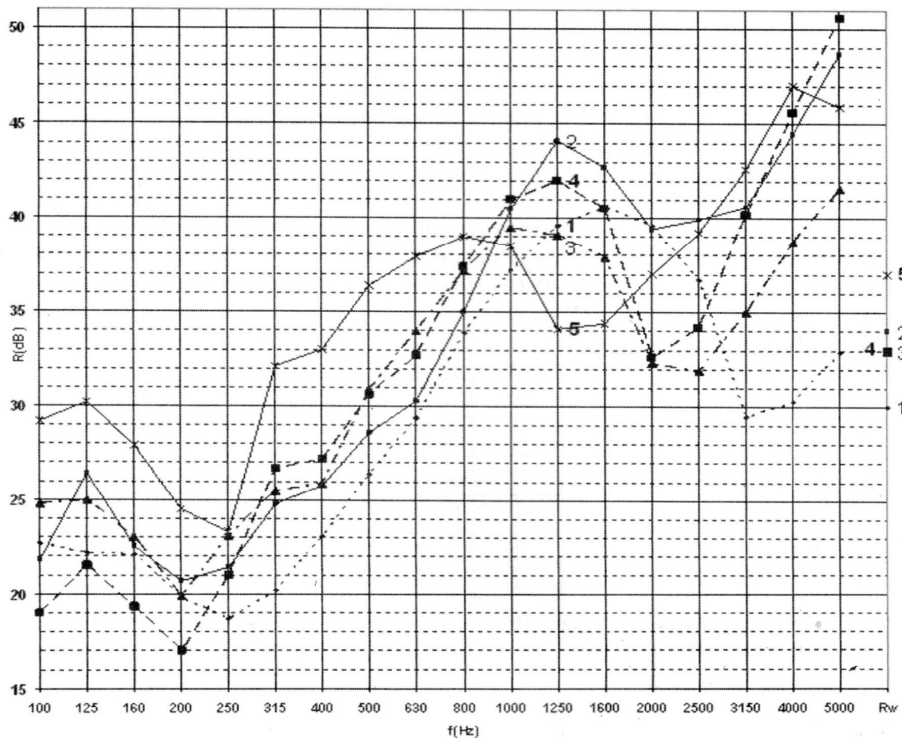
- 3 γυψοσανίδες των 15,9mm
- 2 σκελετούς των 92mm «πλάτη με πλάτη» με υαλοβάμβακα στο εσωτερικό
- υαλοβάμβακα 165 mm
- 2 σκελετούς των 92 mm με υαλοβάμβακα, όπως παραπάνω. Οι σκελετοί συνδέονται αντικραδασμικά
- 2 γυψοσανίδες των 15,9mm

Συνολικό πάχος διπλής τοιχοποιίας 42,85cm

$R_w = 72 \text{dB}$, $R'_w = 70 \text{dB}$.

Παράδειγμα 7

Διπλά χωρίσματα με Υαλότουβλα
(δε συνυπολογίζεται ο σκελετός)

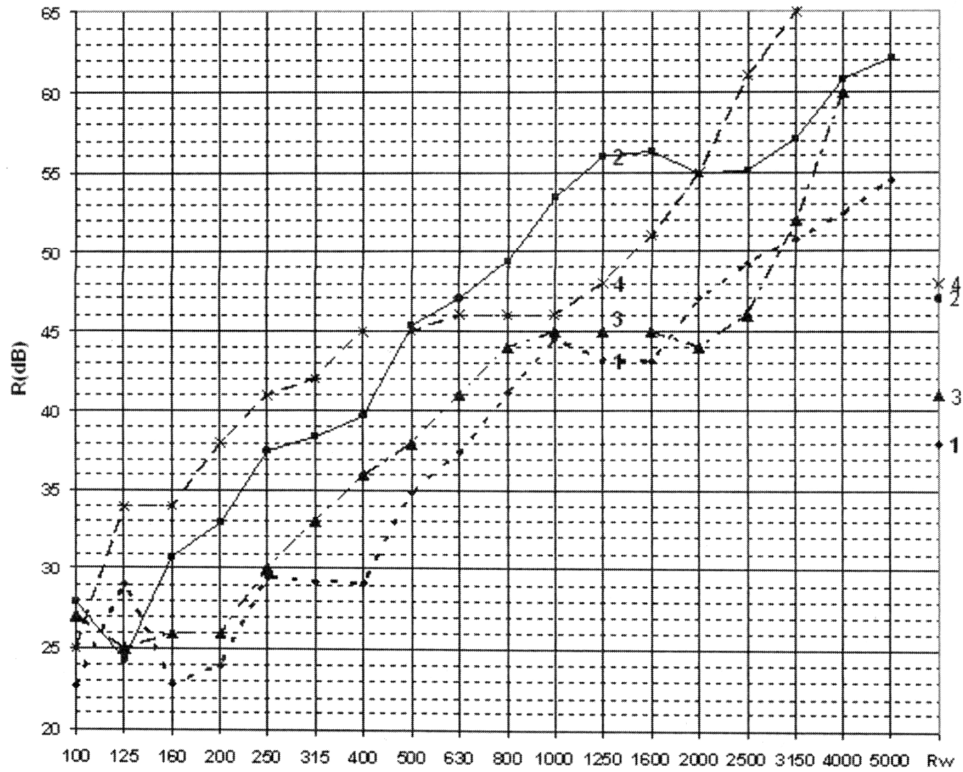


Σχεδιάγραμμα Α.6.
Δείκτης ηχομείωσης διπλών υαλοπετασμάτων (από το Saint-Gobain Planilux).

- 1:** SGG PLANILUX 4mm-κενό 12mm- SGG PLANILUX 4mm.
Η κατασκευή αυτή θεωρείται οριακά ως όχι μόνο θερμομονωτική αλλά και ηχομονωτική.
- 2:** SGG PLANILUX 4mm-κενό 12mm- SGG PLANILUX 6mm
- 3:** SGG PLANILUX 6mm-κενό 12mm- SGG PLANILUX 6mm
- 4:** SGG PLANILUX 6mm-κενό 16mm- SGG PLANILUX 6mm
- 5:** SGG PLANILUX 8mm-κενό 12mm- SGG PLANILUX 10mm
Η κατασκευή αυτή αντιστοιχεί σε ένα ανώτερο όριο με μη στρωματοποιημένα υαλοπετάσματα.

Παράδειγμα 8

Διπλά χωρίσματα με υαλοπέτασμα, αυξημένου δείκτη ηχομείωσης (δε συνυπολογίζεται ο σκελετός)



Σχεδιάγραμμα Α.7.

Διάγραμμα δείκτη ηχομείωσης διπλών τοιχωμάτων υαλοπετασμάτων με αυξημένο δείκτη ηχομείωσης (από το Saint-Gobaint SCG STADIP SILENCE και από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Pilkington).

- 1:**SGG STADIP SILENCE 6.4-κενό 12mm- SGG PLANILUX 8mm
- 2:**SGG STADIP SILENCE 8.8-κενό 20mm- SGG STADIP SILENCE 64.2
- 3:**Pilkington Insulight Phon με Pilkington K Glass 12.8/16/6
- 4:**Pilkington Insulight Phon με Pilkington K Glass 16.8/16/16.8

Παράδειγμα 9

Διπλά χωρίσματα υαλοστασίων

Παρακάτω δίνονται οι τιμές του STC κάποιων χαρακτηριστικών υαλοστασίων όχι ιδιαίτερα μεγάλου πάχους τα οποία έχουν διάκενο 200-400mm και χρησιμοποιούνται κυρίως για τη βελτιστοποίηση της ηχομόνωσης παραθύρων παλιών κατασκευών.

(από Harris, D. A. 1998 σ.369)

- 1.** Διπλό 2*1/8" συνολικό πάχος (1/2)" STC=32dB
- 2.** Διπλό 2*1/8" συνολικό πάχος 2" STC=38dB
- 3.** Διπλό 2*1/8" συνολικό πάχος 6" STC=44dB
- 4.** Διπλό 2*1/4" συνολικό πάχος 2" STC=42dB
- 5.** Διπλό 2*1/4" συνολικό πάχος (4 και 3/4)" STC=46dB,
όπου 1" = 2,54cm

Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο προτείνονται ενδεικτικές τιμές του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης των υαλοπετασμάτων χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο σκελετός.

Για ζώνες τριτοκτάβας έχει υπολογιστεί ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης και τα αποτελέσματα του βρίσκονται στον παρακάτω πίνακα.

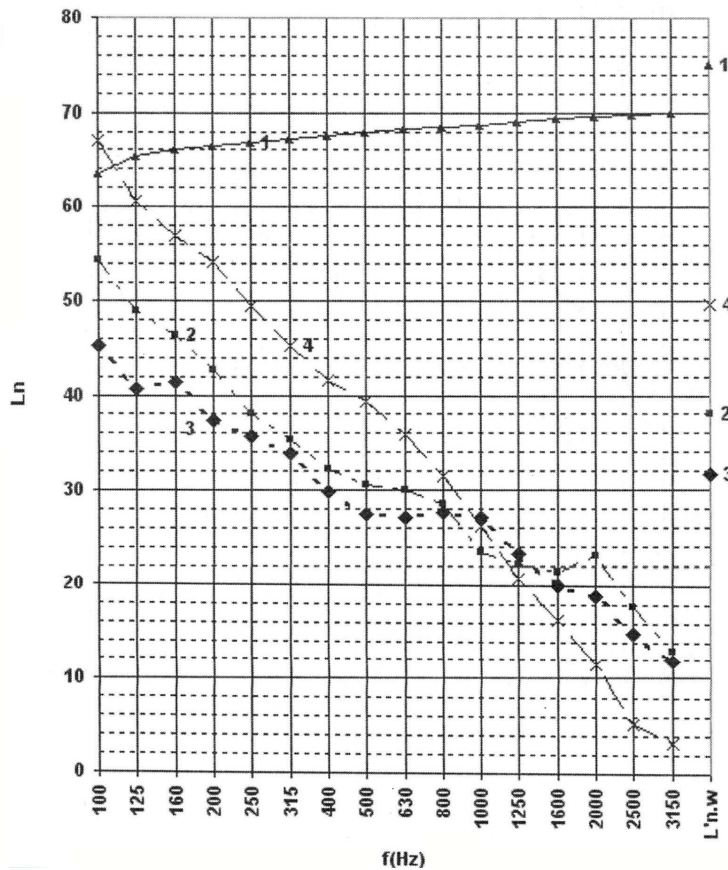
Τύπος υαλοπετάσματος	125 Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	R _w (C;C _{tr})dB
Απλό (πάχος σε mm)							
3	14	19	25	29	33	25	28 (1; 4)
4	17	20	26	32	33	26	29 (2; -3)
5	19	22	29	33	29	31	30 (-1;-2)
6	18	23	30	35	27	32	31 (2;3)
8	20	24	29	34	29	37	32 (-2;-3)
10	23	26	32	31	32	39	33 (2;3)
12	27	29	31	32	38	47	34 (0;2)
Στρωματοποιημένα (πάχος σε mm) ενδιάμεσο φύλλο 0,5-1mm							
6+	20	23	29	34	32	38	32 (1;3)
8+	20	25	32	35	34	42	33 (-1;-3)
10+	24	26	33	33	35	44	34 (1;-3)
Διπλό με απλά ή στρωματοποιημένα (mm),κενό 6-16 mm με αέρα							
4-(6-16)-4	21	17	25	35	37	31	29 (1;4)
6-(6-16)-4	21	20	26	38	37	39	32 (2;4)
6-(6-16)-6	20	18	28	38	34	38	31 (1;4)
8-(6-16)-4	22	21	28	38	40	47	33 (-1;-4)
8-(6-16)-6	20	21	33	40	36	48	35 (-2;-6)
10-(6-16)-4	24	21	32	37	42	43	35 (2;5)
10-(6-16)-6	24	24	32	37	37	44	35 (-1;-3)
6-(6-16)-6 ⁺	20	19	30	39	37	46	33 (-2;-5)
6-(6-16)-10 ⁺	24	25	33	39	40	49	37 (-1;-5)

Πίνακας Α.1. Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης υαλοπετασμάτων σε ζώνες τριτοκτάβας χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο σκελετός.

Παράδειγμα 10

Κανονικοποιημένη στάθμη κτυπογενή ήχου ,L_n, για κολυμβητά δάπεδα

Τα επόμενα σχεδιαγράμματα δείχνουν την κανονικοποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης του κτυπογενή ήχου για κολυμβητά δάπεδα συμπεριλαμβανομένων και των πλευρικών μεταδόσεων, τον φαινόμενο δείκτη ηχομείωσης και ακολουθεί και το διάγραμμα της βελτίωσης της ηχομόνωσης για κτυπογενή σε κολυμβητά δάπεδα.

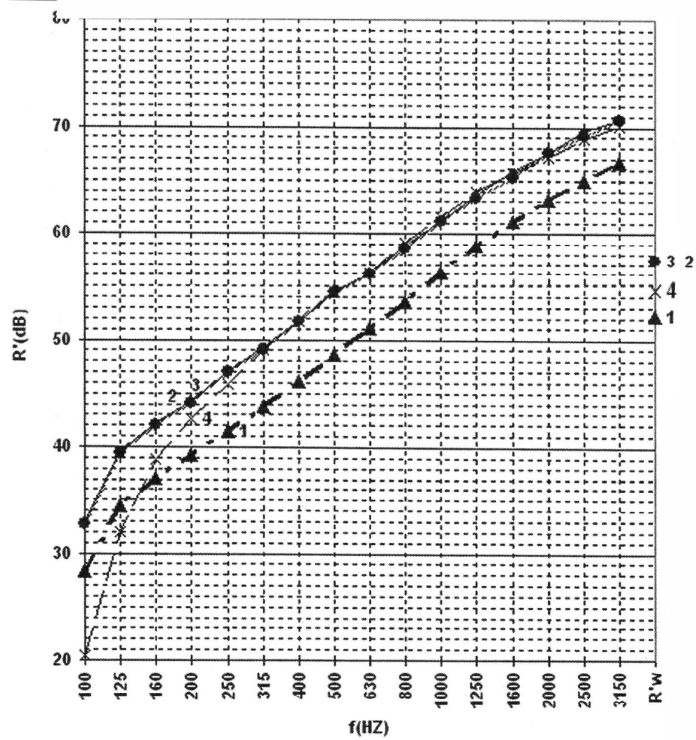


Σχεδιάγραμμα Α.8. Στάθμη κτυπογενή ήχου κολυμβητού δαπέδου, σε θάλαμο με πλευρικές μεταδόσεις. Η πλάκα σκυροδέματος έχει πάχος 15cm και επίχρισμα στο κάτω μέρος. Οι πλάγιοι τοίχοι είναι τοιχεία σκυροδέματος πάχους περίπου 20cm.

1. Η πλάκα σκυροδέματος χωρίς κολυμβητό δάπεδο προς σύγκριση με τα υπόλοιπα.
2. Η πλάκα σκυροδέματος, με κολυμβητό δάπεδο πάχους 40mm με υαλοβάμβακα 13/10(ίδιο με το δεύτερο παράδειγμα του σχήματος 2.63 παρακάτω)
3. Η πλάκα σκυροδέματος, με κολυμβητό δάπεδο πάχους 40mm με υαλοβάμβακα 35/50 (ίδιο με το παράδειγμα 1 του σχεδιαγράμματος Α11 παρακάτω)
4. Η πλάκα σκυροδέματος, με κολυμβητό δάπεδο, το οποίο αποτελείται από μοριοσανίδα πάχους 28mm σε υαλοβάμβακα 20mm.

Η επίδραση του πάχους του υαλοβάμβακα είναι ίδια με την επίδραση που έχει στο κολυμβητό πρότυπο δάπεδο.

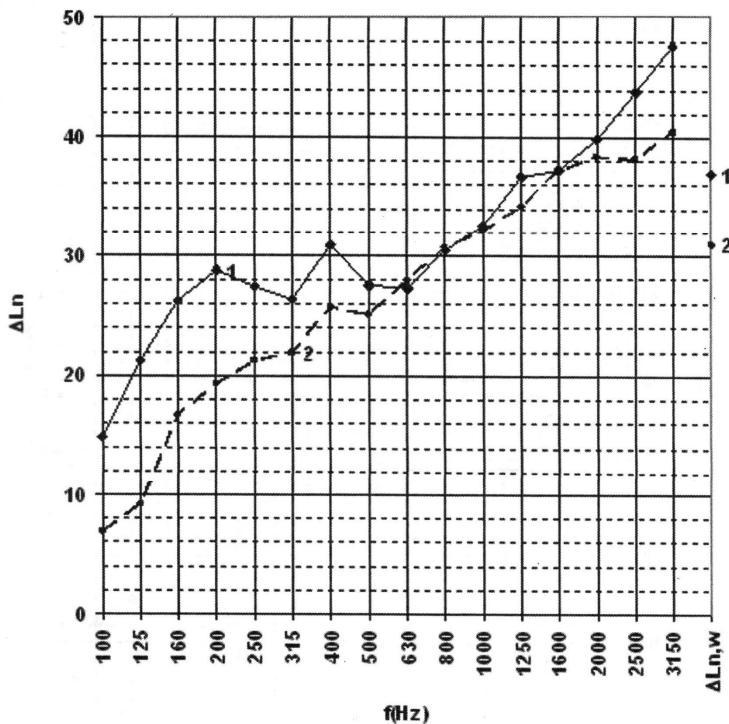
Για το ίδιο παράδειγμα ο φαινόμενος δείκτης ηχομόνωσης δίνεται στο σχεδιάγραμμα Α.9.



Σχεδιάγραμμα Α.9. Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης κολυμβητών δαπέδων, σε θάλαμο με πλευρικές μεταδόσεις.

Παράδειγμα 11

Βελτιστοποίηση της στάθμης κτυπογενή ήχου κολυμβητού πρότυπου δαπέδου βάσει το πάχους του μονωτικού

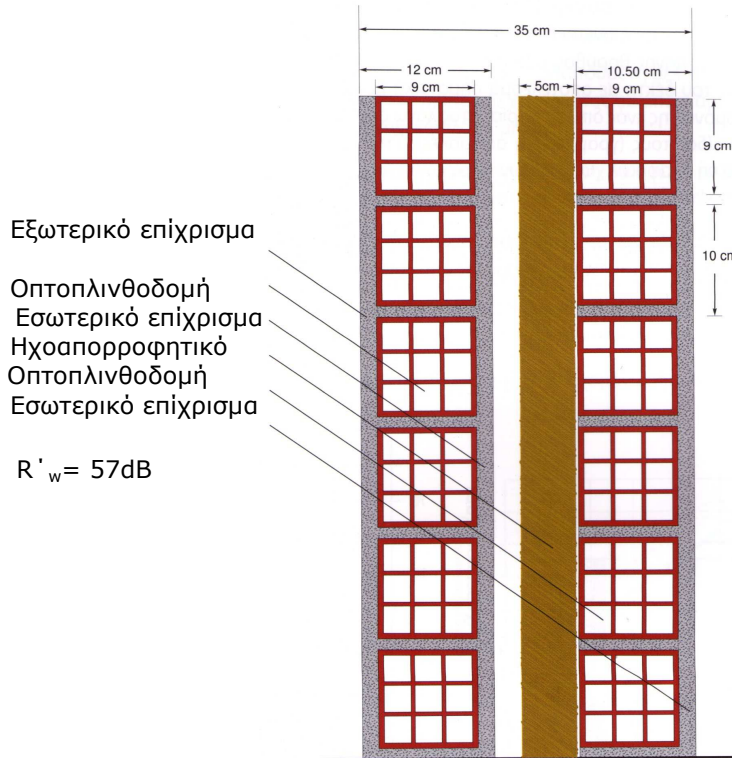


Σχεδιάγραμμα Α.10. Βελτίωση της κανονικοποιημένης στάθμης ηχητικής πίεσης κτυπογενή ήχου. Οι μετρήσεις έχουν γίνει σε πρότυπο δάπεδο.

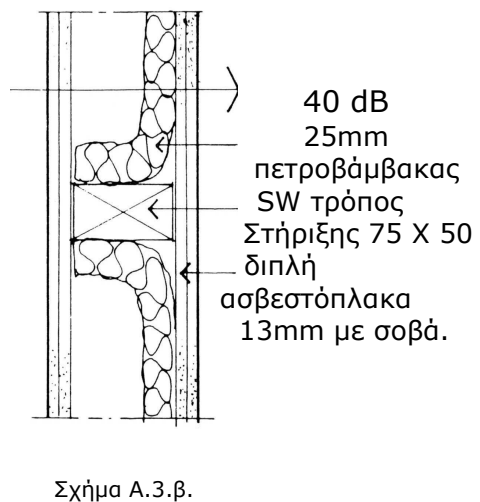
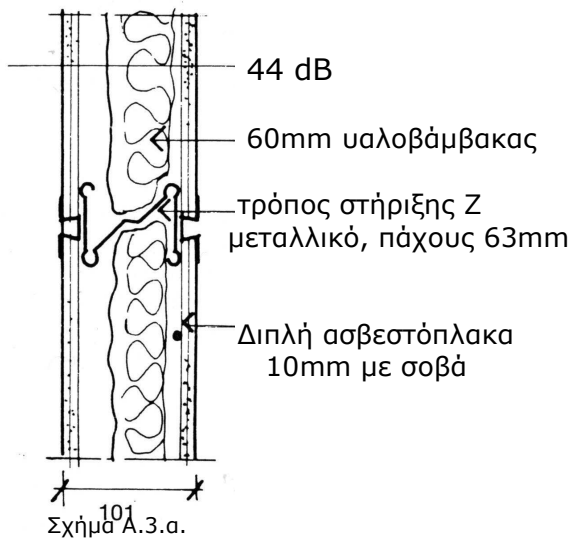
1. κολυμβητό πάχους 40mm, με υαλοβάμβακα 35/50
2. κολυμβητό πάχους 40mm, με υαλοβάμβακα 13/10

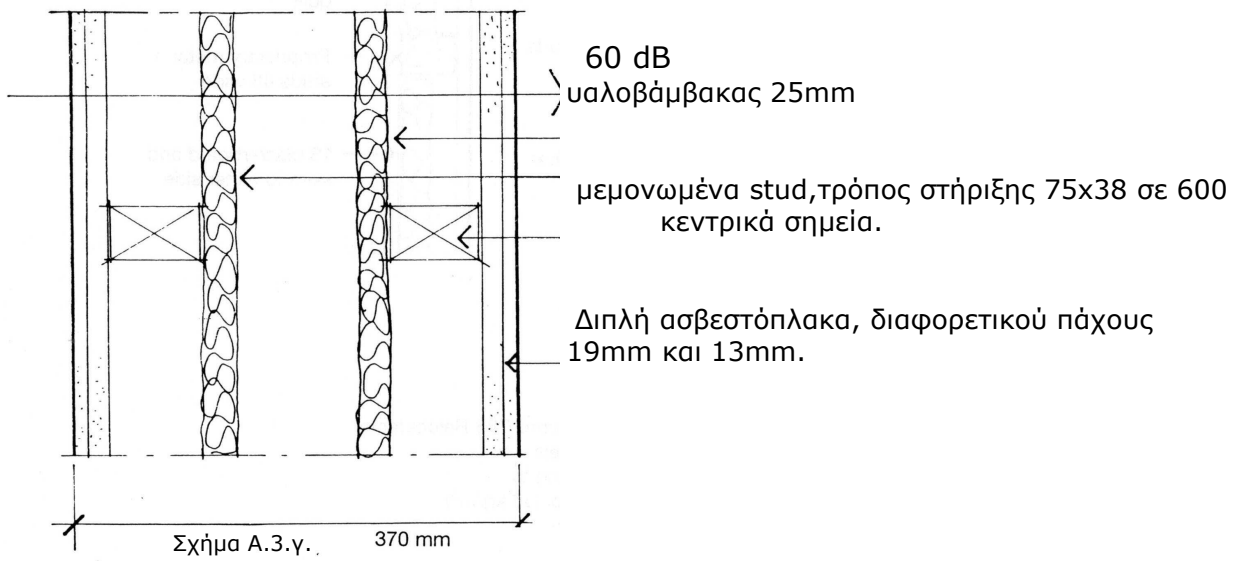
A.2. Σχήματα συνηθών κατασκευών και ο δείκτης ηχομείωσής τους

Ακολουθούν κάποια σχήματα συνηθών διπλών κατασκευαστικών τοιχωμάτων με τον σταθμισμένο δείκτη ηχομείωσης τους.

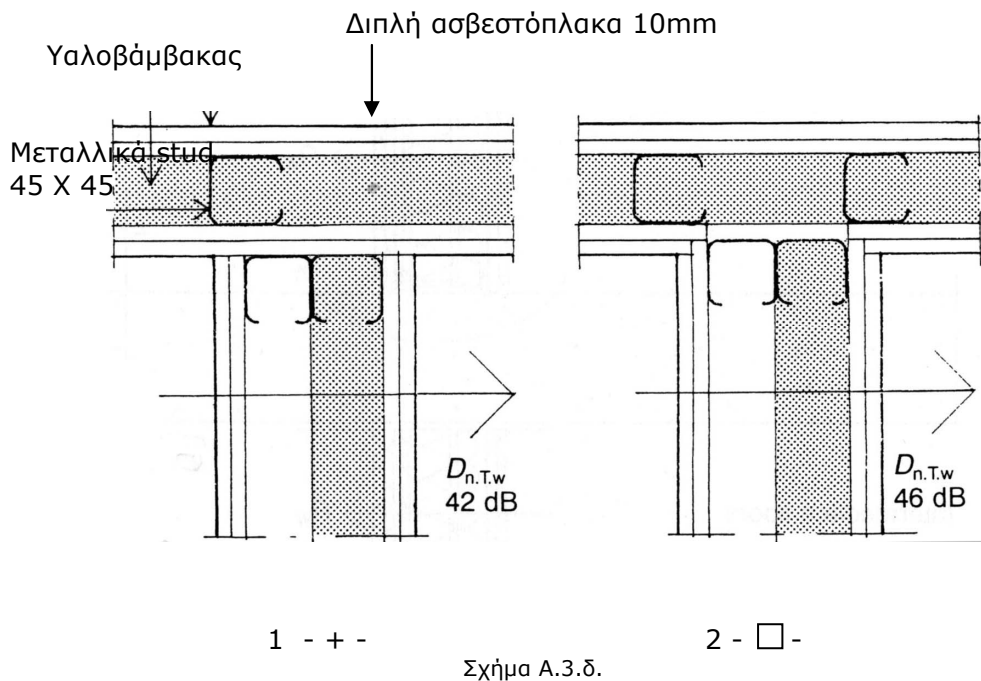


Σχήμα Α.2. Διπλό τοίχωμα από τούβλα, συνολικό πάχος 35 cm.



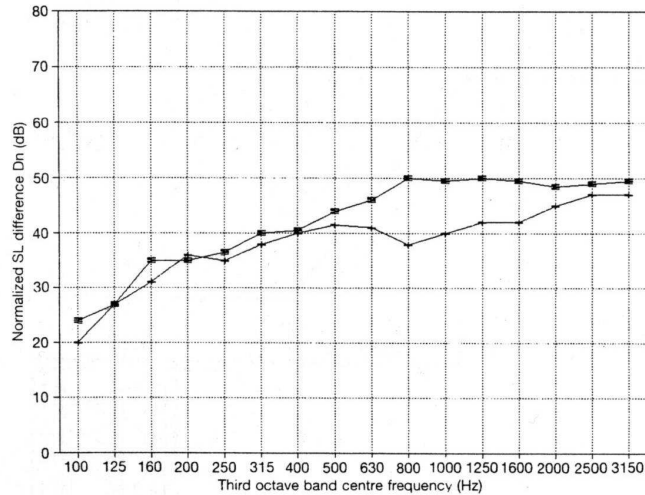


Η σημασία του τρόπου στήριξης των πετασμάτων δίνεται με το παρακάτω σχήμα:



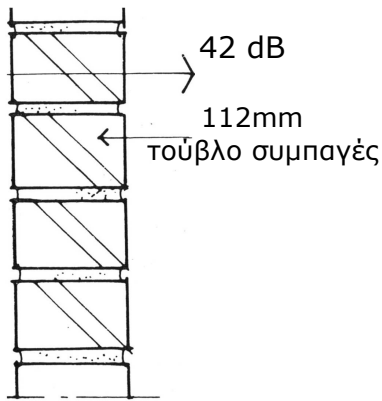
Σχήματα Α.3.α,β,γ,δ, Κατασκευές μονών και διπλών χωρισμάτων.

Η επίδραση που έχουν οι τρόποι στήριξης ως προς την ηχομόνωση φαίνεται από το διάγραμμα της τυποποιημένης διαφοράς στάθμης D_n των δύο κατασκευών.

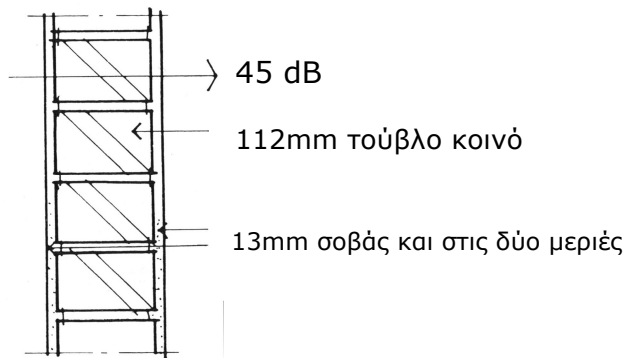


Σχεδιάγραμμα Α.11. Τυποποιημένη διαφορά στάθμης Dn (dB) των δύο κατασκευών. Στον κάθετο άξονα βρίσκεται η τυποποιημένη διαφορά στάθμης σε dB και στον οριζόντιο άξονα οι συχνότητες (Hz) σε ζώνες τριτοκτάβας.

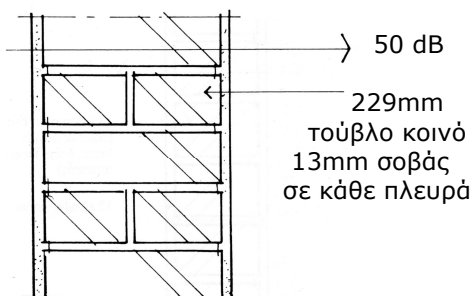
Η δεύτερη κατασκευή υπερτερεί ηχομονωτικά της πρώτης.



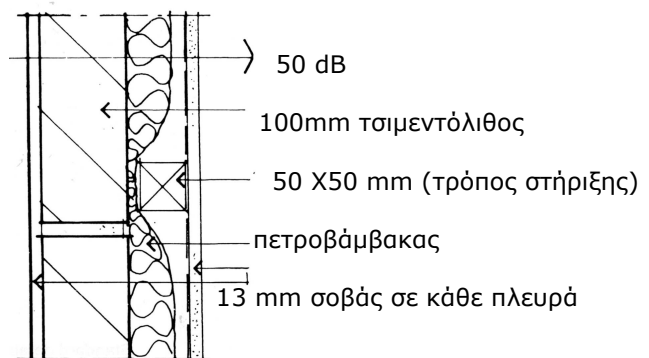
Σχήμα Α.4.α



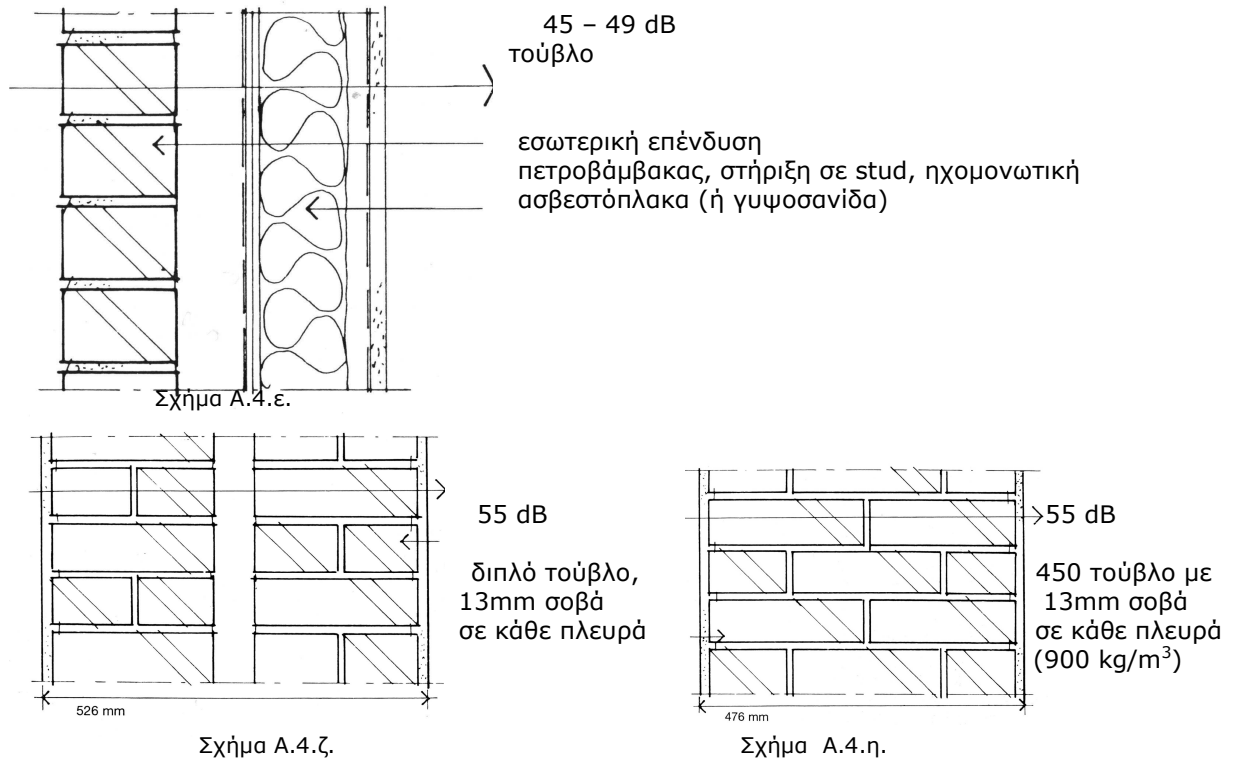
Σχήμα Α.4.β.



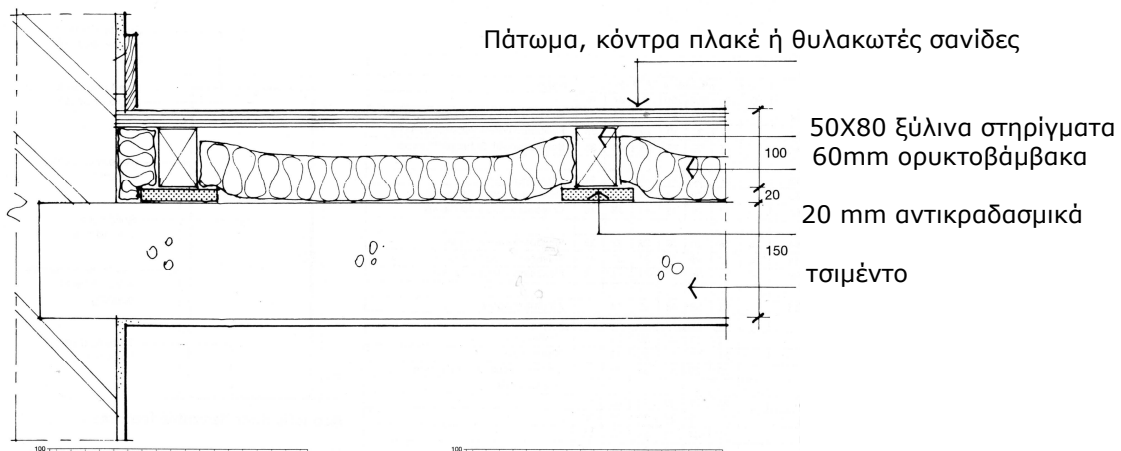
Σχήμα Α.4.γ.



Σχήμα Α.4.δ.

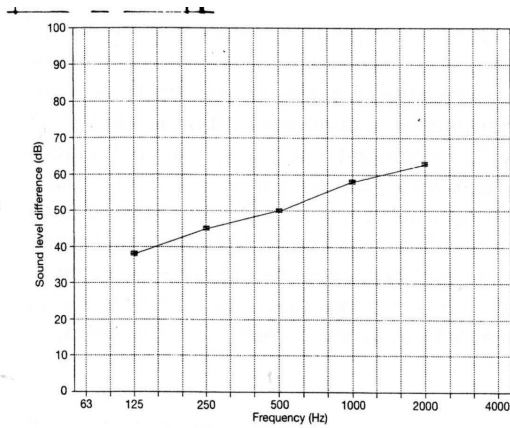


Κολυμβητά δάπεδα

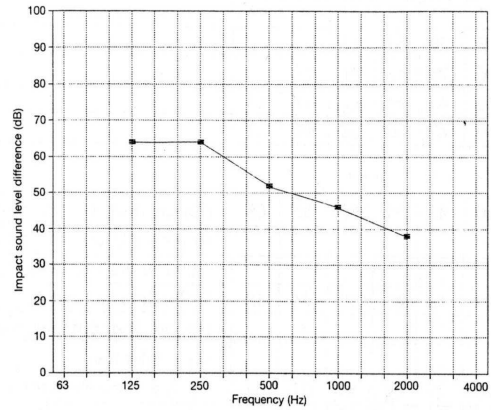


Σχήματα Α.4.α,β,γ,δ,ε,ζ,η,θ, Κατασκευές μονών και διπλών χωρισμάτων.

Η τυποποιημένη διαφορά στάθμης πίεσης του αερόφερτου και του κτυπογενή ήχου του πλωτού δαπέδου δίνεται στα παρακάτω διαγράμματα

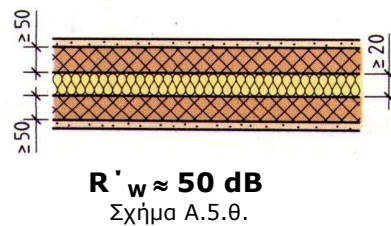
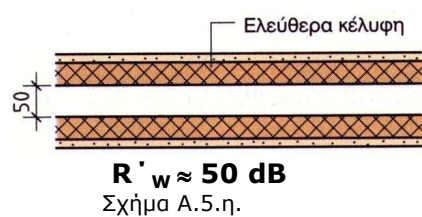
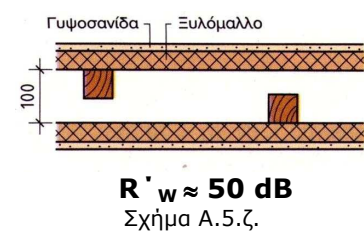
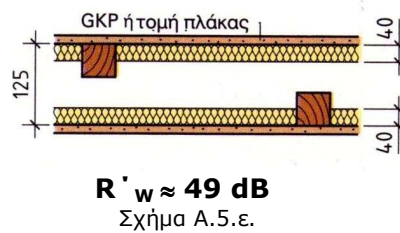
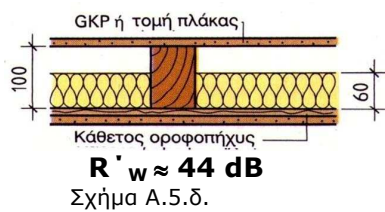
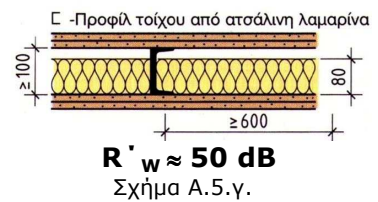
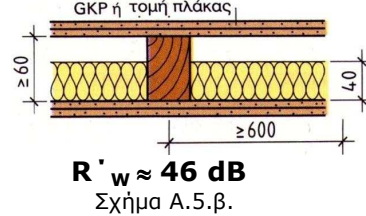
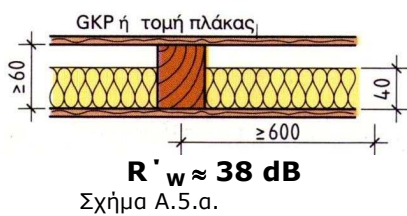


Σχεδιάγραμμα A12.α.
Διάγραμμα διαφοράς στάθμης, D_n (dB)



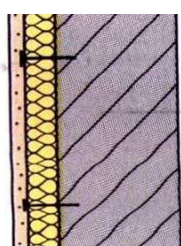
Σχεδιάγραμμα A12.β.
Διάγραμμα διαφοράς στάθμης κτυπογενή ήχου.

A.2.1. Διπλά χωρίσματα εύκαμπτων κελυφών



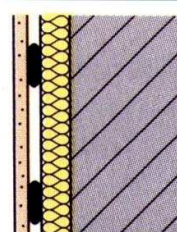
Σχήματα A.5.α,β,γ,δ,ε,ζ,η,θ Διπλά τοιχώματα εύκαμπτων κελυφών.

Η σημασία του τρόπου στήριξης των πετασμάτων ως προς την ηχομονωτική ικανότητα της τοιχοποιίας εξηγείται και στα παρακάτω σχήματα.



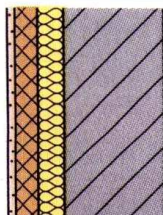
Σχήμα A.6.α.

περιορισμένη ηχομόνωση
Το εύκαμπτο κέλυφος συνδέεται με τον τοίχο, με τακάκια



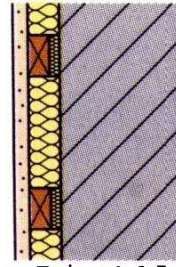
Σχήμα A.6.β.

καλή ηχομόνωση
το εύκαμπτο κέλυφος διαχωρίζεται από το δύσκαμπτο το η ινώδους πλάκα λειτουργεί σαν ελατήριο



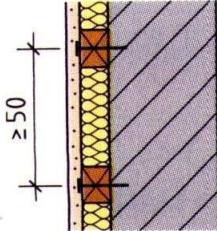
πολύ καλή ηχομόνωση
το δύσκαμπτο και το εύκαμπτο κέλυφος είναι διαχωρισμένα μέσω ινώδους πλάκας. Υφίσταται τρεις διαφορετικές σκληρότητες.

Σχήμα Α.6.γ.



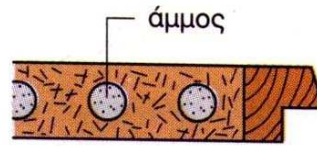
πολύ καλή ηχομόνωση
η γυψοσανίδα στερεώνεται πάνω σε ξύλα, τα οποία κινούνται ελεύθερα, καθώς δε συνδέονται με κάποιο τρόπο με τον τοίχο

Σχήμα Α.6.δ.



ελάχιστα αποτελεσματική ηχομόνωση
οι παρυφές και τα τακάκια αποτελούν γέφυρες ήχου.

Σχήμα Α.6.ε.

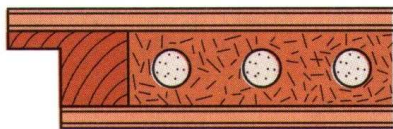


Σχήμα Α.6.ζ
η άμμος ως μονωτικό

καλή ηχομόνωση
οι κόκκοι άμμου μεταδίδουν τον Παλμό του ήχου από κόκκο σε κόκκο. Δημιουργείται έτσι μεγάλη εσωτερική μόνωση του υλικού.

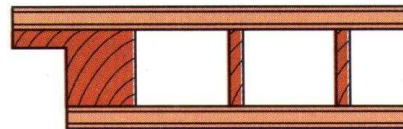
Σχήματα Α.6.α,β,γ,δ,ε, τρόπος στήριξης πετασμάτων στη φέρουσα τοιχοποιία

A.2.2. πόρτες



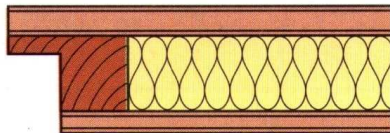
$R_T = 37dB$

Σχήμα Α.7.α
Θυρόφυλλο από συμπιεσμένες πλάκες.



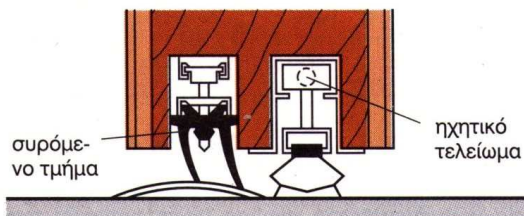
$R_T = 20dB$

Σχήμα Α.7.β
Ελαφρύ θυρόφυλλο.



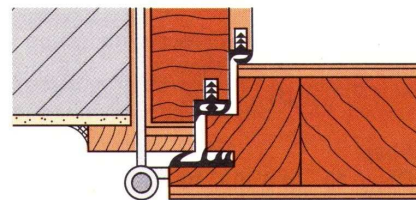
$R_T = 40dB$

Σχήμα Α.7.γ
Θυρόφυλλο με δύο κελύφη.



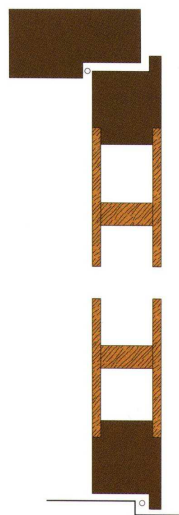
Σχήμα Α.8.α

Τελείωμα πατώματος με συρόμενο τμήμα και ηχητικό τελείωμα.



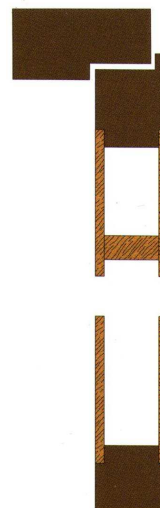
Σχήμα Α.8.β

Στεγανοποίηση διπλής εγκοπής.



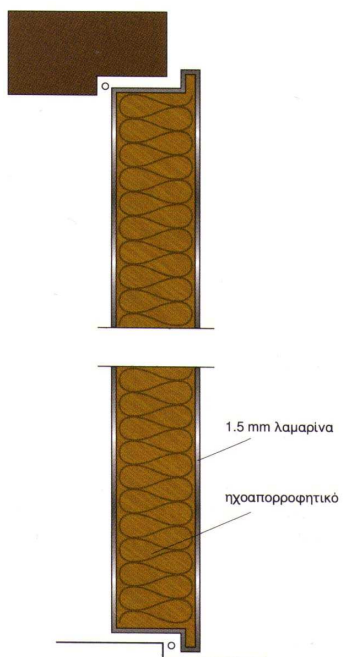
Ξύλινη πρεσσαριστή, 10kg/m²
R_w' = 17dB.

Σχήμα Α.9.α.

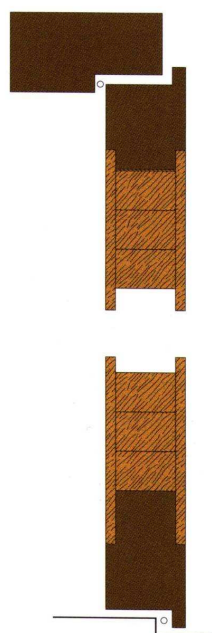


Ξύλινη πρεσσαριστή 10kg/m²
 Στεγανοποιημένη, κλιμακωτό κατωκάσι
R_w' = 21 dB.

Σχήμα Α.9.β.

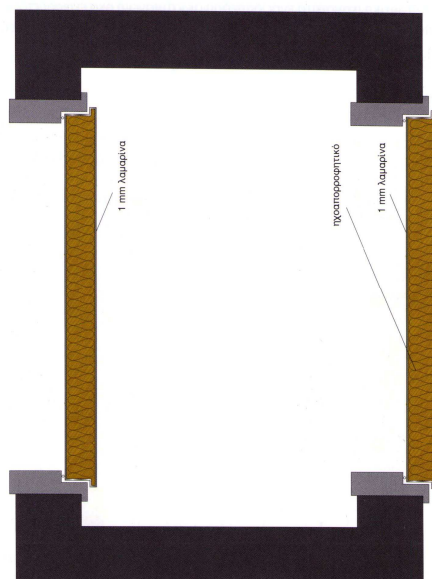


Μεταλλική 40 kg/m², 1.5mm λαμαρίνα-ηχοαπορροφητικό,
 στεγανοποιημένη κλιμακωτό κατωκάσι
R_w' = 35 dB.
 Σχήμα Α.9.γ.



Ξύλινη συμπαγής 25kg/m² στεγανοποιημένη
 κλιμακωτό κατωκάσι **R_w' = 40 dB.**

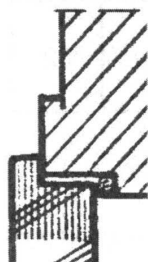
Σχήμα Α.9.δ.



Διπλή μεταλλική ηχομονωτική πόρτα
περιμετρικά στεγανοποιημένη-
1mm λαμαρίνα, ηχοαπορροφητικό, 1mm λαμαρίνα.

$R'_w > 60 \text{ dB}$

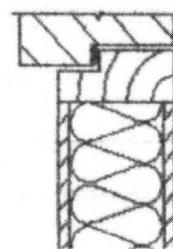
Σχήμα Α.9.ε.



Θύρα από Νοβοπάν, 20-30kg/m³

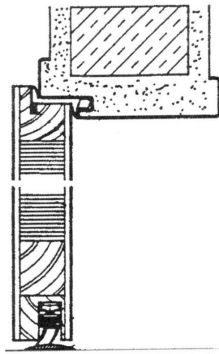
$R_w = 25 \text{ dB}$

Σχήμα Α.10.α.



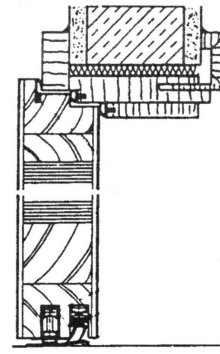
Ξύλο 6mm, υαλοβάμβακας 50mm, ξύλο 10mm,
16,4 kg/m², **$R_w = 35 \text{ dB}$** .

Σχήμα Α.10.β.



Θύρα Wirus με επένδυση ξύλου, $R_w = 38dB$

Σχήμα Α.10.γ.



Θύρα Wirus με επένδυση ξύλου, $R_w = 45dB$

Σχήμα Α.10.δ.

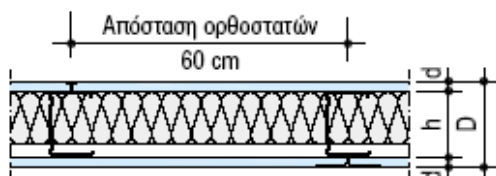
A.3. Κατασκευές με γυψοσανίδα, τεχνικά χαρακτηριστικά

Οι κατασκευές ξηράς δόμησης ποικίλουν ανάλογα με τις απαιτήσεις της χρήσης της και το κόστος της κατασκευής. Παρακάτω θα αναφερθούν οι κατασκευές και οι τεχνικές προδιαγραφές των κατασκευών που αφορούν στην ηχομόνωση τοιχοποιίας και ψευδοροφών.

Παράδειγμα 12

Κατασκευές με μονό σκελετό

- Σύστημα τοιχοποιίας με μονό σκελετό και μονή γυψοσανίδα ή ινογυψοσανίδα.(W111)



Εικόνα Α.3. Τοιχοποιία γυψοσανίδας με μονό σκελετό.

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

Πάχος τοίχου D	Προφίλ (διάκενο) h	Πάχος γυψοσανίδας d	τύπος γυψοσανίδας	Βάρος (kg/m ²) (1)	Ηχομόνωση R _{w,R} (2)	Πάχος μονωτικού mm (3)	Θερμομόνωση W/(m ² K) (4)
75	50	12,5	GKB / GKF	25	41	40	0,66
100	75				42 / 43	40/ 60	0,65/ 0,50
125	100				42/ 43/ 44	40/ 60/ 80	0,65/ 0,49/ 0,40
75	50	12,5	Knauf piano	25,5	45	40	0,66
100	75				46/ 47	40/ 60	0,65/ 0,50
125	100				46/ 47/ 48	40/ 60/ 80	0,65/ 0,49/ 0,40
75	50	12,5	Knauf Vidiwall 4)	34	45	40	0,66
100	75				46/ 47	40/ 60	0,65/ 0,50
125	100				46/ 47/ 48	40/ 60/ 80	0,65/ 0,49/ 0,40

Πίνακας Α.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά τοιχοποιίας με μονό σκελετό.

Οι αριθμήσεις 1, 1.1, 2, 3, 4, αφορούν στα εξής:

- 1) βάρος του συστήματος χωρίς μονωτικό υλικό
- 1.1) βάρος με μονωτικό υλικό πάχους 40 και 60mm και πυκνότητας 40kg/m³.
- 2) $R_{w,R}$ = σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης του τοίχου σύμφωνα με το πρότυπο DIN 4109, χωρίς υπολογισμό πλευρικών μεταδόσεων του ήχου
- 3) Μονωτικό υλικό κατά DIN 18165-1, γραμμική αντίσταση ροής κατά DIN EN 29 053 $r \geq 5 \text{ kPa s/m}^2$, ομάδα θερμομονωτικής αξίας 040.
- 4) Οι τιμές για τα συστήματα τοιχοποιίας με Vidiwall είναι ενδεικτικές

Τα πιστοποιητικά των ηχομονωτικών προδιαγραφών είναι τα εξής:

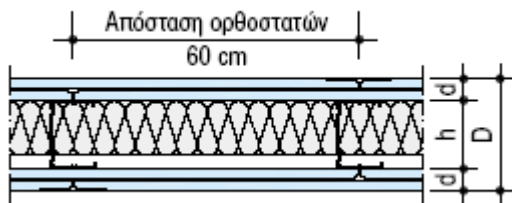
- 1.Κnauf Πιστοποιητικό 001/2002 εν μέρει τιμές με γραμμική παρεμβολή
- 2.Κnauf πιστοποιητικό 005/2002 εν μέρει τιμές με γραμμική παρεμβολή
- 3.Μέση τιμή από πολλές μετρήσεις σε διάφορα ινστιτούτα (IBMB Braunschweig, IBP Stuttgart, MPA NRW Dortmund) εν μέρει τιμές με γραμμική παρεμβολή.
- 4.Πιστοποιητικό TGM Wien Nr. VA WS 10306
- 5.Πιστοποιητικό MA-39 Wien Nr. VFA 2000-0843.01-09
- 6.Κnauf πιστοποιητικό SW 99 095
- 7.Κnauf πιστοποιητικό 972/1990.

Το μέγιστο επιτρεπτό ύψος της κατασκευής με σύστημα τοιχοποιίας W111 , με και χωρίς πυροπροστασία είναι στα 5m.

Τα επιτρεπτά ύψη προκύπτουν από το πρότυπο DIN 18183 και όσα σημειώνονται με υπακούουν στο πρότυπο ABP P-3125/6619.

Παράδειγμα 13

- Σύστημα τοιχοποιίας με μονό σκελετό και διπλή γυψοσανίδα (W112)



Εικόνα Α.4. Τοιχοποιία με μονό σκελετό και διπλή γυψοσανίδα.

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

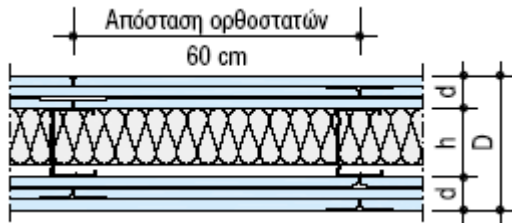
Πάχος τοίχου D	Προφίλ (διάκενο) h	Πάχος γυψοσανίδας d	τύπος γυψοσανίδας	Βάρος (kg/m ²) (1)	Ηχομόνωση $R_{w,R}$ (2)	Πάχος μονωτικού mm (3)	Θερμομόνωση $W/(m^2 K)$ (4)
100	50	2*12,5	GKB / GKF	45	50	40	0,61
125	75				51 / 52	40/ 60	0,60/ 0,47
150	100				51/ 52/ 53	40/ 60/ 80	0,60/ 0,46/ 0,38
100	50	2*12,5	Κnauf piano	46,5	53	40	0,61
125	75				54/ 55	40/ 60	0,60/ 0,47
150	100				54/ 55/ 56	40/ 60/ 80	0,60/ 0,47/ 0,38

Πίνακας Α.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά τοιχοποιίας με μονό σκελετό και διπλή γυψοσανίδα.

Το μέγιστο επιτρεπτό ύψος της κατασκευής με σύστημα τοιχοποιίας W112 , με και χωρίς πυροπροστασία είναι στα 9 m.

Παράδειγμα 14

- Σύστημα τοιχοποιίας με μονό σκελετό και τριπλή γυψοσανίδα (W113)



Εικόνα Α.5. Τοιχοποιία με μονό σκελετό, τριπλή γυψοσανίδα.

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

Πάχος τοίχου D	Προφίλ (διάκενο) h	Πάχος γυψοσανίδας d	τύπος γυψοσανίδας	Βάρος (kg/m ²) (1)	Ηχομόνωση R _{w,R} (2)	Πάχος μονωτικού mm (3)	Θερμομόνωση W/(m ² K) (4)
125	50	3*12,5	GKB / GKF	66	51	40	0,57
150	75				53	60	0,44
170	100				55	80	0,36

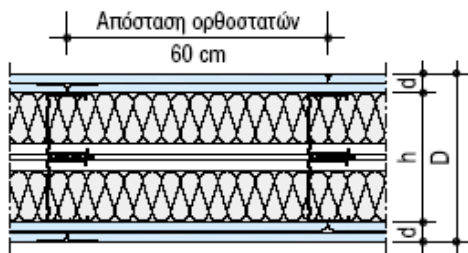
Πίνακας Α.4. Τεχνικά χαρακτηριστικά τοιχοποιίας με μονό σκελετό, τριπλή γυψοσανίδα.

Το μέγιστο επιτρεπτό ύψος της κατασκευής με σύστημα τοιχοποιίας W113 , με πυροπροστασία είναι στα 9,5 m και χωρίς πυροπροστασία είναι στα 6,5 m.

Παράδειγμα 15

Κατασκευές με διπλό σκελετό

- Σύστημα τοιχοποιίας με διπλό σκελετό και διπλή γυψοσανίδα (W115)



Εικόνα Α.6. Τοιχοποιία με διπλό σκελετό και διπλή γυψοσανίδα.

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

Πάχος τοίχου D	Προφίλ (διάκενο) h	Πάχος γυψοσανίδας d	τύπος γυψοσανίδας	Βάρος (kg/m ²) (1)	Ηχομόνωση R _{w,R} (2)	Πάχος μονωτικού mm (3)	Θερμομόνωση W/(m ² K) (4)
155	105	2*12,5	GKB / GKF	48	59	2*40	0,37
205	155				60	2*60	0,27

255	205				60	80	0,37
155	105	2*12,5	Knauf piano	49,5	63	2*40	0,37
205	155				65	2*60	0,27
255	205				67	2*80	0,21

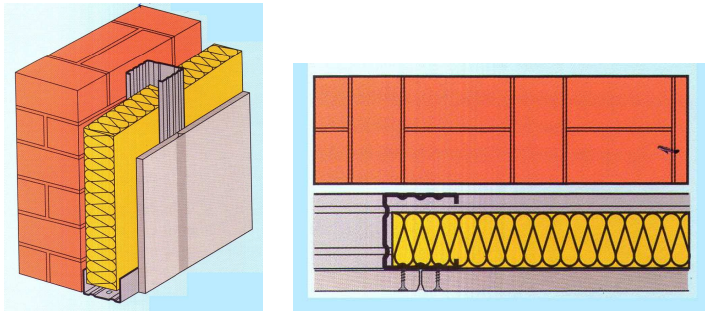
Πίνακας Α.5. Τεχνικά χαρακτηριστικά τοιχοποιίας με διπλό σκελετό και διπλή γυψοσανίδα.

Το μέγιστο επιτρεπτό ύψος της κατασκευής με σύστημα τοιχοποιίας W115 , με και χωρίς πυροπροστασία είναι στα 6,5 m.

A.4. Επενδύσεις υπάρχουσας τοιχοποιίας

Παράδειγμα 16

- επένδυση μονής γυψοσανίδας στάνταρντ με μεταλλικό σκελετό ορθοστατών με πετροβάμβακα στο διάκενο.(W265)



Εικόνα Α.7. Επένδυση τοιχοποιίας με μονό σκελετό και μονή γυψοσανίδα με πετροβάμβακα στο διάκενο.

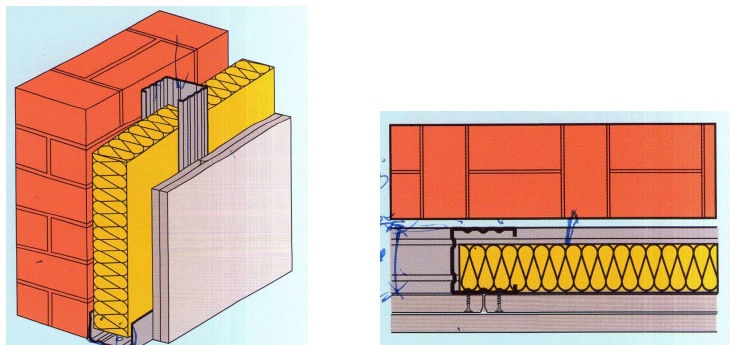
Ενδεικτικά τεχνικά χαρακτηριστικά:

Πάχος γυψοσανίδας	$d = 12.5 \text{ mm}$
Ορθοστάτης	$a = 105 \text{ mm}$
Επένδυση	$D \geq 87.5 \text{ mm}$
Βάρος	$g = 16 \text{ kg/m}^2$
Πετροβάμβακας petra 40 πάχος	40 mm
Βελτίωση ηχομόνωσης	$\Delta R_w = 15 \text{ dB}$ (κατά DIN 4109)
Βελτίωση θερμομόνωσης	$1/\Lambda \approx 1,88 \text{ m}^2 \text{ K / W}$ (κατά DIN 4108)

Πίνακας Α.6. Ενδεικτικές τιμές τεχνικών χαρακτηριστικών της επένδυσης τοιχοποιίας με μονό σκελετό και μονή γυψοσανίδα με πετροβάμβακα στο διάκενο.

Παράδειγμα 17

- Επένδυση διπλής στάνταρντ γυψοσανίδας με μεταλλικό σκελετό ορθοστατών με πετροβάμβακα. (W626)



Εικόνα Α8. Επένδυση τοιχοποιίας με μονό σκελετό και διπλή γυψοσανίδα με πετροβάμβακα στο διάκενο.

Ενδεικτικά τεχνικά χαρακτηριστικά:

Πάχος γυψοσανίδας	$d = 2 \times 12.5 = 25 \text{ mm}$
Ορθοστάτης	$a = 50 \text{ mm}$
Επένδυση	$D \geq 75 \text{ mm}$
Βάρος	$g = 27 \text{ kg/m}^2$
Πετροβάμβακας petra 40 πάχος	40 mm
Βελτίωση ηχομόνωσης	$\Delta R_w = 15 \text{ dB}$ (κατά DIN 4109)
Βελτίωση θερμομόνωσης	$1/\Lambda \approx 1,34 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$ (κατά DIN 4108)

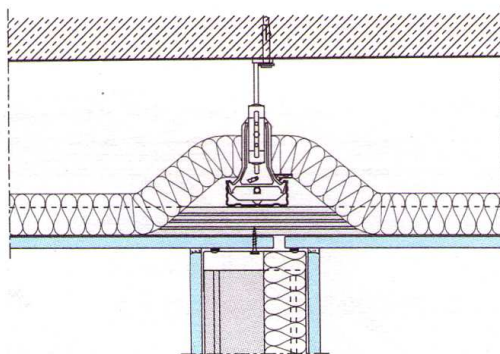
Πίνακας Α.7. Τεχνικά χαρακτηριστικά επένδυσης τοιχοποιίας με μονό σκελετό και διπλή γυψοσανίδα με πετροβάμβακα στο διάκενο.

Α.5. Συστήματα ψευδοροφών

Παράδειγμα 18.

Σύστημα οροφής με κλειστή επιφάνεια. Μονή και διπλή γυψοσανίδα και ορυκτοβάμβακα σε όλο το διάκενο. (D11)

- Σύνδεση τοιχοποιίας με οροφή από συνεχόμενη γυψοσανίδα.



Εικόνα Α.9.α

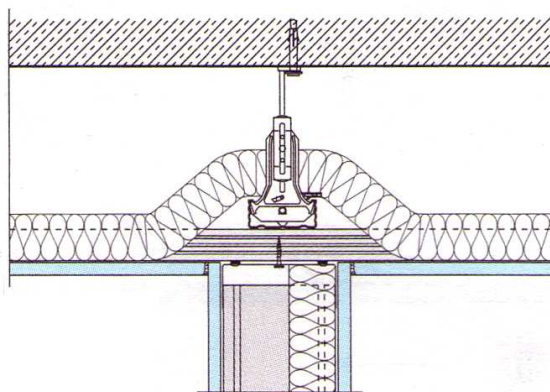
Για να είναι οι τιμή του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης $R_{L, w, R}$ μεγαλύτερη από 55dB πρέπει η οροφή να διακόπτεται π.χ. με έναν αρμό.

Στρώση γυψοσανίδας	Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης πλευρικών μεταδόσεων	χωρίς ορυκτοβάμβακα	Με ορυκτοβάμβακα σε όλη την επιφάνεια *)
	$R_{L, w, R}$ σε dB		≥ 50 mm ≥ 100 mm
Μια στρώση γυψοσανίδας $\geq 12,5$ mm		40	51 57
Δύο στρώσεις γυψοσανίδας ≥ 25 mm		50	56 57

Πίνακας Α.8. Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης συστήματος οροφής D11.

Παράδειγμα 19

- Σύνδεση τοιχοποιίας με οροφή, όπου η στρώση γυψοσανίδας διακόπτεται



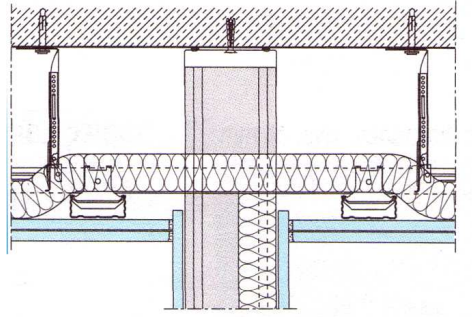
Εικόνα Α.9.β

Στρώση γυψοσανίδας	Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης πλευρικών μεταδόσεων	χωρίς ορυκτοβάμβακα	Με ορυκτοβάμβακα σε όλη την επιφάνεια *)
	$R_{L, w, R}$ σε dB		≥ 50 mm ≥ 100 mm
Μια στρώση γυψοσανίδας $\geq 12,5$ mm		43	58

Πίνακας Α.9. Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης συστήματος οροφής, η στρώση γυψοσανίδας διακόπτεται.

Παράδειγμα 20

- Σύνδεση σκελετού τοιχοποιίας στη φέρουσα οροφή με διακοπτόμενη οροφή γυψοσανίδας



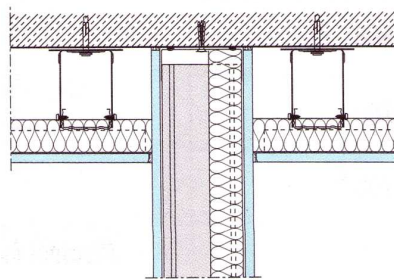
Εικόνα Α.9.γ

Στρώση γυψοσανίδας	Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης πλευρικών μεταδόσεων	χωρίς ορυκτοβάμβακα	Με ορυκτοβάμβακα σε όλη την επιφάνεια *)
	$R_{L, W, R}$ σε dB		≥ 50 mm ≥ 100mm
Δύο στρώσεις γυψοσανίδας ≥ 25 mm		50	63

Πίνακας Α.10. Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης συστήματος οροφής με διακοπτόμενη οροφή γυψοσανίδας.

Παράδειγμα 21

- Πλήρης σύνδεση τοιχοποιίας στη φέρουσα οροφή με διακοπτόμενη οροφή γυψοσανίδας



Εικόνα Α.9.δ

Στρώση γυψοσανίδας	Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης πλευρικών μεταδόσεων	χωρίς ορυκτοβάμβακα	Με ορυκτοβάμβακα σε όλη την επιφάνεια *)
	$R_{L, W, R}$ σε dB		≥ 50 mm ≥ 100mm
Μια στρώση γυψοσανίδας $\geq 12,5$ mm		60	

Πίνακας Α.11. Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης συστήματος οροφής διακοπτόμενη οροφή γυψοσανίδας.

Υποσημείωση :*) μπορεί να σημειωθεί μείωση του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης σύμφωνα με τον πίνακα Α.12. :

Υπολογιστικές τιμές του σταθμισμένου δείκτη πλευρικής ηχομείωσης $R_{L,W,R}$ σε οροφές με ηχοαπορροφητική στρώση σε όλη την επιφάνεια και πάχους 5cm και ύψος ανάρτησης άνω των 40cm.

Ύψος ανάρτησης σε cm	Μείωση του $R_{L,W,R}$ σε dB
40	0
60	2
80	5
100	6

Πίνακας Α.12. Μείωση του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης σε οροφές με ηχοαπορροφητική στρώση σε όλη την επιφάνεια.

Α.6. Ενδεικτικός πίνακας τιμών του δείκτη ηχομείωσης ορισμένων κοινών οικοδομικών στοιχείων και κατασκευών.

πέτασμα	πάχος	Επιφανειακή πυκνότητα	Συχνότητα Hz							
			63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
	mm	kg/m ²	Δείκτης ηχομείωσης							
1.5mm φύλλο μολύβδου	1.5	17	22	28	32	33	32	32	33	36
3mm φύλλο μολύβδου	3	34	24	30	31	27	38	44	33	38
20g αλουμινένιο φύλλο άκαμπτο	0.9	2.5	8	11	10	10	18	23	25	30
22g γαλβανισμένο φύλλο από ασάλι	0.55	6	3	8	14	20	23	26	27	35
20g γαλβανισμένο φύλλο από ασάλι	0.9	7	3	8	14	20	23	26	27	35
18g γαλβανισμένο φύλλο από ασάλι	1.2	10	8	13	20	24	29	33	39	44
16g γαλβανισμένο φύλλο από ασάλι	1.6	13	9	14	21	27	32	37	43	42
ραβδωτό φύλλο ασβέστου, άκαμπτο και σφραγισμένο	6	10	20	25	30	33	33	38	39	42
μοριοσανίδα (νοβοπάν) σε ξύλινο σκελετό	19	11	14	17	18	25	30	26	32	38
μοριοσανίδα σε ξύλινο σκελετό	12	4	10	12	16	20	24	30	31	36
φύλλο γυψοσανίδας σε ξύλινο σκελετό	9	7	9	15	20	24	29	32	35	38
δύο στρώσεις 13mm γυψοσανίδα	26	22		24	29	31	32	30	35	
φύλλο κόντρα πλακέ σε ξύλινο σκελετό	6	3.5	6	9	13	16	21	27	29	33
φύλλο κόντρα πλακέ σε ξύλινο σκελετό	12	7		10	15	17	19	20	26	
φύλλο από μασόνι	50	25	15	19	23	25	30	37	42	46
ξύλινη πλάκα ασοβάτιστη	25	19	0	0	2	6	6	8	8	10
ξύλινη πλάκα , σοβατισμένη και στις δύο μεριές 12mm	50	75	18	23	27	30	32	36	39	43
κόντρα πλακέ	6	3.5		17	15	20	24	28	27	
κόντρα πλακέ	9	5		7	13	19	25	19	22	
κόντρα πλακέ	18	10		24	22	27	28	25	27	
φύλλο μολύβδου με βινύλιο	3	7.3		22	23	25	31	35	42	
φύλλο μολύβδου με βινύλιο	2	4.9		15	19	21	28	33	37	

50mm*100mm σκελετός, 12mm μονωτικό φύλλο και στις δύο μεριές	125	19	12	16	22	28	38	50	52	55
50mm*100mm σκελετός 9mm γύψινο φύλλο και 12mm σοβάτισμα και στις δύο μεριές	142	60	20	25	28	34	47	39	50	56
Διπλές κατασκευές										
1.5mm φύλλο μόλυβδου μεταξύ δύο φύλλων κόντρα πλακέ των 5mm	11.5	25	19	26	30	34	38	42	44	47
9mm ασβεστόπλακα μεταξύ δύο ασάλινων φύλλων των 18g	12	37	16	22	27	31	27	37	44	48
πεπιεσμένο άχυρο τύπου "stramit" μεταξύ δύο φύλλων hardboard 3mm	56	25	15	22	23	27	27	35	35	38

μονή τοιχοποιία-λιθοδομή

μονή τοιχοποιία από τούβλο, σοβατισμένο και στις δύο πλευρές	125	240	30	36	37	40	46	54	57	59
	255	480	34	41	45	48	56	65	69	72
	360	720	36	44	43	49	57	66	70	72
συμπαγήςτσιμεντόλιθος, σοβατισμένος (12mm και στις δύο μεριές)	125	145	20	27	33	40	50	57	56	59
συμπαγήςτσιμεντόλιθος, χωρίς σοβάτισμα	75	85	12	17	18	20	24	30	38	43
μη συμπαγήςτσιμεντόλιθος, βαμμένος (μπογιά κατάλληλη γιατσιμέντο)	100	75	22	30	34	40	50	50	52	53
μη συμπαγήςτσιμεντόλιθος, άβαφος	100	75	22	27	32	37	40	41	45	48
τούβλα τύπου "thermalite"	100	125	20	27	31	39	45	53	38	62
υαλότουβλα	200	510	25	30	35	40	49	49	43	45
απλά τούβλα	100	200		30	36	37	37	37	43	
τσιμεντόλιθος ελαφριού τύπου	100	50		34	35	30	37	45	50	
τσιμεντόλιθος ελαφριού τύπου	150	75		31	35	37	44	50	55	

διπλή τοιχοποιία-λιθοδομή

280mm τούβλο, 56mm κενό, συνδετήρες, σοβατισμένες οι εξωτερικές επιφάνειες, 12mm	300	380	28	34	34	40	56	73	76	78
280mm τούβλο, 56mm κενό, συνδετήρες, πτυσσόμενοι μεταλλικοί συνδετήρες, σοβατισμένες οι εξωτερικές επιφάνειες, 12mm	300	380	27	27	43	55	66	77	85	85

μονά τζάμια

μονό τζάμι σε σκελετό βαρέως τύπου	6	15	17	11	24	28	32	27	35	39
	8	20	17	18	25	31	32	28	36	39
	9	22,5	18	22	26	31	30	32	39	43
	16	40	20	25	28	33	30	38	45	48

	25	62,5	25	27	31	30	33	43	48	53
τζάμι "lamine" (ενισχυμένο με φύλλο πλαστικού)	13	32		23	31	38	40	47	52	57
Διπλό τζάμι										
2.44mm πέτασμα, 7mm κενό	12	15	15	22	16	20	29	31	27	30
9mm γυάλινα πετάσματα σε ξεχωριστούς σκελετούς, 50mm κενό	62	34	18	25	29	34	41	45	53	50
65mm γυάλινα πετάσματα σε ξεχωριστούς σκελετούς, 100mm κενό	112	34	20	28	30	38	45	45	53	50
6mm γυάλινα πετάσματα σε ξεχωριστούς σκελετούς, 188mm κενό	200	34	25	30	35	41	48	50	56	56
6mm γυάλινα πετάσματα σε ξεχωριστούς σκελετούς, 188mm κενό με απορροφητική μοκέτα στις παρειές	200	34	26	33	39	42	48	50	57	60

πόρτα										
κοινή μη συμπαγής πόρτα	43	9	9	12	13	14	16	18	24	26
συμπαγές πυκνό ξύλο	43	28	13	17	21	26	29	31	34	32
τυπική ηχοαπορροφητική πόρτα, διπλά ασάλινα φύλλα, ειδική επίπλωση και σφράγιση σε ασάλινο σκελετό βαρέως τύπου.	100		37	36	39	44	49	54	57	60
κοινή μη συμπαγής πόρτα laminate	44	20		14	18	17	23	18	19	
κοινή μη συμπαγής πόρτα με λακαρισμένη επιφάνεια	44	25		22	26	29	26	26	32	

Πάτωμα										
θυλακωτές πλάκες, με σφραγισμένους αρμούς	21	13	17	21	18	22	24	30	33	63
θυλακωτές πλάκες, 12mm γύψινο πέτασμα από κάτω, με 3mm μαρμαροκονίομα	233	31	15	18	25	37	39	45	45	48
όπως παραπάνω αλλά το δάπεδο είναι πλωτό πάνω σε μοκέτα υαλοβάμβακα	240	35	20	25	33	38	45	56	61	64
οπλισμένο σκυρόδεμα	100	250	32	37	36	45	52	59	62	63
	200	460	36	42	41	50	57	60	65	70
	300	690	37	40	45	52	59	63	67	72
126mm οπλισμένο σκυρόδεμα με εξομαλυντικό	190	420	35	38	43	48	54	61	63	67
6mm και 9mm πετάσματα σε ξεχωριστούς σκελετούς, 200mm κενό, απορροφητικές μοκέτες στις παρειές	215	42	27	36	45	58	59	55	66	70
πλάκα σκυροδέματος 200mm	200	280		34	39	46	53	59	64	65
όπως παραπάνω αλλά με δρύινη επιφάνεια	212	282		34	41	46	55	64	70	
όπως παραπάνω αλλά με μοκέτα, όχι με ξύλινη επιφάνεια	200	281		34	36	46	55	66	72	

γύψινο ταβάνι, ερμητικά σφραγισμένο με φινίρισμα βινυλίου, με υαλοβάμβακα ως μονωτικό και 75mm κόντρα πλακέ	318									
			30	36	45	52	47	65		

Πίνακας Α.13. Ενδεικτικός πίνακας τιμών του δείκτη ηχομείωσης ορισμένων συνηθών υλικών.

Α.7. Εφαρμογή στη σύγκριση σύνηθων κατασκευών και γενικά συμπεράσμα αναφορικά στην αξιολόγηση τους ως προς την ηχομονωτική συμπεριφορά

Στο παράρτημα Α και συγκεκριμένα στο κεφάλαιο Α1, αναφέρονται οι σύνηθες κατασκευές που υπάρχουν στην Ελλάδα. Για κάθε κατασκευή δίνονται, σε σχεδιαγράμματα, οι τιμές του δείκτη ηχομείωσης ανά συχνότητα καθώς και οι τιμές της κανονικοποιημένης στάθμης κτυπογενή ήχου ανά συχνότητα.

Για την κατανόηση της επίδρασης κάποιων παραμέτρων, όπως είναι λ.χ. η επίδραση της επιφανειακή μάζα και η επίδραση του πάχους του διάκενου μιας διπλής κατασκευής, όμοιες κατασκευές τροποποιούνται και τα αποτελέσματά τους τίθενται προς σύγκριση. Επίσης, συγκρίνονται κατασκευές διαφορετικών πετασμάτων. Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων συμπτίθηκαν και παρατίθενται παρακάτω.

Το παράδειγμα 1 εξετάζει:

- Ένα διπλό χώρισμα από τούβλα πάχους 9cm με κενό 5-6cm και ηχοαπορροφητικό υλικό στο διάκενο το οποίο συγκρίνεται με ένα μονό χώρισμα από σκυρόδεμα πάχους 12 cm.

Προκύπτει ότι:

- Τα δύο χωρίσματα επιφέρουν σε γενικές γραμμές τον ίδιο σταθμισμένο δείκτη ηχομείωσης.
- Το διπλό χώρισμα θα δώσει το πλεονέκτημα του μεγαλύτερου δείκτη ηχομείωσης στις ζώνες συχνοτήτων κάτω από τα 500Hz. Το διπλό χώρισμα αυτό στις περισσότερες περιπτώσεις καλύπτει τις απαιτήσεις ακουστικής άνεσης.

Το παράδειγμα 2 εξετάζει:

- Σύνηθες κατασκευές διπλών χωρισμάτων μεγάλης επιφανειακής πυκνότητας με αρμό. Το υλικό κατασκευής είναι είτε από τούβλο είτε από σκυρόδεμα. Τα χωρίσματα αυτά κατασκευάζονται για υψηλές ηχομονωτικές απαιτήσεις.

Προκύπτει ότι:

- Με τη χρήση του αρμού αναμένεται ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης να αυξηθεί κατά 10 dB σε σύγκριση με το αντίστοιχο απλό χώρισμα ίσης περίπου επιφανειακής πυκνότητας.
- Η επίδραση της μάζας είναι σημαντική αλλά όχι της απόστασης.
- Η τιμή του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης καθορίζεται από τη συμπεριφορά του χωρίσματος στις χαμηλές συχνότητες.

Το παράδειγμα 4 εξετάζει:

- Διπλά ελαφριά χωρίσματα γυψοσανίδας με μεταλλικό σκελετό.

Προκύπτει ότι:

- Όταν χρησιμοποιείται το ίδιο πάχος γυψοσανίδων στις δύο πλευρές εμφανίζεται μείωση του δείκτη ηχομείωσης στην περιοχή της κρίσιμης συχνότητας.
- Ο υαλοβάμβακας πρέπει να εφάπτεται στις γυψοσανίδες για να υπάρχει απόσβεση των ταλαντώσεων.
- Όσο η επιφανειακή πυκνότητα μειώνεται ο δείκτης ηχομείωσης μειώνεται σημαντικά. Για να επιτευχθεί υψηλή ηχομόνωση, όταν τα χωρίσματα έχουν μικρή επιφανειακή πυκνότητα, πρέπει ο αριθμός των γυψοσανίδων που αποτελούν το χωρίσμα να αυξηθεί κατά 50%.
- Η μείωση του δείκτη ηχομείωσης που προκαλείται από τη μικρή επιφανειακή μάζα των χωρισμάτων εξουδετερώνεται όταν αυξάνεται η απόσταση του διάκενου.

Επίσης σημειώνεται το εξής:

Συγκρίνοντας το διπλό χωρίσμα από γυψοσανίδα σε μονό σκελετό και υαλοβάμβακα στο κενό (2^α, παράρτημα Α, κεφάλαιο Α1, παράδειγμα 4) με ένα μονό χωρίσμα από σκυρόδεμα πάχους 12cm με επίχρισμα 1cm από κάθε πλευρά, παρατηρείται ότι γενικά επιφέρουν τις ίδιες τιμές ηχομόνωσης.

Παρόλα αυτά το μονό χωρίσμα υπερτερεί του διπλού χωρίσματος ως προς το δείκτη ηχομείωσης στις ζώνες συχνοτήτων κάτω από τα 200Hz.

Το ίδιο μειονέκτημα παρουσιάζει το (2β) διπλό χωρίσμα από γυψοσανίδα σε μονό σκελετό και με υαλοβάμβακα στο κενό σε σύγκριση με ένα μονό χωρίσμα από σκυρόδεμα πάχους 14cm και επίχρισμα 1cm στην κάθε πλευρά.

Η παρατήρηση αυτή επαληθεύει και το συμπέρασμα που τονίζεται στα σχεδιαγράμματα 2.16 και 2.17 κεφάλαιο 2.14.2.

Το παράδειγμα 5 εξετάζει:

- Διπλά ελαφριά χωρίσματα γυψοσανίδας με μεταλλικό σκελετό αυξημένου δείκτη ηχομείωσης.

Προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Με την περαιτέρω αύξηση της απόστασης του διάκενου, όταν η επιφανειακή πυκνότητα παραμένει η ίδια, ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης δεν αλλάζει ουσιαστικά. Παρατηρείται απλώς μια μικρή αύξηση αυτού στις περιοχές γύρω από την κρίσιμη και τη συχνότητα συντονισμού.
- Όταν χρησιμοποιηθεί υαλοβάμβακας και στους δύο σκελετούς γίνεται απόσβεση των ταλαντώσεων και στα δύο χωρίσματα με αποτέλεσμα να βελτιώνεται σημαντικά ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης κυρίως στην περιοχή γύρω από την κρίσιμη συχνότητα.
- Η χρήση ανεξάρτητων σκελετών, φέρει ως αποτέλεσμα σημαντική αύξηση του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης με πολύ μικρή βύθιση στην περιοχή της κρίσιμης συχνότητας. Συγκεκριμένα η χρήση των δύο ανεξάρτητων σκελετών πάχους 100mm με γυψοσανίδες μεγάλης επιφανειακής πυκνότητας, οδηγεί στον πιο ψηλό σταθμισμένο δείκτη. Αν στο ίδιο παράδειγμα χρησιμοποιηθούν γυψοσανίδες με μειωμένη πυκνότητα, ο αριθμός τους σε κάθε πλευρά πρέπει να αυξηθεί και αντί για δύο πρέπει να γίνει τρία.

Επίσης, συγκρίνεται την κατασκευή 3 του παραδείγματος, που αφορά διπλό χωρίσμα από γυψοσανίδα σε δύο ανεξάρτητους σκελετούς και με υαλοβάμβακα στον ένα σκελετό με μία μονή κατασκευή τοιχώματος από σκυρόδεμα γραμμικής πυκνότητας 2400kg/m³ και πάχους 300mm με επίχρισμα 10mm σε κάθε πλευρά.

Προκύπτει ότι :

- το διπλό τοίχωμα αν και υστερεί ηχομονωτικά του μονού χωρίσματος στην περιοχή γύρω από τα 200Hz, στο υπόλοιπο ακουστικό φάσμα παρουσιάζει ψηλές τιμές του δείκτη ηχομείωσης.

Το παράδειγμα 7 εξετάζει:

- Διπλά χωρίσματα με Υαλότουβλα χωρίς σκελετό.

Προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Στις συγκεκριμένες κατασκευές παρουσιάζεται βύθιση του σταθμισμένου φαινομένου δείκτη ηχομείωσης στην κρίσιμη και στη συχνότητα συντονισμού, αντίστοιχη με εκείνη των γυψοσανίδων.
- Η λογική της ασυμμετρίας, με μικρότερο το πάχος του ενός τοιχώματος δίνει ως αποτέλεσμα 1dB μεγαλύτερο σταθμισμένο δείκτη ηχομείωσης και πιο ήπιες βυθίσεις στις συχνότητες συντονισμού και στην κρίσιμη.
- Η απόσταση μεταξύ των τοιχωμάτων επηρεάζει το σταθμισμένο δείκτη ηχομείωσης από τα 800 Hz και πάνω.

Στις κατασκευές αυτές αν ληφθεί υπόψη ο σκελετός, οι τιμές του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης θα μειωθούν από 1-5dB ανάλογα με την κατασκευή.

Το παράδειγμα 8 εξετάζει:

- Διπλά χωρίσματα με υαλότουβλα χωρίς σκελετό, αυξημένου δείκτη ηχομείωσης. Στα υαλοπετάσματα η απόσβεση των ταλαντώσεων επιτυγχάνεται με τη στήριξη ή με την πλήρωση του διάκενου με αέριο ή με τη χρήση στρωματοποιημένων στοιχείων.

Προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Αύξηση του δείκτη ηχομείωσης μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους: i) με αύξηση της απόστασης των δύο στοιχείων, ii) με τη χρήση ενός σκελετού ή δύο ανεξάρτητων σκελετών, οι οποίοι έχουν ηχοαπορροφητική επένδυση περιμετρικά.
- Σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ αν χρησιμοποιηθούν όχι πολύ παχιά υαλοπετάσματα αλλά σε μεγάλη απόσταση (200-400mm) τα αποτελέσματα ως προς την ηχομόνωση είναι ικανοποιητικά.

Οι κατασκευές αυτές αφορούν σε υαλοπετάσματα χωρίς σκελετό. Αν υπολογιστεί και ο σκελετός στη μελέτη αναμένεται μείωση του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης από 1εως 5 dB ανάλογα με την κατασκευή. Εντούτοις, υποδεικνύεται ότι αν ληφθεί η συνολική επιφάνεια υπόψη για δείκτες μέχρι 37dB η επίδραση του σκελετού είναι αμελητέα όπως και η επίδραση του κενού είναι σχετικά μικρή (βάσει EN 12354.3,2000, παραγρ. Β.2.1).

Το παράδειγμα 10 εξετάζει:

- Κολυμβητά δάπεδα.

Προκύπτει ότι:

- Όταν το πλωτό δάπεδο είναι σκυροδέμα ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης αυξάνεται από 5-6dB. Οι ανάλογοι υπολογισμοί έδειξαν ότι αν μειωθούν οι πλευρικές μεταδόσεις η αύξηση του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης είναι περίπου 5dB. Όταν το πλωτό δάπεδο είναι μοριοσανίδα, η βελτίωση είναι μικρότερη.

A.8. Πληροφορίες δόμησης με Y-tong και γυψοσανίδα μέσω οπτικοακουστικού υλικού.

Στο μέρος αυτό παρατίθενται δύο οπτικοακουστικά αποσπάσματα, όπως υπάρχουν στο εμπόριο, τα οποία δίνουν πληροφορίες για τη δόμηση με τα υλικά Y-tong και γυψοσανίδα. Ο λόγος που συμπεριλαμβάνονται στην εργασία έγκειται στο ότι αρκετά στοιχεία που έχουν αναπτυχθεί προηγουμένως και αφορούν στις κατασκευές, γίνονται κατανοητά μέσω της επεξηγηματικής αναπαράστασης δόμησης των συγκεκριμένων αποσπασμάτων.



Βίντεο 1. Δόμηση με Y-tong.



Βίντεο 2. Δόμηση με γυψοσανίδα (μέρος1)



Βίντεο 3. Δόμηση με γυψοσανίδα (μέρος2)

Παράρτημα Β

Συστήματα ανάρτησης και υλικά που χρησιμοποιούνται ως αντικραδασμικά, ηχομονωτικά, ηχοαπορροφητικά

Στο μέρος αυτό παρουσιάζονται κάποια υλικά, όπως διατίθενται στο εμπόριο, με σκοπό ο αναγνώστης να αποκτήσει μια πρώτη εκτίμηση. Μέσω της παρουσίασης των υλικών δίνονται και τα πρωτογενή υλικά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή των τελικών προϊόντων.

Είναι θεμιτό τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κάθε προϊόντος να πιστοποιούνται από γνωστά συστήματα πιστοποίησης έτσι ώστε να αποφεύγονται παραπλανητικές πληροφορίες.

Τα υλικά που αναφέρονται είναι: τα συστήματα ανάρτησης, τα αντικραδασμικά, ηχομονωτικά υλικά, υλικά για κάλυψη αρμών καθώς και ηχοαπορροφητικά υλικά.

Β.1. Συστήματα ανάρτησης και αντικραδασμικά.

Τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται ως στήριξη ανάρτησης μιας τοιχοποιίας, ψευδοροφής, σωληνώσεων-αεραγωγών και δαπέδου είναι συνήθως μεταλλικά ή πλαστικά. Προστατεύουν από τη μετάδοση του αερόφερτου και του κτυπογενή θορύβου. Παρακάτω δίνονται ενδεικτικές πληροφορίες για κάποια από αυτά. Για περισσότερες λεπτομέρειες ο ενδιαφερόμενος μπορεί να ανατρέξει στα σχετικά τεχνικά φυλλάδια που παρέχονται από τις αντίστοιχες εταιρίες. Τα συστήματα ανάρτησης ή αντικραδασμικά συστήματα διατίθενται στο εμπόριο σε συγκεκριμένες διαστάσεις.

ι) Από την εταιρία Knauf προσφέρονται τα εξής:

- ταχείες ανάρτησης



Εικόνα Β.1.α

- στρεπτός συνδετήρας



Εικόνα Β.1.β.

- άμεση ανάρτηση



Εικόνα Β.1.γ.

-ανισόπεδος συνδετήρας



Εικόνα Β.1.δ.

- ανάρτηση κλειστού τύπου



Εικόνα Β.1.ε.

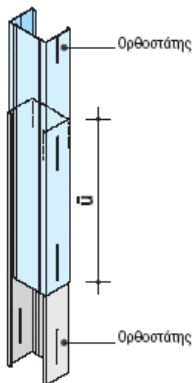
-συνδετήρας Universal



Εικόνα Β.1.ζ.

- ορθοστάτης

- στρωτήρας



Εικόνα Β.1.η.



Εικόνα Β.1.θ.

ii) Από την εταιρία Alpha acoustics προσφέρονται τα συστήματα Vibro. Μερικά από αυτά είναι:

1. Για αναρτήσεις (τα χαρακτηριστικά δίνονται στο φυλλάδιο με τα τεχνικά χαρακτηριστικά από την αντίστοιχη εταιρία)

CH mini



Εικόνα Β.2.α.

Αντικραδασμική ανάρτηση με μεταλλικό περίβλημα και γαλβανισμένη λαμαρίνα. Κατάλληλο για αντιμετώπιση κραδασμών με διεγείρουσα συχνότητα πάνω από 15Hz. Η περιοχή φόρτισης είναι 8-20 kp.

- **QH mini**



Εικόνα Β.2.β.

Χρησιμοποιείται για άμεση ανάρτηση ψευδοροφών γυψοσανίδας. Κατάλληλο για αντιμετώπιση κραδασμών με διεγείρουσα συχνότητα πάνω από 15Hz. Η περιοχή φόρτισης είναι 8-20 kp.

- **PI mini**



Εικόνα Β.2.γ.

Χρησιμοποιείται για αναρτήσεις (Π) ψευδοροφών. Αποτελείται από κατάλληλα διαμορφωμένο γαλβανισμένο έλασμα στο οποίο προσαρμόζεται το ειδικό ελαστικό αντικραδασμικό Vibro-mini. Κατάλληλο για αντιμετώπιση κραδασμών με διεγείρουσα συχνότητα πάνω από 15Hz. Η περιοχή φόρτισης είναι 8-20 kp.

CH



Εικόνα Β.2.δ.

Χρησιμοποιείται ως αντικραδασμική ανάρτηση ψευδοροφών, μηχανημάτων, σωληνώσεων κλπ. Συνδυάζει την χρήση του ελαστικού και του ελατηρίου για την αντιμετώπιση των ακουστικών κυμάτων, τα οποία μεταδίδονται μέσω του μεταλλικού ελατηρίου. Ανάλογα με τον τύπο του vibro-CH η περιοχή φόρτισης είναι από 25-150 Kp. Τα δυναμικά του χαρακτηριστικά:

1. υποχώρηση: 25mm στο μέγιστο φορτίο

2. Ιδιοσυχνότητα: μέχρι 3 Hz.

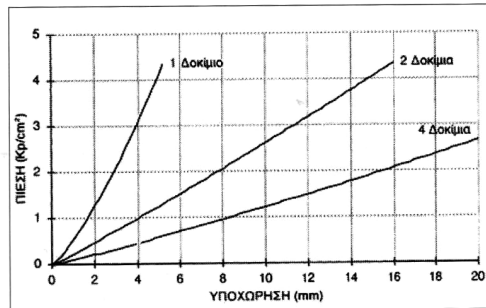
2. Για προστασία από τον κτυπογενή θόρυβο σε δάπεδα (τα χαρακτηριστικά δίνονται από την αντίστοιχη εταιρία)



Εικόνα Β.2.ε.

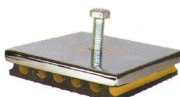
Οι διαμήκεις οπές αυξάνουν την υποχώρηση και βελτιώνουν την απορρόφηση των κραδασμών. Διατίθεται σε τρεις διαφορετικές σκληρότητες έτσι ώστε για διαφορετικά φορτία να επιτυγχάνεται βέλτιστη απόσβεση. Παρασκευάζεται από ελαστικό ειδικής σύνθεσης και από νεοπρένιο. Ανάλογα με τον τύπο του vibro-EP αλλάζουν και οι τιμές φορτίου και φόρτισης. Το διάγραμμα φόρτισης του τύπου Vibro-EP μπλε (12.5X12.5) δίνεται παρακάτω:

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ
(Vibro-EP 12.5 x12.5 μπλε)



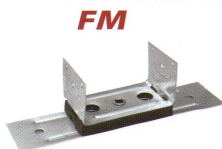
Διάγραμμα Β.1. Διάγραμμα φόρτισης του αντικραδασμικού Vibro-Ep.

- EP metal



Εικόνα Β.2.ζ.

Αποτελείται από ελαστικό εφέδρανο Vibro-EP και από μεταλλικό γαλβανισμένο κάλυμμα, το οποίο εξασφαλίζει ομοιόμορφη κατανομή του φορτίου και προστατεύει το ελαστικό από την ηλιακή ακτινοβολία. Ανάλογα με τον τύπο του Vibro Ep metal εξαρτάται η περιοχή φόρτισης η οποία μπορεί να είναι από 50-350 kr/τεμάχιο.



Εικόνα Β.2.η.

Χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση του κτυπογενή ήχου στα ξύλινα δάπεδα. Ο δείκτης ηχομείωσης κτυπογενή $L_{n,w}$ είναι 53dB κατά ΕΛΟΤ 370.6 & 461.2. Είναι πιστοποιημένο από το εθνικό Μετσόβιο πολυτεχνείο. Καλύπτει τις απαιτήσεις του κτιριοδομικού κανονισμού ακόμα και για υψηλές ακουστικές απαιτήσεις. Βελτιώνει την ηχομόνωση κατά 13dB σε σύγκριση με το απλό ξύλινο δάπεδο. Απαιτούμενη ποσότητα 6-8 τεμ./m². Μέγιστο φορτίο 80kr ανα σημείο έδρασης.



Εικόνα Β.2.θ.

Είναι ένα ειδικό σύστημα έδρασης χωρισμάτων γυψοσανίδας.

Τοποθετείται στο στρωτήρα δαπέδου και οροφής σε αντιστοιχία με τους ορθοστάτες. Η εφαρμογή του σε πλωτά γυψοχωρίσματα μειώνει τις πλευρικές ηχητικές μεταδόσεις και αποτρέπει τις θερμογέφυρες και την ανερχόμενη υγρασία από το δάπεδο και τους τοίχους. Μέγιστο φορτίο: 80kp ανα σημείο έδρασης.

Β.2. Υλικά για κάλυψη διακένων, σφράγιση αρμών.

Για την κάλυψη διακένων σφράγισης- στεγάνωσης χρησιμοποιείται ο αφρός πολυουρεθάνης(PUR) και φορμαλδεΐδης, ο πολυισοκυανικός αφρός (PIR) και ο φενολικός αφρός (PHEN).

Ο πιο σύνηθες αφρός είναι ο *αφρός πολυουρεθάνης*, ο οποίος σκληραίνει με την ατμοσφαιρική υγρασία. Είναι κατάλληλος για σφράγιση, γέμισμα, συγκόλληση, μόνωση και στερέωση όπου απαιτείται ηχομόνωση.



Εικόνα Β.3. Αφρός φορμαλδεΐδης.

Ο *αφρός φορμαλδεΐδης* ανήκει στα οργανικά τεχνητά υλικά 'κλειστής κυψελικής δομής'.

Βάση του είναι η ρητίνη, ουσίας φορμαλδεΐδης, που με την προσθήκη ειδικού καταλύτη δίνει το τελικό υλικό. Παράγεται επί τόπου στο εργοτάξιο με ειδικά μηχανήματα και μεταφέρεται σε υγρή μορφή με σωλήνες στο σημείο τοποθέτησης. Εκεί, αφροποιείται και στερεοποιείται σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Εμφανίζει ομοιόμορφη και συνεχή κλειστή κυψελική δομή, με χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, ο οποίος δεν επηρεάζεται σημαντικά από την υγρασία και τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Ως υλικό δεν πρέπει να υφίσταται καθόλου μηχανικές καταπονήσεις.

Β.3. Προϊόντα ηχομονωτικά, αντικραδασμικά, ηχοαπορροφητικά

Εκτός από τον πετροβάμβακα και τον υαλοβάμβακα, δύο υλικά που χρησιμοποιούνται κυρίως σε κατασκευές όπου απαιτείται ηχομόνωση, στο ελληνικό εμπόριο διατίθεται μια ποικιλία υλικών τα οποία χρησιμοποιούνται ως ηχομονωτικά, αντικραδασμικά και ηχοαπορροφητικά.

1. Ηχομονωτικά – αντικραδασμικά



1.

Θερμό-ηχομονωτικό υλικό με βάση το πολυαιθυλένιο για μόνωση τοιχοποιίας και στέγης. Ανθεκτικό στη φωτιά και στην υγρασία.

KeiFom-TA

Απαλλαγμένο από (CFC-freon και HCFC)
 Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας $\lambda=0,035\text{W/mK}$.

Εικόνα Β.4.α.



STYROFILL

Εικόνα Β.4.β.

2. Διογκωμένη πολυστερίνη για γέμισμα ξύλινων δαπέδων.

- 3.



MANTOPHON PBX
 3+0,35+3

Εικόνα Β.4.γ.

Ηχομονωτικό υλικό γενικής χρήσης. Αποτελείται από δύο αντικραδασμικά φύλλα με ενδιάμεσο φύλο μόλυβδου.

- 4.



ACOUSTIC METAL
 SLIC

Εικόνα Β.4.δ.

Δύο στρώσεις πολυαιθυλένιο και μία στρώση μόλυβδου. Χρησιμοποιείται κυρίως σε μονώσεις σωληνώσεων

- 5.

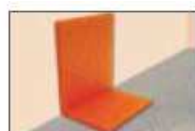


CIRMIX-FLEX
 $R_w=28\text{ dB (500 Hz)}$

Εικόνα Β.4.ε.

Αυτοκόλλητη ταινία για μονώσεις σωληνώσεων.

- 6.

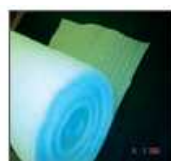


L - JOINT

Εικόνα Β.4.ζ.

Αυτοκόλλητη πλευρά για σοβατεπί.

- 7.



FIBRAN XPE

Εικόνα Β.4.η.

Αφρώδες εξηλασμένο πολυαιθυλένιο, κλειστής κυψέλης. Υλικό κάτω από ξύλινα δάπεδα.



Διογκωμένο φύλλο πολυαιθυλενίου με επικάλυψη φύλλου επαλουμινιωμένου πολυπροπυλενίου.

Εικόνα Β.4.θ.



Αντικραδασμική και ηχομονωτική μεμβράνη από πολυολεφίνες. Μη τοξικό, υποκατάστατο του μολύβδου. Χρησιμοποιείται σε σύνθετες κατασκευές γυψοσανίδας και σε κατασκευές δαπέδων.

10. **Phonopar** -

Αντικραδασμικό υλικό από ίνες πολυεστέρα με επικάλυψη φιλμ πολυαιθυλενίου. Χρησιμοποιείται στα πλωτά δάπεδα.



Οικολογικό υλικό για προστασία από κτυπογενής θορύβους. Είναι πολύ ελαστικό πλαστικό. Αποτελείται από ανακυκλωμένα υλικά και είναι και αυτό ανακυκλώσιμο.

12. **IZITHERM** -

Είναι ένα νέας γενιάς θερμομονωτικό & ηχομονωτικό υλικό που κατασκευάζεται από θερμοσυγκολλητά στρώματα πολυεστερικών ινών μεγάλης διαμέτρου και μεγάλου μήκους. Ο συντελεστής θερμοδιαπερατότητας του είναι $\lambda = 0,0292 \text{ Kcal/h.m.}^\circ\text{C}$ (πιστοποίηση από το ΚΕΔΕ).

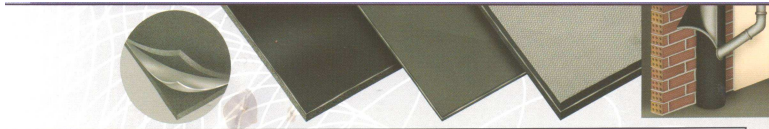
Ο βαθμός ηχοαπορρόφησης είναι:



Σχεδιάγραμμα Β.2. Βαθμός απορρόφησης του izitherm.

Ως προς την πυρασφάλειά του ανήκει στην κατηγορία Α και είναι πυρίμαχο. Χρησιμοποιείται σε κατασκευές τοίχων και δαπέδων- ταβανιών.

13. **Teknofon CPX - PB***



Εικόνα Β.4.λ.

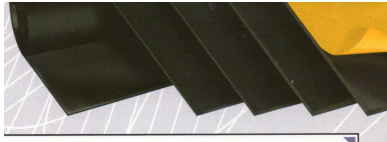
Ηχομονωτικές πλάκες με φύλλα μολύβδου και διάφορους συνδυασμούς αφρωδών υλικών και επενδύσεων. Λόγω μολύβδου παρουσιάζουν πλαστικότητα και μπορούν να εφαρμοστούν σε μη επίπεδες επιφάνειες.

Ανάλογα με τον τύπο χρησιμοποιούνται για ηχομόνωση στερόφερτου και κτυπογενή θορύβου σε εγκαταστάσεις όπως: μηχανοστάσια σκεφών, κουβούκλια μηχανών, τοιχοποιία, χωρίσματα, δάπεδα, σωληνώσεις.

Δείκτης ηχομείωσης R(dB)						
Συχνότητα (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Teknofon CPX-PB	18	19	22	27	33	40

Πίνακας Β.1. Δείκτης ηχομείωσης Teknofon CPX – PB.

14. Teknofon SoundB(A)r*



Εικόνα Β.4.μ.

Ηχομονωτικά και εύκαμπτα ρολά και πλάκες, παράγονται από μίγμα ελαστομερών και αδρανών σωματιδίων.

Ανάλογα με τον τύπο χρησιμοποιούνται σε ελαφριές κατασκευές, πόρτες, πλωτά δάπεδα, χωρίσματα με γυψοσανίδα, ηχομονωτικές κουρτίνες.

Δείκτης ηχομείωσης R(dB)						
Συχνότητα (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
SoundBar-10	25	27	29	30	35	41
SoundBar-5	20	23	24	25	30	36
SoundBar-3,5	17	21	22	24	27	32

Πίνακας Β.2. Δείκτης ηχομείωσης Teknion Sound Bar.

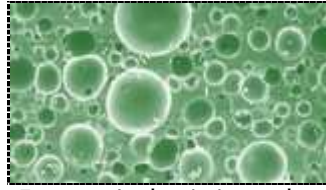
15. Sylmar/ Saladin

Από την εταιρία Gezer και τον αντιπρόσωπο της εταιρίας στην Ελλάδα Εργοασκουστική επε, διατίθενται στο εμπόριο τα αντικραδασμικά sylomer και sylodyn. Τα υλικά αυτά ποικίλουν ανάλογα με την εφαρμογή τους. Η κύρια εφαρμογή τους είναι σε σιδηροτροχιές και σε κτίρια.

Τα sylomer/ sylodyn εξετάζονται για την αποδοτικότητά τους από την εταιρία κατασκευής τους Getzner καθώς και από άλλα ευρωπαϊκά ινστιτούτα. Είναι ανθεκτικά σε λάδι, γράσο, σε ελαφρά οξέα και αλκαλικά και παραμένουν ελαστικά ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Για να επιλεγθεί το κατάλληλο υλικό σε σχέση με την κατασκευή υπάρχουν τεχνικά φυλλάδια με τις προδιαγραφές του κάθε υλικού, έτσι ώστε να βρεθεί το κατάλληλο υλικό.

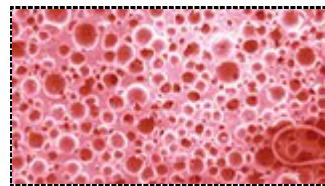
Sylodyn



Εικόνα Β.5.α. Το υλικό sylodyn από μικροσκόπιο.

Είναι κλειστής κυτταρικής πολυουρεθάνης. Χρησιμοποιείται κυρίως για ελαστική υποστήριξη σε σιδηροτροχιές καθώς και ως αντικραδασμικό - ηχοπροστατευτικό από τον κτυπογενή θόρυβο σε δάπεδα και για απόσβεση των ταλαντώσεων σε όλους τους τοίχους του σπιτιού.

Sylomer



Εικόνα Β.5.β. Το υλικό sylomer από μικροσκόπιο.

Είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο αντικραδασμικό υλικό που βρίσκει εφαρμογή σε πληθώρα κατασκευών όπως αναρτήσεις ταβανιών και ως αντικραδασμικό σε δωμάτια και σε ποικίλες εφαρμογές.

Υπάρχουν εννέα είδη sylomer

Τύποι των προϊόντων sylomer/sylodyn και η χρήση τους.

Παρακάτω περιγράφονται δύο τύποι των προϊόντων sylomer / sylodyn. Για περισσότερες πληροφορίες ο ενδιαφερόμενος μπορεί να ανατρέξει είτε στην ιστοσελίδα της εταιρίας getzner είτε στην ελληνική εταιρία εργοακουστική επε.

1. *sylomer – εξαιρετικής ελαστικότητας και ανθεκτικότητας.*

Χαρακτηριστικά:

- Ανάμεικτη κυτταρική δομή.
- εύρος στατικότητας 0.011N/mm^2 έως 1.2 N/mm^2 .
- φορτίο αιχμής 6.0 N/mm^2 .
- Αποδεδειγμένη αντοχή στο χρόνο.
- δύναμη καταπόνησης.
- Βελτιστοποιημένη σειρά 10 τυποποιημένων προϊόντων για να καλύψει τις ανάγκες των υπολογισμών για τα συστήματα.
- Συγκεκριμένες ρυθμίσεις ανάλογα με τις απαιτήσεις των πελατών.

Εφαρμογή του συγκεκριμένου τύπου:

- Ως υποστήριξη στις κατασκευές ραγών και εξοπλισμού αυτού για τη μείωση των δονήσεων.
- ως σύστημα μάζας- ελατηρίου, ως μορφή πλάκας, ως ελαστικό φύλλο για δάπεδα και σιδηροτροχιές.(εικόνα Β.5.γ.)
- στα κτίρια σε όλη την επιφάνεια, σε λωρίδες και σε σημεία (εικόνα Β.5.δ.).
- σε σκαλοπάτια και αποβάσεις
- σε διάφορων τύπων μηχανήματα

- ως ελαστικά συστατικά για τους κυλίνδρους μεταφορών και τις ζώνες
- Ιδιαίτερα εύκαμπτα ελαστικά φύλλα

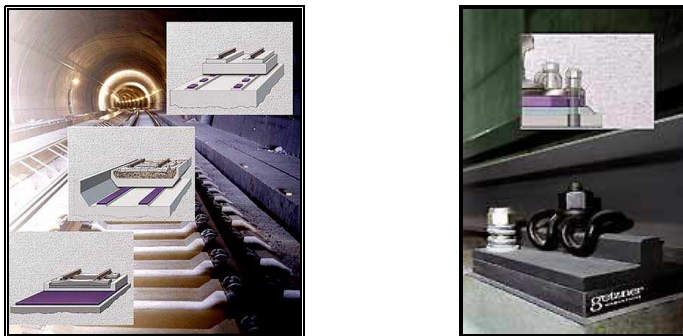
2. sylodyn - Σημαντικής δυναμικής ικανότητα αντοχής φορτίων

Χαρακτηριστικά:

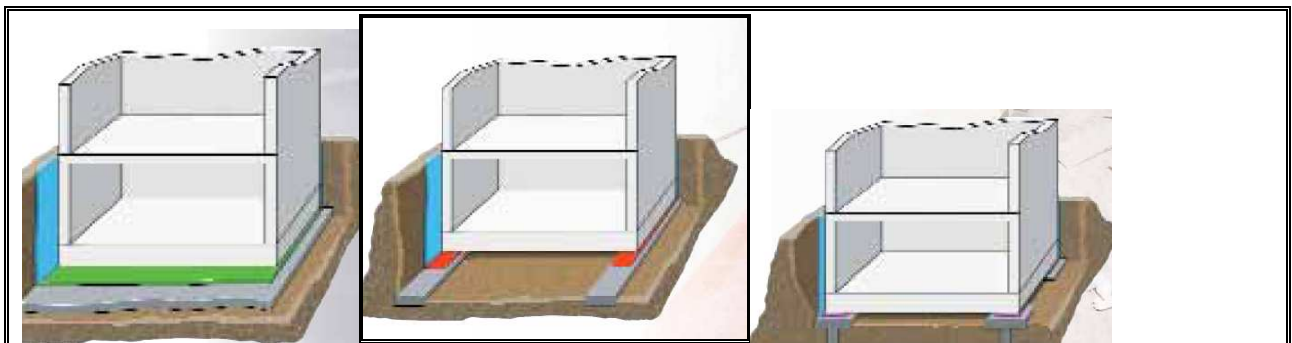
- κλειστή κυτταρική δομή
- Μόνιμο στατικό φορτίο για τους τυποποιημένους τύπους προϊόντων από 0.075 N/mm² έως 1.5 N/mm², ειδικοί τύποι σε 2.5 N/mm² (N80 - 1030, για συγκεκριμένα προγράμματα)
- Αιχμές φορτίων σε 8 N/mm²
- Ελάχιστη τάση να συρθεί
- Παράγοντας ακαμψίας από κ (C_{dyn}/ C_{stat}) 1.15-1.40
- Αποδεδειγμένη μακροπρόθεσμη απόδοση
- Βελτιστοποιημένη σειρά 5 τυποποιημένων προϊόντων για να καλύψει τις ανάγκες των υπολογισμών για τα συστήματα
- Συγκεκριμένες ρυθμίσεις για τους πελάτες είναι δυνατές

Εφαρμογή του συγκεκριμένου τύπου:

ίδια με το προηγούμενο υλικό.



Εικόνα Β.5.γ. Τύποι του sylomer/ sylodyn. Αριστερά σε μορφή φύλλου (με τρεις τρόπους στήριξης: σε όλη την επιφάνεια, σε λωρίδες και σε σημεία) και δεξιά σε κατασκευή ελατηρίου- μάζας.



Εικόνα Β.5.δ. : Τρόποι στήριξης του sylomer / sylodyn σε κτίρια. Αριστερά: σε όλη την επιφάνεια, στο κέντρο : σε λωρίδες, στη δεξιά μεριά: σε σημεία.

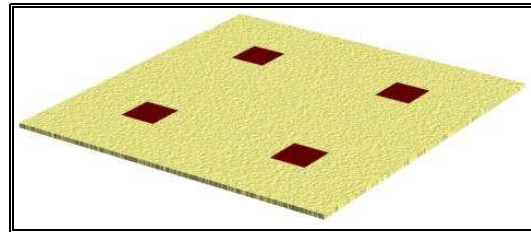
Επίσης, έχουν δημιουργηθεί νέα προϊόντα που είναι συνδυασμός του sylodyn / sylomer με άλλα υλικά.

Δύο τέτοια υλικά είναι:

1. το sylodyn σε μορφή blocks (εικόνα Β.5.ε. αριστερά).

Είναι συνδυασμός αφρώδους ελαστικής πολυστερίνης (από την εταιρία kaneka) με πολουρεθάνης (από την εταιρία getzer). Χρησιμοποιείται ως αντικραδασμικό σε δάπεδα και τοίχους.

2. Σε συνδυασμό με πετροβάμβακα.(εικόνα Β.5.ε. δεξιά)
 Εδώ συνδυάζεται πολουρεθάνη με υψηλής πυκνότητας πετροβάμβακα.
 Χρησιμοποιείται ως αντικραδασμικό σε δάπεδα και τοίχους.



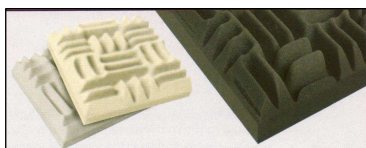
Εικόνα Β.5.ε. Αριστερά το sylodyn σε μορφή blocks, δεξιά σε συνδυασμό με πετροβάμβακα.

Τα sylomer / sylodyn εκτός από την ευρεία χρήση τους ως αντικραδασμικά σιδηροτροχιών έχουν μια πληθώρα εφαρμογών. Αναφορικά βρίσκουν εφαρμογή σε μικροσκοπία, σε μηχανήματα, σε ορθοπεδικές ζώνες, σε κτίρια καθώς και σε βιομηχανικές εφαρμογές. Τα χαρακτηριστικά του κάθε τύπου του υλικού sylomer / sylodyn βρίσκεται σε αντίστοιχα τεχνικά φυλλάδια.

2.Ηχοαπορροφητικά

Αφορούν στην ακουστική βελτίωση χώρων όπως χώρους παραγωγής, studio ηχοληψίας-μεταδόσεων, home cinema, κέντρα διασκέδασης κ.τ.λ. Κάποια από αυτά είναι:

15. Τεκνοφον Λαθύρινθοι*



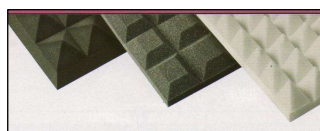
Εικόνα Β.6.α

Συντελεστές ηχοαπορρόφησης (α_s)

Συχνότητα (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
HF-L/70 ET	0.13	0.40	1.00	1.10	1.05	1.04
HF-L/40 ET	0.09	0.21	0.51	0.93	1.00	1.07
FIREND-L/30 ET	0.05	0.19	0.43	0.86	0.68	0.84
B1- L/50 ET	0.11	0.18	0.41	0.62	0.72	1.02

Πίνακας Β.3. Συντελεστής απορρόφησης Τεκνοφον Λαθύρινθοι.

16. Τεκνοφον Πυραμίδες*



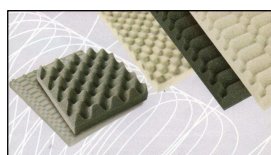
Εικόνα Β.6.β.

Συντελεστές ηχοαπορρόφησης (α_s)

Συχνότητα (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
HF-PC/40-100	0.11	0.26	0.63	1.01	1.25	1.31
HF-PY/65-70	0.09	0.24	0.68	1.10	1.19	1.16
SE-PY/50-60	0.07	0.21	0.49	0.81	0.94	0.93
SE-PY/40 - 50	0.06	0.15	0.38	0.62	0.71	0.76
B1- PY/50-50	0.06	0.20	0.39	0.73	0.86	0.92

Πίνακας Β.4. Συντελεστής απορρόφησης Τεκνοφον Πυραμίδες.

17. Τεκνοφον Κυματοειδή (Αυγοθήκη & Special)*



Εικόνα Β.6.γ.

Συντελεστές ηχοαπορρόφησης (α_s)

Συχνότητα (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
HF-P/60 ET	0.13	0.38	0.82	1.07	1.04	1.02
SE-P/50 ET	0.10	0.22	0.58	0.85	0.98	1.05
SE-P/30	0.06	0.15	0.38	0.92	1.06	1.02
SE-P/25	0.05	0.13	0.33	0.74	1.02	0.98
SPECIAL						
SE-P/25	0.04	0.11	0.31	0.72	0.98	0.93
FIREND-P/30 ET	0.04	0.18	0.41	0.82	0.64	0.80
B1-P/25	0.03	0.05	0.14	0.30	0.26	0.90
SPECIAL ET						

Πίνακας Β.5. Συντελεστής απορρόφησης Τεκνοφον Κυματοειδή.

*Τα τεχνικά χαρακτηριστικά Τεκνοφον δεν πιστοποιούνται από κάποιο γνωστό σύστημα πιστοποίησης.

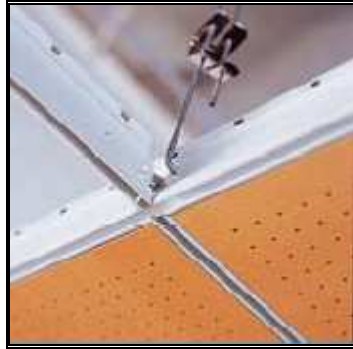
18. Torakustik- RPG | Ακουστικά πάνελ.

Σχεδιάζονται στην Ελβετία από την εταιρία n'H Akustik + Design AG και κατασκευάζονται στην Ιταλία, ακολουθώντας τα περιβαλλοντικά πρότυπα. Οι συντελεστές απορρόφησης Torakustik έχουν εξεταστεί στο ISO 354.



Διατίθεται στο εμπόριο ως κρεμαστό για τα ταβάνια και τους τοίχους και ως ελεύθερα τοποθετούμενο πάνελ. Βρίσκεται σε μορφή διάτρητου πάνελ και σε μορφή λωρίδες. Ενσωματώνεται και σε μέρη επίπλων.

Εικόνα Β.7.α. Πάνελ Torakustik.



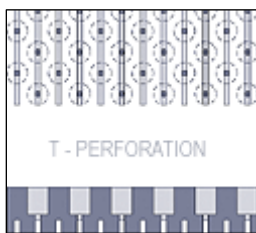
Εικόνα Β.7.β. Τύποι Torakustik. Αριστερά διάτρητο πάνελ, δεξιά πάνελ σε λωρίδες.

Ανάλογα τις συχνότητες (χαμηλές, μεσαίες, υψηλές) όπου προορίζεται να απορροφήσει καθορίζονται οι αναλογίες του κενού αέρα, της διάτρησης και των λωρίδων, δίνοντας έτσι και διαφορετικά αισθητικά αποτελέσματα.

Το Torakustik διακατέχεται από: Ελβετικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας 683112, δίπλωμα ευρεσιτεχνίας 0504 629 ΕΚ και ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΑ δίπλωματα ευρεσιτεχνίας 5.362.931 και 5.422.446.

Τα είδη του Torakustik

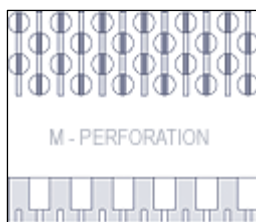
1. T-perforation



Προσφέρει απορρόφηση, διαμορφώνοντας το χρόνο αντήχησης, στις μεσαίες και χαμηλές συχνότητες.

Εικόνα Β.7.γ. Τύπος Torakustik πάνελ, T-perforation

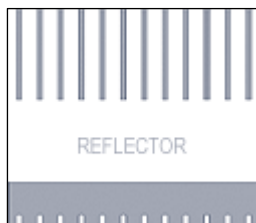
2. M-Perforation



Προσφέρει απορρόφηση, διαμορφώνοντας το χρόνο αντήχησης, στις μεσαίες και ψηλές συχνότητες.

Εικόνα Β.7.δ. Τύπος Torakustik πάνελ, M-perforation

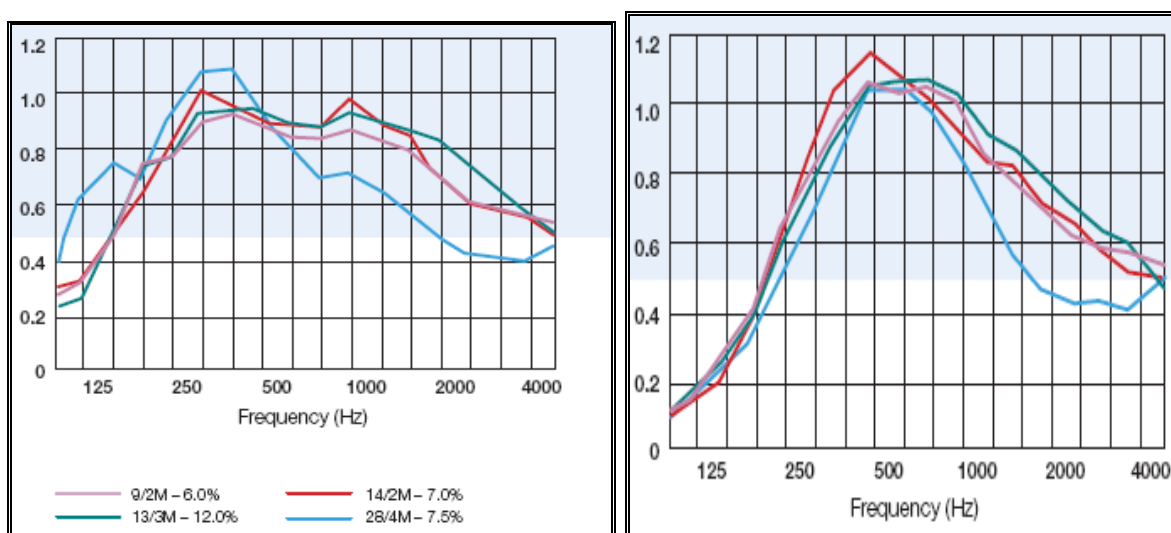
3. Reflector



Δεν περιέχει οπίσθια διάτρηση και προσφέρει μικρή απορρόφηση, αλλά συμπληρώνει τα απορροφητικά πάνελ. Λειτουργεί κυρίως ως διαχυτής.

Εικόνα Β.7.ε. Τύπος Τορακustik πάνελ, Reflector

Ακολουθούν τα σχεδιαγράμματα του συντελεστή απορρόφησης τεσσάρων τύπων Τορακustik όταν απέχουν συγκεκριμένη απόσταση από το ταβάνι.



Σχεδιάγραμμα Β.3. Συντελεστής απορρόφησης σύμφωνα με το πρότυπο ISO 354. Αριστερά όταν το υλικό βρίσκεται 200mm από το ταβάνι και δεξιά όταν βρίσκεται 50mm από το ταβάνι.

Παράρτημα Γ Κοστολόγια υλικών

Στο μέρος αυτό δίνονται πληροφορίες για το κόστος των υλικών από συγκεκριμένες εταιρίες δόμησης και από το Αναλυτικό τιμολόγιο οικοδομικών εργασιών "ΑΤΟΕ". Οι εταιρίες από όπου γίνεται η αναφορά του κόστους του κάθε υλικού είναι ευρέως γνωστές στην Ελλάδα.

Στόχος του μέρους αυτού, είναι η παρουσίαση των κοστολογίων των συνηθών υλικών που σχετίζονται με την εργασία και υπάρχουν στο εμπόριο, καθώς και το συνολικό κόστος μιας κατασκευής. Επιπλέον είναι θεμιτή η σύγκρισή των κοστολογίων αυτών με τον πίνακα ΑΤΟΕ - Αναλυτικό Τιμολόγιο Οικοδομικών Έργων.

Γ.1. Πετροβάμβακας- υαλοβάμβακας.

Από τον κατάλογο της εταιρίας ALTO δίνεται το κοστολόγιο του πετροβάμβακα για το έτος 2007.

Κοστολόγιο Πετροβάμβακα '07

Περιγραφή είδους	Μήκος cm	Πλάτος cm	Πάχος mm	Ποσότητα m ² /Δέμα	Τιμή* / m ²	
Δομικές Πλάκες (B-040) 40 Kg/m ³	120	60	40	8,64	3,41	
			50	7,20	4,16	
			60	5,76	4,97	
			80	4,32	6,63	
Ενισχυμένες Πλάκες (B-50) 50Kg/m ³	120	60	30	11,52	3,11	
			40	8,64	4,01	
			50	7,2	5,04	
			60	5,76	6,02	
			70	5,04	7,04	
80	4,32	8,04				
	Ημισκληρές Πλάκες (B-570) 75Kg/m ³	120	60	30	9,36	4,34
				40	7,20	5,76
				50	5,76	7,22
				60	5,04	8,66
70				4,32	10,11	
80	3,6	11,55				
Σκληρές Πλάκες (B-051) 100Kg/m ³	120	60	20	10,80	3,48	
			30	7,20	5,21	
			40	5,76	6,95	
			50	4,32	8,70	
			60	3,60	10,41	
			70	3,60	12,15	
80	2,88	13,95				
Πλάκες Δωματίων	120	60	20	8,64	5,10	

(B-051) 150Kg/m ³			30	5,76	7,67
			40	4,32	10,19
			50	3,60	12,77
			60	2,88	15,29
			80	2,16	20,37

Σκληρές Πλάκες Δωματίων (B-571) 175Kg/m ³	120	60	20	8,64	5,96
			30	5,76	8,96
			40	4,32	11,94
			50	3,60	14,91

Ρολό με ενίσχυση Αλουμινόχαρτο (R-530-AX) 40Kg/m ³	30-	100	1000	30	10,00	3,66
			800	40	8,00	4,23
			600	50	6,00	4,77

Μονωτικό Ρολό (R-040) 40Kg/m ³	100	600	50	6,00	4,16
			60	6,00	4,97
			80	5,00	6,63
			100	5,00	8,30

Επικαλύψεις

Ενισχυμένο Αλουμίνιο AL	2,04
Χαρτί CRAFT	1,02
Υαλούφασμα Μαύρο 60gr/m²	1,43
Υαλούφασμα Άσπρο 50gr/m²	0,92

* στις τιμές συμπεριλαμβάνεται το Φ.Π.Α 19%.

Πίνακας Γ.1. Τιμές του πετροβάμβακα από την εταιρία ALTO το έτος 2007.

Από τον πίνακα ΑΤΟΕ οι τιμές του υαλοβάμβακα, ανάλογα με τη λειτουργικότητα αυτού, κυμαίνονται :

ΚΩΔ. ΑΤΟΕ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΕΙΔΟΣ ΜΟΝ.	ΒΑΣΙΚΗ ΤΙΜΗ (€)
510.4	Πλάκες προσόψεων		
510.4.1	πάχους 2 cm	m ²	2,99
.4.2	πάχους 3 cm	m ²	4,45
.4.3	πάχους 4 cm	m ²	5,95
.4.4	πάχους 5 cm	m ²	7,40
510.5	Πλάκες δαπέδων		
510.5.1	πάχους 1,5/1,0	m ²	2,95
.5.2	πάχους 2,0/1,5	m ²	3,90
510.7	Σκληρές πλάκες μεγάλων φορτίων		
510.7.1	πάχους 2 cm	m ²	5,00
.7.2	πάχους 3 cm	m ²	7,60
.7.4	πάχους 5 cm	m ²	12,00
510.8	Πλάκες με επικάλυψη αλουμινίου		
510.8.1	πάχους 3 cm	m ²	4,50
.8.2	πάχους 5 cm	m ²	6,80
510.9	Πάπλωμα αεραγωγών με ενισχυμένο αλουμίνιο		
510.9.1	πάχους 3 cm	m ²	2,58
.9.2	πάχους 4 cm	m ²	3,02
.9.3	πάχους 5 cm	m ²	3,43
510.10	Πλάκες αεραγωγών με υαλοπίλημα		
510.10.1	πάχους 2 cm	m ²	3,46
.10.2	πάχους 3 cm	m ²	4,61
.10.3	πάχους 5 cm	m ²	6,75
514.50	Πλάκες από αφρώδη εξηλασμένη πολυοστερίνη (XPS), για οροφές και δάπεδα, απαλλαγμένη από υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs), σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΚ) 2037/2000 και το πρότυπο EN 13164 και το CE MARK, διαστάσεων 1,25x0,60 m		
514.50.1	πάχους 2,5 cm	m ²	7,15
.50.2	πάχους 3 cm	m ²	8,00
.50.3	πάχους 4 cm	m ²	9,50

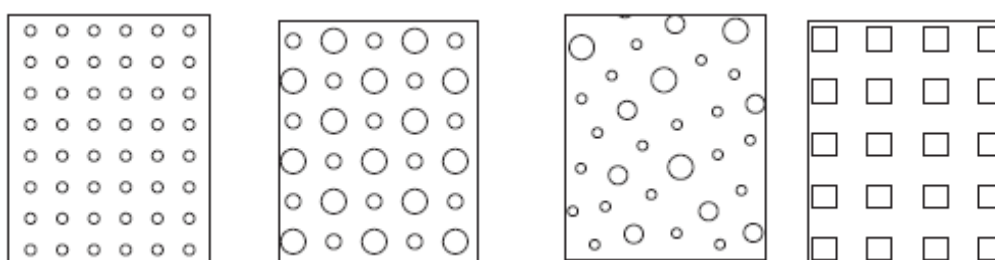
Πίνακας Γ.2. Τιμές πλάκας υαλοβάμβακα από τον πίνακα ΑΤΟΕ το έτος 2008.

Γ.2. Γυψοσανίδες

Από την εταιρία κнауφ, σύμφωνα με τον πίνακα κοστολόγησης του 2009 ,οι τιμές χωρίς το Φ.Π.Α., για ορισμένα είδη γυψοσανίδας είναι οι εξής:

Ανθυγρή γυψοσανίδα (GKI) H2 12,5 mm με άκρα ΑΚ (δέμα-τεμάχιο 50)	- 4,83€/m ² - 9,66€/m ²
Στανταρντ γυψοσανίδα GKB A2 15 mm με άκρα ΑΚ	-3.61€/m ²
Στανταρντ γυψοσανίδα A2 6,5 mm με άκρα ΑΚ, βάρος 6,2kg/m ² (δέμα-64τεμάχια)	-2,79€/m ²
Στάνταρ γυψοσανίδα (GKB) A2 12,5 mm με άκρα ΑΚ (δέμα -50τεμάχια)	- 3,07€/m ²
Πυράντοχη γυψοσανίδα DF(GKF) 12,5 mm με άκρα ΑΚ (δέμα-τεμάχια 50)	- 3.87€/m ²
Πυράντοχη γυψοσανίδα GKF DF 15,0 mm με άκρα ΑΚ (δέμα-40τεμάχια)	- 4,68€/m ²
Γυψοσανίδες ανθυγροπυράντοχες DFH2 (GKF-I) 12,5 mm με άκρα ΑΚ(δεμα-50τεμάχια)	- 5,37€/m ²
Γυψοσανίδες στάνταρντ D PIANO 12,5mm(δέμα-50τεμάχια)	-7,50€/m ²

Γυψοσανίδες στάνταρντ Α2 με 4 λοξά άκρα 4AK 12,5mm	-8.50€/m ²
Γυψοσανίδες πυράντοχες 4AK DF 12,5mm	- 9,30€/m ²
Γυψοσανίδα με κανονική διάτρηση D Cleaneo 12,5 mm, ακρα SR , με επένδυση πίσω πλευράς με ινώδες φίλτρο	- 18€/m ² .
Γυψοσανίδα με διαγώνια, ακανόνιστη, τετράγωνη διάτρηση	- 18€/m ² .



Εικόνα Γ.1. Τύποι γυψοσανίδας (αριστερά προς τα δεξιά): κανονική, διαγώνια, ακανόνιστη, τετράγωνη διάτρηση.

Από τον πίνακα ΑΤΟΕ οι τιμές για τη γυψοσανίδα κυμαίνονται:

497	Ειδικές γυψοσανίδες, εγχώριας προέλευσης σύμφωνα με τις προδιαγραφές DIN 18180, πλάτους 1,20 m και μήκους 2,50 + 3,00 m		
497.1	Πυράντοχη γυψοσανίδα		
497.1.1	πάχους 12,5 mm	m ²	3,61,
.1.2	πάχους 15,0 mm	m ²	4,37
.1.3	πάχους 18,0 mm	m ²	5,29
497.2	Ανθυγρή γυψοσανίδα		
497.2.1	πάχους 12,5 mm	m ²	4,50
.2.2	πάχους 15,0 mm	m ²	5,47
.2.3	πάχους 18,0 mm	m ²	6,30
497.3	Κανονική γυψοσανίδα ειδικού πάχους		
497.3.1	πάχους 6,5 mm, πλάτους 900 mm	m ²	2,60
.3.2	πάχους 9,5 mm,	m ²	2,69
.3.3	πάχους 15,0 mm,	m ²	3,37
497.4	Πυαντοχη και ανθυγρη γυψοσανίδα ειδικού πάχους		
497.4.1	πάχους 12,5 mm	m ²	4,97
.4.2	πάχους 15,0 mm	m ²	6,05
.4.3	πάχους 18,0 mm	m ²	6,85

Πίνακας Γ.3. Τιμές γυψοσανίδας από τον πίνακα ΑΤΟΕ το έτος 2008.

Γ.3 . Κατασκευές από γυψοσανίδα

Από την εταιρία Knauf και την υπηρεσία Knauf cost wizard δίνεται το κοστολόγιο των κατασκευών του 2009 που αφορούν στην ξηρά δόμηση με γυψοσανίδα. Κάποιες από τις κατασκευές αυτές είναι:

- 1^η κατασκευή
Σύστημα W111- Τοιχοποιία μεταλλικού σκελετού
Μονός σκελετός με μονή γυψοσανίδα ή ινογυψοσανίδα για τοίχους υψηλής καταπόνησης

Δίνεται η δυνατότητα μέσα, από το σύστημα knauf cost wizard, επιλογής των διαστάσεων και των ειδών του σκελετού, της γυψοσανίδας και του μονωτικού υλικού.

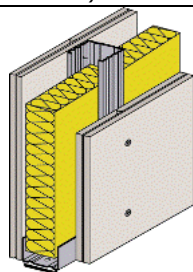
Στη συγκεκριμένη κατασκευή δόθηκαν οι εξής διαστάσεις και είδη:

Πλάτος σκελετού: 50mm
Επιλογή επίστρωσης γυψοσανίδας: 12,5mm GKB
Επιλογή μονωτικού: πετροβάμβακας
Πάχος μονωτικού: 50mm
Πυκνότητα μονωτικού: 100 kg/m³

Το κόστος της κατασκευής χωρίς Φ.Π.Α είναι: 57€

Με Φ.π.Α και τα εργατικά : 67€

- 2^η κατασκευή
 Σύστημα W112 -Τοιχοποιία μεταλλικού σκελετού
 Μονός σκελετός με διπλή στρώση γυψοσανίδας



Εικόνα Γ.1.α.

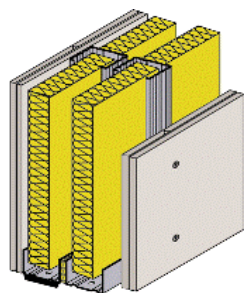
Οι διαστάσεις και τα είδη που επιλέχθηκαν για την κατασκευή είναι:

Πλάτος σκελετού: 50mm
Επιλογή επίστρωσης γυψοσανίδας: 12,5mm GKB οι τρεις στρώσεις και η μία 9,5mm.
Επιλογή μονωτικού: πετροβάμβακας
Πάχος μονωτικού: 50mm
Πυκνότητα μονωτικού: 100 kg/m³

Το κόστος της κατασκευής χωρίς Φ.Π.Α είναι: 65 €

Με Φ.π.Α και τα εργατικά : 77 €

- 3^η κατασκευή
 Σύστημα W115- Διπλός σκελετός με διπλή στρώση γυψοσανίδας



Εικόνα Γ.1.β.

Οι διαστάσεις της κατασκευής είναι:

Πλάτος δύο σκελετών: 50mm
Επιλογή επίστρωσης γυψοσανίδας: 12,5mm GKB.
Επιλογή μονωτικού: πετροβάμβακας
Πάχος μονωτικού: 50mm

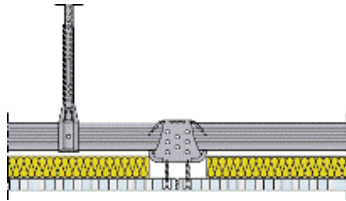
Πυκνότητα μονωτικού: 100 kg/m³

Το κόστος της κατασκευής χωρίς Φ.Π.Α είναι: 75 €

Με Φ.π.Α και τα εργατικά : 90 €

• 4^η κατασκευή

Σύστημα D127 -Ηχοαπορροφητική οροφή διάτρητης γυψοσανίδας σε μεταλλικό σκελετό με πετροβάμβακα



Εικόνα Γ.1.γ

Οι διαστάσεις της οροφής που επιλέχθηκαν είναι:

Είδος ανάρτησης D127: ανάρτηση nonius

Μήκος ανάρτησης : 200mm

Επιλογή σκελετού οροφής: knauf

Επιλογή επίστρωσης

Τρόπος διάτρησης : ακανόνιστη

Τύπο: συνεχής

Χρώμα φίλτρου διάτρησης: λευκό

Διαστάσης διάτρησης: 12/20/35

Επιλογή μονωτικού: πετροβάμβακας

Πάχος μονωτικού: 50mm

Πυκνότητα μονωτικού: 100 kg/m³

Το κόστος της κατασκευής χωρίς Φ.Π.Α είναι: 30 €

Με Φ.π.Α και τα εργατικά : 36 €

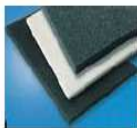
Γ.4. Διάφορα αντικραδασμικά και ηχοαπορροφητικά υλικά

Από την εταιρία "choromonotiki", τα κοστολόγια για ορισμένα συνήθη αντικραδασμικά- ηχοαπορροφητικά υλικά είναι:



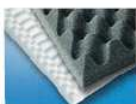
1. **IZITHERM** Ανάλογα με την πλάκα οι τιμές κυμαίνονται από 9-14 €/m².

Εικόνα Γ.2.α.



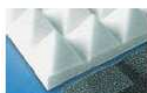
2. **EPIPEDA** Ανάλογα με το πάχος (5-70mm) οι τιμές κυμαίνονται από 4-33 €/m²

Εικόνα Γ.2.β.



3. **KYMMATOEDH** Ανάλογα με το πάχος (15-30 mm) οι τιμές κυμαίνονται από 10-16 €/m²

Εικόνα Γ.2.γ.



4. ΠΥΡΑΜΙΔΕΣ Ανάλογα με το πάχος (40-50 mm) οι τιμές κυμαίνονται από 24-30 €/m².
Εικόνα Γ.2.δ.



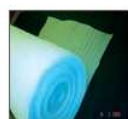
5. ΛΑΒΥΡΙΝΘΟΣ Ανάλογα με το πάχος (30-60 mm) οι τιμές κυμαίνονται από 18-35 €/m².
Εικόνα Γ.2.ε.



6. KeiFom-TA Το κόστος του είναι 26€/m².
Εικόνα Γ.2.ζ.

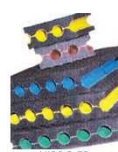


7. STYROFILL Το κόστος του είναι 87€/m³.
Εικόνα Γ.2.η.



8. FIBRAN XPE Ανάλογα με το πάχος του κοστίζει 1-2€/m².
Εικόνα Γ.2.θ.

9. ΦΕΛΛΟΣ Το τεμάχιο κοστολογείται 11€, το 1m³ κοστολογείται στα 600 €.



10. VIBRO ER Ανάλογα με το πάχος του κοστίζει από 4-92€/τεμάχιο.
Εικόνα Γ.2.ι.

Από τον πίνακα ΑΤΟΕ αντίστοιχα προϊόντα κοστολογούνται ως:
Για το φελλό:

538.2	Προϊόντα φελλού προελεύσεως Πορτογαλίας		
538.2.1α	Μαύρος φελλός σε τεμάχια διαστάσεων 1,00x0,50 m, ηχο-θερμομονωτικός, αντικραδασμικός, με πυκνότητα 104-120 kg/m ³ και πάχος 2 cm	m ²	6,26
2.1β	Μαύρος φελλός ως άνω, πάχους 3 cm	m ²	9,22
2.1γ	Μαύρος φελλός ως άνω, πάχους 5 cm	m ²	13,46
538.2.2	Φελλοσανίδα σε τεμάχια διαστάσεων 0,60x0,90 m, με πυκνότητα 220 kg/m ³ και διάφορα πάχη (1, 1,15, 2, 2,5... 30 m). Τιμή ανά τεμάχιο και ανά mm πάχος	τεμ/mm	0,86
2.3	Διακοσμητικός φελλός		
2.3α	σε φύλλα διαστάσεων 0,30x0,60x0,003 m, χωρίς βερνίκι και σε διάφορα σχέδια	m ²	12,24
2.4	Φελλός δαπέδου σε πλακίδια διαστάσεων 0,60x0,30x0,004 m, βερνικωμένα, σε διάφορα σχέδια (στην τιμή περιλαμβάνεται και η τοποθέτηση από εξειδικευμένο συνεργείο)	m ²	11,16
2.5	Φελλός δαπέδου με MDF (FLOATING FLOOR) 0,90x0,30x0,012 m	m ²	20,74

Πίνακας Γ.4. Τιμές φελλού από τον πίνακα ΑΤΟΕ το έτος 2008.

για τη διογκωμένη πολυστερίνη:

514	Διογκωμένη πολυστερίνη σε φύλλα οποιοδήποτε πάχους	m ³	48,90
520	Θερμοηχομονωτικό υλικό, ως το 519, αλλά σε πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης	m ³	47,06

Πίνακας Γ.5. Τιμές διογκωμένης πολυστερίνης από τον πίνακα ΑΤΟΕ το έτος 2008.

άλλα υλικά σχετικά:

519	Θερμοηχομονωτικό υλικό συντελεστή θερμοαγωγιμότητας $\lambda \leq 0,06$ ειδικ. φαιν. βάρους $\delta \leq 1000 \text{ kg/m}^3$, διογκωμένος περλίτης	m ³	58,86
520	Θερμοηχομονωτικό υλικό, ως το 519, αλλά σε πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης	m ³	47,06
509	Υαλοϋφασμα	m ²	0,41
523	Πλαστικός τάπης πολυβινιλίου σε ρόλους, πάχους 2 mm, εγχώριος	m ²	7,50
524	Πλαστικές πλάκες πολυβινιλίου οποιοδήποτε διαστάσεων, πάχους 2 mm, εγχώριος	m ²	7,50
514.50	Πλάκες από αφρώδη εξηλασμένη πολυστερίνη (XPS), για οροφές και δάπεδα, απαλλαγμένη από υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs), σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΚ) 2037/2000 και το πρότυπο EN 13164 και το CE MARK, διαστάσεων 1,25x0,60 m		
514.50.1	πάχους 2,5 cm	m ²	7,15
.50.2	πάχους 3 cm	m ²	8,00
.50.3	πάχους 4 cm	m ²	9,50
.50.4	πάχους 5 cm	m ²	12,00
.50.5	πάχους 6 cm	m ²	14,25
.50.6	πάχους 7 cm	m ²	15,85
.50.7	πάχους 8 cm	m ²	19,00
.50.8	πάχους 10 cm	m ²	24,30
514.51	Πλάκες από αφρώδη εξηλασμένη πολυστερίνη για τοίχους, διαστάσεων 2,50x 0,60 m		
514.51.1	πάχους 2,5 cm	m ²	6,25
.51.2	πάχους 3 cm	m ²	7,20
	πάχους 4 cm	m ²	9,10
.51.4	πάχους 5 cm	m ²	11,35
.51.5	πάχους 6 cm	m ²	—
514.52	Πλάκες από σκληρή αφρώδη πολυουρεθάνη πάχους 5 cm, επικαλυμμένες με φύλλο αλουμινίου 10 m και $\lambda=0,018$	m ²	21,74

Πίνακας Γ.6. Διάφορα θερμομονωτικά υλικά από τον πίνακα ΑΤΟΕ το έτος 2008.

Στην αρίθμηση των σελίδων της παρούσας πτυχιακής εργασίας οι σελ 9, 134, 247, 349 έχουν εμφανιστεί ως κενές. Σύνολο σελίδων 410

