

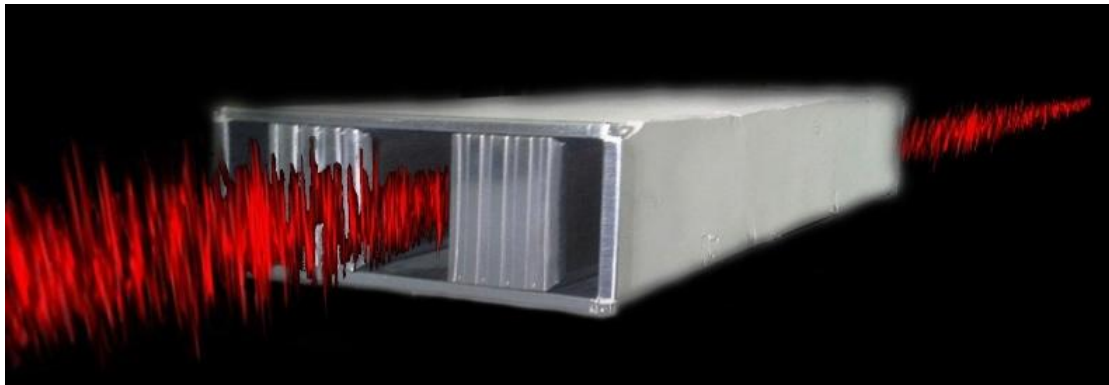


Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Πολυτεχνική Σχολή

Διπλωματική Εργασία

Πειραματική αξιολόγηση αποτελεσματικότητας
ηχοπαγίδων σε αεραγωγούς

Αντωνίου Μαρίνος ΑΕΜ:1239
Βλάχος Αντώνιος ΑΕΜ:1129



Επιβλέποντες:

Καθηγητής Τουρλιδάκης Αντώνιος

Μέλος Ειδικού και Εργαστηριακού Διδακτικού Προσωπικού
Κολοκοτρώνης Δημήτριος

Κοζάνη, Νοέμβριος 2014

Ευχαριστούμε.....

τις οικογένειες μας για την στήριξη που μας παρέχουν όλα αυτά τα χρόνια.

τον Καθηγητή κ. Τουρλιδάκη Αντώνιο καθώς και το μέλος Ειδικού και Εργαστηριακού Διδακτικού Προσωπικού κ. Κολοκοτρώνη Δημήτριο για τις γνώσεις που μας μεταλαμπάδευσαν και το αμέριστο ενδιαφέρον κατά τη διάρκεια της εργασίας.

τον Καθηγητή κ. Τσολερίδη Κωνσταντίνο για τις χρήσιμες πληροφορίες.

τους υποψήφιους διδάκτορες Βαφειάδη Κυριάκο και Γιαννακόπουλο Γεώργιο για τις πολύτιμες πληροφορίες και την βοήθεια που μας πρόσφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας.

τους συμφοιτητές και πάνω απ' όλα φίλους Τσολερίδου Σοφία, Ξανθούλη Νικόλαο, Παπαβραμίδα Κωνσταντίνο, Κώνστα Γεώργιο, Πιταράκη Νικολέτα, Αγοραστό Ιωάννη, Μουγάκο Στέφανο και όλους όσους συντέλεσαν στο να ολοκληρώσουμε τις σπουδές μας με όμορφες αναμνήσεις.

ο ένας τον άλλον για όλα.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	i
Περιεχόμενα Σχημάτων	vi
Περιεχόμενα Πινάκων	x
Abstract.....	1
Περίληψη	2
Σύμβολα.....	3
1. Εισαγωγή.....	6
1.1. Γενικές έννοιες.....	6
1.1.1. Ήχος.....	6
1.1.2. Είδη ήχων και θορύβων	6
1.1.2.1. Ήχοι	6
1.1.2.2. Λευκός και ροζ θόρυβος	6
1.1.3. Παραγωγή Ήχου	7
1.1.4. Ηχητικά κύματα	9
1.1.4.1. Γενικά.....	9
1.1.4.2. Ηχητικά κύματα στον αέρα.....	9
1.1.5. Προσδιορισμός της ταχύτητας του ήχου.....	11
1.1.5.1. Διαμήκη κύματα.....	11
1.1.6. Ένταση του ήχου.....	13
1.1.7. Συχνότητα του ήχου.....	14
1.1.7.1. Ζώνες συχνοτήτων	14
1.1.8. Η μονάδα Decibel	18
1.1.8.1. Γενικά.....	18
1.1.8.2. Ηχητικές στάθμες.....	18
1.1.8.3. Ισοδύναμη στάθμη πίεσης ήχου.....	21
1.2. Σχέση του θορύβου με τον άνθρωπο	22
1.2.1. Εισαγωγή.....	22
1.2.2. Επίδραση του θορύβου στον άνθρωπο	23

1.2.3.	Όρια Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO)	25
1.2.4.	Περιβαλλοντικός Θόρυβος	26
1.2.4.1.	Τομέας Μηχανολογικού Θορύβου.....	26
1.2.4.1.1.	Μηχανολογικός Θόρυβος σταθερών πηγών εκπομπής.....	27
1.2.4.1.2.	Μηχανολογικός Θόρυβος κινητών πηγών εκπομπής.....	27
1.2.4.2.	Τομέας Θορύβου MMM	28
1.2.4.3.	Τομέας Αστικού Θορύβου	28
1.3.	Ηχοαπόσβεση.....	28
1.3.1.	Απορρόφηση του ήχου από υλικά	28
1.3.1.1.	Ορισμοί	28
1.3.1.2.	Πορώδη απορροφητικά υλικά.....	29
1.3.1.3.	Απορροφητικά τύπου μεμβράνης	31
1.3.1.4.	Συντονιστές.....	33
1.3.1.5.	Διάτρητες επιφάνειες	34
1.3.1.6.	Ηλεκτρονικοί απορροφητές	35
1.4.	Έρευνα στον τομέα των ηχοπαγίδων	35
1.4.1.	Επιστημονική μελέτη ηχοπαγίδων.....	35
1.4.2.	Μελέτη ηχοπαγίδων από εταιρείες του χώρου	38
2.	Μεθοδολογία.....	39
2.1.	Ανεμιστήρας	40
2.1.1.	Παροχή αέρα.....	41
2.1.1.1.	Μέγιστη παροχή ανεμιστήρα	42
2.1.1.2.	Ελάχιστη παροχή ανεμιστήρα.....	42
2.1.2.	Ηχοπαγίδα ανεμιστήρα	43
2.2.	Κιβώτιο τοποθέτησης ηχείου.....	44
2.3.	Modal φίλτρο	45
2.4.	Αγωγός κυκλικής διατομής ομαλοποίησης της ροής.....	46
2.5.	Διαστολή και Συστολή (πριν και μετά την ηχοπαγίδα αντίστοιχα)	47
2.6.	Ηχοπαγίδα.....	50
2.6.1.	Υπολογισμός διαστάσεων ηχοπαγίδας τύπου A	51
2.6.2.	Υπολογισμός διαστάσεων ηχοπαγίδας τύπου C	53
2.7.	Κυκλικός αγωγός μετρήσεων	55

2.8.	Ανηχοϊκή σήραγγα.....	56
2.9.	Θέσεις μετρητικών οργάνων.....	59
2.9.1.	Σημεία τοποθέτησης μανόμετρου.....	59
2.9.2.	Σημεία τοποθέτησης του σωλήνα Pitot.....	61
2.9.3.	Διάταξη μικροφώνων.....	62
2.9.3.1.	Μετρήσεις με ροή.....	62
2.9.3.2.	Μετρήσεις χωρίς ροή.....	63
2.10.	Προδιαγραφές μετρητικών οργάνων.....	65
2.10.1.	Μικρόφωνο.....	65
2.10.2.	Καλώδιο μικροφώνου.....	65
2.10.3.	Συσκευή ανάλυσης σήματος.....	66
2.10.4.	Ροόμετρο.....	68
2.10.5.	Μετρητικό όργανο πίεσης/Μανόμετρο.....	69
2.10.6.	Ηχείο.....	70
2.10.7.	Γεννήτρια τυχαίων ήχων (Random-noise generator).....	71
2.11.	Πρωτόκολλα μετρήσεων.....	73
2.12.	Διεξαγωγή Μετρήσεων.....	82
2.12.1.	Μεθοδολογία μέτρησης ηχοαπόσβεσης.....	83
2.12.2.	Μεθοδολογία μέτρησης πτώσης πίεσης.....	84
2.12.3.	Μεθοδολογία μέτρησης αναγεννώμενου ήχου.....	87
3.	Αποτελέσματα.....	89
3.1.	Ηχοπαγίδες με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 200mm μήκους 1000mm.....	89
3.1.1.	Ενδεδειγμένο παράδειγμα εξαγωγής αποτελεσμάτων ηχοπαγίδας διαστάσεων (58Hx52B).....	89
3.1.1.1.	Υπολογισμός ηχοαπόσβεσης.....	90
3.1.1.2.	Υπολογισμός πτώσης πίεσης.....	91
3.1.1.3.	Υπολογισμός αναγεννώμενου ήχου.....	93
3.1.2.	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.....	99
3.1.2.1.	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ηχοαπόσβεσης.....	99
3.1.2.2.	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα πτώσης πίεσης.....	100
3.1.2.3.	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναγεννώμενου ήχου.....	101
3.2.	Ηχοπαγίδες με τρία ηχοστοιχεία πλάτους 100mm μήκους 1500mm.....	102
3.2.1.	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.....	103

3.2.1.1.	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ηχοαπόσβεσης	103
3.2.1.2.	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα πτώσης πίεσης	104
3.2.1.3.	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναγεννώμενου ήχου	105
3.3.	Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων.....	106
3.3.1.	Σύγκριση αποτελεσμάτων ηχοαπόσβεσης	107
3.3.1.1.	Ηχοπαγίδες με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 200mm μήκους 1000mm.....	107
3.3.1.2.	Ηχοπαγίδες με τρία ηχοστοιχεία πλάτους 100mm μήκους 1500mm.....	109
3.3.2.	Σύγκριση αποτελεσμάτων πτώσης πίεσης	112
3.3.2.1.	Ηχοπαγίδες με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 200mm μήκους 1000mm.....	112
3.3.2.2.	Ηχοπαγίδες με τρία ηχοστοιχεία πλάτους 100mm μήκους 1500mm.....	114
3.3.3.	Σύγκριση αποτελεσμάτων αναγεννώμενου ήχου.....	117
3.4.	Πρόβλεψη ηχοαπόσβεσης.....	123
3.4.1.	Μεταβαλλόμενο μήκος ηχοπαγίδας.....	124
3.4.2.	Μεταβαλλόμενο διάκενο ηχοπαγίδας	126
4.	Συμπεράσματα	129
	Παράρτημα Α.....	131
	Παράρτημα Β.....	132
	Παράρτημα Γ	134
	Παράρτημα Δ.....	138
Δ.1.	Ηχοπαγίδες με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 200mm μήκους 1000mm.....	138
Δ.1.1.	Διάκενο ηχοπαγίδας 60mm.....	138
Δ.1.2.	Διάκενο ηχοπαγίδας 80mm.....	141
Δ.1.3.	Διάκενο ηχοπαγίδας 100mm.....	144
Δ.1.4.	Διάκενο ηχοπαγίδας 120mm.....	147
Δ.1.5.	Διάκενο ηχοπαγίδας 140mm.....	150
Δ.1.6.	Διάκενο ηχοπαγίδας 160mm.....	153
Δ.2.	Ηχοπαγίδες με τρία ηχοστοιχεία πλάτους 100mm μήκους 1500mm.....	156
Δ.2.1.	Διάκενο ηχοπαγίδας 40mm.....	156
Δ.2.2.	Διάκενο ηχοπαγίδας 50mm.....	159
Δ.2.3.	Διάκενο ηχοπαγίδας 60mm.....	162
Δ.2.4.	Διάκενο ηχοπαγίδας 70mm.....	165
Δ.2.5.	Διάκενο ηχοπαγίδας 80mm.....	168

Δ.2.6. Διάκενο ηχοπαγίδας 90mm.....	171
Δ.2.7. Διάκενο ηχοπαγίδας 100mm.....	174
Παράρτημα Ε	177
Βιβλιογραφία	184
Βιβλιογραφία Σχημάτων	187
Βιβλιογραφία Πινάκων	189

Περιεχόμενα Σχημάτων

Σχήμα 1: Παραγωγή ηχητικών κυμάτων	8
Σχήμα 2: Στιγμιότυπο ηχητικού αρμονικού κύματος.	10
Σχήμα 3: Σύγκριση ηχητικής πίεσης και στάθμης πίεσης για μερικούς ήχους	21
Σχήμα 4: Παγκόσμια Ημέρα Ευαισθητοποίησης κατά του Θορύβου	23
Σχήμα 5: Απορροφητική ικανότητα συναρτήσει της απόστασης από τον τοίχο στα πορώδη υλικά	30
Σχήμα 6: Τυπικός συντελεστής απορρόφησης πορωδών απορροφητικών	30
Σχήμα 7: Τυπικός συντελεστής απορρόφησης, απορροφητικών τύπου μεμβράνης	32
Σχήμα 8: Συντονιστές	33
Σχήμα 9: Συντελεστής απορρόφησης	34
Σχήμα 10: Διάτρητη επιφάνεια με κυκλικές οπές.....	34
Σχήμα 11: Ανεμιστήρας τύπου BSB 500CM	40
Σχήμα 12: Ηχοπαγίδα τύπου A	41
Σχήμα 13: Ηχοπαγίδα τύπου C	41
Σχήμα 14: Απεικόνιση του κουτιού τοποθέτησης ηχείου	45
Σχήμα 15: Ελάχιστο μήκος l_{min} μεταβατικών τμημάτων συναρτήσει του λόγου S_2/S_1	47
Σχήμα 16: Απεικόνιση κατάλληλου μεταβατικού στοιχείου	48
Σχήμα 17: Απεικόνιση μεταβατικού στοιχείου για υπολογισμό γωνίας θ	49
Σχήμα 18: Σχηματική απεικόνιση μιας πρότυπης ηχοπαγίδας και οι τρεις πιθανοί τρόποι τομής της	50
Σχήμα 19: Σχηματική απεικόνιση ανηχοϊκής σήραγγας	57
Σχήμα 20: Σχηματική απεικόνιση σημείων τοποθέτησης μανομέτρων.....	59
Σχήμα 21: Σημεία τοποθέτησης μικροφώνων για μετρήσεις με ροή.....	62
Σχήμα 22: Σημεία τοποθέτησης μικροφώνων για μετρήσεις χωρίς ροή.....	64
Σχήμα 23: Μικρόφωνο.....	65
Σχήμα 24: Καλώδιο μικροφώνου.....	66
Σχήμα 25: Συσκευή ανάλυσης σήματος	67
Σχήμα 26: Πλήρες πακέτο συσκευής καταμέτρηση ήχου.....	67
Σχήμα 27: Καθετήρα FloXact-R400και τρόπος λειτουργίας	69
Σχήμα 28: Μετρητικό όργανο παροχής και ταχύτητας DPT-FLOW-2000-AZ-D	69
Σχήμα 29: Μετρητικό όργανο πτώσης πίεσης DPT -2500-R8-AZ-D	70
Σχήμα 30: Αυτοενισχυόμενο ηχείο JBL (EON515XT)	71
Σχήμα 31: Random-noise generator NTi AUDIO (MINIRATOR MR2)	72
Σχήμα 32: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης ηχοπαγίδας 58Hx52B L=1000mm, S=60mm	91
Σχήμα 33: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας 58Hx52B L=1000mm, S=60mm	92
Σχήμα 34: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας 58Hx52B L=1000mm, S=60mm	98
Σχήμα 35: Γραφική συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων ηχοαπόσβεσης	99

Σχήμα 36: Γραφική συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων πτώσης πίεσης	100
Σχήμα 37: Γραφική συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας 200mm	102
Σχήμα 38: Γραφική συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων ηχοαπόσβεσης	103
Σχήμα 39: Γραφική συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων πτώσης πίεσης	104
Σχήμα 40: Γραφική συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας 100mm	106
Σχήμα 41: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 60mm	107
Σχήμα 42: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 80mm	107
Σχήμα 43: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 100mm	108
Σχήμα 44: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 120mm	108
Σχήμα 45: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 140mm	108
Σχήμα 46: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 160mm	108
Σχήμα 47: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 40mm	110
Σχήμα 49: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 60mm	110
Σχήμα 48: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 50mm	110
Σχήμα 50: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 70mm	110
Σχήμα 51: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 80mm	111
Σχήμα 52: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 90mm	111
Σχήμα 53: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 100mm	111
Σχήμα 54: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 60mm	113
Σχήμα 56: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 100mm	113
Σχήμα 55: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 80mm	113
Σχήμα 57: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 120mm	113
Σχήμα 58: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 140mm	114
Σχήμα 59: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 160mm	114
Σχήμα 60: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 40mm	115
Σχήμα 62: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 60mm	115
Σχήμα 61: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 50mm	115
Σχήμα 63: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 70mm	115
Σχήμα 64: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 80mm	116
Σχήμα 65: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 90mm	116
Σχήμα 66: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 100mm	116
Σχήμα 67: Συγκεντρωτικό διάγραμμα αποτελεσμάτων αναγεννώμενου ήχου για όλο το πλήθος ηχοπαγίδων στις οποίες λάβαμε μετρήσεις διατομής 1m ² (ΠΑΜ)	118
Σχήμα 68: Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμών αναγεννώμενου ήχου για όλο το πλήθος ηχοπαγίδων διατομής 1m ² (Trox)	119
Σχήμα 69: Συγκριτικό διάγραμμα αναγεννώμενου ήχου για ταχύτητα 4m/s	119
Σχήμα 70: Συγκριτικό διάγραμμα αναγεννώμενου ήχου για ταχύτητα 6m/s	120
Σχήμα 71: Συγκριτικό διάγραμμα αναγεννώμενου ήχου για ταχύτητα 8m/s	120
Σχήμα 72: Συγκριτικό διάγραμμα αναγεννώμενου ήχου για ταχύτητα 10m/s	121

Σχήμα 73: Συγκριτικό διάγραμμα αναγεννώμενου ήχου για ταχύτητα 12m/s	121
Σχήμα 74: Συγκριτικό διάγραμμα αναγεννώμενου ήχου για ταχύτητα 14m/s	122
Σχήμα 75: Συγκριτικό διάγραμμα αναγεννώμενου ήχου για ταχύτητα 16m/s	122
Σχήμα 76: Διάγραμμα ηχοαπόσβεσης μεταβαλλόμενου μήκους ηχοπαγίδας με πολυωνυμική γραμμική τάσης	125
Σχήμα 77: Διάγραμμα ηχοαπόσβεσης μεταβαλλόμενου διάκενου ηχοπαγίδας με πολυωνυμική γραμμική τάσης	127
Σχήμα Α.1: Στοιχεία για παροχή ανεμιστήρα 10000m ³ h	131
Σχήμα Β.1: Αποσβέσεις ηχοπαγίδας της Schako διαστάσεων 1200 ×1000×2000 με 4ηχοστοιχεία	133
Σχήμα Γ.1: Πλάγια όψη της διάταξης (κουτί ηχείου έως ανηχοϊκή σήραγγα)	134
Σχήμα Γ.2: Πλάγια όψη της διάταξης (ανεμιστήρας έως κουτί ηχείου)	134
Σχήμα Γ.3: Άνω όψη της διάταξης	135
Σχήμα Γ.4: Άνω όψη της διάταξης (κουτί ηχείου έως ανηχοϊκή σήραγγα)	136
Σχήμα Γ.5: Άνω όψη της διάταξης (ανεμιστήρας έως κουτί ηχείου)	136
Σχήμα Γ.6: Διάτρητη λαμαρίνα τοποθετημένη εντός της ανηχοϊκής σήραγγας	137
Σχήμα Γ.7: Τμήματα διάτρητης λαμαρίνας	137
Σχήμα Δ.1.1: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 60mm	138
Σχήμα Δ.1.2: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 60mm	139
Σχήμα Δ.1.3: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 60mm	140
Σχήμα Δ.1.4: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 80mm	141
Σχήμα Δ.1.5: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 80mm	142
Σχήμα Δ.1.6: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 80mm	143
Σχήμα Δ.1.7: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 100mm	144
Σχήμα Δ.1.8: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 100mm	145
Σχήμα Δ.1.9: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 100mm	146
Σχήμα Δ.1.10: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 120mm	147
Σχήμα Δ.1.11: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 120mm	148
Σχήμα Δ.1.12: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 120mm	149
Σχήμα Δ.1.13: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 120mm	150
Σχήμα Δ.1.14: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 140mm	151
Σχήμα Δ.1.15: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 140mm	152
Σχήμα Δ.1.16: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 160mm	153
Σχήμα Δ.1.17: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 140mm	154
Σχήμα Δ.1.18: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 160mm	155
Σχήμα Δ.2.1: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 40mm	156
Σχήμα Δ.2.2: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 40mm	157
Σχήμα Δ.2.3: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 40mm	158
Σχήμα Δ.2.4: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 50mm	159
Σχήμα Δ.2.5: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 50mm	160

Σχήμα Δ.2.6: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 50mm	161
Σχήμα Δ.2.7: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 60mm	162
Σχήμα Δ.2.8: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 60mm	163
Σχήμα Δ.2.9: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 60mm	164
Σχήμα Δ.2.10: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 70mm	165
Σχήμα Δ.2.11: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 70mm	166
Σχήμα Δ.2.12: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 70mm	167
Σχήμα Δ.2.13: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 80mm	168
Σχήμα Δ.2.14: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 80mm	169
Σχήμα Δ.2.15: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 80mm	170
Σχήμα Δ.2.16: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 90mm	171
Σχήμα Δ.2.17: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 90mm	172
Σχήμα Δ.2.18: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 90mm	173
Σχήμα Δ.2.19: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 100mm	174
Σχήμα Δ.2.20: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 100mm	175
Σχήμα Δ.2.21: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 100mm	176
Σχήμα Ε.1: Ανεμιστήρας	177
Σχήμα Ε.2: Ρυθμιστής στροφών ανεμιστήρα (inverter)	177
Σχήμα Ε.3: Ηχοπαγίδα ανεμιστήρα	178
Σχήμα Ε.4: Κουτί τοποθέτησης ηχείου	178
Σχήμα Ε.5: Modal filter	179
Σχήμα Ε.6: Κυκλικής διατομής αγωγός ομαλοποίησης της ροής	179
Σχήμα Ε.7: Διαστολή και Συστολή	180
Σχήμα Ε.8: Εσωτερικό ηχοπαγίδας, δύο ηχοστοιχείων 200mm	180
Σχήμα Ε.9: Εσωτερικό ηχοπαγίδας, τριών ηχοστοιχείων 100mm	181
Σχήμα Ε.10: Ηχοπαγίδα ενσωματωμένη με τους αγωγούς συστολής και διαστολής	181
Σχήμα Ε.11: Κυκλικός αγωγός μετρήσεων χωρίς ροή	182
Σχήμα Ε.12: Κυκλικός αγωγός μετρήσεων με ροή	182
Σχήμα Ε.13: Εξωτερική όψη ανηχοϊκή σήραγγα	183
Σχήμα Ε.14: Εσωτερική όψη ανηχοϊκή σήραγγα	183

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Όρια συχνοτήτων ηχητικών κυμάτων	7
Πίνακας 2: Όρια ακουστών ήχων στον άνθρωπο και σε ζώα	11
Πίνακας 3: Ταχύτητα ήχου σε διάφορα υλικά	13
Πίνακας 4: Τυποποιημένες οκτάβες και τριτοοκτάβες κατά ISO και ΕΛΟΤ	17
Πίνακας 5: Στάθμες έντασης και Ένταση για μερικούς ήχους	20
Πίνακας 6: Ζώνες χαρακτηρισμού της έντασης του ήχου με βάση την ψυχολογία των ατόμων	25
Πίνακας 7: Επιτρεπόμενα όρια θορύβου (dB) (TEE, 2008α)	26
Πίνακας 8: Ανώτατα επιτρεπόμενα όρια θορύβου (dB)	27
Πίνακας 9: Συντελεστής απορρόφησης α_s για εύρος συχνοτήτων	46
Πίνακας 10: Στοιχεία διαστάσεων ηχοπαγίδας τύπου A	53
Πίνακας 11: Στοιχεία διαστάσεων ηχοπαγίδας τύπου C	54
Πίνακας 12: Τύποι υπολογισμού διαστάσεων ανηχοϊκής σήραγγας	58
Πίνακας 13: Διαστάσεις ανηχοϊκής σήραγγας	58
Πίνακας 14: Αξονικές θέσεις μικροφώνου	62
Πίνακας 15: Μέγιστο διαφορά ηχητικών επιπέδων ανάμεσα στις βασικές θέσεις του μικροφώνου	63
Πίνακας 16: Μετρητικό σφάλμα ροόμετρων	68
Πίνακας 17: Κλίμακα εύρους δεδομένων καταγραφής ροόμετρου	68
Πίνακας 18: Μέγιστο διάστημα κλίμακας ανάλογα του εύρους πίεσης του μανομέτρου.	69
Πίνακας 19: Περιληπτικά στοιχεία μέτρησης διαφοράς πίεσης του μανομέτρου.	70
Πίνακας 20: Κατασκευαστικές προδιαγραφές του αυτοενισχυόμενο ηχείου JBL (EON515XT)	71
Πίνακας 21: Κατασκευαστικές προδιαγραφές του RNG NTi AUDIO (MINIRATOR MR2)	73
Πίνακας 22: Παροχές αέρα ηχοπαγίδων μήκους 1.5m με τρία ηχοστοιχεία πλάτους 100mm	85
Πίνακας 23: Παροχές αέρα ηχοπαγίδων μήκους 1 m με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 200mm	85
Πίνακας 24: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ηχοπαγίδων πλάτους 200mm μήκους 1000mm	89
Πίνακας 25: Μετρήσεις ηχητικού σήματος στις πέντε θέσεις ενδεικτικής ηχοπαγίδας	90
Πίνακας 26: Μετρήσεις ηχητικού σήματος στις πέντε θέσεις κενού αγωγού	90
Πίνακας 27: Ηχοαπόσβεση ενδεικτικής ηχοπαγίδας	90
Πίνακας 28: Μετρήσεις διαφοράς πίεσης ηχοπαγίδας 58Hx52B L=1000mm, S=60mm	91
Πίνακας 29: Μετρήσεις διαφοράς πίεσης κενού αγωγού	92
Πίνακας 30: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας	92
Πίνακας 31: Συντελεστής πτώσης πίεσης	93
Πίνακας 32: Απαιτούμενες σταθερές για τον υπολογισμό πτώσης πίεσης	93
Πίνακας 33: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (4 ms) με ηχοπαγίδα.....	93
Πίνακας 34: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (4 ms) χωρίς ηχοπαγίδα	94
Πίνακας 35: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) Background noise.....	94

Πίνακας 36: <i>Air-regenerated noise</i> για U_f (4 ms)	94
Πίνακας 37: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (6ms) με ηχοπαγίδα.....	94
Πίνακας 38: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (6 ms) χωρίς ηχοπαγίδα	94
Πίνακας 39: <i>Air-regenerated noise</i> για U_f (6 ms)	94
Πίνακας 40: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (8 ms) με ηχοπαγίδα	95
Πίνακας 41: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (8 ms) χωρίς ηχοπαγίδα	95
Πίνακας 42: <i>Air-regenerated noise</i> για U_f (8 ms)	95
Πίνακας 43: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (10ms) με ηχοπαγίδα	95
Πίνακας 44: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (10ms) χωρίς ηχοπαγίδα	95
Πίνακας 45: <i>Air-regenerated noise</i> για U_f (10ms)	95
Πίνακας 46: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (12ms) με ηχοπαγίδα	96
Πίνακας 47: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (12ms) χωρίς ηχοπαγίδα	96
Πίνακας 48: <i>Air-regenerated noise</i> για U_f (12ms)	96
Πίνακας 49: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (14ms) με ηχοπαγίδα	96
Πίνακας 50: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (14ms) χωρίς ηχοπαγίδα	96
Πίνακας 51: <i>Air-regenerated noise</i> για U_f (14ms)	96
Πίνακας 52: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (16ms) με ηχοπαγίδα	97
Πίνακας 53: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (16ms) χωρίς ηχοπαγίδα	97
Πίνακας 54: <i>Air-regenerated noise</i> για U_f (16ms)	97
Πίνακας 55: <i>Air-regenerated noise</i> όλο το εύρος των ταχυτήτων	97
Πίνακας 56: <i>Air-regenerated noise</i> όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας $1m^2$	98
Πίνακας 57: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ηχοαπόσβεσης	99
Πίνακας 58: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα πτώσης πίεσης	100
Πίνακας 59: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα συντελεστή πτώσης πίεσης	101
Πίνακας 60: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας $200mm$ και διατομής $1m^2$	101
Πίνακας 61: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ηχοπαγίδων πλάτους $100mm$ μήκους $1500mm$	102
Πίνακας 62: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ηχοαπόσβεσης	103
Πίνακας 63: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα πτώσης πίεσης	104
Πίνακας 64: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα συντελεστή πτώσης πίεσης	105
Πίνακας 65: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας $100mm$ και διατομής $1m^2$	105
Πίνακας 66: Πειραματικά αποτελέσματα ηχοαπόσβεσης	107
Πίνακας 67: Αποτελέσματα ηχοαπόσβεσης <i>Trox</i>	107
Πίνακας 68: Πειραματικά αποτελέσματα ηχοαπόσβεσης	109
Πίνακας 69: Αποτελέσματα ηχοαπόσβεσης <i>Trox</i>	109
Πίνακας 70: Πειραματικά αποτελέσματα πτώσης πίεσης	112
Πίνακας 71: Τιμές πτώσης πίεσης <i>Trox</i>	112
Πίνακας 72: Πειραματικά αποτελέσματα πτώσης πίεσης	114

Πίνακας 73: Τιμές πτώσης πίεσης Trox	114
Πίνακας 74: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναγεννώμενου ήχου για όλο το πλήθος ηχοπαγίδων στις οποίες λάβαμε μετρήσεις διατομής 1m ² (Πειραματικά)	117
Πίνακας 75: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναγεννώμενου ήχου για όλο το πλήθος ηχοπαγίδων διατομής 1m ² (Trox)	118
Πίνακας Δ.1.1: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 60mm	138
Πίνακας Δ.1.2: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 60mm	139
Πίνακας Δ.1.3: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 60mm	140
Πίνακας Δ.1.4: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 80mm	141
Πίνακας Δ.1.5: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 80mm	142
Πίνακας Δ.1.6: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 80mm	143
Πίνακας Δ.1.7: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 100mm	144
Πίνακας Δ.1.8: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 100mm ..	145
Πίνακας Δ.1.9: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 100mm	146
Πίνακας Δ.1.10: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 120mm	147
Πίνακας Δ.1.11: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 120mm	148
Πίνακας Δ.1.12: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 120mm ...	149
Πίνακας Δ.1.13: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 140mm	150
Πίνακας Δ.1.14: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 140mm	151
Πίνακας Δ.1.15: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 140mm ...	152
Πίνακας Δ.1.16: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 160mm	153
Πίνακας Δ.1.17: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 160mm	154
Πίνακας Δ.1.18: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 160mm ...	155
Πίνακας Δ.2.1: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 40mm	156
Πίνακας Δ.2.2: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 40mm	157
Πίνακας Δ.2.3: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 40mm	158
Πίνακας Δ.2.4: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 50mm	159
Πίνακας Δ.2.5: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 50mm	160
Πίνακας Δ.2.6: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 50mm	161
Πίνακας Δ.2.7: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 60mm	162
Πίνακας Δ.2.8: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 60mm	163
Πίνακας Δ.2.9: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 60mm.....	164
Πίνακας Δ.2.10: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 70mm	165
Πίνακας Δ.2.11: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 70mm	166
Πίνακας Δ.2.12: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 70mm	167
Πίνακας Δ.2.13: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 80mm	168
Πίνακας Δ.2.14: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 80mm	169
Πίνακας Δ.2.15: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 80mm	170
Πίνακας Δ.2.16: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 90mm	171

<i>Πίνακας Δ.2.17: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 90mm</i>	<i>.....</i>	<i>172</i>
<i>Πίνακας Δ.2.18: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 90mm</i>	<i>.....</i>	<i>173</i>
<i>Πίνακας Δ.2.19: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 100mm</i>	<i>.....</i>	<i>174</i>
<i>Πίνακας Δ.2.20: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 100mm</i>	<i>....</i>	<i>175</i>
<i>Πίνακας Δ.2.21: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 100mm</i>	<i>.....</i>	<i>176</i>

Abstract

The present thesis presents a project related to acoustics and more specifically to air-regenerated noise attenuation inside ducts. It is addressed to a variety of applications, for example air conditioning installations, ventilation installations as well as industrial installations based on ducted silencers noise attenuation. Ducted silencers are modules with parallel-baffles constructed by sound absorbing materials. While the air flows through them, the noise, caused by shear stresses and turbulence motion inside air-conditioning ducts, presents a great reduction level. In this study we focused on sound waves within the 50Hz to 10.000 Hz frequency range, sounds that can be perceived by human ears.

Our initial aim is to design and manufacture the experimental setup for laboratory measurement procedures according to international standards ISO 7235 and ISO 5136. Second, to measure sound absorption for specific geometry ducted silencers, and define the pressure drop and air-regenerated noise due to the presence of such silencer, in a velocity range.

The measurements were conducted according to international standards ISO 7235 and ISO 5136 with and without air flow. During the measurements with air flow, the volume flow rate was adjusted to the required values using an inverter. The microphone was placed at three radial positions distributed equally on a circumference mounted in the duct, in the measuring plane. On the other hand, during the measurements without air flow, the microphone was placed into five different positions, equally spaced on a diagonal line, beginning from the bottom surface of the test duct and ending to the upper surface of the same duct. While measuring without air flow random noise signals were produced by a speaker using a random noise generator. We used two different test ducts with different microphone positions, one for measurements with flow and one for measurements without flow.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει μία νέα ερευνητική δραστηριότητα και πραγματεύεται τη διαδικασία απόσβεσης του αεροδυναμικού θορύβου ο οποίος μεταδίδεται μέσω αεραγωγών. Απευθύνεται σε πληθώρα εφαρμογών, παραδείγματος χάριν οι κλιματιστικές εγκαταστάσεις, οι εγκαταστάσεις εξαερισμού καθώς και βιομηχανικές εφαρμογές όπου η απόσβεση επιτυγχάνεται με τη χρήση ηχοπαγίδων. Οι ηχοπαγίδες είναι διατάξεις που αποτελούνται από παράλληλες πλάκες κατασκευασμένες από ηχοαπορροφητικά υλικά. Καθώς ο αέρας διέρχεται μέσα από αυτές, ο θόρυβος που οφείλεται σε διάτμηση και τυρβώδη κίνηση μέσα στο δίκτυο των αεραγωγών μειώνεται σε μεγάλο βαθμό. Στην παρούσα μελέτη το ενδιαφέρον εστιάστηκε στην απόσβεση ηχητικών κυμάτων από 50Hz έως 10.000 Hz, δηλαδή συχνότητες του ηχητικού φάσματος που γίνονται αντιληπτές από τον άνθρωπο.

Στόχοι της παρούσας εργασίας είναι αρχικά να σχεδιαστεί και να υλοποιηθεί πειραματική διάταξη μέτρησης σύμφωνη με τα διεθνή πρότυπα ISO 7235 και ISO 5136, να μετρηθεί η ηχοαπόσβεση συγκεκριμένης γεωμετρίας ηχοπαγίδων, να μετρηθεί η πρόσθετη πτώση πίεσης που προκαλείται και να μετρηθεί ο αεροδυναμικός θόρυβος που προκαλείται με την παρουσία των συγκεκριμένων ηχοπαγίδων σε ένα εύρος ταχυτήτων ροής.

Οι μετρήσεις διεξήχθησαν, σύμφωνα με τα παραπάνω πρότυπα, με παρουσία ροής και απουσία αυτής. Κατά τις μετρήσεις με ροή, η παροχή όγκου ρυθμίζονταν από ανεμιστήρα με τη χρήση μετατροπέα inverter και το μικρόφωνο τοποθετήθηκε σε τρεις θέσεις κατανεμημένες σε γωνία 120° μεταξύ τους περιφερειακά στον κυκλικό αγωγό μετρήσεων, ο οποίος βρίσκεται ομοαξονικά κατάντη της ηχοπαγίδας. Κατά τις μετρήσεις χωρίς ροή το μικρόφωνο τοποθετήθηκε σε πέντε σημεία, με τη χρήση ειδικής ιδιοκατασκευής, κατά μήκος της διαγωνίου η οποία ξεκινάει στο κάτω μέρος του αγωγού και καταλήγει στο επάνω, και πάλι κατάντη της ηχοπαγίδας, ενώ τυχαίος ήχος παραγόταν ανάντη της ηχοπαγίδας από γεννήτρια θορύβου και ηχείο. Η διαγώνια ιδιοκατασκευή βρίσκεται σε δεύτερο κυκλικό αγωγό μετρήσεων, ο οποίος αντικαθιστά τον πρώτο κατά τις μετρήσεις σε συνθήκες άπνοιας.

Σύμβολα

A	μονάδα <i>Decibel</i>
A_{min}	ελάχιστη ελεύθερη επιφάνεια διατομής ηχοπαγίδας αντίστοιχα
A_{max}	μέγιστη ελεύθερη επιφάνεια διατομής ηχοπαγίδας αντίστοιχα
a	μήκος μεμβράνης
a_s	συντελεστής απόσβεσης ηχομονωτικού υλικού
B	μέτρο συμπίεστότητας
<i>Width (B)</i>	πλάτος ηχοπαγίδας
b	πλάτος μεμβράνης
C	συντελεστής διόρθωσης μικροφώνου
C_p	ειδικές θερμότητες του αερίου υπό σταθερή πίεση
C_v	ειδικές θερμότητες του αερίου υπό σταθερό όγκο
c	ταχύτητα του ήχου
c_w	ταχύτητα του ήχου σε υγρό περιβάλλον
d	διάμετρος κυλινδρικού αγωγού
d_e	ισοδύναμη διάμετρος
d_λ	διάμετρος του λαιμού
E	μέτρο ελαστικότητας του Young σε N/m^2
f	συχνότητα του ήχου
f_0	κεντρική συχνότητα
f_1	μικρότερη πλευρική συχνότητα
f_2	μεγαλύτερη πλευρική συχνότητα
f_m	κεντρική συχνότητα σε ζώνες σταθερού εύρους και γραμμική κλίμακα συχνοτήτων
f_r	συχνότητα συντονισμού απορροφητικών υλικών
f_k	συχνότητα συντονισμού κοιλότητας
<i>Height (H)</i>	ύψος ηχοπαγίδας
h	μοριακή συγκέντρωση
I	ένταση του ήχου
I_{ref}	ένταση αναφοράς
k	σταθερά
L	απόσταση από τον τοίχο σε μέτρα
<i>Length (L)</i>	μήκος ηχοπαγίδας
L_{min}	ελάχιστο μήκος modal filter
L_I	στάθμη έντασης ήχου
L_{Pi}	η στιγμιαία ισοδύναμη στάθμη πίεσης ήχου, στις θέσεις μέτρησης
L_W	στάθμη ισχύος του ήχου
$L_{W,flow,sil}$	πίεση του ήχου της ροής για την ηχοπαγίδα $1m^2$
$L_{W,flow,test}$	πίεση του ήχου της ροής για την υπό δοκιμή ηχοπαγίδα

L_p	στάθμη πίεσης ήχου
L_{pi}	μέση τιμή της πίεσης του ήχου, σε ντεσιμπέλ, για την θέση μέτρησης i
l_1	απόσταση μέτρησης στατικής πίεσης ανάντη της ηχοπαγίδας
l_3	απόσταση μέτρησης στατικής πίεσης κατόντη της ηχοπαγίδας
l_λ	μήκος της στένωσης
l_{min}	ελάχιστο μήκος μεταβατικών τμημάτων
m	μάζα ανά μονάδα επιφάνειας σε Kg/m^2
N	πλήθος ηχοστοιχείων
n	πλήθος θέσεων μέτρησης
P	Ατμοσφαιρική πίεση
P_α	μερική πίεση των ατμών
Δp	η διαφορά πίεσης στις δύο επιφάνειες του υλικού
Δp_{s2}	Διαφορά στατικής πίεσης πριν και μετά την ηχοπαγίδα
Δp_t	πτώση πίεσης που προκαλεί η ηχοπαγίδα
p	πίεση του ήχου
p_d	Δυναμική πίεση
p_{d1}	δυναμική πίεση κυκλικού αγωγού
p_f^2	τετράγωνο της φασματικής πίεσης κάθε συχνότητας
p_{ref}	πίεση αναφοράς
Q	παροχή
q_m	παροχή μάζας σε kg/s
q_v	παροχή όγκου σε m^3
q, ρ	αυθαίρετες σταθερές
R	σταθερά ($R= 8317 m/s/^\circ K$)
R^2	αξιοπιστία πολυωνυμικής σχέσης
R_f	αντίσταση ροής
r	απόσταση από μια σκληρή επιφάνεια
S	διάκενο μεταξύ ηχοστοιχείων
S_0	$1m^2$
S_1	κυκλική διατομή αγωγού
S_2	μέγιστη διατομή ηχοπαγίδας
S_T	διατομή ηχοπαγίδας
s	επιφάνεια
s_{ref}	επιφάνεια αναφοράς
s_λ	εμβαδόν της στένωσης
T	θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin
T_{abs}	απόλυτη θερμοκρασία του αερίου
t_b	πλάτος στοιχείου ηχοπαγίδας
U	μέση ταχύτητα ροής
U_f	ταχύτητα ροής αέρα
u	ταχύτητα των σωματιδίων του μέσου διάδοσης
V	Θεωρούμενο στοιχείο όγκου

V_k	όγκος της κοιλότητας
V_π	όγκος των οπών
v_{min}	ελάχιστη ταχύτητα αέρα
v_{max}	μέγιστη ταχύτητα αέρα
W	ισχύς του ήχου
W_{ref}	ισχύς αναφοράς
a	μήκος ακμών κουτιού (κύβου)
$\alpha(f)$	συντελεστής απορρόφησης υλικού
α_∞	απορροφητική ικανότητα στα πορώδη υλικά
γ	σταθερά
γ_α	λόγος των ειδικών θερμοτήτων για τον αέρα
γ_w	λόγος των ειδικών θερμοτήτων για το νερό
Δ	ποσοστό διάτρησης
δ	διαγώνιος κάθε έδρας του κουτιού
δ_f	λογάριθμος του διαστήματος των συχνοτήτων μεταξύ f_1 και f_2
δ_η	διαγώνιος διατομής ηχοπαγίδας
ζ	συντελεστής πτώσης πίεσης
Θ	θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου
λ	μήκος κύματος
MB	μοριακό βάρος του μέσου διάδοσης
Π	πορώδες υλικών
π	σταθερά ($\pi=3.14$)
ρ	πυκνότητα
σ	λόγος του Poisson
ω	κυκλική συχνότητα του ηχητικού κύματος

1. Εισαγωγή

1.1. Γενικές έννοιες

1.1.1. Ήχος

Τι είναι ήχος ;

Ως ήχος ορίζεται η μηχανική διαταραχή που διαδίδεται με ορισμένη ταχύτητα μέσα σε ένα μέσο (ατμόσφαιρα είτε ελαστικό μέσο) που μπορεί να αναπτύξει εσωτερικές δυνάμεις (π.χ. ελαστικότητας, εσωτερικής τριβής) κι έχει τέτοιο χαρακτήρα, ώστε μπορεί να διεγείρει το αισθητήριο της ακοής και να προκαλέσει ακουστικό αίσθημα. [1]

1.1.2. Είδη ήχων και θορύβων

Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 236.1 ορίζουμε τα ακόλουθα είδη ήχων. [1]

1.1.2.1. Ήχοι

Απλός ήχος ή απλός τόνος ή καθαρός τόνος είναι ο ήχος που παράγεται από αρμονική διαταραχή.

Σύνθετος ήχος είναι κάθε ήχος που δεν είναι απλός τόνος.

Σύνθετος τόνος είναι κάθε περιοδικός σύνθετος ήχος.

1.1.2.2. Λευκός και ροζ θόρυβος

Θόρυβος ονομάζεται κάθε απεριοδικός σύνθετος ήχος, που η στιγμιαία τιμή του αυξομειώνεται με τυχαίο τρόπο. Επίσης ως θόρυβο μπορούμε να ορίσουμε κάθε δυσάρεστο και ανεπιθύμητο ήχο. Ο θόρυβος οφείλεται στις ηχητικές συνθήκες του χώρου και προκαλείται από την συμβολή πολλών ηχογόνων παραγόντων. [2]

Λευκός θόρυβος είναι αυτός που έχει συνεχές ηχητικό φάσμα σε μια ευρεία περιοχή συχνοτήτων που ενδιαφέρει και σταθερή φασματική πυκνότητα. Δηλαδή ο θόρυβος αυτός

περικλείει την ίδια ηχητική ενέργεια ανά Hz, εάν υποθέσουμε ότι κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

$$p_f^2 = \text{const.}$$

p_f^2 : τετράγωνο της φασματικής πίεσης κάθε συχνότητας

Ροζ θόρυβος είναι ο θόρυβος που έχει συνεχές ηχητικό φάσμα με σταθερή ηχητική ισχύ σε κάθε φασματική ζώνη σταθερού σχετικού ζωνικού εύρους. Δηλαδή ο θόρυβος αυτός κατανέμεται περισσότερο στις χαμηλές συχνότητες και μάλιστα η κατανομή αυτή είναι αντιστρόφως ανάλογη με την συχνότητα.

$$p_f^2 = \frac{k}{f}$$

k: σταθερά

f: συχνότητα του ήχου

1.1.3. Παραγωγή Ήχου

Γενικά μπορούμε να ορίσουμε τον ήχο και εκτενέστερα τα ηχητικά κύματα ως ένα διαμήκες μηχανικό κύμα, προερχόμενο από δονήσεις υλικών αντικειμένων, που διαδίδεται μέσω μεταβολής της πίεσης του ελαστικού μέσου. Στην έννοια του ήχου θα περιλάβουμε όλα τα ηχητικά κύματα ακόμη και αυτά που δεν γίνονται αντιληπτά από τον άνθρωπο και για αυτό τα ονομάζει υπόηχους είτε υπέρηχους (Πίνακας 1). Κάθε διαμήκες κύμα διαδίδεται με πύκνωμα και αραιώμα των σημείων του μέσου που διαδίδεται. Η ταλάντωση του μέσου γίνεται παράλληλα με την ταχύτητα ταλάντωσης των υλικών σημείων και η ταχύτητα του κύματος είναι επίσης παράλληλη με αυτή τη διεύθυνση.

<u>Κύματα</u>	<u>Συχνότητες</u>
Υποηχητικά	$16\text{Hz} > f$
Ηχητικά	$16\text{Hz} < f < 20000\text{Hz}$
Υπερηχητικά	$f > 20000\text{Hz}$

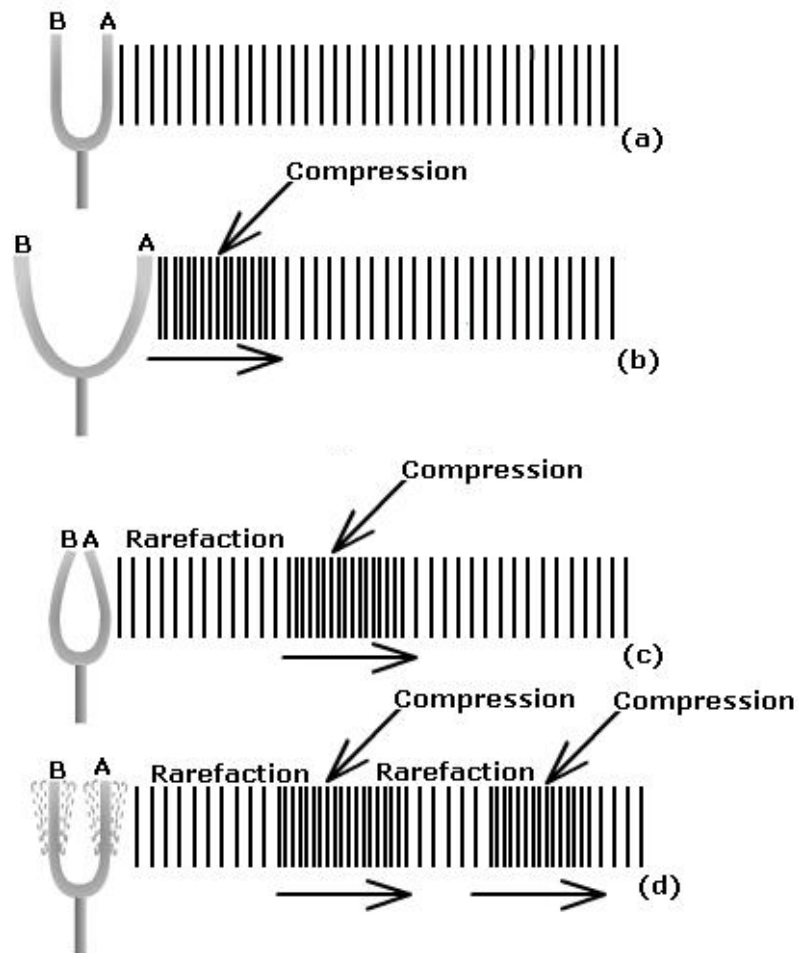
Πίνακας 1: Όρια συχνοτήτων ηχητικών κυμάτων [1]

Προσοχή!

Για την διάδοση του ήχου απαιτείται πάντα υλικό μέσο για να διαδοθεί με αποτέλεσμα να μην διαδίδεται στο κενό.

Τα ηχητικά κύματα δεν παθαίνουν πόλωση

Σε αυτό το σημείο φέρουμε ως παράδειγμα τον τρόπο με το οποίο παράγεται ήχος από ένα διαπασών (Σχήμα 1). Ας υποθέσουμε με ένα μικρό σφυράκι διεγείρουμε το διαπασών, οπότε τα δύο σκέλη του αρχίζουν να εκτελούν αρμονικές ταλαντώσεις. Αν παρατηρήσουμε μόνο το δεξί σκέλος του διαπασών, καθώς κινείται δεξιά ωθεί τα μόρια του αέρα που βρίσκονται σε επαφή με αυτό προς την ίδια κατεύθυνση. Αυτά στην συνέχεια ωθούν ομοίως στην ίδια κατεύθυνση τα γειτονικά του μόρια κ.ο.κ.. Ως επακόλουθο αυτής της ενέργειας έχουμε την αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης P κατά ΔP με φορά κίνησης ίδια με αυτή του δεξιού σκέλους. Η διαταραχή αυτή διαδίδεται με πεπερασμένη ταχύτητα στον αέρα. Αντιθέτως κατόπιν του σκέλους που εξετάζουμε λόγω ότι η ταχύτητα των μορίων του αέρα είναι πεπερασμένη, θα δημιουργηθεί μια υποπίεση ΔP . Κατά την επιστροφή του σκέλους στην αρχική του θέση, ανάντη και κατόπιν θα υπάρξει μια υποπίεση και υπερπίεση αντίστοιχα. η περιοδική επανάληψη αυτής της διαδικασίας, έχει ως συνέπεια τη δημιουργία ενός μηχανικού κύματος το οποίο είναι ένα είδος ερεθίσματος που φθάνει στα αυτιά μας. [3]



Σχήμα 1: Παραγωγή ηχητικών κυμάτων {1}

1.1.4. Ηχητικά κύματα

1.1.4.1. Γενικά

Η διάδοση του ήχου στα αέρια γίνεται με διαμήκη κύματα, αντιθέτως στα υγρά με διαμήκη και επιφανειακά. Στα στερεά η διάδοση του ήχου γίνεται με όλους τους τύπους των κυμάτων, κατ' επέκταση διαδίδεται με διαμήκη, εγκάρσια και επιφανειακά κύματα ή κύματα Reyleigh. Στα διαμήκη κύματα η ταχύτητα διάδοσης με την ταχύτητα ταλάντωσης των σωματιδίων του μέσου είναι παράλληλες σε κάθε σημείο του κύματος. Αντιθέτως στα εγκάρσια κύματα η ταχύτητα διάδοσης με την ταχύτητα ταλάντωσης των σωματιδίων του μέσου είναι κάθετες. Επιφανειακά ή καμπτικά κύματα είναι αυτά που διαδίδονται στην ελεύθερη επιφάνεια των στερεών και τα σωματίδια του μέσου διάδοσης διαγράφουν ελλειπτικές τροχιές, με το μεγάλο άξονα κάθετο στην επιφάνεια και κέντρο τη θέση ισορροπίας. Σε αυτά τα κύματα το πλάτος ελαττώνεται εκθετικά όσο αυξάνεται η απόσταση από την επιφάνεια προς το εσωτερικό του στερεού. Η βαρύτητα αν και είναι πάντοτε παρούσα δεν επηρεάζει τα ηχητικά κύματα, παρά μόνο εκείνα με πολύ μικρή συχνότητα.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία θα περιοριστούμε με τα ηχητικά κύματα τα οποία διαδίδονται στον αέρα. [4]

1.1.4.2. Ηχητικά κύματα στον αέρα

Στον αέρα ο ήχος διαδίδεται με διαμήκη ηχητικά κύματα, τα οποία όταν φτάσουν στο αισθητήριο της ακοής, δημιουργούν την αίσθηση της ακοής. Εγκάρσια κύματα δεν μπορούν να διαδοθούν στα αέρια, διότι τα διάφορα αέρια στρώματα (κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης) δεν αντιδρούν σε τάσεις ολίσθησης, παρά μόνο σε τάσεις συμπίεσης. Τα κύματα ως επί το πλείστον είναι αρμονικά και όταν δεν είναι, μπορούν να αναλυθούν σε αρμονικά με την χρήση των εξισώσεων Fourier.

Τα διαμήκη κύματα όπως προαναφέραμε στο παράδειγμα με το διαπασών, αποτελούνται από τοπικές μεταβολές της πίεσης του αέρα. Οι μεταβολές αυτές οφείλονται στις ταλαντώσεις των μορίων του αέρα κατά την διεύθυνση της διάδοσης. Η πίεση του αέρα ανέρχεται πάνω από την ατμοσφαιρική πίεση, και κατόπιν ελαττώνεται κάτω από αυτήν εκτελώντας αρμονική ταλάντωση με την ίδια συχνότητα που ταλαντώνονται τα μόρια του αέρα. [4]

Ανάλογα με την μορφή που έχει το μέτωπο κύματος (η επιφάνεια που φτάνει το κύμα σε χρόνο t), τα ηχητικά κύματα κατηγοριοποιούνται σε σφαιρικά, κυλινδρικά, κ.ο.κ.. Η μέγιστη διαφορά της στιγμιαίας πίεσης από την ατμοσφαιρική που προκαλείται από το ηχητικό κύμα ονομάζεται πλάτος πίεσης. Οι μεταβολές της πίεσης που οφείλονται στην διάδοση των ηχητικών κυμάτων στην ακουστική περιοχή των συχνοτήτων, είναι ταχείς, δεν συμβαίνει ροή θερμότητας από το περιβάλλον σε ένα στοιχείο όγκου και οι μεταβολές της πίεσης θεωρούνται αδιαβατικές, (αν και σε μερικές περιπτώσεις ειδικά σε χαμηλές συχνότητες θεωρούνται ισόθερμες). Συνεπώς όταν σε

ένα στοιχείο όγκου ενός αερίου λόγω της διάδοσης του ήχου μεταβάλλεται η πίεση, ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις:

$$PV^\gamma = \text{σταθ.}$$

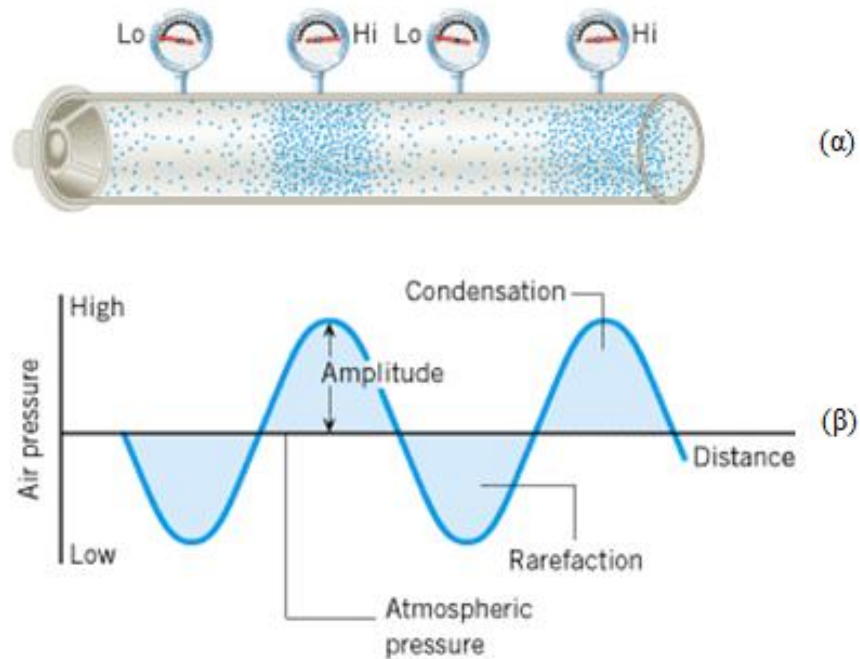
$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

C_p, C_v : ειδικές θερμότητες του αερίου υπό σταθερή πίεση και όγκο αντίστοιχα

P : Ατμοσφαιρική πίεση

V : Θεωρούμενο στοιχείο όγκου

Στο (Σχήμα 2α) παρατηρούμε τις τοπικές μεταβολές της πυκνότητας που προκαλεί το ηχητικό κύμα κατά τη διέλευση του. Στο (Σχήμα 2β) μπορείτε να δείτε τη γραφική παράσταση της πίεσης συναρτήσει της απόστασης για ένα κύμα.



Σχήμα 2: Στιγμιότυπο ηχητικού αρμονικού κύματος. {2}

Οι συχνότητες των ηχητικών κυμάτων κυμαίνονται από 10 έως 10⁵Hz χωρίς αυτά τα όρια να είναι σαφή. Στον (Πίνακα 2) παρουσιάζονται τα όρια ακουστών συχνοτήτων.

	<u>Όρια ακουστών ήχων</u>
Άνθρωπος	16Hz -20000Hz
Σκύλος	15Hz -50000Hz
Γάτα	60Hz -65000Hz
Τζίτζικας	100Hz -15000Hz
Δελφίνι	150Hz -150000Hz
Νυχτερίδα	1000Hz -120000Hz

Πίνακας 2: Όρια ακουστών ήχων στον άνθρωπο και σε ζώα [1]

1.1.5. Προσδιορισμός της ταχύτητας του ήχου

Όπως προαναφέραμε και προηγουμένως εμείς θα ασχοληθούμε με τα διαμήκη κύματα. [5]

1.1.5.1. Διαμήκη κύματα

Η ταχύτητα του ήχου που εξαρτάται από το μέσο διάδοσης για την περίπτωση διαμηκών κυμάτων, που διαδίδονται σε αέρια, δίνεται από τη σχέση:

$$c = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma R T_{\text{abs}}}{M B}}$$

c: ταχύτητα του ήχου

T_{abs} : απόλυτη θερμοκρασία του αερίου

P: ατμοσφαιρική (όχι η ακουστική) πίεση

R,γ: σταθερές (R= 8317 m/s/°K)

MB: μοριακό βάρος του μέσου διάδοσης

Για τον αέρα η τιμή $\gamma=1.4$ είναι ικανοποιητική. Η παραπάνω σχέση για τον αέρα στη θερμοκρασία 0°C δίνει ταχύτητα ήχου $c = 331 \text{ m/s}$

Στην περίπτωση που υπάρχει υγρασία τα μόρια των υδρατμών επηρεάζουν το μοριακό βάρος του αέρα με επακόλουθο να μεταβάλλεται και η ταχύτητα του ήχου. Σε αυτή την περίπτωση η ταχύτητα του ήχου ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$c_w = c \sqrt{1 - \frac{P_\alpha}{P} \left(\frac{\gamma_w}{\gamma_\alpha} - \frac{5}{8} \right)}$$

c_w : η ταχύτητα του ήχου σε υγρό περιβάλλον

P_α : η μερική πίεση των ατμών

P : η ατμοσφαιρική πίεση

γ_w, γ_α : ο λόγος των ειδικών θερμοτήτων για τον αέρα και το νερό

Προσεγγιστικά για την ταχύτητα του ήχου σε οποιαδήποτε θερμοκρασία μπορούμε να θεωρήσουμε:

$$c = 331 + 0.6\Theta$$

όπου Θ η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου.

Σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς όταν απαιτείται προσεγγιστικός προσδιορισμός της ταχύτητας του ήχου σε μία θερμοκρασία (T) χρησιμοποιείται η σχέση:

$$c = 343.2 \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

T : η θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin

$T_0=293.5$ °K

Αποδεικνύεται ότι η ταχύτητα του ήχου για τα ρευστά μέσα μπορεί να οριστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$c = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

B : μέτρο συμπιεστότητας

ρ : πυκνότητα

Με ανάλογο τρόπο αποδεικνύεται ότι η ταχύτητα του ήχου για τα στερεά μέσα μπορεί να οριστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

E : μέτρο ελαστικότητας του Young σε N/m²

ρ : πυκνότητα

Από τις παραπάνω σχέσεις φαίνεται ότι η ταχύτητα του ήχου είναι ανάλογη του μέτρου συμπίεστικότητας – μέτρο ελαστικότητας στα ρευστά και στερεά μέσα αντίστοιχα. Επίσης είναι αντιστρόφως ανάλογος της πυκνότητας του μέσου. Για τους παραπάνω παράγονται μπορούμε να εξάγουμε τα εξής συμπεράσματα:

- Ο ήχος έχει μεγαλύτερη ταχύτητα στο ζεστό αέρα παρά στον κρύο διότι έχει μεγαλύτερη πυκνότητα.
- Ο ήχος ταξιδεύει με μεγαλύτερη ταχύτητα σε υλικά με μεγάλο μέτρο ελαστικότητας όπως μέταλλα και ειδικά ο χάλυβας.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται μερικές μετρήσεις της ταχύτητας του ήχου σε διάφορα μέσα.

<u>Μέσο διάδοσης</u>	<u>Ταχύτητα ήχου (m/s)</u>
Κενό	0
Αέρας (0°C)	331
Αέρας (15°C)	340
Αέρας (20°C)	343
Νερό (0°C)	1400
Νερό (20°C)	1480
Νερό (100°C)	1540
Χαλαζίας	5500
Χάλυβας	6100

Πίνακας 3: Ταχύτητα ήχου σε διάφορα υλικά [1]

1.1.6. Ένταση του ήχου

Η ένταση σε αντίθεση με την ηχητική πίεση εκφράζει και τη ροή της ηχητικής ενέργειας, αλλά παρουσιάζει δυσκολία στη μέτρηση της. [6]

Ορισμός έντασης ήχου:

Η ένταση του ήχου σε ένα σημείο του ηχητικού πεδίου και προς μια καθορισμένη διεύθυνση, είναι το πηλίκο της ηχητικής ισχύος που διαπερνά κάθετα μια στοιχειώδη επιφάνεια δια του εμβαδού της επιφάνειας. Μονάδα μέτρησης είναι το W/m^2 .

Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό της έντασης του ήχου (ως μέσης τιμής ροής ισχύος) για την ένταση μπορούμε να γράψουμε:

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T p u dt = \overline{p u}$$

I: ένταση του ήχου

T: η θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin

p: πίεση του ήχου

u: ταχύτητα των σωματιδίων του μέσου διάδοσης

Η ένταση όπως απορρέει από τον ορισμό είναι μέγεθος διανυσματικό με διεύθυνση και φορά την διεύθυνση και φορά της ροής της ενέργειας. Παρόλη την εξάρτηση που έχει η ένταση με την πίεση, η ένταση δεν μπορεί να μετρηθεί με τα συνήθη μικρόφωνα που μετρούν την πίεση, για το λόγο ότι δεν καταγράφουν διεύθυνση και φορά.

1.1.7. Συχνότητα του ήχου

Πέραν της ηχητικής πίεση, ένα άλλο σπουδαίο μέγεθος που παίζει μεγάλο ρόλο σε όλα τα φαινόμενα που σχετίζονται με την συμπεριφορά, του ήχου είναι και η συχνότητα του. [6]

Ορισμός συχνότητας του ήχου:

Ως συχνότητα του ήχου ορίζεται η συχνότητα ταλάντωσης των σωματιδίων του μέσου διάδοσης.

Η συχνότητα του ήχου με την κυκλική συχνότητα και το μήκος κύματος συνδέονται με την ακόλουθες σχέσεις:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad \lambda = \frac{c}{f}$$

f: συχνότητα του ήχου

λ: μήκος κύματος

ω: κυκλική συχνότητα του ηχητικού κύματος

c: ταχύτητα του ήχου

π: σταθερά (π=3.14)

1.1.7.1. Ζώνες συχνοτήτων

Λόγω του ότι οι ακουστικές ιδιότητες των υλικών, αλλά και η απόκριση του συστήματος (πηγή - μέσο διάδοσης - δέκτης) δεν είναι σταθερή, ούτε καν γραμμική σε σχέση με την συχνότητα, απαιτείται η μελέτη ολοκλήρου του εύρους συχνοτήτων του ακουστικού φάσματος. Η μελέτη

αυτή είναι αρκετά χρονοβόρα και εξαιτίας αυτού, όλη η περιοχή των συχνοτήτων χωρίζεται σε **ζώνες συχνοτήτων** (bands), ή **φασματικές ζώνες**. Οι ζώνες αυτές μπορούν να έχουν σταθερό ή μεταβλητό εύρος.

Κάθε ζώνη μεταβλητού εύρους, (συνηθέστερες) περιλαμβάνει όλες τις συχνότητες μεταξύ f_1 και f_2 χαρακτηρίζεται δε από τις δύο πλευρικές συχνότητες f_1, f_2 και την κεντρική f_0 που είναι ο γεωμετρικός μέσος των πλευρικών, δηλαδή:

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2}$$

f_2 : μεγαλύτερη πλευρική συχνότητα

f_1 : μικρότερη πλευρική συχνότητα

f_0 : κεντρική συχνότητα

Το εύρος ζώνης στη συγκεκριμένη περίπτωση μεταβάλλεται λογαριθμικά στις διαδοχικές ζώνες. Όταν χρησιμοποιούμε ζώνες σταθερού εύρους και γραμμική κλίμακα συχνοτήτων, ως κεντρική συχνότητα χρησιμοποιούμε την αριθμητική μέση τιμή των ακραίων συχνοτήτων.

$$f_m = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

f_2 : μεγαλύτερη πλευρική συχνότητα

f_1 : μικρότερη πλευρική συχνότητα

f_m : κεντρική συχνότητα σε ζώνες σταθερού εύρους και γραμμική κλίμακα συχνοτήτων

Από τις σημαντικότερες ζώνες είναι οι οκτάβες (octave-band), οι τριτοοκτάβες (one-third-octave-band) και οι δεκατοοκτάβες (one-tenth-octave-band). Οι ζώνες αυτές ορίζονται έτσι ώστε ο λόγος της μεγαλύτερης πλευρικής προς την μικρότερη να ισούται με $2^{1/1}$, $2^{1/3}$, $2^{1/10}$ αντίστοιχα.

Δηλαδή έχουμε **οκτάβες** όταν:

$$\frac{f_2}{f_1} = 2$$

τριτοοκτάβες όταν:

$$\frac{f_2}{f_1} = 2^{1/3}$$

δεκατοοκτάβες όταν:

$$\frac{f_2}{f_1} = 2^{1/10}$$

και γενικά **N οκτάβες** όταν:

$$\frac{f_2}{f_1} = 2^{1/N}$$

Όπου f_2 και f_1 η μεγαλύτερη και η μικρότερη πλευρική συχνότητα κάθε ζώνης. Δέκα διαδοχικές τριτοοκτάβες αποτελούν μια δεκάδα. Μια ζώνη είναι δεκάδα όταν ο λόγος των πλευρικών συχνοτήτων είναι ίσος με 10. Δηλαδή:

$$\frac{f_2}{f_1} = 2^{10/3} = 10$$

f_2 : μεγαλύτερη πλευρική συχνότητα

f_1 : μικρότερη πλευρική συχνότητα

Ομοίως τρεις διαδοχικές τριτοοκτάβες η δέκα δεκατοοκτάβες δίνουν μια οκτάβα. Η εκλογή των οκτάβων δε γίνεται αυθαίρετα αλλά τυποποιημένα. Στην εκάστοτε χώρα ισχύουν οι εθνικές τυποποιήσεις (για την Ελλάδα ΕΛΟΤ) και σε περίπτωση απουσίας αυτών χρησιμοποιούνται οι διεθνείς τυποποιήσεις ISO.

Συμφώνα με τους κανονισμούς ΕΛΟΤ 556.1, το διάστημα των συχνοτήτων μεταξύ f_1 και f_2 είναι ο λογάριθμος με βάση το 2 του λόγου της μεγαλύτερης προς την μικρότερη συχνότητα. Ως επακόλουθο λαμβάνουμε την παρακάτω σχέση

$$\delta_f = \log_2 \frac{f_2}{f_1} = i$$

δ_f : λογάριθμος του διαστήματος των συχνοτήτων μεταξύ f_1 και f_2

όταν $i = 2$ έχουμε οκτάβες, $i = 1/3$ τριτοοκτάβες κλπ.

Στις μελέτες πρόβλεψης του θορύβου προτιμούνται η οκτάβες. Για μετρήσεις όμως με μεγαλύτερη ακρίβεια χρησιμοποιούνται οι 1/3, 1/12 ή 1/24 οκτάβες.

<u>Ζώνη (Band)</u>	<u>Συχνότητα (Hz)</u>					
	<u>Οκτάβες</u>			<u>Τριτοοκτάβες</u>		
	f_1	f_c	f_2	f_1	f_c	f_2
12	11	16	22	14.1	16	17.8
13				17.8	20	22.4
14				22.4	25	28.2
15	22	31.5	44	28.2	31.5	35.5
16				35.5	40	44.7
17				44.7	50	56.2
18	44	63	88	56.2	63	70.8
19				70.8	80	89.1
20				89.1	100	112
21	88	125	177	112	125	141
22				141	160	178
23				178	200	224
24	177	250	355	224	250	282
25				282	315	355
26				355	400	447
27	355	500	710	447	500	562
28				562	630	708
29				708	800	891
30	710	1000	1420	891	1000	1122
31				1122	1250	1413
32				1413	1600	1778
33	1420	2000	2840	1778	2000	2239
34				2239	2500	2818
35				2818	3150	3548
36	2840	4000	5680	3548	4000	4467
37				4467	5000	5623
38				5623	6300	7079
39	5680	8000	11360	7079	8000	8913
40				8913	10000	11220
41				11220	12500	14130
42	11360	16000	22270	14130	16000	17780

Πίνακας 4: Τοποποιημένες οκτάβες και τριτοοκτάβες κατά ISO και ΕΛΟΤ [2]

1.1.8. Η μονάδα Decibel

1.1.8.1. Γενικά

Λόγω του μεγάλου εύρους των μεγεθών της ακουστικής, είναι πιο εύχρηστη η χρήση λογαριθμικών κλιμάκων. Συνεπώς για την μέτρηση των μονάδων που σχετίζονται με την ακουστική, χρησιμοποιούμε μονάδες που γενικά ονομάζονται στάθμες (levels), μια εξ' αυτών είναι η μονάδα Decibel. [7]

Η μονάδα Decibel ορίζεται ως το δεκαπλάσιο του λογάριθμου μιας αδιάστατης ποσότητας. Αδιάστατες ποσότητες είναι ο λόγος δύο ομοειδών ποσοτήτων για παράδειγμα ισχύων, εντάσεων, πιέσεων κλπ. Γενικά η μονάδα Decibel ορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$A = 10 \log \frac{k_1}{k_{ref}}$$

A: μονάδα Decibel

k_1, k_{ref} , δύο τιμές του ίδιου μεγέθους

Επειδή η μονάδα Decibel είναι σχετική, για να μετράει απόλυτα μεγέθη ορίζεται η τιμή του k_{ref} και ονομάζεται τιμή αναφοράς.

1.1.8.2. Ηχητικές στάθμες

Σύμφωνα με τα παραπάνω για τις βασικές ποσότητες που γνωρίσαμε μπορούμε κατ αρχάς να ορίσουμε τις εξής στάθμες:

α) Στάθμη πίεσης ήχου

Ορίζεται από τη σχέση:

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_{ref}^2}$$

L_p : στάθμη πίεσης ήχου

p: η πίεση του ήχου σε κάποιο σημείο

p_{ref} : πίεση αναφοράς

Αντίστοιχα με την πίεση ήχου ορίζονται η ένταση και η ισχύς.

β) Στάθμη έντασης ήχου L_I

Ανάλογα για την στάθμη έντασης μπορούμε να γράψουμε:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_{ref}}$$

L_I : στάθμη έντασης ήχου

I : ένταση του ήχου

I_{ref} : ένταση αναφοράς

όπου I_{ref} η ένταση αναφοράς και προκύπτει από τη σχέση:

$$I_{ref} = \frac{p_{ref}^2}{(\rho c)_{ref}}$$

p_{ref} : η πίεση αναφοράς

$(\rho c)_{ref}$: πυκνότητα επί την ταχύτητα του ήχου στο σημείο αναφοράς

προκύπτει ότι:

$$I_{ref} = \frac{(2 \times 10^{-5} Pa)^2}{400 Rayls} = 10^{-12} W/m^2$$

γ) Στάθμη ισχύος ήχου L_W

Ορίζεται από τη σχέση:

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_{ref}}$$

L_W : στάθμη ισχύος του ήχου

W : ισχύς του ήχου

W_{ref} : ισχύς αναφοράς

όπου W_{ref} η ισχύς αναφοράς και προκύπτει από τη σχέση:

$$W_{ref} = I_{ref} s_{ref} = 10^{-12} \frac{W}{m^2} m^2 = 10^{-12} Watt$$

I_{ref} : ένταση αναφοράς

s_{ref} : επιφάνεια αναφοράς

Συγκεκριμένα η στάθμη ισχύος ήχου εντός κυλινδρικών αγωγών δίνεται από την σχέση:

$$L_W = \overline{L_P} + \left(10 \log \frac{S}{S_{ref}} - 10 \log \frac{\rho c}{(\rho c)_{ref}} \right)$$

L_W : στάθμη ισχύος του ήχου

L_P : στάθμη πίεσης ήχου

S : επιφάνεια

S_{ref} : επιφάνεια αναφοράς

$S = \frac{\pi d^2}{4}$ είναι η επιφάνεια της διατομής του κυλινδρικού αεραγωγού σε m^2

d : διάμετρος κυλινδρικού αγωγού

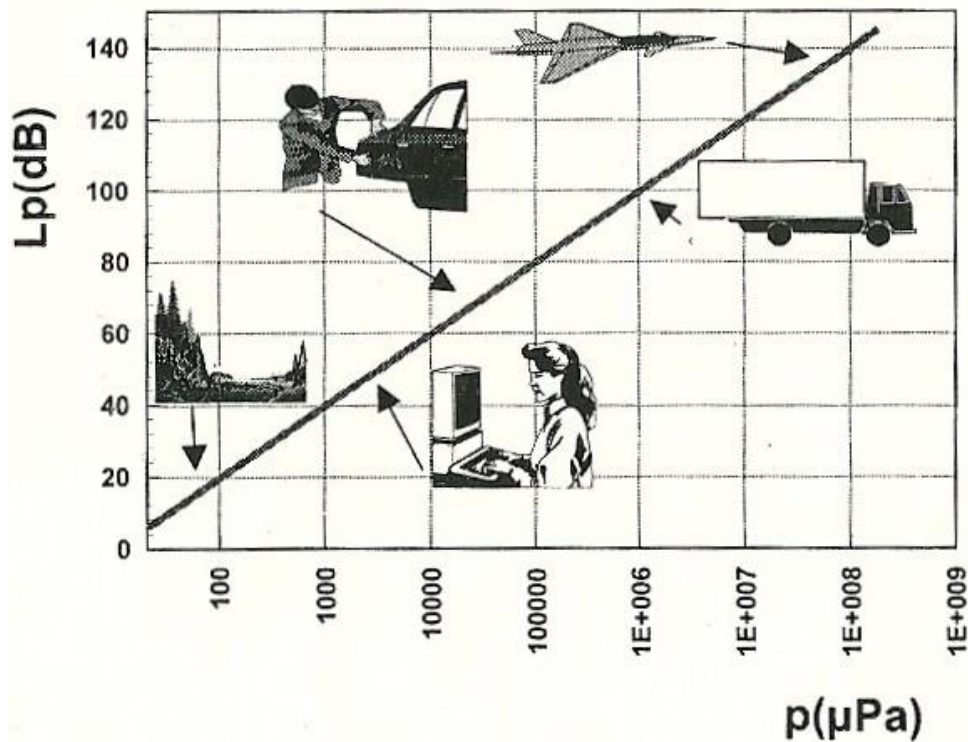
$S_{ref} = 1m^2$

$(\rho c)_{ref} = 400 \text{ Rayls}$

Παρακάτω θα δούμε κάποιες τιμές του εκπεμπόμενου ήχου από διάφορες πηγές. Θεωρητικά στον αέρα δεν μπορεί να παραχθεί ήχος με στάθμη μεγαλύτερη από 194 dB διότι η δημιουργούμενη υποπίεση δεν λαμβάνει αρνητικές τιμές.

<u>Πηγή ήχου</u>	<u>Στάθμη Έντασης (dB)</u>	<u>Ένταση (W/m^2)</u>
Κατόφλι πόνου	120	$1.0 \cdot 10^0$
Πριτσινωτής	95	$3.2 \cdot 10^{-3}$
Υπερυψωμένο τραίνο	90	10^{-3}
Πολυσύχναστος δρόμος	70	10^{-5}
Συζήτηση	65	$3.2 \cdot 10^{-6}$
Αθόρυβο αυτοκίνητο	50	10^{-7}
Ραδιόφωνο	40	10^{-8}
Ψίθυρος	20	10^{-10}
Θρόισμα φύλλων	10	10^{-11}
Κατόφλι ακοής	0	10^{-12}

Πίνακας 5: Στάθμες έντασης και Ένταση για μερικούς ήχους [1]



Σχήμα 3: Σύγκριση ηχητικής πίεσης και στάθμης πίεσης για μερικούς ήχους {3}

1.1.8.3. Ισοδύναμη στάθμη πίεσης ήχου

Στις περιπτώσεις όπου οι μετρήσεις της στάθμης πίεσης ήχου γίνονται σε διακριτές θέσεις, η ισοδύναμη στάθμη πίεσης ήχου \overline{L}_P , σε decibel, για κάθε ζώνη συχνοτήτων, υπολογίζονται σύμφωνα με την σχέση:

$$\overline{L}_P = 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_{Pi}} \right]$$

L_p : στάθμη πίεσης ήχου

n: πλήθος θέσεων μέτρησης

L_{Pi} : η στιγμιαία ισοδύναμη στάθμη πίεσης ήχου, στις θέσεις μέτρησης

1.2. Σχέση του θορύβου με τον άνθρωπο

1.2.1. Εισαγωγή

Ο θόρυβος είναι μία ειδική κατηγορία σύνθετων ήχων. Οι ήχοι από την αρχή της παρουσίας του ανθρώπου, αποτελούσαν ένα μέσο έκφρασης, επικοινωνίας και πληροφόρησης των κοινωνικών ομάδων σε σχέση με το περιβάλλον του. Στις μέρες μας πλέον, οι ήχοι αποτελούν ένα μέσο έκφρασης, επικοινωνίας, διασκέδασης, εργασίας, ή πληροφόρησης και είναι αναπόσπαστο και μόνιμο τμήμα της καθημερινής μας ζωής. Ο ήχος και ο θόρυβος είναι αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας μας και τον αντιλαμβανόμαστε παντού και σε όλους σχεδόν τους χώρους.

Έτσι οδηγούμαστε στο αρχικό συμπέρασμα ότι το πρόβλημα του θορύβου, φαίνεται να είναι συνάρτηση του πληθυσμού, γι' αυτό και εμφανίζεται εντονότερο στις μεγαλουπόλεις. Σήμερα ο θόρυβος αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους περιβαλλοντικούς ρύπους που υποβαθμίζουν το αστικό περιβάλλον. Στην Ελλάδα το φαινόμενο αυτό συναντάται στα μεγάλα αστικά κέντρα όπως για παράδειγμα Αθήνα και Θεσσαλονίκη. [8] [9]

Καταλήγουμε λοιπόν στο ότι οι επιπτώσεις του θορύβου στον άνθρωπο είναι πολλαπλές και ποικίλες. Επομένως η αντιμετώπιση του θορύβου και ο περιορισμός του, πρέπει να αποτελεί έναν από τους πρωταρχικούς στόχους των πολιτισμένων κοινωνιών. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε το γεγονός ότι ένας από τους τομείς αξιολόγησης του πολιτισμικού επιπέδου μίας χώρας είναι και τα επίπεδα θορύβου που παράγει ο λαός της.

Η ελληνική νομοθεσία, έχει θεσπίσει μία σειρά νομοθετικών και διοικητικών μέτρων για τον περιορισμό του φαινομένου. Πέραν των κινήσεων της Ελληνικής Πολιτείας, μια μεγάλη μερίδα του πληθυσμού, ιδίως στις μεγαλουπόλεις, έχει ευαισθητοποιηθεί ιδιαίτερα προς αυτή την κατεύθυνση. Παρόλα τα μέτρα και τις πρωτοβουλίες των πολιτών, το πρόβλημα του θορύβου ή της ηχορύπανσης γενικότερα, εξακολουθεί να υφίσταται και δυστυχώς να επεκτείνεται αντί να περιορίζεται. Αξίζει να επισημάνουμε ότι η τελευταία Τετάρτη του Απριλίου έχει κηρυχθεί από το 1992 ως Διεθνής Ημέρα Ευαισθητοποίησης για το Θόρυβο, από την Ευρωπαϊκή Ένωση Ακουστικής (Σχήμα 4). [10]

Οι λόγοι της διατήρησης της ηχορύπανσης ποικίλουν. Πρωτεύον λόγος είναι οι υπάρχουσες πολεοδομικές, χωροταξικές και κυκλοφοριακές συνθήκες των μεγάλων πόλεων. Επιπροσθέτως ένας από τους βασικότερους λόγους είναι η έλλειψη ευαισθητοποίησης των πολιτών. Στην χώρα μας παράγοντες όπως το μεσογειακό της κλίμα, η αλματώδης αύξηση των δικύκλων και των αυτοκινήτων, η έντονη νυκτερινή ζωή, ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες, το μεσογειακό ταπεραμέντο των Ελλήνων και κυρίως η έλλειψη σεβασμού προς την ησυχία του διπλανού μας, επιδεινώνουν το φαινόμενο.



Σχήμα 4: Παγκόσμια Ημέρα Ευαισθητοποίησης κατά του Θορύβου {4}

1.2.2. Επίδραση του θορύβου στον άνθρωπο

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε το πώς αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος τον θόρυβο, ποιες οι επιδράσεις του θορύβου στον άνθρωπο και πώς μετράμε την ηχορύπανση σε διάφορους τομείς της καθημερινότητας μας. Λόγω του ότι η επίδραση του θορύβου στον άνθρωπο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και κυρίως από την ιδιαιτερότητα του κάθε ατόμου, οι ορισμοί και τα υποκειμενικά μεγέθη που θα αναφέρουμε, είναι εμπειρικά και έχουν προκύψει από στατιστική επεξεργασία μεγάλου αριθμού μετρήσεων σε αντιπροσωπευτικά δείγματα διάφορων ατόμων.

Σε αυτό το σημείο θα ήταν σκόπιμο να κάνουμε την διάκριση μεταξύ ήχου και θορύβου. Ο ήχος μπορεί να είναι ευχάριστος (μουσική), ή και αρκετές φορές δυσάρεστος. Ως θόρυβο ορίζουμε κάθε ανεπιθύμητο ήχο, είναι δυσάρεστος και προκαλεί συνήθως ανεπιθύμητες ενέργειες. [11]

Ο θόρυβος γενικά επιδρά δυσμενώς στον άνθρωπο και επηρεάζει τις καθημερινές του δραστηριότητες στην δουλειά, το σχολείο, το σπίτι και τον ελεύθερο του χρόνο. Υπολογίζεται ότι ο κυκλοφοριακός θόρυβος βλάπτει την υγεία περίπου του 30% των Ευρωπαίων πολιτών. Οι κύριες επιδράσεις και οι κίνδυνοι του θορύβου για την υγεία που προσδιορίζονται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO, 2008c) είναι οι εξής: [12]

- Πόνος και ακροαστική κόπωση καθώς και απώλεια ακοής
- Ενόχληση

- Επιρροή στην κοινωνική συμπεριφορά (επιθετικότητα)
- Παρεμπόδιση της επικοινωνίας μέσω ομιλίας
- Διαταραχή του ύπνου με όλες τις επιβλαβείς συνέπειες σε βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη βάση
- Καρδιαγγειακές επιπτώσεις
- Ορμονικές αντιδράσεις και τις πιθανές τους συνέπειες στον ανθρώπινο μεταβολισμό και το ανοσοποιητικό σύστημα
- Μειωμένη απόδοση στη δουλειά και το σχολείο

Η εμφάνιση των επιδράσεων της ηχορύπανσης ανακαλύφθηκαν πριν από χρόνια. Η μείωση των ορίων ακουστικής που οφείλεται στον εργασιακό τομέα χρονολογείται από την εποχή του χαλκού και αργότερα του σιδήρου. Ο πρώτος νόμος για τον περιορισμό του θορύβου αναφέρεται στην ρωμαϊκή εποχή, όπου απαγορευόταν τις νυκτερινές ώρες η κυκλοφορία των αρμάτων στους δρόμους των πόλεων για να μην διαταράσσεται η ηρεμία και ο ύπνος των κατοίκων. Στην Ελλάδα, από έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 1982 σε εργαζομένους του ΟΣΕ και αφορούσε τον έλεγχο της ακουστικής τους ικανότητας, το 55% από αυτούς ανέπτυξαν διαφόρων βαθμών ακουστική αναπηρία [13]. Πέραν αυτών των προβλημάτων υγείας σε μελέτη που διεξήχθη από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο διαπιστώθηκε ότι η ενόχληση από τον αστικό θόρυβο δεν αντιστοιχεί σε μονοδιάστατη εμπειρία αλλά γίνεται αισθητή μέσα από ένα μικρό αριθμό ανεξάρτητων ψυχολογικών επιρροών. Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε επιρροή στην κοινωνική συμπεριφορά (επηρεάζει την ομιλητικότητα, κοινωνικότητα, διαπροσωπικές σχέσεις), επιρροή στο βαθμό αφύπνισης (προκαλεί υπνηλία, κατευνάζει) επιρροή στις καθημερινές δραστηριότητες του ανθρώπου (ενοχλητικός στην τηλεφωνική επικοινωνία, ενοχλητικός όταν ακούμε ραδιόφωνο – τηλεόραση, στην ζωντανή επικοινωνία). Εν κατακλείδι οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν ψυχολογικές επιπτώσεις του αστικού θορύβου που είναι κοινές για ένα ευρύ φάσμα του αστικού πληθυσμού.[13]

Ορισμένα μέλη του πληθυσμού είναι περισσότερο ευπαθή (π.χ. υπερτασικοί) στις ψηλότερες στάθμες θορύβου. Η επιστημονική κοινότητα καταδεικνύει ότι η χρόνια έκθεση του ατόμου στον περιβαλλοντικό θόρυβο οδηγεί σε μειωμένη ικανότητα εκμάθησης και δημιουργεί προβλήματα υγείας στα παιδιά. Μελέτες για τις επιπτώσεις της χρόνιας έκθεσης στον θόρυβο των αεροσκαφών σε παιδιά (WHO, 2008d) βρήκαν: [14]

- Συγκλίνουσες ενδείξεις ότι η έκθεση στο θόρυβο βλάπτει τις γνωστικές επιδόσεις
- Σύνδεση με μειωμένη ευεξία και κίνητρα, σε μια ελαφρώς πιο περιορισμένη έκταση
- Στοιχεία για επιπτώσεις στην πίεση του αίματος και την έκκριση ορμονών
- Στοιχεία για επιπτώσεις στην ψυχική υγεία παιδιών

1.2.3. Όρια Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO)

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) προτείνει ότι ο θόρυβος στο χώρο εργασίας σε σταθερό επίπεδο να μην υπερβαίνει τα 85 dB και στιγμιαία όχι περισσότερο από 120 dB. Αντιστοίχως στο χώρο κατάκλισης, σε σταθερό επίπεδο λιγότερο από 30 dB και στιγμιαία όχι περισσότερο από 45 dB. Οι εργαζόμενοι σε επίπεδα θορύβου άνω των 85 dB πρέπει να υποβάλλονται σε περιοδική ιατρικό έλεγχο της ακουστικής του ικανότητας, με σκοπό να προληφθεί βλάβη της ακοής (WHO, 1999). Σύμφωνα με τον WHO, οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές για την ένταση του θορύβου σε κάποιους περιβάλλοντες χώρους δίνονται στον Πίνακα 6. [15]

<u>Περιβάλλον</u>	<u>Επιπτώσεις στην Υγεία</u>	<u>Ένταση θορύβου (dB)</u>	<u>Διάρκεια έκθεσης (ώρες)</u>	<u>Μέγιστη τιμή - Στιγμιαία τιμή (dB)</u>
Εξωτερικοί χώροι	Σοβαρή ενόχληση ημέρα και νύχτα	55	16	-
Εξωτερικοί χώροι	Μικρή ενόχληση ημέρα και νύχτα	50	16	-
Κατοικίες - Εσωτερικοί χώροι	Κατανόηση ομιλίας, μικρή ενόχληση ημέρα και νύχτα	35	16	45
Δωμάτια ύπνου	Διαταραχή ύπνου τη νύχτα	45	8	60
Σχολικές αίθουσες	Ενόχληση στην κατανόηση ομιλίας	35	Διάρκεια μαθήματος	
Δωμάτια ύπνου για προσχολική ηλικία	Διαταραχή ύπνου	30	Διάρκεια ύπνου	45
Σχολικές αυλές	Ενόχληση	55	Διάρκεια ημέρας	-
Νοσοκομεία θάλαμοι	Διαταραχή ύπνου	30	8	40
Νοσοκομεία ιατρεία		30	16	-
Βιομηχανία, εμπορικές επιχειρήσεις, μαγαζιά, συγκοινωνίες	Επίδραση στην ακοή	70	24	110
Τελετές, φεστιβάλ, συναυλίες κλπ.		100	4	110
Συγκεντρώσεις σε κλειστό χώρο		85	1	110
Μουσική και άλλοι ήχοι από ηχεία και ακουστικά		85	1	110
Σειρήνες από παιχνίδια, πυροσβεστική κλπ				140

Πίνακας 6: Ζώνες χαρακτηρισμού της έντασης του ήχου με βάση την ψυχολογία των ατόμων [3]

<u>Ένταση θορύβου (dB)</u>	<u>Χαρακτηρισμός κατάστασης</u>
>81	Απαράδεκτη κατάσταση
81	
80	Πολύ θορυβώδης κατάσταση
79	
78	
77	Θορυβώδης κατάσταση
76	
75	
74	
73	Σχεδόν ανεκτή κατάσταση
72	
71	
70	Καλή κατάσταση
69	
68	
<68	Άνετη κατάσταση

Πίνακας 7: Επιτρεπόμενα όρια θορύβου (dB) (ΤΕΕ, 2008α) [4]

1.2.4. Περιβαλλοντικός Θόρυβος

Περιβαλλοντικό Θόρυβο, ονομάζουμε το σύνολο των ανεπιθύμητων και επιβλαβών θορύβων που διαχέονται στο περιβάλλον από τις ηχητικές εκπομπές που προέρχονται από τις ποικίλες και πολύμορφες ανθρώπινες δραστηριότητες. Ο περιβαλλοντικός θόρυβος διακρίνεται σε τρεις βασικούς τομείς:

- Θόρυβος από μηχανολογικές εγκαταστάσεις κάθε μορφής, σταθερές ή κινητές
- Θόρυβος από τα Μ.Μ.Μ (μέσα μαζικής μεταφοράς)
- Αστικός Θόρυβος

Συγκεκριμένα σε αυτή την διπλωματική θα επικεντρώσουμε το ενδιαφέρον μας στον τομέα του μηχανολογικού θορύβου. [14]

1.2.4.1. Τομέας Μηχανολογικού Θορύβου

Μηχανολογικό Θόρυβο ορίζουμε τον παραγόμενο θόρυβο από την χρήση και λειτουργία κάθε είδους μηχανολογικών εγκαταστάσεων, σταθερών και κινητών. Ο Μηχανολογικός Θόρυβος διακρίνεται σε δύο κατηγορίες.

1.2.4.1.1. Μηχανολογικός Θόρυβος σταθερών πηγών εκπομπής

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει:

- i. Τα μηχανήματα που είναι εγκατεστημένα σε βιομηχανίες, βιοτεχνίες, καθώς και κάθε είδους επαγγελματικά εργαστήρια, όπως σιδηρουργεία, ξυλουργεία, κλπ.
- ii. Τα μηχανήματα που λειτουργούν σε καταστήματα υγειονομικού χαρακτήρα, όπως αρτοποιεία, εστιατόρια, bar, καφεενεία, Super Market, Ιατρικά Κέντρα, κλπ.
- iii. Όλων των ειδών συνεργεία οχημάτων
- iv. Όλων των ειδών κλιματιστικά μηχανήματα, τα οποία λειτουργούν σε επαγγελματικούς, οικιακούς και δημόσιους χώρους.

Βασική Νομοθεσία ελέγχου των επιπέδων αυτών, είναι τα όρια θορύβου που προβλέπει το Π.Δ 1180/81 (Πίνακας 8), ενώ για τους παραβάτες προβλέπεται η επιβολή προστίμου που καθορίζεται από τις διατάξεις του Ν.1650/86.

<u>Περιοχή</u>	<u>Ανώτατο Όριο Θορύβου</u> (dB)
Νομοθετημένες Βιομηχανικές περιοχές	70
Περιοχές όπου επικρατεί το βιομηχανικό στοιχείο	65
Περιοχές όπου επικρατεί εξίσου το βιομηχανικό και αστικό στοιχείο	55
Περιοχές όπου επικρατεί το αστικό στοιχείο	50

Πίνακας 8: Ανώτατα επιτρεπόμενα όρια θορύβου (dB) [5]

1.2.4.1.2. Μηχανολογικός Θόρυβος κινητών πηγών εκπομπής

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει κυρίως τα μηχανήματα των εργοταξίων. Επιγραμματικά αναφέρονται κομπρεσέρ αέρος, τσάπες, σφύρες, σκαπτικά μηχανήματα διαφόρων τύπων και οδοστρωτήρες.

Κατά την διάρκεια λειτουργίας των μηχανημάτων αυτών τα επίπεδα θορύβου είναι συνήθως πολύ υψηλά. Ο έλεγχος θορύβου αυτών, δεν μπορεί να συμπεριλήφθη στις διατάξεις του Π.Δ 1180/81 διότι τα επίπεδα εκπομπής θορύβου, σε αυτές τις περιπτώσεις διαφέρουν κατά μέσο όρο περίπου 50 dB. Είναι θεωρητικά δύσκολο αν όχι αδύνατον να ληφθούν ηχομονωτικά μέτρα, σε κινητές πηγές θορύβου, της τάξης των 50 dB.

1.2.4.2. Τομέας Θορύβου ΜΜΜ

Στον τομέα αυτό υπάγονται πηγές θορύβου που προέρχονται από την κυκλοφορία των μέσων μεταφοράς. Ενδεικτικά παραδείγματα είναι τα αυτοκίνητα (Ιδιωτικής ή Δημόσιας Χρήσης), μοτοσυκλέτες, φορτηγά, τρένα, δίκτυο σιδηροδρόμων και αεροδρόμια.

1.2.4.3. Τομέας Αστικού Θορύβου

Αστικό θόρυβο ορίζουμε τον θόρυβο που προέρχεται από τις κοινωνικές εκδηλώσεις των πολιτών (όπως ομιλίες, συγκεντρώσεις, συναυλίες). Ο αστικός θόρυβος αποτελεί ένα πρόβλημα που η επίλυση του είναι δύσκολο να αντιμετωπιστεί άμεσα με νομοθετικά μέτρα. Αφορά περισσότερο την ευαισθητοποίηση του κοινού, την παιδεία και την κουλτούρα του. Για την αντιμετώπιση αυτού υπάρχουν αστυνομικές διατάξεις περί τήρησης ωρών κοινής ησυχίας, κατά τις οποίες παρουσιάζεται μείωση του αστικού θορύβου.

1.3. Ηχοαπόσβεση

1.3.1. Απορρόφηση του ήχου από υλικά

1.3.1.1. Ορισμοί

Η απορρόφηση του ήχου από τα τοιχώματα είναι σημαντική για την ακουστική των χώρων και οφείλεται κυρίως σε δύο φαινόμενα:

- i. Καθώς το ηχητικό κύμα εισχωρεί στο υλικό που είναι συνήθως πορώδες, το μέσο διάδοσης (συνήθως ο αέρας), κατά την εκτέλεση των ταλαντώσεων, λόγω τριβών με το υλικό χάνει ενέργεια. Έχουμε δηλαδή μετατροπή ηχητικής ενέργειας σε θερμική.
- ii. Το ηχητικό κύμα διεγείρει προς ταλάντωση (και συνεπώς προσφέρει ενέργεια) τα μόρια του απορροφητικού υλικού, οπότε η ενέργεια του ηχητικού κύματος μειώνεται.

Ο συντελεστής απορρόφησης που εκφράζει την απορρόφηση, εξαρτάται από το είδος της επιφάνειας, και για την ίδια επιφάνεια από τη συχνότητα του ήχου και από τη γωνία πρόσπτωσης. Κατά τις πλείστες περιπτώσεις η γωνία πρόσπτωσης είναι άγνωστη ή μπορεί να μεταβάλλεται. Για το λόγο αυτό στην πράξη χρησιμοποιείται ο στατιστικός συντελεστής απορρόφησης a_{ST} . [2]

Ο στατιστικός συντελεστής απορρόφησης ορίζεται ως ο λόγος της απορροφούμενης ενέργειας από μία απείρων διαστάσεων επιφάνεια προς την προσπίπτουσα όταν το ηχητικό πεδίο είναι

διάχυτο. Η μέτρηση ενός τέτοιου συντελεστή είναι δύσκολη διότι ένα διάχυτο 100% πεδίο είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί. Αντί για το συντελεστή αυτόν χρησιμοποιείται ο **συντελεστής απορρόφησης κατά Sabine**, που υπολογίζεται με τοποθέτηση των προς μέτρηση υλικών σε ένα χώρο με υψηλή απορροφητικότητα όπου το πεδίο είναι σχεδόν 100% διάχυτο. [16]

Για τον πλήρη καθορισμό της ηχοαπορροφητικότητας μιας επιφάνειας καθορίζεται ο συντελεστής απορρόφησης για κάθε κεντρική συχνότητα 1/1 οκτάβας ή 1/3 οκτάβας με άνω και κάτω όρια τα 125 έως τα 8000 Hz αντίστοιχα.

Την απορρόφηση των επιφανειών τη μετράμε σε Sabine. Μια επιφάνεια με εμβαδόν 1 m^2 έχει απορροφητική ικανότητα 1 Sabine αν ο συντελεστής απορρόφησης είναι 1.

Τα απορροφητικά υλικά χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

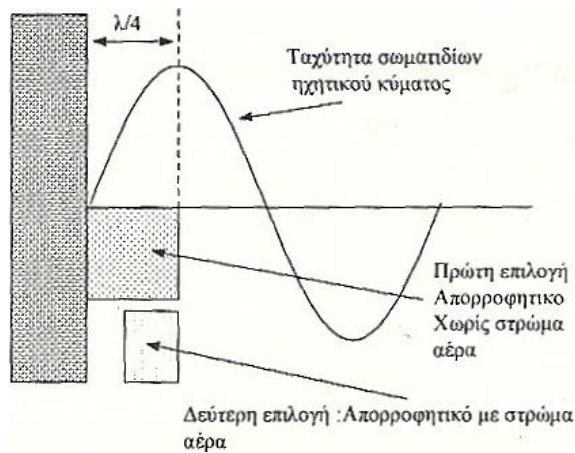
- i. Πορώδη
- ii. Απορροφητικά τύπου μεμβράνης
- iii. Συντονιστές

Τα προαναφερθέντα απορροφητικά υλικά, ονομάζονται παθητικοί απορροφητές, εν αντιθέσει με τους ηλεκτρονικούς απορροφητές που ονομάζονται ενεργητικοί απορροφητές και στους οποίους ο μηχανισμός απορρόφησης είναι διαφορετικός. [17] [18] [19]

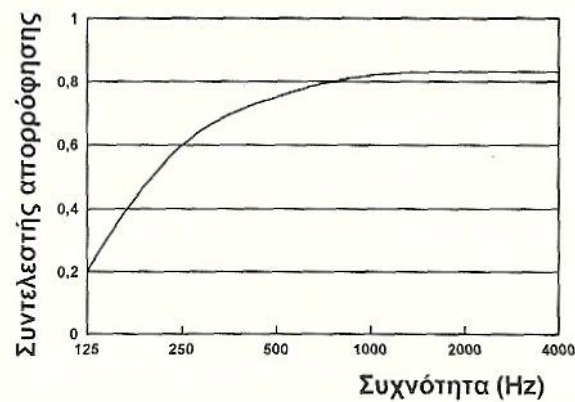
1.3.1.2. Πορώδη απορροφητικά υλικά

Στα πορώδη υλικά η απορρόφηση του ήχου είναι δυνατή με την βοήθεια των δυνάμεων τριβής που μετατρέπουν την ηχητική ενέργεια σε θερμότητα. Ο συντελεστής απορρόφησης των υλικών αυτών είναι ανάλογος των συχνοτήτων, άρα είναι μεγάλος για μεγάλες συχνότητες και μικρός για μικρές. Παράδειγμα τέτοιων υλικών είναι ο υαλοβάμβακας, πετροβάμβακας, τον οποίο θα χρησιμοποιήσουμε και στην πειραματική μας διάταξη.

Στα πορώδη απορροφητικά η απορρόφηση οφείλεται στην απώλεια ενέργειας λόγω τριβών καθώς ο αέρας κινείται στους πόρους. Εφ' όσον η τριβή είναι ανάλογη με τη δυναμική πίεση του κινούμενου αέρα, τα πορώδη υλικά προκαλούν μεγαλύτερη απορρόφηση όταν αυτά βρίσκονται σε θέσεις στις οποίες η ταχύτητα σωματιδίων του ηχητικού κύματος είναι μέγιστη.



Σχήμα 5: Απορροφητική ικανότητα συναρτήσει της απόστασης από τον τοίχο στα πορώδη υλικά {3}



Σχήμα 6: Τυπικός συντελεστής απορρόφησης πορώδων απορροφητικών {3}

Όταν το ηχητικό κύμα προσπίπτει σε σκληρή επιφάνεια (π.χ. μπετόν, μεταλλικό έλασμα – τοίχωμα αεραγωγού) σχηματίζονται στάσιμα κύματα σε αποστάσεις από την επιφάνεια $\lambda/4$, $3\lambda/4$ κλπ. Έτσι όταν το πορώδες υλικό (π.χ. ύφασμα) τοποθετηθεί σε επαφή με την ανακλαστική επιφάνεια όπου η ταχύτητα σωματιδίων είναι μικρή η απορρόφηση είναι αμελητέα. Αντίθετα μεγάλη απορρόφηση έχουμε όταν το ίδιο υλικό τοποθετηθεί σε απόσταση $\lambda/4$ (Σχήμα 5).

Εκτός από την απόσταση η απορροφητική ικανότητα των υλικών επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες ένας εξ' αυτών είναι η αντίσταση ροής που δίνεται από τη σχέση:

$$R_f = \frac{\Delta p}{u}$$

R_f : αντίσταση ροής

Δp : η διαφορά πίεσης στις δύο επιφάνειες του υλικού

u : η ταχύτητα σωματιδίων

Άλλος παράγοντας είναι το πορώδες των υλικών που ορίζεται από τη σχέση:

$$\Pi = \frac{V_{\pi}}{V}$$

Π : πορώδες υλικών

V_{π} : όγκος των οπών

V : συνολικός όγκος του υλικού

Η τιμή του συντελεστή απορρόφησης για ένα απορροφητικό υλικό μπροστά από μία σκληρή επιφάνεια σε απόσταση r από αυτήν δίνεται από τη σχέση:

$$\alpha(f) = \frac{4R_f}{\left(\frac{R_f}{\rho c} + 1\right)^2 + \cot^2\left(\frac{2\pi f r}{c}\right)^2}$$

$\alpha(f)$: συντελεστής απορρόφησης υλικού σε απορροφητικά υλικά

R_f : αντίσταση ροής

ρ : πυκνότητα

c : ταχύτητα του ήχου

r : απόσταση από μια σκληρή επιφάνεια

Η απορροφητική ικανότητα στα πορώδη απορροφητικά είναι ανάλογη με την συχνότητα και αυξάνει με αυτήν. Για υψηλές συχνότητες καταλήγει στην οριακή τιμή:

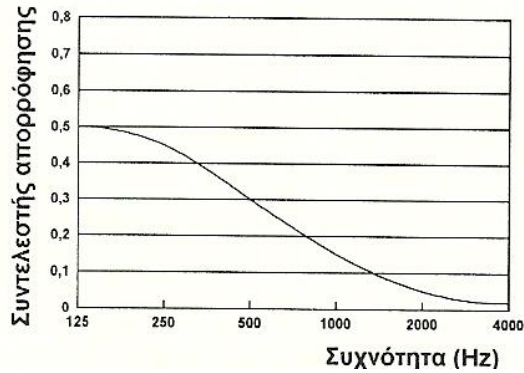
$$\alpha_{\infty} = \frac{4\Pi}{(1 + \Pi)^2}$$

α_{∞} : απορροφητική ικανότητα στα πορώδη υλικά

Π : πορώδες υλικών

1.3.1.3. Απορροφητικά τύπου μεμβράνης

Τα υλικά αυτά αποτελούνται από μία λεπτή μεμβράνη (συνήθως από ύφασμα) που βρίσκεται σε μικρή απόσταση από κάποιο σκληρό υλικό (πχ τοίχος, μεταλλικό έλασμα – τοίχωμα αεραγωγού). Όταν ο ήχος πέφτει στη μεμβράνη τότε τη διεγείρει σε ταλαντώσεις και η απώλεια της ηχητικής ενέργειας οφείλεται στην εσωτερική τριβή του υλικού. Ο συντελεστής απορρόφησης των υλικών αυτών είναι μεγάλος σε χαμηλές συχνότητες. Έχει ένα χαρακτηριστικό μέγιστο στην περιοχή όπου συμπίπτει με τη φυσική συχνότητα ταλάντωσης της μεμβράνης.



Σχήμα 7: Τυπικός συντελεστής απορρόφησης, απορροφητικών τύπου μεμβράνης {3}

Τα απορροφητικά αυτού του τύπου διεγείρονται από τον προσπίπτοντα ήχο σε ταλαντώσεις. Η συχνότητα συντονισμού των υλικών αυτών και συνεπώς η συχνότητα που η απορρόφηση γίνεται μέγιστη δίνεται από τη σχέση:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho c^2}{mL}}$$

f_r : συχνότητα συντονισμού απορροφητικών υλικών

m : η μάζα ανά μονάδα επιφάνειας σε Kg/m^2

L : η απόσταση από τον τοίχο σε μέτρα

ρ : η πυκνότητα του αέρα

c : η ταχύτητα του ήχου

Αν το υλικό είναι ελαστικό και επιτρέπει τη διάδοση καμπτικών κυμάτων η συχνότητα συντονισμού για αυτά τα απορροφητικά όταν καταλαμβάνουν ορθογώνια επιφάνεια δίδεται από τη σχέση:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho c^2}{mL} + \frac{\pi^4}{m} \left[\left(\frac{p}{a}\right)^2 + \left(\frac{q}{b}\right)^2 \right] \frac{Eh^3}{12(1 - \sigma^2)}}$$

ρ, q : αυθαίρετες σταθερές

E : το μέτρο του Young της μεμβράνης

h : μοριακή συγκέντρωση

σ : ο λόγος του Poisson

a : μήκος μεμβράνης

b : πλάτος μεμβράνης

Τα απορροφητικά τύπου μεμβράνης έχουν τις εξής ιδιότητες:

- i. Όσο πιο λεπτό το απορροφητικό τόσο μεγαλύτερη η απορρόφηση διότι δονούνται πιο εύκολα.
- ii. Τα μέγιστα της απορρόφησης βρίσκονται κάτω από τα 300 Hz και μετακινούνται σε χαμηλότερες συχνότητες καθώς το βάρος του υλικού αυξάνει.
- iii. Αν τοποθετηθεί πορώδες υλικό πίσω από τα απορροφητικά αυτά, διευρύνεται το μέγεθος απορρόφησης.

1.3.1.4. Συντονιστές

Ο συντονιστής (ή συνηχητής) στην πραγματικότητα είναι μία κοιλότητα στο υλικό όταν ο ήχος προσπίπτει στο στόμιο της κοιλότητας διεγείρει τον αέρα που βρίσκεται στο συντονιστή και η απώλεια ενέργειας οφείλεται και πάλι στις αποσβέσεις των ταλαντώσεων. Ο συντελεστής απορρόφησης των υλικών αυτών έχει ένα οξύ μέγιστο στις χαμηλές συχνότητες. Η συχνότητα συντονισμού της κοιλότητας δίνεται από τη σχέση:

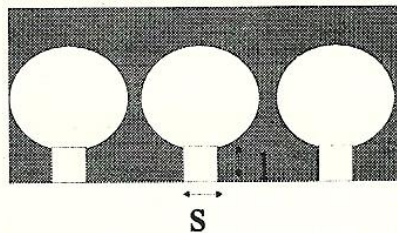
$$f_k = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{s_\lambda}{V_k l_\lambda}}$$

f_k : συχνότητα συντονισμού κοιλότητας

s_λ : το εμβαδόν της στένωσης

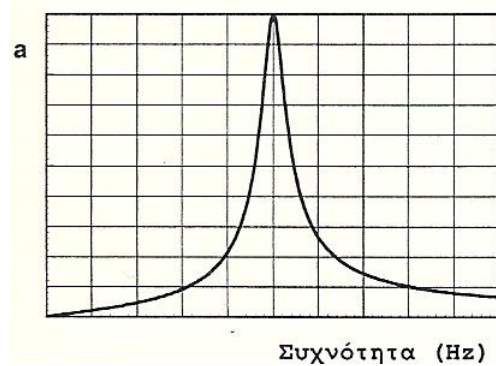
l_λ : το μήκος της στένωσης

V_k : ο όγκος της κοιλότητας



Σχήμα 8: Συντονιστές {3}

Ο συντονιστής συμπεριφέρεται ταλαντωτικά όπως το σύστημα ελατήριο - μάζα και ενδείκνυται για χώρους όπου υπάρχουν τόνοι χαμηλής συχνότητας. Ο συντονιστής ξαναεκπέμπει ήχο, ο οποίος όμως δεν είναι αισθητός δια ακοής διότι ο ρυθμός μείωσης του είναι μεγαλύτερος από αυτόν του δωματίου. Οι επανεκπεμπόμενοι ήχοι είναι αισθητοί δια ακοής μόνο στον ανοικτό χώρο. Υποστηρίζεται ότι τα αρχαία Ελληνικά και Ρωμαϊκά θέατρα είχαν τέτοιους συντονιστές κάτω από τα καθίσματα ώστε να δίδεται η αίσθηση της αντήχησης.

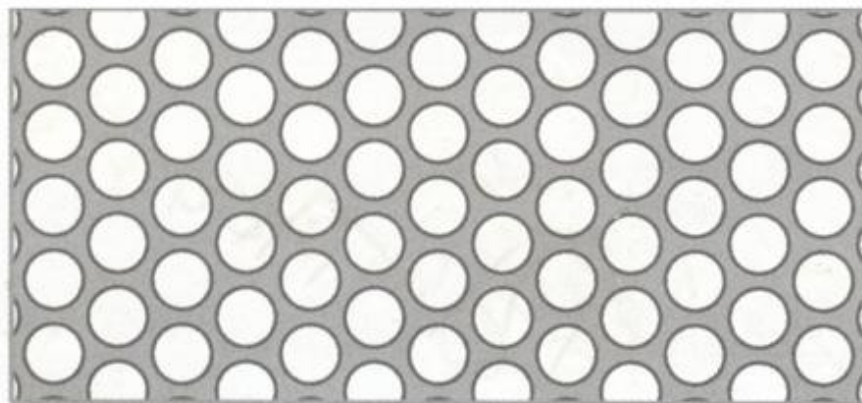


Σχήμα 9: Συντελεστής απορρόφησης {3}

1.3.1.5. Διάτρητες επιφάνειες

Οι διάτρητες επιφάνειες χρησιμοποιούνται συχνά για την απορρόφηση του ήχου τόσο σε κλειστούς όσο και σε ανοικτούς χώρους. Η κατασκευή τους γίνεται από διάφορα υλικά όπως το κόντρα πλακέ το hardboard, ελάσματα κλπ. Οι διατρήσεις μπορεί να είναι κυκλικές ή να έχουν σχήμα σχισμών. Κάθε οπή δρα σαν το λαιμό ενός συντονιστή Helmholtz.

Η συχνότητα συντονισμού των διάτρητων επιφανειών δίνεται από την σχέση που αναφέραμε και στους συντονιστές. Όταν είναι επιθυμητό να έχουμε το μέγιστο απορρόφησης σε διαφορετικές συχνότητες, τότε χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότερα είδη διατρήσεων στην ίδια ή σε διαφορετικές επιφάνειες. Η διάτρηση μπορεί να είναι συμμετρική ή τυχαία και το ποσοστό διάτρησης σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να υπερβαίνει το 20%, γιατί τότε η επιφάνεια είναι διαφανής ως προς τον ήχο.



Σχήμα 10: Διάτρητη επιφάνεια με κυκλικές οπές {5}

Αν Δ το ποσοστό διάτρησης που ορίζεται ως ο λόγος του εμβαδού των οπών προς το συνολικό εμβαδόν ανά μονάδα επιφάνειας, τότε η συχνότητα συντονισμού δίνεται από τη σχέση:

$$f_c = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\Delta}{L(l_\lambda + \delta_\lambda)}}$$

Δ : το ποσοστό διάτρησης

L : η απόσταση της επιφάνειας από τον τοίχο

l_λ : το μήκος του λαιμού κάθε τρύπας σε μέτρα

$\delta_\lambda = 0.8d$

d_λ : η διάμετρος του λαιμού

Αν στο εσωτερικό του συντονιστή υπάρχει απορροφητικό υλικό, τότε η καμπύλη συντονισμού πλαταίνει ενώ ταυτόχρονα μειώνεται η απορρόφηση στο μέγιστο της καμπύλης.

1.3.1.6. Ηλεκτρονικοί απορροφητές

Στους παθητικούς απορροφητές που αναφέρθηκαν παραπάνω ο μηχανισμός της απορρόφησης οφείλεται στην απ' ευθείας μετατροπή της ηχητικής ενέργειας σε θερμότητα. Οι ηλεκτρονικοί απορροφητές που ονομάζονται και ενεργητικοί απορροφητές έχουν σαν αρχή λειτουργίας την ακύρωση του ήχου με εκπομπή άλλου ήχου με αντίθεση φάσης προς τον αρχικό.

1.4. Έρευνα στον τομέα των ηχοπαγίδων

1.4.1. Επιστημονική μελέτη ηχοπαγίδων

Στα πλαίσια της βιβλιογραφικής αναζήτησης επάνω στο ιδιαίτερο αυτό αντικείμενο που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία δεν καταφέραμε να ήταν εφικτό να βρεθούν επιστημονικά άρθρα ή άλλες εργασίες με ίδιο αντικείμενο έρευνας. Αυτό είναι λογικό διότι το θέμα είναι αρκετά ιδιαίτερο. Αυτό που καταφέραμε να βρούμε κατά την αναζήτηση που πραγματοποιήθηκε είναι επιστημονικά άρθρα που αναφέρονται σε υπολογιστικές προσομοιώσεις και μαθηματικές σχέσεις που υπολογίζουν την απόσβεση του ήχου.

Οι W. Frommhold και F. P. Mechel στο άρθρο τους *Simplified Methods to Calculate the Attenuation of Silencers* που δημοσιεύτηκε στο *Journal of Sound and Vibration* [20], αναφέρουν ότι οι βασικές αρχές για τον υπολογισμό της απόσβεσης του ήχου εντός αεραγωγών είναι γνωστές εδώ και αρκετά χρόνια, αλλά απαιτείται μια αξιόπιστη προσεγγιστική μέθοδο για τον

υπολογισμό της. Στην εργασία τους δηλώνουν ότι σαφής προσεγγιστικές σχέσεις για τους σκοπούς αυτής της έρευνας είναι πολύ περιορισμένες σε εύρος και εγκυρότητα. Μια εξαίρεση σε αυτό είναι η διεύρυνση της εφαπτομένης ή συνάρτησης Bessel με την μέθοδο των συνεχών κλασμάτων. Έχουν αποδώσει μια σύντομη θεωρία για την απόσβεση ενός επίπεδου κύματος σε ηχοπαγίδες ορθογώνιας ή κυκλικής διατομής τόσο σε επιμήκη ορθογώνια ή κυλινδρικά ηχοστοιχεία αντίστοιχα καθώς και η επίδραση της μέσης ροής. Για την περίπτωση ηχοπαγίδων ορθογώνιας διατομής η υπερβατική εξίσωση μετατρέπεται σε αλγεβρική με την διευρυμένη μέθοδο συνεχών κλασμάτων. Έχουν αποδείξει ότι μια ρητή τετραγωνική λύση μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις, από τεχνική άποψη. Στην περίπτωση ηχοπαγίδων κυκλικής διατομής, το πρόβλημα ανάγεται και επιλύονται ρητά. Η διαδικασία ξεκινά είτε σε χαμηλές, είτε σε υψηλές συχνότητες, όπου είναι διαθέσιμες απλές ρητές λύσεις, χρησιμοποιώντας αυξομειώσεις της συχνότητας μη γραμμικές που κρατούν το προβλέψιμο σφάλμα ελάχιστο. Έγινε σύγκριση των υπολογιστικών τους αποτελεσμάτων με πειραματικά αποτελέσματα και προέκυψε ικανοποιητική ταύτιση των αποτελεσμάτων. Η επίδραση της μέσης ροής μπορεί επίσης να αξιολογηθεί από ένα συνδυασμό της μεθόδου πρόβλεψης με τη ρητή λύση της διευρυμένης μεθόδου συνεχών κλασμάτων. Η διαδικασία αυτή έχει δοκιμαστεί μόνο πειραματικά, και φαίνεται να είναι επαρκής για χαμηλούς αριθμούς Mach. [20]

Οι P. Brandstätt, W. Frommhold και F. J. Fisher στο άρθρο τους *Program for the Computation of Absorptive Silencers* που δημοσιεύτηκε στο *Applied Acoustics* [21], αναφέρουν ότι συχνά οι διαστάσεις μιας ηχοπαγίδας εξάγονται από καθορισμένες μετρήσεις, από μια βάση δεδομένων. Στην εργασία τους παρουσιάζουν ένα υπολογιστικό πρόγραμμα που επιτρέπει τον υπολογισμό των απωλειών παρεμβολής σε ηχοπαγίδες με ορθογωνικά ηχοστοιχεία. Αυτό γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε τα αποτελέσματά τους να είναι συγκρίσιμα με πειραματικά αποτελέσματα, που εξάγονται σύμφωνα το πρότυπο ISO 7235. Τα πειραματικά αποτελέσματα αναλύονται με τη μέθοδο της παλινδρόμησης, ώστε να ληφθούν στατιστικά στοιχεία για την απώλεια παρεμβολής και ανάκλασης αντιστοίχως. Εκθέτουν αλγόριθμους για τον υπολογισμό της απώλειας διάδοσης, η οποία οφείλεται στην απορρόφηση του υλικού του ηχοστοιχείου και βασίζεται στη θεωρία διάδοσης του ήχου σε αγωγούς ορθογώνιας διατομής. Η απορρόφηση περιγράφεται από την πολυπλοκότητα της διάδοσης και της αντίστασης του κύματος, που υπολογίζεται από την ειδική αντίσταση ροής του υλικού του ηχοστοιχείου. Η ροή θεωρείται ως ένας απλός παράγοντας που εξάγει καλά αποτελέσματα για μέτριες ταχύτητες ροής. Μετρήσεις του επιπέδου παρακμής κατά μήκος μιας διόδου του αέρα επαληθεύουν τα αποτελέσματα των υπολογισμών. Οι μετρήσεις του επιπέδου μείωσης κατά μήκος του διάκενου της ηχοπαγίδας επαληθεύουν τα αποτελέσματα των υπολογισμών. Προσεγγιστικές σχέσεις προέκυψαν για την απώλεια ανάκλασης των ηχοπαγίδων, η οποία οφείλεται στην ανάκλαση της εισόδου της ηχοπαγίδας, από τη βάση δεδομένων της απώλειας παρεμβολής, η οποία μετρήθηκε προηγουμένως στο IBP, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 7235. Η σύγκριση της απώλειας παρεμβολής, των υπολογισμών και των πειραματικών αποτελεσμάτων δίνει μια ικανοποιητική ταύτιση σε όλο το φάσμα των παραμέτρων των οποίων μας ενδιαφέρουν. Έτσι η ακρίβεια είναι καλύτερη από 15% σε τιμές dB σε όλο το φάσμα των

συχνοτήτων. Οι διαδικασίες υπολογισμού μεταφέρθηκαν στο υπολογιστικό πρόγραμμα CompAS που διαθέτει ένα φιλικό στο χρήστη περιβάλλον ώστε να σχεδιάσει ηχοπαγίδες. [21]

Οι Hyeon-Don Ju, Shi-Bok Lee, Weui-Bong Jeong και Byung-Hoon Lee στο άρθρο τους *Design of an acoustic enclosure with duct silencers for the heavy duty diesel engine generator set* που δημοσιεύτηκε στο *Applied Acoustics* [22], επικεντρώνουν το ενδιαφέρον τους σε ηλεκτροπαραγωγικά ζεύγη κινητήρα Diesel. Αυτά τοποθετούνται σε εγκαταστάσεις βαριάς βιομηχανίας, κατοικίες, δημόσια κτήρια κ.ο.κ. και μπορεί να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα θορύβου. Στην έρευνα τους, ένας χαμηλού θορύβου κινητήρα Diesel για ηλεκτροπαραγωγή εντάσσεται σε ακουστικό περίβλημα με ηχοπαγίδες αεραγωγών που αποσβένουν αποτελεσματικά τον θόρυβο και ταυτόχρονα έχουν καλή θερμική αγωγή. Το περίβλημα σχεδιάστηκε αρχικά από ακουστική σκοπιά σύμφωνα με τον κανόνα “τριών διαστάσεων του δεξιού χεριού”, ο οποίος αναπτύχθηκε συστηματικά μέσω διαδικασιών αριθμητικής ανάλυσης, βάση της μεθόδου (IBEM, Indirect Boundary Element Method) σε ένα εμπορικό κώδικα ακουστικής ανάλυσης. Η έρευνα τους πραγματεύεται την ακουστική και ψυκτική απόδοση ενός χαμηλού θορύβου κινητήρα Diesel. Μετά τον αρχικό σχεδιασμό του περιβλήματος με τον κανόνα “τριών διαστάσεων του δεξιού χεριού”, έγιναν βελτιώσεις στο Α-σταθμισμένο επίπεδο ηχητικής ισχύος, το οποίο είναι μικρότερο των 80dB σε συγκεκριμένη θέση διατήρησης του συστήματος και σε διαφορά θερμοκρασίας χαμηλότερη από το 10°C ανάμεσα στην ατμόσφαιρα και στο εσωτερικό του περιβλήματος. [22]

Οι Chao-Nan Wang, Chien-Ho Wu και Tzann-Dwo Wu στο άρθρο τους *A network approach for analysis of silencers with/without absorbent material* που δημοσιεύτηκε στο *Applied Acoustics* [23], προσπαθούν να καθιερώσουν μια γενική προσέγγιση, η οποία θα έχει την δυνατότητα να αναλύει την απόδοση των περισσοτέρων ηχοπαγίδων με ή χωρίς ηχοαπορροφητικό υλικό. Με την παραδοχή της διάδοσης του επίπεδου κύματος, λαμβάνονται οι τιμές μεταξύ των δύο άκρων ενός ευθύγραμμου αγωγού και ενός διάτρητου αγωγού. Με βάση την αρχή διατήρησης της μάζας και την ομοιόμορφη κατανομή της πίεσης στο χώρο, η ηχοπαγίδα διαμορφώνεται ως ένα δίκτυο που συντίθεται από τα δύο βασικά στοιχεία. Οι εξισώσεις αυτής της σύνθετης ηχοπαγίδας έχουν εξαχθεί και κατά συνέπεια η απώλεια μετάδοσης μπορεί επίσης να εξαχθεί. Γίνεται μια προσεγγιστική ταύτιση των αποτελεσμάτων με τις μεθόδους BEM, FEM και με πειραματικά αποτελέσματα, η οποία δείχνει την ευελιξία και την ακρίβεια του δικού τους σχεδιασμού. Περαιτέρω η παρούσα μέθοδος μπορεί επίσης να εφαρμοστεί για ηχοπαγίδες με πληρωτικό από απορροφητικό υλικό. Τα αναλυτικά αποτελέσματα δείχνουν ότι απορροφητικό υλικό θα μειώνει την απώλεια μετάδοσης σε συχνότητες συντονισμού, αλλά και θα αυξήσει τη συνολική ικανότητα απόσβεσης. [23]

1.4.2. Μελέτη ηχοπαγίδων από εταιρείες του χώρου

Για να πάρουμε περισσότερες πληροφορίες, επικεντρωθήκαμε στην ανεύρεση εταιριών οι οποίες ειδικεύονται στην κατασκευή ηχοπαγίδων τόσο εγχώρια όσο και στο εξωτερικό. Σκοπός μας ήταν να διερευνήσουμε πως οι εταιρίες αυτές μελέτησαν την απόσβεση των ηχοπαγίδων τους, δηλαδή με ποια μέθοδο και σε πια πρότυπα στηρίχτηκαν ώστε να εξάγουν τα αποτελέσματα τους. Ξεκινώντας από τις εταιρίες του εξωτερικού επισκεφτήκαμε τις επίσημες ιστοσελίδες των δυο πιο γνωστών εταιριών που εδρεύουν στην Γερμανία οι οποίες κατασκευάζουν ηχοπαγίδες, με επωνυμίες TROX και SCHAKO. Αναζητώντας πληροφορίες ανακαλύψαμε ότι για την κατασκευή και την μελέτη τους καθώς και την πιστοποίηση των προϊόντων τους, έχουν στηριχτεί στο πρότυπο ISO 7235 ενώ οι μετρήσεις για την πιστοποίηση των ηχοπαγίδων διεξήχθησαν σε αίθουσα αντήχησης, reverberation room. [24] [25]

Εφόσον πραγματοποιήσαμε την έρευνα μας στις δυο γερμανικές εταιρείες στρέψαμε το ενδιαφέρον μας στην εγχώρια ελληνική αγορά και στους ανταγωνιστές μας. Η εταιρεία Mechan engineering διεξάγει τις πιστοποιήσεις των τυποποιημένων ηχοπαγίδων και ηχοαπορροφητικών στομιών κατά το πρότυπο ISO 140-3 σε αίθουσα αντήχησης στο εργαστήριο των εγκαταστάσεων της. Η ALPHA ACOUSTIKI ειδικεύεται σε μετρήσεις προς ηχοαπόσβεση σε διάφορους χώρους καθώς και σε ηχοαπορροφητικά προϊόντα. Τα προϊόντα της τα πιστοποιεί σε συνεργασία με το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο σε αίθουσα αντήχησης αλλά δεν αναφέρει ποιο πρότυπο ακολουθεί. Η AIRTECHINC δεν αναφέρει με ποια μέθοδο διεξάγει τις πιστοποιήσεις τις παρά μόνο το τεχνικό εγχειρίδιο για τις κυλινδρικές ηχοπαγίδες μας γνωστοποιεί ότι ακολουθεί το πρότυπο ISO 7235. Τέλος η εταιρεία DynaDuct, έχει διεξάγει τις μετρήσεις, σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN ISO 7235 και ΕΛΟΤ EN ISO 11691. Οι ηχοπαγίδες της DynaDuct, πιστοποιήθηκαν το 2010 στο Α.Π.Θ. όπου εκδόθηκαν τα σχετικά πιστοποιητικά σύμφωνα με το DIN EN ISO 140-3:2005, (Acoustics - Measurement of sound insulation of building and of building elements - Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements (ISO 140-3:1995)) German version EN 20140-3:1995 + A1:2004 σε θάλαμο αντήχησης. [26] [27] [28] [29]

2. Μεθοδολογία

Για να μπορέσουμε να διεξάγουμε τις μετρήσεις για την ανάλυση ηχοαπόσβεσης, διερχόμενου αέρα και πτώσης πίεσης, χρειάζεται να κατασκευαστεί μια πειραματική διάταξη σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα ISO 7235 και ISO 5136. Σύμφωνα με αυτά τα πρότυπα δύο είναι οι τρόποι που πρέπει να διεξαχθούν οι μετρήσεις. Ο πρώτος είναι με χρήση θαλάμου αντήχησης, ενώ ο δεύτερος είναι με χρήση ανηχοϊκής σήραγγας. Λόγω έλλειψης θαλάμου αντήχησης οι μετρήσεις λήφθηκαν με τη χρήση ανηχοϊκής σήραγγας σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 5136. Ακολούθως εκθέτουμε αναλυτικά την μεθοδολογία υπολογισμού των διαστάσεων στα τμήματα της διάταξης της ανηχοϊκής σήραγγας. Εδώ αξίζει να επισημάνουμε ότι τα εκάστοτε τμήματα αεραγωγών και εξαρτημάτων που περιγράφονται είναι υπολογισμένα για μέγιστη διαγώνιο των υπό δοκιμή ηχοπαγίδων ίση με 0.78m και μήκος ηχοπαγίδας 1.50m. Επίσης οι αεραγωγοί που χρησιμοποιήθηκαν είναι κυκλικής διατομής διότι μας το επιβάλει το διεθνές πρότυπο ISO 5136 για την περίπτωση της ανηχοϊκής σήραγγας. Η επιλογή της διαμέτρου των κυκλικών αγωγών έγινε με σκοπό να είμαστε κοντά στις διαστάσεις δοκιμασμένης ανηχοϊκής σήραγγας και για λόγους διαθέσιμου χώρου στα εργαστήρια του Τμήματος, οπότε έγινε η επιλογή για αεραγωγούς διαμέτρου 0.4m.

Αναφορικά τα τμήματα της διάταξης είναι τα παρακάτω: [30] [31]

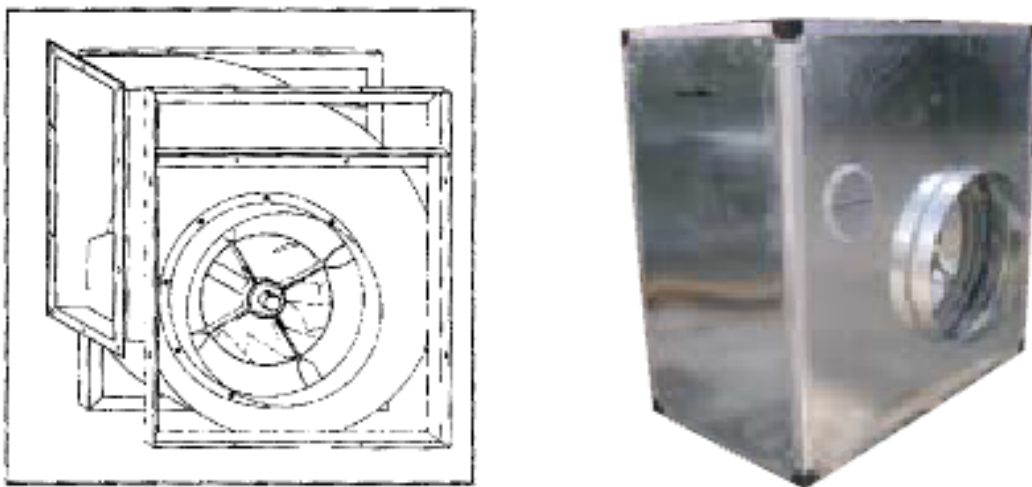
- i. Ανεμιστήρας
- ii. Κιβώτιο τοποθέτησης ηχείου
- iii. Modal φίλτρο
- iv. Αγωγός κυκλικής διατομής ομαλοποίησης της ροής
- v. Διαστολή και Συστολή (πριν και μετά την ηχοπαγίδα αντίστοιχα)
- vi. Ηχοπαγίδα
- vii. Κυκλικός αγωγός μετρήσεων
- viii. Ανηχοϊκή σήραγγα

Ακολούθως στο Παράρτημα Γ και στο Παράρτημα Ε περιλαμβάνονται το σχέδιο και οι φωτογραφίες αντίστοιχα, ολόκληρης της διάταξης και τμηματικά σχέδια που έπειτα των υπολογισμών και των υποδείξεων μας για τις διαστάσεις σχεδιάστηκε από τον μηχανικό της εταιρείας που μας παρέχει τα τμήματα της διάταξης στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD της Autodesk.

2.1. Ανεμιστήρας

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 7235, στην υποπαράγραφο 5.1 και σημείο α στην σελίδα 9 η ταχύτητα του αέρα στο διάκενο μεταξύ των ηχοστοιχείων της ηχοπαγίδας δεν πρέπει να ξεπερνά τα 20m/s, άρα $v_{max} = 20 \text{ m/s}$. Αντίστοιχα θεωρήσαμε ότι η ελάχιστη αισθητή ταχύτητα του ανέμου είναι κατά την περίπτωση του ενός Μποφόρ (Beaufort) δηλαδή σχεδόν άπνοια ή ελαφρό αεράκι. Το εύρος ταχύτητας του ενός Μποφόρ κυμαίνεται από 0.3 έως 1.6m/s με αποτέλεσμα να λάβουμε μια μέση τιμή $v_{min} = 0.95 \text{ m/s}$. Συνεπώς το εύρος των παροχών πρέπει να κυμαίνεται από 200 m³/h έως 11000 m³/h όπως φαίνεται στους υπολογισμούς της μέγιστης και της ελάχιστης παροχής αέρα στα σημεία 2.1.1.1 και 2.1.1.2 αντίστοιχα. Σε αυτό το σημείο θέλουμε να επισημάνουμε ότι το μικρόφωνο που διατίθεται στο Τμήμα και χρησιμοποιείται για τις μετρήσεις μας κατά την διάρκεια των πειραμάτων με ροή είναι τύπου foam ball Σύμφωνα με το πρότυπο ISO5136, στην υποπαράγραφο 1.1 και στην σελίδα 1 αναφέρει ότι ο συγκεκριμένος τύπος μικροφώνου μπορεί να καταγράψει έγκυρες μετρήσεις μέχρι 16 m/s. Έτσι η μέγιστη παροχή που επιθυμούμε είναι 8640 m³/h. Έπειτα από έρευνα αγοράς που πραγματοποιήθηκε για ανεύρεση ανεμιστήρα ώστε να καλύπτει αυτό το φάσμα παροχών, βρέθηκε ότι ο καταλληλότερος ανεμιστήρας που να πληροί αυτές τις προδιαγραφές, είναι ο ανεμιστήρας τύπου BSB 500CM με εύρος από 150 m³/h έως και 10000 m³/h. Με ένα αγωγό διαστολής ο οποίος θα εφαρμόζει στο στόμιο του ανεμιστήρα θα οδηγεί τον αέρα στον αεραγωγό. Ο ανεμιστήρας θα είναι τοποθετημένος σε μονωμένο κιβώτιο διαστάσεων 800 × 1100 × 1200 mm, ενώ η ρύθμιση των στροφών θα επιτυγχάνεται με χρήση inverter. [32]

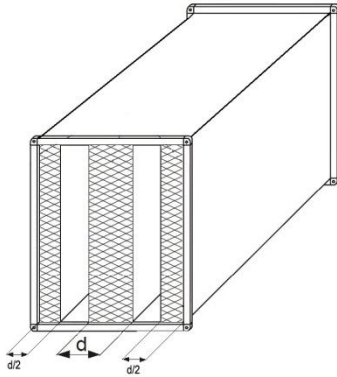
Το ενδιαφέρον των μετρήσεων μας επικεντρώνεται σε παροχές μεγαλύτερες των 2500m³/h, καθώς σημασία για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων έχουν οι ταχύτητες 10-15m/s στο διάκενο μεταξύ των ηχοστοιχείων της ηχοπαγίδας.



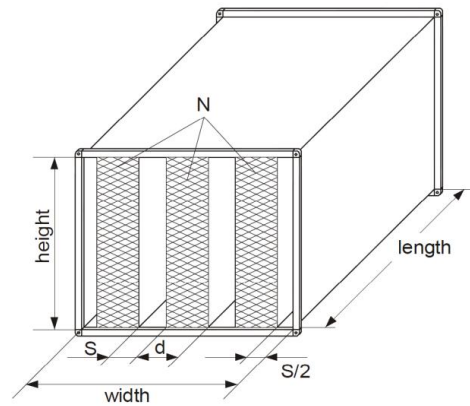
Σχήμα 11: Ανεμιστήρας τύπου BSB 500CM {6}

2.1.1. Παροχή αέρα

Η παραγόμενη παροχή αέρα από τους ανεμιστήρες εντός των αεραγωγών όπως αναφέρθηκε παραπάνω πρέπει να καλύπτει το εύρος από $200 \text{ m}^3/\text{h}$ έως $11000 \text{ m}^3/\text{h}$. Σύμφωνα με τις μετρήσεις των ανταγωνιστικών εταιρειών παραγωγής ηχοπαγίδων και της χρήσης ηχοπαγίδων σε εγκαταστάσεις, η μέγιστη ταχύτητα του αέρα που θα συναντήσουμε στο διάκενο αέρα (airway) της ηχοπαγίδας είναι της τάξης των $v_{max} = 20 \text{ m/s}$. Αντίστοιχα θεωρήσαμε ότι η ελάχιστη αισθητή ταχύτητα του ανέμου είναι κατά την περίπτωση του ενός Μποφόρ (Beaufort) δηλαδή σχεδόν άπνοια ή ελαφρό αεράκι. Το εύρος ταχύτητας του ενός Μποφόρ κυμαίνεται από 0.3 έως 1.6 m/s με αποτέλεσμα να λάβουμε μια μέση τιμή $v_{min} = 0.95 \text{ m/s}$. Με βάση αυτούς τους περιορισμούς αναλύουμε ακολούθως πως καταλήξαμε στην μέγιστη και ελάχιστη παροχή που επιθυμούμε από τον ανεμιστήρα. Οι ηχοπαγίδες τύπου A και τύπου C θα αναλυθούν σε περαιτέρω τμήμα αυτού του κεφάλαιο.



Σχήμα 12: Ηχοπαγίδα τύπου A {7}



Σχήμα 13: Ηχοπαγίδα τύπου C {8}

Height (H): ύψος ηχοπαγίδας

Width (B): πλάτος ηχοπαγίδας

Length (L): μήκος ηχοπαγίδας

N: πλήθος ηχοστοιχείων

S: διάκενο μεταξύ ηχοστοιχείων

t_b : πλάτος ηχοστοιχείων

Η δυσμενέστερη περίπτωση που είναι δυνατό να εμφανιστεί σε σχέση με την παροχή του αέρα εμφανίζεται όταν το διάκενο μεταξύ των ηχοστοιχείων είναι μέγιστο. Σύμφωνα με αυτή την περίπτωση η ελεύθερη επιφάνεια διατομής της ηχοπαγίδας που συναντά ο αέρας είναι η μέγιστη των μετρητικών μας περιπτώσεων. Με βάση την Αρχή Διατήρησης Μάζας (Α.Δ.Μ.) η μείωση

της ελεύθερης επιφάνειας οδηγεί στην αύξηση της ταχύτητας του αέρα με αποτέλεσμα και την αύξηση της παροχής του. Ο υπολογισμός της παροχής του αέρα παρουσιάζεται στις πιο κάτω μαθηματικές σχέσεις.

2.1.1.1. Μέγιστη παροχή ανεμιστήρα

Συνολική επιφάνεια διατομής ηχοπαγίδας:

Η χειρότερη περίπτωση είναι κατά την τοποθέτηση της ηχοπαγίδας τύπου C, σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 7235 που αναφέρεται στην σελίδα 41, αυτής με ύψος 0.50m και πλάτος 0.60m.

$$S_T = B \times H = 0.60 \times 0.50 = 0.30\text{m}^2$$

Η μεγαλύτερη ελεύθερη επιφάνεια διατομής ηχοπαγίδας, θα την συναντήσουμε στην περίπτωση μέγιστης διατομής ηχοπαγίδας και ελάχιστου πλάτους ηχοστοιχείων ($t_b = 0.1\text{m}$). Άρα η μεγαλύτερη ελεύθερη επιφάνεια διατομής ηχοπαγίδας θα είναι:

$$A_{max} = S_T - N(t_b \times H) = 0.3 - 3(0.1 \times 0.5) = 0.15\text{m}^2$$

Η μέγιστη παροχή ανεμιστήρα εξάγεται από την ακόλουθη σχέση:

$$A_{max} \times v_{max} = 0.15\text{m}^2 \times 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Μέγιστη παροχή ανεμιστήρα σε $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

$$3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 10800 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 11000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

2.1.1.2. Ελάχιστη παροχή ανεμιστήρα

Συνολική επιφάνεια διατομής ηχοπαγίδας:

Η βέλτιστη περίπτωση είναι κατά την τοποθέτηση της ηχοπαγίδας τύπου A, σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 7235 που αναφέρεται στην σελίδα 41, αυτής με ύψος 0.60m και πλάτος 0.5m.

$$S_T = B \times H = 0.50 \times 0.60 = 0.30\text{m}^2$$

Η ελάχιστη ελεύθερη επιφάνεια διατομής ηχοπαγίδας, θα την συναντήσουμε στην περίπτωση μέγιστης διατομής ηχοπαγίδας και ελάχιστου πλάτους ηχοστοιχείων ($t_b = 0.2m$). Άρα η μικρότερη ελεύθερη επιφάνεια διατομής ηχοπαγίδας θα είναι:

$$A_{min} = S_T - N(t_b \times H) = 0.3 - 2(0.2 \times 0.6) = 0.06m^2$$

Η ελάχιστη παροχή ανεμιστήρα εξάγεται από την ακόλουθη σχέση:

$$A_{min} \times v_{min} = 0.06m^2 \times 0.95 \frac{m}{s} = 0.057 \frac{m^3}{s}$$

Ελάχιστη παροχή ανεμιστήρα σε $\frac{m^3}{h}$

$$0.057 \frac{m^3}{s} \times 3600 \frac{s}{h} = 205.2 \frac{m^3}{h} \approx 200 \frac{m^3}{h}$$

S_T : διατομή ηχοπαγίδας

H: ύψος ηχοπαγίδας

B: πλάτος ηχοπαγίδας

N: πλήθος ηχοστοιχείων

S: διάκενο μεταξύ ηχοστοιχείων

t_b : πλάτος ηχοστοιχείων

A_{max} και A_{min} : μέγιστη και ελάχιστη ελεύθερη επιφάνεια διατομής ηχοπαγίδας αντίστοιχα

v_{max} και v_{min} : μέγιστη και ελάχιστη ταχύτητα αέρα

2.1.2. Ηχοπαγίδα ανεμιστήρα

Λαμβάνοντας υπόψη τον περιορισμό του διεθνές προτύπου ISO 7235 στην σελίδα 18 και υποπαράγραφο 5.4.2.1, για μετρήσεις του παραγόμενου θορύβου, ο συνδεδεμένος αγωγός μετά τους ανεμιστήρες θα πρέπει να είναι εξοπλισμένος με ηχοπαγίδα. Η ηχοπαγίδα αυτή έχει ως σκοπό τη μείωση του θορύβου που γεννάται από τον ανεμιστήρα υπό μέτρηση τουλάχιστον 10dB λιγότερο. Άρα μπορούμε να μετρήσουμε τον ήχο που γεννάται (αν μειωθεί ο θόρυβος του ανεμιστήρα στα 10dB) από 20dB και πάνω. Βέβαια όσο αυξάνεται η ροή τόσο θα αυξάνει και αυτό το όριο.

Έχουμε λάβει από τους προμηθευτές ανεμιστήρων τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του ανεμιστήρα (τύπου BSB 500CM) για παροχές 2500 και 5400m³/h. Σε αυτές τις παροχές δίνεται ο θόρυβος που γεννάται από τον ανεμιστήρα που μας ενδιαφέρει ούτως ώστε να καταλήξουμε στην επιλογή της ηχοπαγίδας του ανεμιστήρα. Για 2500m³/h ο θόρυβος είναι 55dB, ενώ για

5400m³/h είναι 76dB. Οι ηχοπαγίδες παρουσιάζουν την μέγιστη απόσβεση στο σημείο που γεννάται ο μέγιστος θόρυβος, ο οποίος εξαρτάται από την παροχή του ανεμιστήρα και παρουσιάζει διακυμάνσεις ανάλογα με την συχνότητα. Για παροχή 2500m³/h ο μέγιστος θόρυβος της τάξης των 50dB εμφανίζεται στα 500Hz, ενώ για 5400m³/h ο μέγιστος θόρυβος της τάξης των 71dB εμφανίζεται στα 250Hz όπως παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α της διπλωματικής εργασίας. Η επιλεγόμενη ηχοπαγίδα της εταιρείας Schako έχει διάσταση 1200(πλάτος)×1000(ύψος)×2000(μήκος) με 4 ηχοστοιχεία πάχους 200mm. Οι αποσβέσεις στις προαναφερθείσες συχνότητες και για δεδομένες παροχές είναι 38dB και 45dB αντίστοιχα όπως παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β της διπλωματικής εργασίας. Άρα ο θόρυβος κατάντη της ηχοπαγίδας του ανεμιστήρα θα φτάσει στην καλύτερη περίπτωση τα 12dB και 26dB αντίστοιχα. Άρα εμείς θα μπορούμε να μετρήσουμε ηχοπαγίδα με θόρυβο από 12dB και πάνω. Θα πρέπει όμως να πάρουμε υπόψη και το θόρυβο που γεννά αυτή η ηχοπαγίδα. [33]

2.2. Κιβώτιο τοποθέτησης ηχείου

Οι περιορισμοί για τις διαστάσεις του κουτιού τοποθέτησης ηχείου εκθέτονται στις σελίδες 32-33 του προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO 7235. Το σχήμα 14 παριστάνει τους δυο εναλλακτικούς τρόπους κατασκευής του κιβωτίου (γωνιακής και ευθύγραμμης τοποθέτησης αγωγών). Λόγω της ιδιαιτερότητας του χώρου των εργαστηρίων επιλέξαμε το κιβώτιο που διαθέτει την γωνιακή διάταξη των αγωγών. Το πρότυπο θέτει δυο περιορισμούς για το τμήμα αυτό. Ο πρώτος αναφέρεται στις διαστάσεις που πρέπει να έχει το κιβώτιο, ενώ ο δεύτερος αναφέρεται στον χωροθέτηση του ηχείου εντός αυτού.

Ο πρώτος περιορισμός μας επιτάσσει η αναλογία της διαγωνίου του κυβικού κιβωτίου τοποθέτησης ηχείου, σε σχέση με την διάμετρο του αγωγού να είναι 5:1, ώστε να παρέχει κατάσταση ομοιόμορφης διάδοσης ήχου στην είσοδο της ηχοπαγίδας. Λόγω αυτού οι διαστάσεις του κιβωτίου ορίζονται από το πυθαγόρειο θεώρημα και είναι οι παρακάτω.

Εφόσον το κιβώτιο είναι κυβικού σχήματος όλα τα μήκη των ακμών του είναι ίσα, άρα η διαγώνιος κάθε έδρας του κουτιού μαζί με τις δυο ακμές της, θα σχηματίζει ένα ισοσκελές ορθογώνιο τρίγωνο. Εφόσον η αναλογία πρέπει να είναι 5:1 τότε η διαγώνιος θα έχει μήκος πενταπλάσιο της διαμέτρου του αγωγού, δηλαδή η διαγώνιος είναι $\delta = 0.4 \times 5 = 2m$.

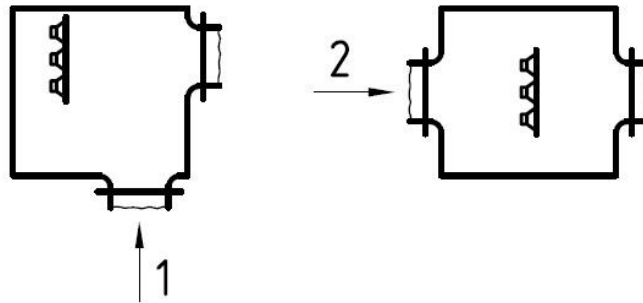
$$\delta = \sqrt{2a^2} \Leftrightarrow a = \frac{\delta}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}\delta}{2} = \frac{\sqrt{2} \times 2}{2} = \sqrt{2} = 1.41m \Leftrightarrow a = 1.41m$$

δ : η διαγώνιος κάθε έδρας του κιβωτίου

a : μήκος ακμών κιβωτίου (κύβου)

Ο δεύτερος περιορισμός επισημαίνει πως το ηχείο πρέπει να είναι τοποθετημένο με τέτοιο τρόπο μέσα στο κουτί ώστε το μεγάφωνο να “κοιτάει” την είσοδο της ηχοπαγίδας. Επιπλέον για να πληροί αυτό το περιορισμό, το ηχείο τοποθετήθηκε σε χωνευτή βάση κυκλικής διατομής, ώστε η κόρνα του ηχείου να είναι ομοαξονική με το κέντρο της εισόδου της ηχοπαγίδας.

Τέλος το πρότυπο αναφέρει ότι το κιβώτιο χρήζει εσωτερικής πλήρωσης με ηχομονωτικό υλικό. Το ηχομονωτικό υλικό είναι ίδιων χαρακτηριστικών με αυτό του modal filter, για το λόγο αυτό θα αναλυθεί πιο κάτω.



Σχήμα 14: Απεικόνιση του κουτιού τοποθέτησης ηχείου {9}

- 1: Ροή αέρα για γωνιακή τοποθέτηση
- 2: Ροή αέρα για ευθύγραμμη τοποθέτηση

2.3. Modal φίλτρο

Αμέσως μετά το κιβώτιο τοποθέτησης του ηχείου πρέπει να συνδεθεί αγωγός κυκλικής διατομής διαμέτρου 0.40m με εσωτερική μόνωση ή όπως αναφέρεται κατά το πρότυπο ISO 7235 modal φίλτρο. Το μήκος αυτού του τμήματος της διάταξης θα πρέπει να ικανοποιεί επίσης δύο προϋποθέσεις.

Η πρώτη προϋπόθεση αναφέρει ότι το μήκος του modal φίλτρου θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο της διαμέτρου του αγωγού ($d = 0.4m$).

Η δεύτερη προϋπόθεση επιβάλλει ότι το ελάχιστο μήκος του modal φίλτρου πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο του λόγου διαμέτρου αγωγού προς το συντελεστή απορρόφησης του μονωτικού υλικού στην ελάχιστη συχνότητα του. Από τον ακόλουθο πίνακα του ηχομονωτικού υλικού που χρησιμοποιήθηκε, υπολογίστηκε ο συντελεστής απορρόφησης ίσο με $a_s = 0.76$ για πάχος ίσο με 10mm.

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
10mm	0.76	1.11	1.16	1.04	1.07	1.09
100mm	0.90	1.12	1.07	1.05	1.07	1.05

Πίνακας 9: Συντελεστής απορρόφησης a_s για εύρος συχνοτήτων [6]

$$L_{min} = \frac{d}{a_s} = \frac{0.4}{0.76} = 0.5263 \approx 0.53m$$

L_{min} : ελάχιστο μήκος modal φίλτρου

d : διάμετρος αεραγωγού

a_s : συντελεστής απόσβεσης ηχομονωτικού υλικού

Σε αυτή την περίπτωση ο δεύτερος περιορισμός ικανοποιεί και τον πρώτο, για το λόγο αυτό επιλέγουμε ως μήκος του modal φίλτρου τα 0.53m.

2.4. Αγωγός κυκλικής διατομής ομαλοποίησης της ροής

Στην συνέχεια μετά την διάταξη του modal φίλτρου, τοποθετείται αγωγός κυκλικής διατομής, διαμέτρου 0.40m που είναι απαραίτητος για την ομαλοποίηση της ροής πριν την ηχοπαγίδα υπό δοκιμή. Σύμφωνα με τη σελίδα 18, υποκεφάλαιο 5.4.2.1 και τη σελίδα 26, υποκεφάλαιο 6.5.2.2.1 του προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO 7235, το μήκος αυτού του τμήματος της διάταξης θα πρέπει να ικανοποιεί ένα περιορισμό. Ο περιορισμός αναφέρει ότι το μήκος του αγωγού ανάντη της ηχοπαγίδας θα πρέπει να είναι τουλάχιστον $5d_e$ ή 2m (λαμβάνουμε το μέγιστο εκ των δυο). Όπου d_e είναι η ισοδύναμη διάμετρος και δίνεται από την σχέση:

$$d_e = \sqrt{\frac{4S_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \frac{\pi d^2}{4}}{\pi}} = \sqrt{d^2} = d$$

d_e : ισοδύναμη διάμετρος

S_1 : κυκλική διατομή αγωγού

Άρα

$$5d_e = 5d = 5 \times 0.4 = 2m$$

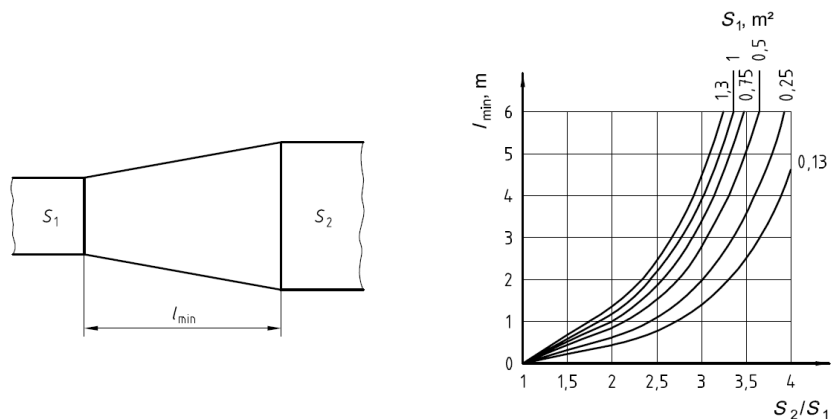
Από τα πιο πάνω καταλήγουμε ότι το μήκος του αγωγού ομαλοποίηση της ροής θα είναι ίσο με 2m. Μπορεί να χρειαστεί και κάποια διάταξη ομαλοποίησης της ροής μέσα σε αυτό το κομμάτι (flow straightener) αλλά μόνο για τις μετρήσεις με ροή.

2.5. Διαστολή και Συστολή (πριν και μετά την ηχοπαγίδα αντίστοιχα)

Οι κυκλικής διατομής ($d=0.4\text{m}$) αγωγοί ανάντη και κατάντη της ηχοπαγίδας, πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένοι, σταθερής και ίσης διατομής. Είναι προτιμότερο η διαγώνιος του αεραγωγού και της ηχοπαγίδας να έχουν το ίδιο μήκος. Σε περίπτωση που η διαγώνιος της ηχοπαγίδας και του αεραγωγού διαφέρουν, τότε είναι απαραίτητη η τοποθέτηση μεταβατικών τμημάτων (διαστολές - συστολές) εκατέρωθεν της υπό δοκιμή ηχοπαγίδας. Αυτά τα μεταβατικά τμήματα πρέπει να είναι αεροδυναμικά σχεδιασμένα με σκοπό την αποφυγή οποιασδήποτε διαταραχής στην ομαλοποιημένη ροή του αέρα. Για την επίτευξη του αεροδυναμικού σχεδιασμού πρέπει να πληρούνται κάποιοι περιορισμοί σύμφωνα τις σελίδες 19 και 34 του προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO 7235 ανάλογα με τις διαστάσεις της ηχοπαγίδας.

Σε περίπτωση σύνδεσης κυλινδρικών τμημάτων (αεραγωγού και κυλινδρικής ηχοπαγίδας), η γωνία που σχηματίζεται στην κορυφή του νοητού κώνου, αν προεκταθούν τα τοιχώματα των συστολών ή διαστολών θα πρέπει να είναι 10° .

Για διαφορετικού τύπου μεταβατικά τμήματα, όπως στην περίπτωση μας που η ηχοπαγίδα είναι ορθογωνικής διατομής το ελάχιστο μήκος l_{min} του τμήματος αυτού εξαρτάται από τις διαγραφόμενες διατομές στις δυο πλευρές του τμήματος. Η αναλογία της επιφάνειας των διατομών S_1 και S_2 δεν πρέπει να ξεπερνάει το 1 προς 4 ή το 4 προς 1 για την διαστολή και συστολή αντίστοιχα.



Σχήμα 15: Ελάχιστο μήκος l_{min} μεταβατικών τμημάτων σε συνάρτηση του λόγου S_2/S_1 [9]

Κατά την πειραματική μας διάταξη η δυσμενέστερη κατάσταση που εξετάζουμε, απαντάται όταν η διατομή της ηχοπαγίδας είναι η μέγιστη.

$$S_2 = B \times H = 0.6 \times 0.5 = 0.3m^2$$

$$S_1 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \times 0.4^2}{4} = 0.1256m^2$$

S_2 : Μέγιστη διατομή ηχοπαγίδας

S_1 : Διατομή κυκλικού αγωγού

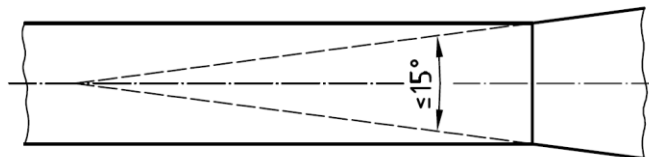
Άρα ο λόγος $\frac{S_2}{S_1} = \frac{0.3}{0.1256} = 2.389 < 4$

Από καμπύλες του παραπάνω διαγράμματος για τον πιο κάτω λόγο προκύπτει ότι το ελάχιστο μήκος πρέπει να είναι $l_{\min} = 0.8m$.

$$S_1 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \times 0.4^2}{4} = 0.1256m^2$$

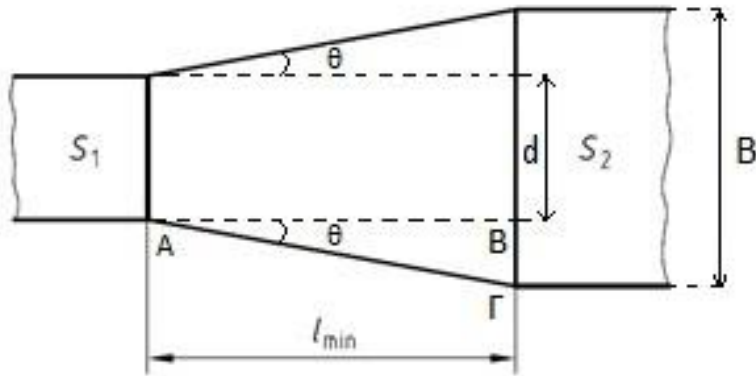
$$\frac{S_2}{S_1} = 2.389$$

Συνεχίζοντας στο Παράρτημα Β στο πρότυπο αναφέρεται και ένας άλλος περιορισμός που σχετίζεται με τα τμήματα μετάβασης (σελίδα 34 ΕΛΟΤ EN ISO 7235). Σε αυτό το σημείο επισημαίνεται ότι κατά τις μετρήσεις χωρίς ροή, είναι επιτρεπτό οποιοδήποτε σχήμα ή συντελεστής απορροφητικότητας για το μεταβατικό τμήμα, το οποίο μειώνει το συντελεστή ανάκλασης ώστε να μην υπερβαίνει τα επιτρεπτά όρια. Τα τμήματα της διαστολής και συστολής δεν θα πρέπει να παράγει ή να αναγεννά θόρυβο ροής με επίδραση στις μετρήσεις. Τα τοιχώματα αυτών των τμημάτων θα πρέπει να έχουν υψηλές απώλειες μεταφοράς με σκοπό την αποφυγή απωλειών ενέργειας του ήχου διαμέσου αυτών. Στην περίπτωση μας το μεταβατικό στοιχείο ενώνει μια κυλινδρική με μία ορθογωνική διατομή. Σε αυτή την περίπτωση η γωνία που σχηματίζεται στην κορυφή του νοητού τριγώνου, αν προεκτείνουμε τα τοιχώματα των συστολών ή διαστολών δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τις 15° . Επίσης τα τοιχώματα του θα πρέπει να είναι σκληρά και άκαμπτα υπό την επίδραση του ήχου.



Σχήμα 16: Απεικόνιση κατάλληλου μεταβατικού στοιχείου {9}

Όπως διακρίνεται στο σχήμα 17, στο τρίγωνο ABΓ υπολογίζουμε την γωνία θ . Η γωνία θ αντιστοιχεί στο μισό της γωνία που παριστάνεται στο σχήμα 16 την οποία καθορίζει ο περιορισμός του κανονισμού και προκύπτει από τις αρχές της γεωμετρίας (εντός εκτός και επί ταύτα).



Σχήμα 17: Απεικόνιση μεταβατικού στοιχείου για υπολογισμό γωνίας θ {7}

$$B\Gamma = \frac{B - d}{2} = \frac{0.6 - 0.4}{2} = \frac{0.2}{2} = 0.1m$$

$$\tan(\theta) = \frac{B\Gamma}{l_{min}} = \frac{0.1}{0.8} = 0.125 \Rightarrow \theta = \tan^{-1}(0.125)$$

$$\theta = 7.13^\circ$$

$$2\theta \leq 15^\circ \Leftrightarrow (2 \times 7.13^\circ) \leq 15^\circ$$

$$\Leftrightarrow 14.26^\circ \leq 15^\circ$$

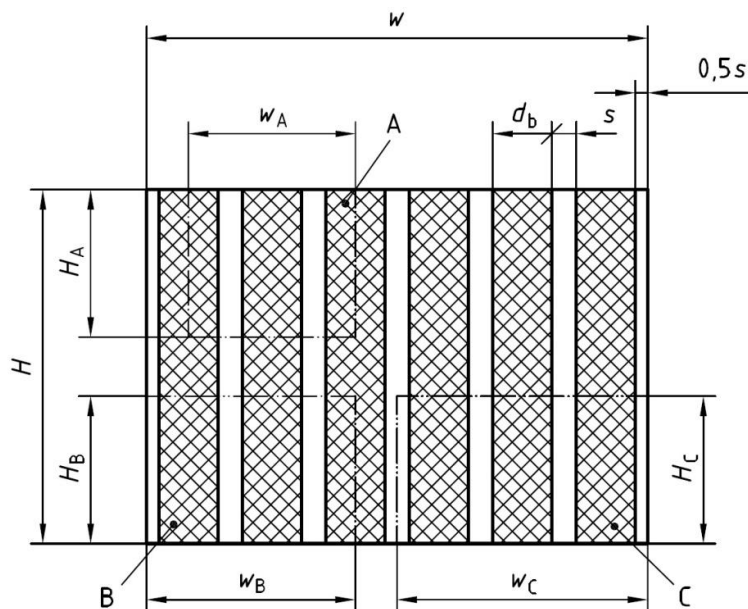
B: πλάτος ηχοπαγίδας

d: διάμετρος αεραγωγού

Με αυτό τον τρόπο επαληθεύεται αυτός ο περιορισμός και οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι το μήκος και η γωνία που σχηματίζεται είναι εντός των ορίων που προϋποθέτονται.

2.6. Ηχοπαγίδα

Το βασικότερο τμήμα της διάταξης μας που αποτελεί και το αντικείμενο μελέτης μας είναι η ηχοπαγίδα. Ο τρόπος με τον οποίο είναι δομημένη μια ηχοπαγίδα δεν είναι αυθαίρετος και ο τρόπος υπολογισμού των γεωμετρικών της χαρακτηριστικών αναλύεται στις σελίδες 41 και 42 του προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO 7235. Οι διαστάσεις μιας ηχοπαγίδας μπορεί να διαφέρουν κατά πολύ από μια άλλη, γι' αυτό το λόγο θα πρέπει να τοποθετείται στην διάταξη και να εξετάζεται μια ηχοπαγίδα κάθε φορά με βάση τις οδηγίες του συγκεκριμένου πρότυπου. Έτσι η κάθε ηχοπαγίδα έχει συγκεκριμένο πλάτος και ύψος που πρέπει να ελέγχονται, επίσης τα ηχοστοιχεία που τοποθετούνται μέσα σε αυτή έχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Σε καμία περίπτωση το ύψος της ηχοπαγίδας, υπό δοκιμή δεν μπορεί να είναι μικρότερο από το πάχος του ηχοστοιχείου. Επειδή όλοι οι τύποι ηχοπαγίδων πρέπει να πληρούν τις ίδιες προδιαγραφές σχετικά με τις διαστάσεις αυτών και των ηχοστοιχείων τους, στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα πρότυπο ηχοπαγίδας και ο τρόπος με τον οποίο μπορούμε να κάνουμε τομές σε αυτή την πρότυπη ηχοπαγίδα.



Σχήμα 18: Σχηματική απεικόνιση μιας πρότυπης ηχοπαγίδας και οι τρεις πιθανοί τρόποι τομής της {9}

Οι τρεις ελάχιστες απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται είναι: ο τύπος του ηχοστοιχείου (συμμετρικός ή όχι), το μήκος του ηχοστοιχείου και το πλάτος του διακένου (ολόκληρο ή μισό). Η συναρμογή των ηχοστοιχείων με τα τοιχώματα της ηχοπαγίδας (άνω και κάτω) πρέπει να είναι πλήρως επαπτόμενα.

Εδώ είναι ορθό να αναφέρουμε τις τρεις σημειώσεις που μας αναφέρει το πρότυπο.

Σημείωση 1: Ως σύνηθες ύψος των ηχοστοιχείων λαμβάνονται οι τιμές 500mm και 600mm.

Σημείωση 2: Γενικά τα ακριανά διάκενα ή ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας έχουν το μισό πλάτος σε σύγκριση με αυτά που βρίσκονται στο μέσο της ηχοπαγίδας.

Σημείωση 3: Συνηθίζεται να τοποθετούνται ελαστικά πληρωτικά υλικά (elastic fillers) μεταξύ του ηχοστοιχείου και των άνω τοιχωμάτων της ηχοπαγίδας ώστε η συναρμογή σε αυτά τα σημεία να είναι πλήρως εφραπτόμενη.

Σημείωση 4: Από τους τρόπους τομής που παρουσιάζονται στο σχήμα 18, μόνο το τρόπος C είναι επιτρεπτός για ασύμμετρα τοποθετημένα ηχοστοιχεία.

Για ηχοπαγίδα η οποία συμπεριλαμβάνει τοποθετημένα συμμετρικά τα ηχοστοιχεία:

- i. Πλάτος ολόκληρου ηχοστοιχείου μεταξύ δύο ολόκληρων πλατών διάκενων (όπως και στους τρεις τρόπους τομής).
- ii. Πλάτος ολόκληρου ηχοστοιχείου με μισό πλάτος διάκενου στην μεριά που κοιτάει στα τοιχώματα της ηχοπαγίδας και πλήρες πλάτος διάκενου στην άλλη μεριά (όπως στους τρόπους τομής B και C).
- iii. Μισού μήκος ηχοστοιχείου τοποθετημένο πλήρως εφραπτομενικά στα τοιχώματα της ηχοπαγίδας.

Για αεροδυναμικούς λόγους, είναι επιθυμητά ηχοστοιχεία πλήρους μήκους.

Στα πειράματα που διεξήχθησαν χρησιμοποιήθηκαν ηχοπαγίδες τομής τύπου A και τύπου C.

2.6.1. Υπολογισμός διαστάσεων ηχοπαγίδας τύπου A

Η όψη της ηχοπαγίδας τύπου A διακρίνεται στο σχήμα 12. Με βάση τις διαστάσεις διαθέσιμων ηχοπαγίδων στην αγορά, το πλάτος B της ηχοπαγίδας στον συγκεκριμένο τύπο κυμαίνεται από 500mm έως 800mm. Σύμφωνα με την Σημείωση 1 λαμβάνουμε ως συνηθέστερες τιμές για το ύψος τα 500mm και 600mm. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε λάβει την μέση τιμή αυτών των δύο και παράλληλα θεωρήσαμε ότι η διατομή της ηχοπαγίδας είναι τετραγωνική δηλαδή $B = H = 550m$. Με δεδομένα τα στοιχεία που παρατίθενται πιο πάνω η διαγώνιος διατομής της ηχοπαγίδας δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\delta_{\eta} = \sqrt{B^2 + H^2}$$

$$\delta_{\eta} = \sqrt{0.55^2 + 0.55^2} = 0.55\sqrt{2} = 0.7778 \approx 0.78m$$

Σε αυτό το σημείο επισημαίνεται ότι για την εξαγωγή των στοιχείων μας έχουμε θεωρήσει εμείς τα παρακάτω:

- i. Η διαγώνιος δ_{η} της διατομής της ηχοπαγίδας μένει σταθερή σε όλες τις περιπτώσεις.
- ii. Το πλάτος B της ηχοπαγίδας στον συγκεκριμένο τύπο κυμαίνεται από 500mm έως 800mm όμως το μέγιστο όριο του πλάτους στην περίπτωση μας, μπορεί να φτάσει έως 740 mm. Ο περιορισμός αυτός προκύπτει για τον εξής λόγο, όπως μας επιβάλλει το πρότυπο, το ύψος της ηχοπαγίδας πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το πάχος του ηχοστοιχείου. Θέτοντας λοιπόν κατώτατο όριο του ύψους τα 250mm (αφού $d=200\text{mm}$) το μέγιστο πλάτος θα είναι $B = \sqrt{\delta_{\eta}^2 - H^2} = \sqrt{780^2 - 250^2} = 738.85 \approx 740\text{mm}$.
- iii. Το πλάτος των ηχοστοιχείων θα είναι $t_b = 200\text{mm}$ και το πλήθος τους $N = 2$.

Σε αυτή την περίπτωση οι τιμές για το διάκενο μεταξύ των ηχοστοιχείων θα εξάγεται από την ακόλουθη σχέση:

$$S = \frac{B - (N \times t_b)}{N}$$

Σε αυτή την περίπτωση οι τιμές για το πλάτος της ηχοπαγίδας εξάγεται από την ακόλουθη σχέση:

$$B = N(S + t_b)$$

Τέλος οι τιμές για το ύψος της ηχοπαγίδας θα εξάγεται από την ακόλουθη σχέση:

$$H = \sqrt{\delta_{\eta}^2 - B^2}$$

δ_{η} : διαγώνιος διατομής ηχοπαγίδας

H : ύψος ηχοπαγίδας

B : πλάτος ηχοπαγίδας

N : πλήθος ηχοστοιχείων

S : διάκενο μεταξύ ηχοστοιχείων

t_b : πλάτος ηχοστοιχείων

Τα αποτελέσματα αυτών των σχέσεων διακρίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

δ_{η} (mm)	H (mm)	$H_{\sigma\tau\rho}$ (mm)	B (mm)	S (mm)
780	246.5766	250	740	170
780	344.093	345	700	150
780	415.6922	415	660	130
780	473.2864	475	620	110
780	521.5362	520	580	90
780	562.8499	565	540	70
780	598.6652	600	500	50

Πίνακας 10: Στοιχεία διαστάσεων ηχοπαγίδας τύπου A [7]

Όπως είναι φανερό από τον πίνακα το ύψος της ηχοπαγίδας, στρογγυλοποιείται για κατασκευαστικούς λόγους.

2.6.2. Υπολογισμός διαστάσεων ηχοπαγίδας τύπου C

Η όψη της ηχοπαγίδας τύπου C διακρίνεται στο σχήμα 13. Με βάση τις διαστάσεις διαθέσιμων ηχοπαγίδων στην αγορά, το πλάτος B της ηχοπαγίδας στον συγκεκριμένο τύπο κυμαίνεται από 420mm έως 600mm. Σύμφωνα με την Σημείωση 1 λαμβάνουμε ως συνηθέστερες τιμές για το ύψος τα 500mm και 600mm. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε λάβει την μέση τιμή αυτών των δύο και παράλληλα θεωρήσαμε ότι η διατομή της ηχοπαγίδας είναι τετραγωνική δηλαδή $B = H = 550\text{m}$. Με δεδομένα τα στοιχεία που παρατίθενται πιο πάνω η διαγώνιος διατομής της ηχοπαγίδας δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\delta_{\eta} = \sqrt{B^2 + H^2}$$

$$\delta_{\eta} = \sqrt{0.55^2 + 0.55^2} = 0.55\sqrt{2} = 0.7778 \approx 0.78\text{m}$$

Σε αυτό το σημείο επισημαίνεται ότι για την εξαγωγή των στοιχείων μας έχουμε θεωρήσει εμείς τα παρακάτω:

- i. Η διαγώνιος δ_{η} της διατομής της ηχοπαγίδας μένει σταθερή σε όλες τις περιπτώσεις.
- ii. Οι οριακές τιμές του πλάτους όπως αναφέραμε και παραπάνω είναι 420mm έως 600mm.
- iii. Το πλάτος των ηχοστοιχείων θα είναι $t_b = 100\text{mm}$ και το πλήθος τους $N = 3$.

Σε αυτή την περίπτωση οι τιμές για το διάκενο μεταξύ των ηχοστοιχείων εξάγεται από την ακόλουθη σχέση:

$$S = \frac{B - (N \times t_b)}{N}$$

Σε αυτή την περίπτωση οι τιμές για το πλάτος της ηχοπαγίδας εξάγεται από την ακόλουθη σχέση:

$$B = N(S + t_b)$$

Τέλος οι τιμές για το ύψος της ηχοπαγίδας εξάγεται από την ακόλουθη σχέση:

$$H = \sqrt{\delta_\eta^2 - B^2}$$

δ_η : διαγώνιος διατομής ηχοπαγίδας

H: ύψος ηχοπαγίδας

B: πλάτος ηχοπαγίδας

N: πλήθος ηχοστοιχείων

S: διάκενο μεταξύ ηχοστοιχείων

t_b : πλάτος ηχοστοιχείων

Τα αποτελέσματα αυτών των σχέσεων διακρίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

δ_η (mm)	H (mm)	$H_{στρ}$ (mm)	B (mm)	S (mm)
780	498.3974	500	600	100
780	532.4472	535	570	90
780	562.8499	565	540	80
780	590.1695	590	510	70
780	614.817	615	480	60
780	637.1028	640	450	50
780	657.2671	660	420	40

Πίνακας 11: Στοιχεία διαστάσεων ηχοπαγίδας τύπου C [7]

Όπως είναι φανερό από τον πίνακα το ύψος της ηχοπαγίδας, στρογγυλοποιείται για κατασκευαστικούς λόγους.

2.7. Κυκλικός αγωγός μετρήσεων

Κατάντη της ηχοπαγίδας τοποθετείται αγωγός κυκλικής διατομής, διαμέτρου 0.40m που περιλαμβάνει τα όργανα μετρήσεων, που είναι απαραίτητα για να εξαχθούν τα αποτελέσματα που αναζητούμε. Η σύνδεση της εξόδου της ηχοπαγίδας και του κυκλικού αγωγού μετρήσεων γίνεται με το τμήμα της συστολής που αναλύθηκε πιο πάνω. Σύμφωνα, υποκεφάλαιο 5.2.4.3 του προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO 7235, το μήκος αυτού του τμήματος της διάταξης θα πρέπει να ικανοποιεί ορισμένους περιορισμούς.

Ο πρώτος περιορισμός επιτάσσει ότι το μήκος του αγωγού μετρήσεων πρέπει να είναι κατ' ελάχιστο το μισό του μέγιστου μήκους κύματος που θα εξεταστεί σύμφωνα με το πρότυπο ISO 7235.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

λ : μήκος κύματος

c : ταχύτητα διάδοσης του ήχου 343 m/s

Επειδή το μήκος κύματος είναι αντιστρόφως ανάλογο της συχνότητας, το μέγιστο μήκος κύματος αντιστοιχεί στην μικρότερη υπό εξέταση συχνότητα.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{343}{63} = 5.444m$$

Άρα

$$\frac{\lambda}{2} = 2.72m$$

Παρατήρηση:

Η ελάχιστη συχνότητα 63Hz είναι αυτή που εξετάζει η TROX, σύμφωνα με το πρότυπο 7235 στη παράγραφο 3.17 όπου αναφέρεται ότι οι συχνότητες ενδιαφέροντος κυμαίνονται από 50 Hz -10000 Hz.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{343}{50} = 6.86m$$

$$\frac{\lambda}{2} = 3.43m$$

Ο δεύτερος περιορισμός επιτάσσει ότι το μήκος του αγωγού μετρήσεων θα πρέπει να μην είναι μικρότερο από το τετραπλάσιο του διαγωνίου της ηχοπαγίδα δ_{η} . Η διαγώνιος της ηχοπαγίδας διατηρείται σταθερή σε όλες τις περιπτώσεις και είναι ίση με 0.78m

Οπότε

$$4 \times 0.78 = 3.12\text{m}$$

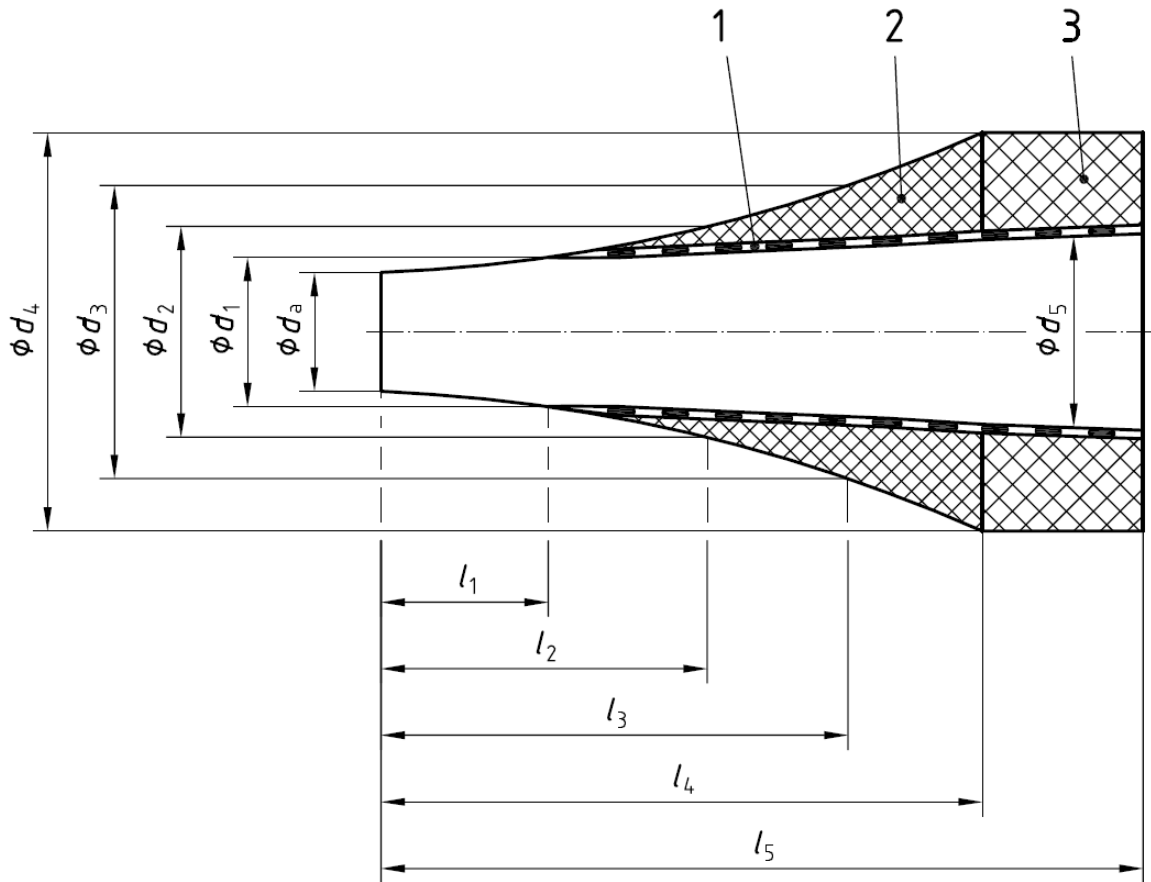
Για να πληροί και τις δύο προϋποθέσεις το μήκος του αγωγού όπου θα τοποθετηθούν τα μικρόφωνα πρέπει να είναι το λιγότερο 3.12m.

Παρατήρηση:

Στην περίπτωση που λάβουμε ως ελάχιστη συχνότητα τα 50 Hz τότε το μήκος του αγωγού που θα τοποθετήσουμε τα μικρόφωνα πρέπει να 3,43m το λιγότερο.

2.8. Ανηχοϊκή σήραγγα

Τελευταίο τμήμα της πειραματικής διάταξης, είναι η ανηχοϊκή σήραγγα. Ο τρόπος που μπορεί να κατασκευαστεί το τμήμα αυτό, ποικίλει. Στο Παράρτημα Ε του προτύπου ISO 5136 αναφέρονται αναλυτικά οι διάφοροι τρόποι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Παρακάτω θα αναλυθεί ο τρόπος που επιλέχθηκε για την κατασκευή της παρούσας ανηχοϊκής σήραγγας. Επιλέχθηκε αυτή η ανηχοϊκή σήραγγα γιατί πρώτον είναι απλή στην κατασκευή και δεύτερον έχει μικρότερο μήκος από τα υπόλοιπα σχέδια που παρατίθενται στο παραπάνω πρότυπο. Πιο κάτω διακρίνεται το σχέδιο της επιλεγείσας ανηχοϊκής σήραγγας καθώς και ο τρόπος υπολογισμού των διαστάσεων της.



Σχήμα 19: Σχηματική απεικόνιση ανηχοϊκής σήραγγας {10}

Επεξήγηση σχεδίου:

1. Διάτρητη λαμαρίνα με ποσοστό διάτρησης 58% της συνολικής της επιφάνειας.
2. Υαλοβάμβακας (fiberglass) πυκνότητας $24\text{kg}/\text{m}^3$
3. Υαλοβάμβακας (fiberglass) πυκνότητας $48\text{kg}/\text{m}^3$

<i>Εσωτερική διάμετρος αεραγωγού, d</i>			
d_1	$1,15 d$	l_1	$1,44 d$
d_2	$1,64 d$	l_2	$2,89 d$
d_3	$2,25 d$	l_3	$3,89 d$
d_4	$3,44 d$	l_4	$5,11 d$
d_5	$1,67 d$	l_5	$6,44 d$

Πίνακας 12: Τύποι υπολογισμού διαστάσεων ανηχοϊκής σήραγγας [8]

<i>Εσωτερική διάμετρος αεραγωγού $d=0.4m$</i>			
d_1	0.46m	l_1	0.58m
d_2	0.66m	l_2	1.16m
d_3	0.90m	l_3	1.56m
d_4	1.38m	l_4	2.04m
d_5	0.67m	l_5	2.58m

Πίνακας 13: Διαστάσεις ανηχοϊκής σήραγγας [7]

Προσοχή!

Τέλος οι αεραγωγοί θα πρέπει να κατασκευαστούν σύμφωνα με τις υποδείξεις που αναφέρονται στο Παράρτημα C του προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO 7235 για την αποφυγή θορύβου από τις πηγές που περιγράφονται.

Σε μια πειραματική διάταξη είναι απαραίτητο να περιορίσουμε τις πλευρικές απώλειες μετάδοσης του ήχου, που προκύπτουν από τα ακόλουθα φαινόμενα:

- i. Αποφυγή ήχων λόγω δονήσεων της διάταξης
- ii. Αποφυγή αεροδυναμικού θορύβου που γεννάτε στα τοιχώματα του αγωγού
- iii. Αποφυγή αεροδυναμικού θορύβου που γεννάτε στα ανοίγματα του αγωγού

Αποφυγή ήχων λόγω δονήσεων της διάταξης:

Σε γενικές γραμμές η συγκεκριμένη απώλεια θεωρείται η σοβαρότερη. Οι πλευρικές απώλειες κατά μήκος των τοιχωμάτων του αεραγωγού μπορούν να μειωθούν

- με χρήση υλικών για τα τοιχώματα, υψηλών εσωτερικών απωλειών, όπως οι δομές “sandwich”
- με διαίρεση της διάταξης σε τμήματα και ένωση αυτών χρησιμοποιώντας ελαστικά στρώματα (φλάντζες) στις ενώσεις

Αποφυγή αεροδυναμικού θορύβου που γεννάτε στα τοιχώματα του αγωγού:

Οι απώλειες αυτές μπορούν να αποφευχθούν, χρησιμοποιώντας αεραγωγούς με τοιχώματα μεγάλου πάχους ή/και διπλής επίστρωσης τοιχωμάτων με εσωτερικές απώλειες ήχου τουλάχιστον 30dB. Οι ακουστικές διαρροές πρέπει να αποτραπούν με αποτελεσματική στεγανοποίηση ακόμα και των μικρότερων ανοιγμάτων.

Αποφυγή αεροδυναμικού θορύβου που γεννάτε στα ανοίγματα του αγωγού:

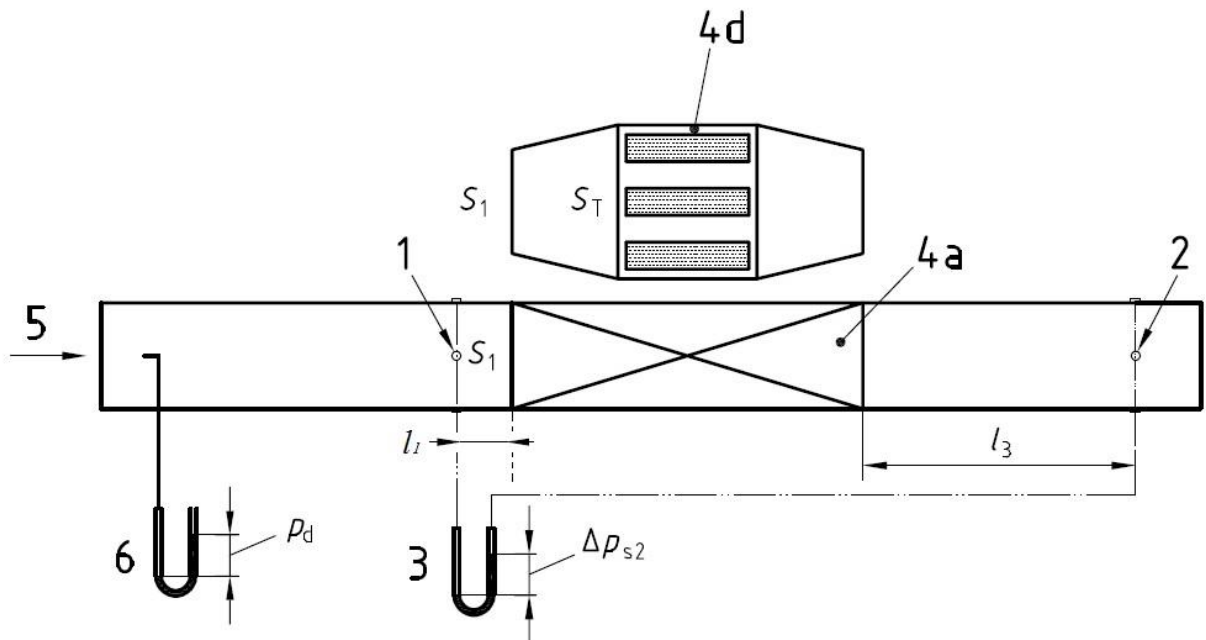
Αυτές οι απώλειες μπορούν να μειωθούν

- με τοποθέτηση της εισόδου και εξόδου του αγωγού σε διαφορετικά δωμάτια
- χρησιμοποιώντας “σιγαστήρες” ή υλικά με ανηχοϊκές απολήξεις υψηλής απορροφητικότητας.

2.9. Θέσεις μετρητικών οργάνων

2.9.1. Σημεία τοποθέτησης μανόμετρου

Όσο αφορά τα σημεία τοποθέτησης του μανόμετρου, οι αποστάσεις πριν και μετά την ηχοπαγίδα υπολογίζονται από τις διαδικασίες που αναφέρονται παρά κάτω και βρίσκονται στο υπόμνημα του Σχήματος (6b) του ISO 7235. Όπως διακρίνεται και στο ακόλουθο σχήμα φαίνονται τα σημεία τοποθέτησης των μανομέτρων.



Σχήμα 20: Σχηματική απεικόνιση σημείων τοποθέτησης μανομέτρων {9}

Επεξήγηση σχεδίου:

- | | |
|---|---|
| 1. Μέτρηση στατικής πίεσης ανάντη της ηχοπαγίδας | l_1 : απόσταση μέτρησης στατικής πίεσης ανάντη της ηχοπαγίδας |
| 2. Μέτρηση στατικής πίεσης κατόντη της ηχοπαγίδας | l_3 : απόσταση μέτρησης στατικής πίεσης κατόντη της ηχοπαγίδας |
| 3. Μανόμετρο | S_1 : Διατομή κυκλικού αγωγού |
| 4. Αγωγός που αντικαθίσταται (ηχοπαγίδα) | S_T : Διατομή ηχοπαγίδας |
| 4d. Ηχοπαγίδα με ενσωματωμένα τα μεταβατικά τμήματα | Δp_{s2} : Διαφορά στατικής πίεσης πριν και μετά την ηχοπαγίδα |
| 5. Διεύθυνση της ροής | p_d : Δυναμική πίεση |
| 6. Μέτρηση της ταχύτητας ροής | |

Περιορισμοί:

1. Απόσταση πιεζομετρικού δακτυλίου (τεσσάρων σημείων) κατόντη της ηχοπαγίδας

$$l_3 \geq 8(\sqrt{S_1} - \sqrt{S_T})$$

l_3 : απόσταση μανόμετρου κατόντη της ηχοπαγίδας

S_1 : διατομή του αεραγωγού

S_T : διατομή ηχοπαγίδας

Υπολογισμοί:

Η χειρότερη περίπτωση είναι κατά την τοποθέτηση της ηχοπαγίδας με την μεγαλύτερη διατομή, δηλαδή αυτής με ύψος 0.50m και πλάτος 0.60m.

$$S_T = BH = 0.60 \times 0.50 = 0.30\text{m}^2$$

Η διατομή του αεραγωγού παραμένει πάντα σταθερή, εφόσον η διαγώνιος της είναι 0.40m. Εφόσον ο αεραγωγός είναι κυκλικής διατομής η διατομή της εξάγεται από την ακόλουθη σχέση

$$S_1 = \pi r^2 = 3.14 \times 0.2^2 = 0.12566\text{m}^2$$

Άρα

$$l_3 \geq 8|(\sqrt{0.12566} - \sqrt{0.3})| \Rightarrow l_3 \geq 1.5459\text{m}$$

Παρατήρηση:

Για το λόγο ότι πάντα η διατομή της ηχοπαγίδας θα είναι μεγαλύτερη από αυτή του αεραγωγού η διαφορά τους χρησιμοποιήθηκε με απόλυτη τιμή και για τους

δύο τύπους A και C

2. Απόσταση πιεζομετρικού δακτυλίου (τεσσάρων σημείων) ανάντη της ηχοπαγίδας

Ανάντη της ηχοπαγίδας δεν αναφέρεται συγκεκριμένη απόσταση και για το λόγο αυτό ακολουθήθηκαν οι διαδικασίες που αναφέρονται στο υπόμνημα του Σχήματος (6a) του ISO 7235.

$$l_1 > 0.5t_b$$

l_1 : απόσταση μανόμετρου ανάντη της ηχοπαγίδας

t_b : πλάτος στοιχείου ηχοπαγίδας

Υπολογισμοί:

Η χειρότερη περίπτωση είναι κατά την τοποθέτηση της ηχοπαγίδας με $t_b = 0.2m$

$$l_1 > 0.5 \times 0.2 \Rightarrow l_1 > 0.1m$$

Αρα για ασφάλεια επιλέγεται 0.2m

$$l_1 = 0.2m$$

Συμπεράσματα:

- Θα χρειαστούν 4 οπές περιφερειακά του αγωγού (90° μεταξύ τους) σε απόσταση

$$l_1 = 0.2m \text{ πριν την διαστολή της ηχοπαγίδας}$$

- Θα χρειαστούν 4 οπές περιφερειακά του αγωγού (90° μεταξύ τους) σε απόσταση

$$l_3 = 1.55m \text{ μετά την συστολή της ηχοπαγίδας}$$

2.9.2. Σημεία τοποθέτησης του σωλήνα Pitot

Όσο αφορά τα σημεία τοποθέτησης του σωλήνα Pitot η απόσταση πριν την ηχοπαγίδα υπολογίζονται από τις διαδικασίες που αναφέρονται στο υπόμνημα του Σχήματος (6b) στη σελίδα 17 του ISO 7235. Για την τοποθέτηση του σωλήνα Pitot θα πρέπει να διανοιχτεί μια οπή κατά προτίμηση από την πάνω πλευρά του αεραγωγού, σε απόσταση 0.8m πριν τη διαστολή της ηχοπαγίδας (δηλαδή εντός του τμήματος του ομαλοποίητη ροής)

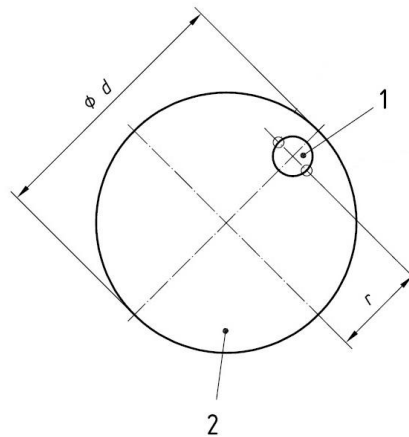
Συμπέρασμα:

- Θα χρειαστεί μια οπή στο επάνω μέρος σε απόσταση 0.8m πριν την διαστολή της ηχοπαγίδας

2.9.3. Διάταξη μικροφώνων

2.9.3.1. Μετρήσεις με ροή

Για τις μετρήσεις με ροή το μικρόφωνο θα πρέπει να τοποθετηθεί σε τουλάχιστον τρεις θέσεις κατανομημένες ίσα περιφερειακά στον αγωγό, δηλαδή σε θέσεις 120° όπως περιγράφεται στις σελίδες 20-21 του ISO 5136.



Σχήμα 21: Σημεία τοποθέτησης μικροφώνων για μετρήσεις με ροή {10}

Επεξήγηση σχεδίου:

1. Μικρόφωνο
2. Αεραγωγός

Η απόσταση r που αναγράφεται στη σελίδα 21 του ISO 5136 και είναι ευδιάκριτη στο σχήμα 21 εξάγεται από τα δεδομένα ανάλογα τον τύπου του μικροφώνου (foam ball) που δίδονται στον ακόλουθο πίνακα.

<u>Διάμετρος αεραγωγού</u> $d (m)$	<u>Σχετική ακτινική θέση από τον άξονα του αεραγωγού</u> $\frac{2r}{d} (m)$	
	Μικρόφωνο “sampling tube”	Μικρόφωνο “foam ball” ή “nose cone”
$0.15 \leq d < 0.5$	0.8	0.5
$0.5 \leq d < 2$	0.65	0.5

Πίνακας 14: Αξονικές θέσεις μικροφώνου [8]

Άρα θα πρέπει να είναι ίση με

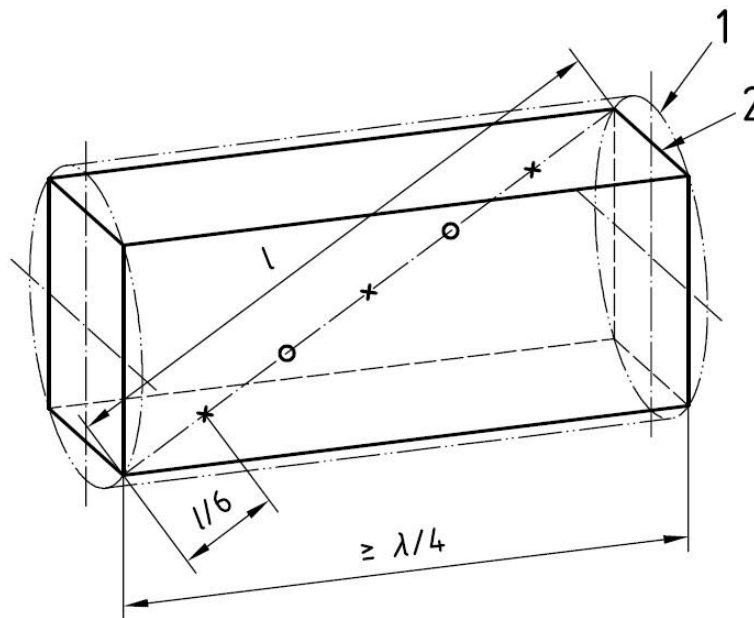
$$\frac{2r}{d} = 0.5 \Leftrightarrow \frac{2r}{0.4} = 0.5 \Leftrightarrow r = 0.1\text{m}$$

2.9.3.2. Μετρήσεις χωρίς ροή

Για τις μετρήσεις **χωρίς ροή** το μικρόφωνο θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να τοποθετείται σε 5 σημεία κατά μήκος της διαγωνίου που αναφέρεται στη σελίδα 23 του ISO 7235 και φαίνονται στο σχήμα 22. Εάν το τοπικό επίπεδο ηχητικής πίεσης μετράται στον αεραγωγό κατόπιν της ηχοπαγίδας, ο χωρικός μέσος όρος θα καθοριστεί από το επίπεδο ηχητικής πίεσης, μετρούμενο τουλάχιστο σε τρεις βασικές θέσεις καταναμημένες όπως φαίνεται στο σχήμα 22. Αν η διαφορά στο επίπεδο decibels, ανάμεσα στα υψηλότερα και χαμηλότερα επίπεδα των τριών βασικών θέσεων μέτρησης, υπερβαίνουν τις τιμές που παρατίθενται στον πιο κάτω πίνακα, τότε θα πρέπει να ληφθούν μετρήσεις από πέντε σημεία όπως προαναφέρθηκε. Το ελάχιστο μήκος του χώρου που θα τοποθετηθεί η διαγώνιος θα πρέπει να είναι το λιγότερο του ενός τέταρτου του μέγιστου μήκους κύματος που θα εξεταστεί σύμφωνα με το πρότυπο ISO 7235.

<u>Συχνότητα (Hz)</u>	<u>Μέγιστη διαφορά ηχητικών επιπέδων (dB)</u>
50	10
63	10
80	8
100	8
125	7
>160	6

Πίνακας 15: Μέγιστο διαφορά ηχητικών επιπέδων ανάμεσα στις βασικές θέσεις του μικροφώνου [9]



Σχήμα 22: Σημεία τοποθέτησης μικροφώνων για μετρήσεις χωρίς ροή {9}

Επεξήγηση σχεδίου:

1. Κυκλικής διατομής αεραγωγός
 2. Ορθογωνικής διατομής αεραγωγός
- × Βασικές θέσεις τοποθέτησης μικροφώνου
 - Επιπρόσθετες θέσεις τοποθέτησης μικροφώνου

$$\frac{\lambda}{4} = 1,361m$$

Παρατήρηση:

Η ελάχιστη συχνότητα 63Hz είναι αυτή που εξετάζει η TROX, σύμφωνα με το πρότυπο 7235, παράγραφο 3.17 όπου αναφέρεται ότι οι συχνότητες ενδιαφέροντος κυμαίνονται από 50 Hz -10000 Hz.

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343}{50} = 6,86m$$

$$\frac{\lambda}{4} = 1,715m$$

Η διαγώνιος τοποθέτησης του μικροφώνου θα πρέπει να βρίσκεται μετά το μέσο του μήκους του αγωγού τοποθέτησης του μικροφώνου.

Για τις δύο παραπάνω περιπτώσεις (με και χωρίς ροή) προτείνονται δύο εναλλακτικές λύσεις για την ενσωμάτωση των 2 διατάξεων.

Αποσπώμενη διαγώνιος (χωρίς ροή) και αποσπώμενη στεφάνη (με ροή) τοποθέτησης μικροφώνου. Έτσι είναι δυνατό να τοποθετούνται οι διατάξεις στον ίδιο αγωγό ανάλογα με τις μετρήσεις.

Δύο αποσπώμενοι αγωγοί μήκους $\frac{\lambda}{4}$ όπου στον πρώτο θα είναι τοποθετημένη η διαγώνιος και στον άλλο μόνιμες περιφερειακές θέσεις του μικροφώνου. Έτσι θα τροποποιείται μόνο αυτό το μήκος $\frac{\lambda}{4}$ για τις δύο παραπάνω περιπτώσεις (με και χωρίς ροή).

Παρατήρηση:

Η επιφάνεια των μικροφώνων, των θέσεων τοποθέτησης και των παρελκόμενων δεν πρέπει να ξεπερνάει το 5% της επιφάνειας διατομής του αγωγού

τοποθέτησης του μικροφώνου, όπως αναφέρεται στην τελευταία παράγραφο της σελίδας 14 του ISO 7235.

2.10. Προδιαγραφές μετρητικών οργάνων

2.10.1. Μικρόφωνο

Το μικρόφωνο ως μετρητής του επιπέδου του ήχου πρέπει να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις οργάνου Τύπου 1 που ορίζει το πρότυπο IEC 60651:2001, το οποίο απαιτείται από το πρότυπο ISO 5136 υποπαράγραφο 5.3.1.1, καθώς και στο πρότυπο ISO 7235 υποπαράγραφο 5.2.4.6. Επίσης το πρότυπο ISO 7235 υποπαράγραφο 5.2.4.6 αναφέρει ότι για μικρόφωνο που εξάγει ως αποτέλεσμα το ολοκλήρωμα του μέσου όρου των μετρήσεων είναι απαραίτητο η συσκευή να εναρμονίζεται με το πρότυπο IEC 60804:2000. Στο Τμήμα υπ'ήρχε διαθέσιμο μικρόφωνο της εταιρείας Metrel, όπως φαίνεται και στο σχήμα 23, τύπου A1151 (Κλάσης 2), το οποίο σύμφωνα με το εγχειρίδιο του στην σελίδα 4 είναι εναρμονισμένο το πρότυπο IEC 61672. Σε αυτό το σημείο επισημαίνουμε ότι στις 11 Ιουλίου του 2003 το πρότυπο IEC 60651:2001 έχει αποσυρθεί και έχει αντικατασταθεί από το ανανεωμένο το πρότυπο IEC 61672. Το παλιότερο πρότυπο εντάσσεται πλέον στους τομείς του νέου BS EN 61672-2:2003, BS EN 61672-1:2003. [34]



Σχήμα 23: Μικρόφωνο {11}

2.10.2. Καλώδιο μικροφώνου

Το καλώδιο του μικροφώνου πρέπει να τέτοιο ώστε η ευαισθησία του να μη μεταβάλλεται ανάλογα των μεταβολών θερμοκρασίας στο χώρο των μετρήσεων. Η διαμόρφωση του καλωδίου θα πρέπει να μην αλλοιώνει το σήμα που έχει παρθεί από το μικρόφωνο μέχρι το μετρητικό

όργανο. Για το λόγο αυτό παραγγέλθηκε από την εταιρεία Mertel, το κατάλληλο καλώδιο, που αρμόζει στο μικρόφωνο και κατάλληλη μετρητική συσκευή και να πληροί τις παραπάνω απαιτήσεις. Το επιλεγμένο καλώδιο A1145 είναι τύπου XLR 5pin, μήκους ενός μέτρου ώστε να μην υπάρχει αλλοίωση του σήματος όταν το διατρέχει.



Σχήμα 24: Καλώδιο μικροφώνου {12}

2.10.3. Συσκευή ανάλυσης σήματος

Η συσκευή ανάλυσης σήματος περιέχει φίλτρο για δέσμη του ενός τρίτου της οκτάβας το οποίο απαιτούν το πρότυπο ISO 5136 και στο πρότυπο ISO 7235. Η συσκευή αυτή πρέπει να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις που ορίζει το πρότυπο IEC 61260, το οποίο απαιτείται από το πρότυπο ISO 5136 υποπαράγραφο 5.3.2, καθώς και στο πρότυπο ISO 7235 και υποπαράγραφο 5.2.4.6. Το τμήμα διαθέτει συσκευή ανάλυσης σήματος της εταιρείας Metrel, όπως φαίνεται και στο σχήμα 25, τύπου FonS MI 6301, το οποίο σύμφωνα με το εγχειρίδιο του στην σελίδα 4 είναι εναρμονισμένο το πρότυπο IEC 61260. [35]



Σχήμα 25: Συσσκευή ανάλυσης σήματος {13}



Σχήμα 26: Πλήρες πακέτο συσκευής καταμέτρηση ήχου {14}

2.10.4. Ροόμετρο

Το πρότυπο ISO 7235 στην υποπαράγραφο 5.4.2.2 αναφέρει ότι το πρότυπο ISO 5221 περιλαμβάνει διάφορες μεθόδους για τις μετρήσεις του εύρους ροής εντός των αεραγωγών, οι οποίοι μπορεί να είναι είτε κυκλικής είτε τετραγωνικής διατομής. Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με αυτή τη συσκευή, που εναρμονίζεται στο πρότυπο ISO 5221, θέτοντας την παροχή μάζας, εφόσον γνωρίζουμε την πυκνότητα του αέρα ανάντη της ηχοπαγίδας, μπορεί να υπολογιστεί είτε η μέση ταχύτητα ροής είτε η παροχή όγκου του αέρα. Τα ροόμετρα δεν πρέπει να συγχέονται με την συσκευή μέτρησης του ήχου. Η μέτρηση της παροχής του αέρα διεξάγεται υπολογίζοντας τη διαφορά πίεσης των οργάνων (ράβδοι με οπές, σωλήνες Venturi, ακροφύσια), που είναι τοποθετημένα εντός αγωγών κυκλικής διατομής και περιγράφονται στο πρότυπο ISO 5167-1. Συνοψίζοντας τα μετρητικά όργανα θα πρέπει να εναρμονίζονται με το πρότυπο ISO 5221 και το πρότυπο ISO 5167. Όλα τα μετρητικά όργανα θα πρέπει να έχουν την ελάχιστη ακρίβεια που φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Volume flow rate, q_V m ³ /s	Relative error %
$0,07 < q_V \leq 7$	$\pm 2,5$
$0,007 < q_V \leq 0,07$	$\pm 5,0$

Πίνακας 16: Μετρητικό σφάλμα ροόμετρων [9]

Είναι διαθέσιμο σύστημα ροόμετρων το οποίο καταγράφει ηλεκτρονικά τις μετρήσεις. Το σύστημα αυτό διαθέτει όργανα της HK Instruments, καθετήρα FloXact-R400, σχήμα 27, το οποίο αναφέρεται σε αγωγούς κυκλικής διατομής 0.4m και μετρητικό όργανο παροχής και ταχύτητας DPT-FLOW-2000-AZ-D με εύρος μέτρησης 0Pa έως 2000Pa σχήμα 28. Το μετρητικό όργανο παροχής και ταχύτητας DPT-FLOW-2000-AZ-D λειτουργεί στο φάσμα που δίνεται στον ακόλουθο πίνακα. Σύμφωνα με το εργοστασιακό εγχειρίδιο της HK Instruments το διατιθέμενο ροόμετρο δεν είναι εναρμονισμένο με κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο αλλά αναφέρει ότι μπορεί να εναρμονιστεί σύμφωνα με οποιοδήποτε πρότυπο το οποίο περιγράφει την μεθοδολογία εγκατάστασης και βαθμονόμησης στην διάταξη. Μετά τη λεπτομερή μελέτη του προαναφερθέντος προτύπου, τα μετρητικά όργανα τοποθετήθηκαν στους αεραγωγούς. [36] [37]

Units	Range
m ³ /s	0.025-50
m ³ /hr	100-200,000
cfm	50-100,000
l/s	25-50,000
m/s	1-100
ft/min	2,000-20,000

Πίνακας 17: Κλίμακα εύρους δεδομένων καταγραφής ροόμετρων [10]



Σχήμα 27: Καθετήρας FloXact-R400 και τρόπος λειτουργίας {15}



Σχήμα 28: Μετρητικό όργανο παροχής και ταχύτητας DPT-FLOW-2000-AZ-D {16}

2.10.5. Μετρητικό όργανο πίεσης/Μανόμετρο

Το πρότυπο ISO 7235 στην υποπαράγραφο 5.4.2.5 αναφέρει ότι η πίεση εντός των αεραγωγών πρέπει να μετρηθεί με βαθμονομημένα όργανα. Το μέγιστο διάστημα κλίμακας δεν πρέπει να υπερβαίνει τις χαρακτηριστικές τιμές που συμπεριλαμβάνονται στον πίνακα 16 και είναι ανάλογες του εύρους πίεσης του μανόμετρου.

Pressure range	Maximum scale interval
p Pa	Δp Pa
$p \leq 25$	1,0
$25 < p \leq 250$	2,5
$250 < p \leq 500$	5,0
$p > 500$	25

Πίνακας 18: Μέγιστο διάστημα κλίμακας ανάλογα του εύρους πίεσης του μανομέτρου. [9]

Για μανόμετρα κάθετα τοποθετημένα στην διάταξη η ελάχιστη διαφορά πίεσης πρέπει να είναι 500Pa. Υπάρχει διαθέσιμο σύστημα μανόμετρου το οποίο καταγράφει ηλεκτρονικά της μετρήσεις. Το σύστημα αυτό διαθέτει όργανα της HK Instruments, καθετήρα FloXact-R400, σχήμα 29, ο οποίο απευθύνεται σε αγωγούς κυκλικής διατομής 0.4m, και μετρητικό όργανο

διαφοράς πίεσης DPT- 2500-R8-AZ-D. Το εύρος διαφοράς πίεσης που μπορεί να μετρήσει το όργανο διαφοράς πίεσης DPT- 2500-R8-AZ-D παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα. [38]



Σχήμα 29: Μετρητικό όργανο πτώσης πίεσης DPT -2500-R8-AZ-D {17}

Measurement ranges (Pa) (field selectable via jumper) (For optional units, see Specifications)	DPT250-R8 ±25, ±50, ±100, ±150 Pa 25, 50, 100, 250 Pa	DPT2500-R8 ±100, 100, 250, 500 Pa 1000, 1500, 2000, 2500 Pa	DPT7000-R8 1000, 1500, 2000, 2500 Pa 3000, 4000, 5000, 7000 Pa
Description	Model	Model	Model
Multi-range differential pressure transmitter	DPT250-R8	DPT2500-R8	DPT7000-R8
- with display	DPT250-R8-D	DPT2500-R8-D	DPT7000-R8-D
- with AZ	DPT250-R8-AZ	DPT2500-R8-AZ	DPT7000-R8-AZ
- with AZ & display	DPT250-R8-AZ-D	DPT2500-R8-AZ-D	DPT7000-R8-AZ-D
- with AZ & span point calibration	DPT250-R8-AZ-S		
- with AZ, display and span point calibration	DPT250-R8-AZ-D-S		

Πίνακας 19: Περιληπτικά στοιχεία μέτρησης διαφοράς πίεσης του μανομέτρου. [11]

2.10.6. Ηχείο

Το πρότυπο ISO 7235 στην υποπαράγραφο 5.2.2.2 αναφέρει ότι για την αποφυγή οποιασδήποτε φθοράς της συσκευής κατά την διάρκεια των μετρήσεων με ροή, θα πρέπει να υπάρχουν ανοίγματα για την εξισορρόπηση της πίεσης. Η ισχύς του ήχου που παράγεται από την συσκευή πρέπει να είναι επαρκής για να εξασφαλίσει ότι, στο εύρος συχνοτήτων ενδιαφέροντος και σε κάθε σημείο μέτρησης, το επίπεδο ηχητικής πίεσης θα είναι τουλάχιστον 6dB και κατά προτίμηση 10dB ανώτερο της στάθμης του θορύβου που επικρατεί στο χώρο. Επίσης το πρότυπο ISO 7235 στην υποπαράγραφο 3.17 καθώς και το πρότυπο ISO 5136 στην υποπαράγραφο 3.8 επισημαίνει ότι το φάσμα συχνοτήτων που μας ενδιαφέρει κυμαίνεται από 50Hz έως 10000Hz. Το πρότυπο ISO 5136 στην υποπαράγραφο 3.8, αναφέρει πληροφοριακά ότι το φάσμα συχνοτήτων μπορεί να επεκταθεί με άνω όριο τα 20000Hz. Για τους ανεμιστήρες που παράγουν κατά κύριο λόγο ήχους είτε υψηλής είτε χαμηλής συχνότητας, το εύρος συχνοτήτων που μετράται μπορεί να περιοριστεί εν προκειμένω να μειωθεί το κόστος της διάταξης. Τα νέα περιορισμένα όρια θα πρέπει να εμφανίζονται στην έκθεση παράδοσης. Το Τμήμα με αφορμή την συγκεκριμένη πειραματική διάταξη προμηθεύτηκε αυτοενισχυόμενο ηχείο της εταιρείας JBL (EON515XT) όπως διακρίνεται στο πιο κάτω σχήμα. Το ηχείο σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κατασκευαστή εκπέμπει σε εύρος συχνοτήτων 39Hz έως 20000Hz. Περιληπτικά το *frequency range* είναι το εύρος των συχνοτήτων που αναπαράγει ένα ηχείο και το *frequency response* είναι η απόκριση συχνότητας. Το συγκεκριμένο ηχείο, για τις συχνότητες

από 39-42Hz και 18-20kHz, αναπαράγει τον ήχο με ένταση ή πολύ μεγαλύτερη (+ 3dB) ή πολύ μικρότερη (-3dB) από ότι θα αναπαράγει στις υπόλοιπες συχνότητες. [39]

System Specifications:

System Type:	Self powered 15", two-way, bass-reflex
Maximum SPL Output:	132 dB
Frequency Range (-10 dB):	39 Hz -20 kHz
Frequency Response (± 3 dB):	42 Hz - 18 kHz
Input Connectors:	2 x 1/4" TRS phone jacks balanced/unbalanced 1 x XLR / 1/4" TRS combo jack with XLR loop through
Input Impedance:	14k ohms
Signal Indicators:	Limit: Red LED indicates limiter active condition Signal: Green LED indicates signal present Mic: Indicates the MIC/LINE switch is in the "MIC" position EQ: Individual Bass and Treble controls, center detent, 6 dB cut and boost Bass +/- 6 dB (200 Hz turnover frequency) Treble +/- 6 dB (4 kHz turnover frequency)
Mic Input Gain:	-Infinity to +40 dBu
Line Input Gain:	-Infinity to +4 dBu (+18 dBu maximum input level)
Limiter:	Yes
Amplification	
Amplifier Design:	Crown® Class-D
System Power Rating:	625 Watts (525 + 100)

Πίνακας 20: Κατασκευαστικές προδιαγραφές του αυτοενισχυόμενο ηχείου JBL (EON515XT) [12]



Σχήμα 30: Αυτοενισχυόμενο ηχείο JBL (EON515XT) {18}

2.10.7. Γεννήτρια τυχαίων ήχων (Random-noise generator)

Το πρότυπο ISO 7235 στην υποπαράγραφο 5.2.2.2 αναφέρει ότι μια γεννήτρια τυχαίων ήχων και ένας ενισχυτής θα πρέπει να είναι συνδεδεμένα με το μεγάφωνο σε ένα ηχομονωμένο κουτί. Επειδή το ηχείο που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτοενισχυόμενο δεν απαιτήθηκε η αγορά ενισχυτή, αλλά προμηθευτήκαμε μόνο τη γεννήτρια τυχαίων ήχων. Το Τμήμα με αφορμή την συγκεκριμένη πειραματική διάταξη προμηθεύτηκε γεννήτρια τυχαίων ήχων (random-noise

generator) της εταιρείας NTi AUDIO (MINIRATOR MR2) όπως διακρίνεται στο πιο κάτω σχήμα. [40]



Σχήμα 31: Random-noise generator NTi AUDIO (MINIRATOR MR2) {19}

Το εύρος συχνοτήτων της γεννήτριας είναι από 10Hz έως 20000Hz ενώ το αυτοενισχυόμενο ηχείο, μπορεί να παράγει ήχο συχνοτήτων από 39Hz έως 20000Hz. Αυτό σημαίνει ότι το σύνολο του εξοπλισμού μας μπορεί να παράγει ήχο συχνοτήτων από 39Hz έως 20000Hz το οποίο υπερκαλύπτει τα πρότυπα που απαιτούν φάσμα συχνοτήτων 50Hz έως 10000Hz. Όπως διακρίνεται στον παρακάτω πίνακα η γεννήτρια μπορεί να παράγει κυματομορφές “sound wave form” διαφόρων τύπων, για παράδειγμα “Sine, White Noise” κτλ.

		MR2	MR-PRO
Outputs		Balanced XLR, unbalanced RCA phantom power resistant	
Inputs		DC power supply, USB	DC power supply, USB XLR for cable test
Signal Wave Forms		Sine, Polarity Test Signal, Delay Test Signal, White Noise (crest factor, PAR* = 3.05 (9.7 dB)), Pink Noise (crest factor, PAR* = 4.5 (13.1 dB)), Gated Pink Noise (1 - 9 seconds), Wave File playback (MR-PRO)	
Wave File Format	Sampling frequency: Resolution: Output level:		48 kHz 16 Bit, Mono / Stereo 0 dBFS = 18 dBu (sine) acc. to EBU R68
Frequency Setting	Range: Increment: Accuracy:	10 Hz to 20 kHz in 1 digit steps 0.01%	
Stepped Sweep Function	Frequency range: Increment: Sweep speed:	freely selectable 1/1, 1/3, 1/6, 1/12 octave selectable 0.5 to 5 seconds	
Continuous Sweep (Chirp) Function	Frequency range: Increment: Chirp speed:	freely selectable Linear / Logarithmic 1 to 99 seconds per cycle	
Level Setting	Units: Increment:	dBu, dBV, V in 1 digit steps	dBu, dBV, V, dBFS, % in 1 digit steps (e.g. 0.1 dBu)
Output Level Ranges	Sine, Sweep, Chirp White Noise Pink Noise Polarity, Delay Test	-80 dBu to +8 dBu -80 dBu to +0 dBu -80 dBu to -2 dBu -80 dBu to +6 dBu	-80 dBu to +18 dBu -80 dBu to +10 dBu -80 dBu to +8 dBu -80 dBu to +16 dBu
Flatness	RL ≥ 600 Ohm	±0.5 dB	±0.2 dB @ 10 Hz to 12 kHz -0.1 dB / +0.3 dB @ 12 kHz to 20 kHz
Accuracy @ 1kHz		±0.5 dB	±0.2 dB

* PAR = peak-to-average ratio

Πίνακας 21: Κατασκευαστικές προδιαγραφές του RNG NTi AUDIO (MINIRATOR MR2) [13]

2.11. Πρωτόκολλα μετρήσεων

Μελετώντας με λεπτομέρεια τα πρότυπα, στις προηγούμενες παραγράφους παρατέθηκε ο τρόπος με τον οποίο πρέπει να κατασκευαστεί η πειραματική διάταξη, τα απαραίτητα όργανα που απαιτούνται για την λήψη των μετρήσεων καθώς και η θέση τους επί της διάταξης. Έχει γίνει εκτενής αναφορά τους περιορισμούς που απαιτούνται με βάση τα πρότυπα. Το μόνο που μένει για να είμαστε ακριβείς είναι να καθοριστεί ο τρόπος και τα στοιχεία που πρέπει να καταγράφουν τα μετρητικά όργανα. Το πρότυπο ISO 7235 στο κεφάλαιο 7 και το πρότυπο ISO 5136 στο κεφάλαιο 9 αναφέρει με συγκεκριμένα βήματα τις διαδικασίες που πρέπει να τηρήσουμε και τα στοιχεία που πρέπει να καταγράφονται. Σύμφωνα λοιπόν με τα προαναφερόμενα πραγματοποιήθηκε σύνταξη τυποποιημένων πλέον πρωτοκόλλων μετρήσεων για τις δυο βασικές περιπτώσεις μετρήσεων, δηλαδή με ή χωρίς ροή, τα οποία παρατίθενται ακολούθως. Τα πρωτόκολλα αυτά περιέχουν υπόμνημα με τις κατάλληλες διευκρινήσεις. [30] [31]

Πρωτόκολλο μετρήσεων (με ροή)

<u>Ανεμιστήρας</u>	
Τύπος ανεμιστήρα	
Παροχές ανεμιστήρα	
Ταχύτητες ανεμιστήρα	
Περιγραφή ανεμιστήρα	
Παρελκόμενα ανεμιστήρα	
<u>Συνθήκες λειτουργίας</u>	
Θερμοκρασία χώρου	
Υγρασία χώρου	
<u>Περιγραφή της υπό δοκιμή Ηχοπαγίδας</u>	
Τύπος ηχοπαγίδας	
Εφαρμογές ηχοπαγίδας	
Διεύθυνση ροής	
<u>Όργανα</u>	
<u>Μικρόφωνο</u>	
Κατασκευάστρια εταιρεία	
Τύπος	
Σειριακός αριθμός (Serial Number)	
Ημερομηνία πιστοποίησης καταλληλότητας σύμφωνα με τα πρότυπα	
Θέσεις εντός της διάταξης	
Μέθοδος βαθμονόμησης	
<u>Πιεσόμετρα</u>	
Κατασκευάστρια εταιρεία	
Τύπος	
Σειριακός αριθμός (Serial Number)	
Ημερομηνία πιστοποίησης καταλληλότητας σύμφωνα με τα πρότυπα	
Θέσεις εντός της διάταξης	
Μέθοδος βαθμονόμησης	
<u>Ροόμετρα</u>	
Κατασκευάστρια εταιρεία	
Τύπος	
Σειριακός αριθμός (Serial Number)	
Ημερομηνία πιστοποίησης καταλληλότητας σύμφωνα με τα πρότυπα	
Θέσεις εντός της διάταξης	
Μέθοδος βαθμονόμησης	

<u>Εξοπλισμός Παραγωγής Ήχου</u>	
Τύπος ηχείου	
Διαστάσεις ηχείου	
Τρόπος σύνδεσης του ηχείου με τον αγωγό ανάντη της ηχοπαγίδας	
Απόσβεση κατά μήκος του modal filter	
Συντελεστής ανάκλασης του ηχείου	
<u>Αγωγοί</u>	
Πάχος τοιχωμάτων αγωγού	
Μήκος αγωγού	
Διάμετρος διατομής αγωγού	
Υλικά αγωγού	
Δομή αγωγού	
Τρόποι περιορισμού παρεμβολών	
Θέση εξόδου της διάταξης	
<u>Ηχοπαγίδα</u>	
Πάχος τοιχωμάτων ηχοπαγίδας	
Μήκος ηχοπαγίδας	
Διάμετρος διατομής ηχοπαγίδας	
Υλικά ηχοπαγίδας	
Δομή ηχοπαγίδας	
<u>Μεταβάσεις</u>	
<u>Διαστολή</u>	
Πάχος τοιχωμάτων αγωγού	
Μήκος αγωγού	
Υλικά αγωγού	
Μέγιστη έγκλειστη γωνία	
Επιφάνεια διατομής εισόδου	
Επιφάνεια διατομής εξόδου	
<u>Συστολή</u>	
Πάχος τοιχωμάτων αγωγού	
Μήκος αγωγού	
Υλικά αγωγού	
Μέγιστη έγκλειστη γωνία	
Επιφάνεια διατομής εισόδου	
Επιφάνεια διατομής εξόδου	

<u>Ανηχοϊκή Σήραγγα</u>	
Συντελεστής ανάκλασης	
Μεταβατικά τμήματα σήραγγας	
<u>Αποτελέσματα μετρήσεων</u> ⁱ	
Στάθμη θορύβου χωρίς ηχοπαγίδα ⁱⁱ	
Στάθμη θορύβου με ηχοπαγίδα ⁱⁱⁱ	
Ολική πτώση πίεσης της διάταξης ^{iv}	
<u>Ακουστικά δεδομένα</u>	
Κυκλικές θέσεις μικροφώνου ^v	
Διόρθωση C_1 ^{vi}	
Διόρθωση C_2 ^{vii}	
Διόρθωση $C_{3,4}$ ^{vii}	
A-σταθμισμένο επίπεδο ηχητικής ισχύος (αν είναι απαραίτητο) ^{ix}	
<u>Αμοιβές συμφωνηθείσες μεταβολές</u>	
<u>Αβεβαιότητα Μετρήσεων</u> ^x	
<u>Ημερομηνία Μετρήσεων</u>	
Ημερομηνία	
Ωρα	

ⁱ Τα αποτελέσματα των δοκιμών πρέπει να παρουσιάζονται σε μορφή πίνακα, στρογγυλοποιημένα προς τον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό. Επίσης πρέπει να παρουσιάζονται σε γραφική μορφή συναρτήση της συχνότητας με 5mm στην τετμημένη που εκπροσωπούν το πλάτος της δέσμης του ενός τρίτου της οκτάβας, καθώς και 20mm στην τεταγμένη που αντιστοιχεί σε 10dB. Η κλιμάκωση με τον ίδιο συντελεστή και στους δύο άξονες της γραφικής μορφής είναι επιτρεπτή.

ⁱⁱ Καταγραφή της στάθμης θορύβου χωρίς την ηχοπαγίδα σε όλο το εύρος των ογκομετρικών παροχών.

ⁱⁱⁱ Καταγραφή της στάθμης θορύβου με την ηχοπαγίδα σε όλο το φάσμα των δεσμών συχνοτήτων και σε όλο το εύρος των ογκομετρικών παροχών.

^{iv} Καταγραφή της ολικής πτώσης πίεσης όπως αναφέρει το πρότυπο ISO 7235 στην υποπαράγραφο 5.4.1.1 και στη σελίδα 25 στην υποπαράγραφο 6.5.2)

^v Σύμφωνα με τις επιλογές που δίνει το πρότυπο ISO 5136 στην υποπαράγραφο 6. 2.2

^{vi} Διόρθωση απόκρισης του μικροφώνου και δίνεται από στα τεχνικά χαρακτηριστικά του μικροφώνου από τον κατασκευαστή όπως αναφέρει το πρότυπο ISO 5136 στην υποπαράγραφο 8.1

vii Διόρθωση απόκρισης της συχνότητας της “προστασίας” του μικροφώνου “foam ball” όπου θα χρησιμοποιήσουμε αναφέρετε στο πρότυπο ISO 5136 στην υποπαράγραφο 5.4.3.2. Για κάθε ζώνη ενδιαφέροντος θα πρέπει να καθορίζεται σε $\pm 0.5\text{dB}$ σε πεδίο επίπεδου κύματος το οποίο προσπίπτει στο μικρόφωνο από μπροστά.

viii Μέση ταχύτητα ροής - τυπική διόρθωση της “προστασίας” του μικροφώνου “foam ball” όπου θα χρησιμοποιήσουμε, αναφέρετε στο πρότυπο ISO 5136 στην υποπαράγραφο 5.4.3.3. Τα αλληλένδετα δεδομένα για τη μέση ταχύτητα ροής και την τυπική διόρθωση δεν είναι διαθέσιμα για το μικρόφωνο “foam ball”. Οι διορθώσεις για αυτού του τύπου μικρόφωνα (πανκατευθυντικά), υπολογίζονται να λαμβάνουν αρνητικές και μικρού μεγέθους τιμές, για το λόγο αυτό έχει θεωρηθεί ότι είναι ανεξάρτητες της συχνότητας για τους σκοπούς του προτύπου ISO 5136. Για ελεύθερη τυρβώδες ροή, η διόρθωση αυτή είναι συναρτήση της μέσης ταχύτητας ροής σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση.

$$C_{3,4} = 10 \log \frac{1}{\left(1 - \frac{U}{c}\right)^2} \text{dB}$$

U: μέση ταχύτητα ροής

U<0: για ανάντη μετρήσεις

U>0: για κατόντη μετρήσεις

c: ταχύτητα ήχου (υπό φυσιολογικές συνθήκες $c = 340 \text{ m/s}$)

ix Υπολογισμός A-σταθμισμένο επίπεδο ηχητικής ισχύος L_{WA} , αναφέρετε στο πρότυπο ISO 5136 στο Παράρτημα C σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση.

$$L_{WA} = 10 \log \sum_{j_{min}}^{j_{max}} 10^{0.1[(L_w)_j + C_j]} \text{dB}$$

$(L_w)_j$: είναι το επίπεδο της j-οστής εν τρίτο δέσμης οκτάβας

j_{max} : 27

C_j : δίνονται στο ακόλουθο πίνακα

j	One-third-octave-band centre nominal frequency Hz	C_j dB
1	50	-30,2
2	63	-26,2
3	80	-22,5
4	100	-19,1
5	125	-16,1
6	160	-13,4
7	200	-10,9
8	250	-8,6
9	315	-6,6
10	400	-4,8
11	500	-3,2
12	630	-1,9
13	800	-0,8
14	1 000	0
15	1 250	0,6
16	1 600	1
17	2 000	1,2
18	2 500	1,3
19	3 150	1,2
20	4 000	1
21	5 000	0,5
22	6 300	-0,1
23	8 000	-1,1
24	10 000	-2,5
25	12 500	-4,3
26	16 000	-6,6
27	20 000	-9,3

Πίνακας 1

^x Ο προσδιορισμός της ηχητικής ισχύος που γίνεται με τη χρήση του διεθνούς προτύπου ISO 5136 έχει την τάση να οδηγεί σε μια αβεβαιότητα του επιπέδου ακουστικής ισχύος που ορίζεται από τις τιμές της τυπικής απόκλισης επαναληψιμότητας που δίνονται στον πίνακα 2.

One-third-octave band centre frequency	Standard deviation of reproducibility, σ_R
Hz	dB
50	3,5
63	3
80 to 100	2,5
125 to 4 000	2
5 000	2,5
6 300	3
8 000	3,5
10 000	4

Πίνακας 2

Αυτές οι τυπικές αποκλίσεις αναφέρονται στις αθροιστικές επιπτώσεις όλων των παραγόντων αβεβαιότητας των μετρήσεων όπως είναι η θέση της πηγής, οι αντανακλάσεις του αγωγού, οι μεταβάσεις, η βαθμονόμηση του οργάνου και σφάλματα δειγματοληψίας. Οι τυπικές αποκλίσεις που παρατίθενται στον πίνακα αναφέρονται σε αποτελέσματα που διεξήχθησαν σε μια ηχοπαγίδα με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις σε διαφορετικά εργαστήρια. Οι μετρήσεις αυτές δεν περιλαμβάνουν μεταβολές της ηχητικής ισχύος που παράγονται από την ίδια την ηχοπαγίδα, όπως για παράδειγμα, που προκαλούνται από τις αλλαγές στον τρόπο τοποθέτησης. Σε κάθε μία από τις τρεις θέσεις μέτρησης που έχουν περιγραφεί οι στάθμες ηχητικής πίεσης πρέπει να μετρούνται για ίδιο χρονικό διάστημα. Για ζώνες συχνοτήτων μικρότερες ή ίσες με 160 Hz, ο χρόνος δειγματοληψίας πρέπει να είναι τουλάχιστον 30s. Για τις ζώνες συχνοτήτων μεγαλύτερες ή ίσες από 200 Hz, ο χρόνος δειγματοληψίας πρέπει να είναι τουλάχιστον 10s. Μπορεί να απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος δειγματοληψίας εάν ο ήχος μεταβάλλεται με το χρόνο. Το μέσο επίπεδο ηχητικής πίεσης πρέπει να καταγράφεται με ακρίβεια 0.1dB για κάθε ζώνη ένα τρίτο-οκτάβας στην περιοχή συχνοτήτων που μας ενδιαφέρει. Οι διαδικασίες του παρόντος διεθνούς προτύπου και οι τυπικές αποκλίσεις δίνονται στον Πίνακα 2 και ισχύουν για μετρήσεις σε ένα μεμονωμένο κομμάτι του εξοπλισμού. Ο χαρακτηρισμός των παρτίδων της ηχητικής πίεσης και τα αποτελέσματα εκφράζονται από πλευράς στατιστικής στα ανώτατα όρια. Η αβεβαιότητα των μετρήσεων μπορεί να μειωθεί με την προσεκτική κατασκευή της διάταξης, την εξάλειψη των αγωγών μετάβασης και με τη χρήση απορροφητικών υλικών στις συνδέσεις των αγωγών. Για μια συγκεκριμένη οικογένεια ηχητικών πηγών, παρόμοιου μεγέθους και με παρόμοιο φάσμα ηχητικής ισχύος, τυπική απόκλιση επαναληψιμότητας μπορεί να είναι μικρότερη από τις τιμές που δίνονται στον Πίνακα 2. Σε υψηλές συχνότητες, ιδιαίτερα πάνω από 4 000 Hz, τα δεδομένα τυπικής απόκλισης που δίδονται στον πίνακα 2 μπορεί να υποτιμούν τις πραγματικές τυπικές αποκλίσεις, όταν το φάσμα του θορύβου που μετράται μειώνεται γρήγορα σε σχέση με τη συχνότητα. Υπό αυτές τις συνθήκες, τα επίπεδα ηχητικής πίεσης υψηλών συχνοτήτων που λαμβάνονται από το μικρόφωνο μπορεί να είναι μικρού μεγέθους, σε σύγκριση με εκείνη των χαμηλών συχνοτήτων και ο ηλεκτρικός θόρυβος, ιδίως από τον αναλυτή συχνότητας, μπορεί να παρεμβαίνει με το σήμα ήχου σε αυτές τις υψηλές συχνότητες.

Σημείωση 1: Όταν υπολογίζονται τα επίπεδα ακουστικής ισχύος η αβεβαιότητα του κάθε επιπέδου οκτάβας δεν θα είναι μεγαλύτερη από εκείνη της αβεβαιότητας των τριών συνιστωσών μιας δέσμης τρίτο-οκτάβας.

Σημείωση 2: Για μια κανονική κατανομή, το 68% του συνόλου των δεδομένων που βρίσκονται εντός ενός διαστήματος $\pm\sigma_R$ και το 95% βρίσκονται εντός $\pm 2\sigma_R$.

Σημείωση 3: Η αβεβαιότητα αυξάνεται με την αύξηση των δυνάμεων στη ροή.

Σημείωση 4: Αν οι διακριτές συνιστώσες συχνότητας είναι εμφανείς, ή αν οι μετρήσεις δεν λαμβάνονται για ένα ικανοποιητικό χρονικό διάστημα όπως αναφέραμε παραπάνω, η αβεβαιότητα θα είναι μεγαλύτερη από εκείνη που αναφέρεται στον πίνακα.

Σημείωση 5: Όταν εμφανίζονται μεγάλες ταχύτητες ροής τότε το μικρόφωνο παρουσιάζει κάποια εσφαλμένη υψηλή τιμή. Αυτό αποφεύγεται με την χρήση κάποιων προστατευτικών μπροστά στο μικρόφωνο όπως για παράδειγμα μια μπάλα αφρού. Η μπάλα αφρού μειώνει τον αεροδυναμικό θόρυβο σε όλες τις διευθύνσεις. Οι τιμές της αβεβαιότητας στον πίνακα 2 αναφέρονται σε μικρόφωνο sampling tube, σε περίπτωση χρήσης άλλου τύπου μικροφώνου αναμένονται λίγο αυξημένες.

Σημείωση 6: Οι τυπικές αποκλίσεις που καταγράφονται στον Πίνακα 2 συνδέονται με τους όρους και τις διαδικασίες δοκιμής που ορίζονται στο Διεθνές Πρότυπο ISO 5136 και όχι με την ίδια την πηγή του θορύβου. Αυτές προκύπτουν εν μέρει από διαφορές μεταξύ των εργαστηριακών μετρήσεων όπως είναι η γεωμετρία της πειραματικής διάταξης, ο θόρυβος περιβάλλοντος, οι τυρβώδεις διακυμάνσεις της πίεσεως, και ο τρόπος βαθμονόμηση των οργάνων. Η αβεβαιότητα αυτή οφείλεται επίσης και στην τεχνική μέτρησης συμπεριλαμβανομένου του διαστήματος λήψης της μέτρησης.

Σημείωση 7: Σε εργαστήρια που χρησιμοποιούν παρόμοιες εγκαταστάσεις και εξοπλισμό τα αποτελέσματα για μια δεδομένη πηγή ήχου θα είναι σε μεγαλύτερη συμφωνία με τις τιμές που δίνονται στον πίνακα 2.

Μετρήσεις πάνω από 10000 Hz μπορούν να διεξαχθούν, αλλά δεν θεωρούνται εντός του Διεθνούς Προτύπου ISO 5136. Παρόλα αυτά οι τιμές της τυπικής απόκλισης κατ εκτίμηση παριστάνονται στον πίνακα 3.

One-third-octave band centre frequency Hz	Standard deviation of reproducibility, σ_R dB
12 500	4,5
16 000	5
20 000	5,5

Πίνακας 3

Πρωτόκολλο μετρήσεων (χωρίς ροή)

<u>Περιγραφή της υπό δοκιμή Ηχοπαγίδας</u>	
Τύπος ηχοπαγίδας	
Εφαρμογές ηχοπαγίδας	
Διεύθυνση ροής	
<u>Όργανα</u>	
<i>Μικρόφωνο</i>	
Τύπος	
Σειριακός αριθμός (Serial Number)	
Ημερομηνία πιστοποίησης καταλληλότητας σύμφωνα με τα πρότυπα	
Θέσεις εντός της διάταξης	
<i>Ροόμετρα</i>	
Τύπος	
Σειριακός αριθμός (Serial Number)	
Ημερομηνία πιστοποίησης καταλληλότητας σύμφωνα με τα πρότυπα	
Θέσεις εντός της διάταξης	
<u>Εξοπλισμός Παραγωγής Ήχου</u>	
Τύπος ηχείου	
Διαστάσεις ηχείου	
Τρόπος σύνδεσης του ηχείου με τον αγωγό ανάντη της ηχοπαγίδας	
Απόσβεση κατά μήκος του modal filter	
Συντελεστής ανάκλασης του ηχείου	
<u>Αγωγοί</u>	
Πάχος τοιχωμάτων αγωγού	
Μήκος αγωγού	
Διάμετρος διατομής αγωγού	
Υλικά αγωγού	
Δομή αγωγού	
Τρόποι περιορισμού παρεμβολών	
Θέση εξόδου της διάταξης	
<u>Ηχοπαγίδα</u>	
Πάχος τοιχωμάτων ηχοπαγίδας	
Μήκος ηχοπαγίδας	
Διάμετρος διατομής ηχοπαγίδας	
Υλικά ηχοπαγίδας	
Δομή ηχοπαγίδας	

<u>Μεταβάσεις</u>	
<i>Διαστολή</i>	
Πάχος τοιχωμάτων αγωγού	
Μήκος αγωγού	
Υλικά αγωγού	
Μέγιστη έγκλειστη γωνία	
Επιφάνεια διατομής εισόδου	
Επιφάνεια διατομής εξόδου	
<i>Συστολή</i>	
Πάχος τοιχωμάτων αγωγού	
Μήκος αγωγού	
Υλικά αγωγού	
Μέγιστη έγκλειστη γωνία	
Επιφάνεια διατομής εισόδου	
Επιφάνεια διατομής εξόδου	
<u>Ανηχοϊκή Σήραγγα</u>	
Συντελεστής ανάκλασης	
Μεταβατικά τμήματα σήραγγας	
<u>Αποτελέσματα μετρήσεων</u> ⁱ	
Μείωση θορύβου ⁱⁱ	
Όριο μείωσης ηχοπαγίδας συναρτήση της συχνότητας ⁱⁱⁱ	
Στάθμη θορύβου χωρίς ηχοπαγίδα ^{iv}	
Στάθμη θορύβου με ηχοπαγίδα ^v	
<u>Αβεβαιότητα Μετρήσεων</u> ^{vi}	
<u>Ημερομηνία Μετρήσεων</u>	
Ημερομηνία	
Ωρα	

ⁱ Τα αποτελέσματα των δοκιμών πρέπει να παρουσιάζονται σε μορφή πίνακα, στρογγυλοποιημένα προς τον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό. Επίσης πρέπει να παρουσιάζονται σε γραφική μορφή συναρτήση της συχνότητας με 5mm στην τετμημένη που εκπροσωπούν το πλάτος της δέσμης του ενός τρίτου της οκτάβας, καθώς και 20mm στην τεταγμένη που αντιστοιχεί σε 10dB. Η κλιμάκωση με τον ίδιο συντελεστή και στους δύο άξονες της γραφικής μορφής είναι επιτρεπτή.

ⁱⁱ Καταγραφή της μείωσης του θορύβου, στη δέση του ενός τρίτου της οκτάβας με κεντρική συχνότητα 50Hz έως 10000Hz (ή 100Hz έως 5000Hz όπως αναφέρει το πρότυπο ISO 7235 στην υποπαράγραφο 3.17) για όλες τις τιμές της παροχής όγκου. Η λήψη αποτελεσμάτων για θερμοκρασίες πέραν των ορίων των 250K έως 330K, ή/και για πιέσεις πέραν του εύρους $0.8 \times 10^5 Pa$ έως $1.2 \times 10^5 Pa$ δεν είναι αποδεκτά.

ⁱⁱⁱ Καταγραφή του ορίου της μείωσης της ηχοπαγίδας συναρτήσει της συχνότητας.

^{iv} Καταγραφή της στάθμης θορύβου χωρίς την ηχοπαγίδα σε όλο το εύρος των ογκομετρικών παροχών.

^v Καταγραφή της στάθμης θορύβου με την ηχοπαγίδα σε όλο το φάσμα των δεσμών συχνοτήτων και σε όλο το εύρος των ογκομετρικών παροχών.

^{vi} Ακριβείς πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα των συστημάτων και διαδικασιών που απαιτούνται και την επιτεύξιμη ακρίβεια, αυτή τη στιγμή δεν μπορούν να δοθούν. Σημαντικές παράμετροι είναι η αναλογία των γεωμετρικών διαστάσεων, τα μήκη κύματος του ήχου, η απώλεια μετάδοσης των τοιχωμάτων του αεραγωγού, οι απορροφητικές ιδιότητες του αντικειμένου δοκιμής, η ταχύτητα ροής. Οι εκτιμήσεις της τυπικής απόκλισης επαναληψιμότητα, σ_{Ri} της απώλειας παρεμβολής δίνονται στον ακόλουθο πίνακα, οι τιμές αυτές καθορίστηκαν από δοκιμές σε ηχοπαγίδες παράλληλων ηχοστοιχείων 1m. Οι τυπικές αποκλίσεις των επαναληψιμότητα για απώλεια μετάδοσης και οι μετρήσεις της έντασης ήχου, υπολογίστηκαν πειραματικά.

Centre frequencies of the one-third-octave band	Standard deviation of reproducibility, σ_{Ri} , of the insertion loss	Standard deviation of reproducibility, σ_{Rt} , of the transmission loss	Standard deviation of reproducibility of the intensity level measured as per ISO 9614-3
Hz	dB	dB	dB
50 to 100	1,5	3	3
125 to 500	1	3	1,5
630 to 1 250	2	3	1
1 600 to 10 000	3	3	1 ^a

Πίνακας 1

Εκτός και αν κατέχουμε εξειδικευμένες γνώσεις, η διευρυμένη αβεβαιότητα της μέτρησης για την κάλυψη πιθανότητας 95% θα πρέπει να καταγράφεται ώστε να είναι το διπλάσιο της τυπικής απόκλισης επαναληψιμότητας, όπως φαίνονται στον πίνακα

2.12. Διεξαγωγή Μετρήσεων

Μέχρι αυτό το σημείο του συγκεκριμένου κεφαλαίου, έχουν περιγραφεί τα τμήματα της πειραματικής διάταξης και τα μετρητικά όργανα που χρησιμοποιούνται κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων μας. Εφόσον έγινε εκτενής ανάλυση του τρόπου λειτουργίας των μετρητικών οργάνων και τα σημεία τοποθέτησης του κάθε οργάνου εντός της διάταξης, θα περιγραφεί στη συνέχεια και ο τρόπος διεξαγωγής των μετρήσεων. Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, λαμβάνονται μετρήσεις με ροή και μετρήσεις χωρίς ροή. Κατά τις μετρήσεις χωρίς ροή μπορεί να υπολογιστεί η ηχοαπόσβεση που επιτυγχάνεται μέσα στον αγωγό με την χρήση της ηχοπαγίδας, ενώ κατά τις μετρήσεις με ροή μπορεί να υπολογιστεί ο ήχος που αναγεννάται και

την πτώση πίεση που δημιουργείται μέσα στην διάταξη από την ηχοπαγίδα. Εξαιτίας του περιορισμού που θέτει στην τελευταία παράγραφο της σελίδας 14 του προτύπου ISO 7235, ότι η επιφάνεια των μικροφώνων, των θέσεων τοποθέτησης και των παρελκόμενων δεν πρέπει να ξεπερνάει το 5% της επιφάνειας διατομής του αγωγού τοποθέτησης του μικροφώνου, έχουν κατασκευαστεί δύο κυκλικοί αγωγοί μετρήσεων για τις δύο συνθήκες μετρήσεων, δηλαδή μετρήσεις με ροή και με απουσία ροής. Ο ένας αγωγός για τις μετρήσεις με ροή διαθέτει ράβδο με περιστρεφόμενο τμήμα όπου τοποθετείται το μικρόφωνο για να καλύψει τις τρεις θέσεις μετρήσεων κατανεμημένες ίσα περιφερειακά στον αγωγό, δηλαδή σε θέσεις 120° όπως περιγράφεται στις σελίδες 20-21 του ISO 5136. Διαθέτει επίσης και τον καθετήρα για την μέτρηση της πίεσης κατάντη της ηχοπαγίδας όπου σε συνεργασία με τον καθετήρα ανάντη της ηχοπαγίδας μετρούν την πτώση πίεσης. Ο δεύτερος κυκλικός αγωγός μετρήσεων διαθέτει διαγώνια ράβδο με πέντε σημεία τοποθέτησης του μικροφώνου που αναφέρεται στη σελίδα 23 του ISO 7235 και φαίνονται στο σχήμα 22. Εκτενέστερα για την διεξαγωγή των μετρήσεων και τις απαραίτητες μαθηματικές σχέσεις ώστε να μπορούν να εξαχθούν τα αποτελέσματα για την ηχοαπόσβεση, τον αναγεννώμενο ήχο και την πτώση πίεσης θα γίνει αναφορά ακολούθως.

2.12.1. Μεθοδολογία μέτρησης ηχοαπόσβεσης

Η ηχοαπόσβεση που προκαλεί η ηχοπαγίδα επιτυγχάνεται σε συνθήκες απουσίας ροής για το λόγο αυτό ο κυκλικός αγωγός μετρήσεων διαθέτει την διαγώνια ράβδο με τα πέντε σημεία τοποθέτησης του μικροφώνου, όπως αναφέραμε και πιο πάνω.

Έχει ληφθεί ένα ενδεικτικό δείγμα ώστε να αποφανθούμε αν η διαφορά της έντασης ήχου, σε decibels, ανάμεσα στα υψηλότερα και χαμηλότερα επίπεδα των τριών βασικών θέσεων μέτρησης, υπερβαίνουν τις τιμές που παρατίθενται στον πίνακα 15. Διαπιστώθηκε πώς οι μετρήσεις αυτές ξεπερνούν τα θεσπισμένα βάση προτύπου ISO 7235 όρια και καταλήξαμε στην απόφαση να λάβουμε μετρήσεις και στα πέντε σημεία για όλες τις ηχοπαγίδες με σκοπό την μεγαλύτερη ακρίβεια των μετρήσεων μας. Σε αυτό το σημείο γνωστοποιούμε ότι επικεντρώσαμε το ενδιαφέρον μας σε οκτώ συγκεκριμένες συχνότητες (63Hz, 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz και 8000Hz) τις οποίες λαμβάνει το μικρόφωνο ώστε τα αποτελέσματα μας να είναι άμεσα συγκρίσιμα με άλλες εταιρείες του χώρου.

Αρχικά το μικρόφωνο τοποθετείται στην πρώτη θέση της διαγώνιας ράβδου η οποία βρίσκεται πλησιέστερα στην ηχοπαγίδα, με το καλώδιο μικροφώνου ενός μέτρου το συνδέεται στη συσκευή ανάλυσης σήματος με σκοπό να μεταφερθεί το σήμα που λαμβάνει και το μικρόφωνο. Το ηχητικό σήμα που λαμβάνει το όργανο καταγράφεται σε decibels. Παράλληλα τοποθετείται το ηχείο σε χωνευτή βάση κυκλικής διατομής, ώστε η κόρνα του ηχείου να είναι ομοαξονική με το κέντρο της εισόδου της ηχοπαγίδας εντός του κιβωτίου τοποθέτησης ηχείου και συνδέεται με την γεννήτρια τυχαίων σημάτων. Έχουμε προγραμματίσει την γεννήτρια τυχαίων σημάτων να παράγει κυματομορφή του τύπου Sweep με διάρκεια βήματος 3.5 δευτερόλεπτα, η οποία

αυξάνει την συχνότητα σταδιακά με στόχο την κάλυψη του ενδιαφερόμενου φάσματος συχνοτήτων 50Hz έως 10000Hz. Στην συνέχεια με την έναρξη της παραγωγής ήχου, ταυτόχρονα έχουμε και την έναρξη καταγραφής του σήματος στη συσκευή ανάλυσης σήματος η οποία συνδέεται με το μικρόφωνο, με το πέρας της κάλυψης του φάσματος συχνοτήτων παύουμε και την καταγραφή σήματος. Αυτή η διαδικασία ακολουθείται ομοίως και για τις πέντε θέσεις τοποθέτησης του μικροφώνου σε ηχοπαγίδα και σε αγωγό ίδιας γεωμετρίας με την ηχοπαγίδα, ο οποίος δεν διαθέτει τα ηχοστοιχεία.

Λαμβάνονται οι μετρήσεις του ηχητικού σήματος των πέντε θέσεων όταν στην διάταξη είναι τοποθετημένη μια ηχοπαγίδα. Όταν ληφθούν οι μετρήσεις που κατέγραψε η συσκευή ανάλυσης σήματος από τα πέντε σημεία μεταφέρουμε τα ηχητικά σήματα στον υπολογιστή ώστε να μπορούν να επεξεργαστούν τα δεδομένα και να εξαχθεί ο μέσος όρος των μετρήσεων όπως περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο.

Ομοίως λαμβάνονται μετρήσεις του ηχητικού σήματος των πέντε θέσεων όταν στην διάταξη είναι τοποθετημένος ο κενός αγωγός όμοιων γεωμετρικών χαρακτηριστικών με την ηχοπαγίδα. Όταν λάβουμε τις μετρήσεις που κατέγραψε η συσκευή ανάλυσης σήματος από τα πέντε σημεία μεταφέρουμε τα ηχητικά σήματα στον υπολογιστή ώστε να μπορούμε να επεξεργαστούμε τα δεδομένα και να εξαγάγουμε τον μέσο όρο των μετρήσεων όπως μπορούμε να διακρίνουμε στο επόμενο κεφάλαιο.

Τέλος για να υπολογιστεί η ηχοαπόσβεση που επιτυγχάνεται με την ηχοπαγίδα θα αφαιρέσουμε από το μέσο όρο των ηχητικών σημάτων, όταν στην διάταξη μας είναι τοποθετημένος ο κενός αγωγός, το μέσο όρο των ηχητικών σημάτων όταν στην διάταξη μας είναι τοποθετημένος η ηχοπαγίδα. Τα αποτελέσματα αυτής της αφαίρεσης διακρίνονται στο επόμενο κεφάλαιο.

2.12.2. Μεθοδολογία μέτρησης πτώσης πίεσης

Την πτώση της στατικής πίεσης που προκαλείται κατά τη χρήση της ηχοπαγίδας τη μετράμε όταν υπάρχει ροή εντός των αγωγών της διάταξης. Εξαιτίας της παρουσίας ροής εντός των αγωγών πρέπει να αλλάξουμε τον κυκλικό αγωγών μετρήσεων ο οποίος διαθέτει ράβδο με περιστρεφόμενο τμήμα όπου τοποθετείται το μικρόφωνο για να καλύψει τις τρεις θέσεις μετρήσεων κατανομημένες ίσα περιφερειακά στον αγωγό, δηλαδή σε θέσεις 120° όπως περιγράφεται στις σελίδες 20-21 του ISO 5136. Διαθέτει επίσης και τον καθετήρα για την μέτρηση της πίεσης κατάντη της ηχοπαγίδας όπου σε συνεργασία με τον καθετήρα ανάντη της ηχοπαγίδας μετρούν την διαφορά πίεσης. Τοποθετούμε σωληνάκια στην θετική πλευρά των καθετήρων η οποία είναι η πλευρά που προσπίπτει η ροή του αέρα και τα συνδέουμε στο μανόμετρο, ώστε να μετράμε την διαφορά της δυναμικής πίεσης. Τον καθετήρα που βρίσκεται ανάντη της ηχοπαγίδας τον συνδέουμε με την θετική οπή του πιεσόμετρου και αντίστοιχα, τον

καθετήρα που βρίσκεται κατάντη της ηχοπαγίδας τον συνδέουμε με την αρνητική οπή του πιεσόμετρου.

Αρχικά υπολογίζουμε τις παροχές που επιθυμούμε στο διάκενο των ηχοπαγίδων σύμφωνα με τους τύπους που έχουμε προαναφέρει στην υποπαράγραφο 2.1.1 για τις ενδιαφερόμενες ταχύτητες. Οι ταχύτητες αυτές καλύπτουν το εύρος των 4 m/s έως 16 m/s με βήμα αύξησης τα 2 m/s. Ακολούθως φαίνονται σε πίνακες οι παροχές (m³/h) που εξάγαμε με την χρήση των τύπων για το πλήθος των ηχοπαγίδων που πήραμε μετρήσεις. Όπως διακρίνεται κάθε στήλη αναγράφει σε μέτρα πρώτα το πλάτος και έπειτα το ύψος κάθε μίας ηχοπαγίδας. Ο πίνακας 25 περιέχει ηχοπαγίδες μήκους 1.5m με τρία ηχοστοιχεία πλάτους 100mm και τρία πλήρη διάκενα ενώ ο πίνακας 26 περιέχει ηχοπαγίδες μήκους 1m με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 200mm και δύο πλήρη διάκενα.

<u>Διαστάσεις ηχοπαγίδας, πλάτος x ύψος (m)</u>							
	0.60x0.50	0.57x0.53	0.54x0.56	0.51x0.59	0.48x0.61	0.45x0.635	0.42x0.655
U_f (m/s)	Q (m ³ /h)	Q (m ³ /h)	Q (m ³ /h)	Q (m ³ /h)	Q (m ³ /h)	Q (m ³ /h)	Q (m ³ /h)
4	2160.00	2060.64	1935.36	1784.16	1581.12	1371.60	1131.84
6	3240.00	3090.96	2903.04	2676.24	2371.68	2057.40	1697.76
8	4320.00	4121.28	3870.72	3568.32	3162.24	2743.20	2263.68
10	5400.00	5151.60	4838.40	4460.40	3952.80	3429.00	2829.60
12	6480.00	6181.92	5806.08	5352.48	4743.36	4114.80	3395.52
14	7560.00	7212.24	6773.76	6244.56	5533.92	4800.60	3961.44
16	8640.00	8242.56	7741.44	7136.64	6324.48	5486.40	4527.36

Πίνακας 22: Παροχές αέρα ηχοπαγίδων μήκους 1.5m με τρία ηχοστοιχεία πλάτους 100mm [14]

<u>Διαστάσεις ηχοπαγίδας, πλάτος x ύψος (m)</u>							
	0.72x0.30	0.68x0.38	0.64x0.445	0.60x0.50	0.56x0.54	0.52x0.58	0.72x0.30
U_f (m/s)	Q (m ³ /h)	Q (m ³ /h)	Q (m ³ /h)	Q (m ³ /h)	Q (m ³ /h)	Q (m ³ /h)	Q (m ³ /h)
4	1382.40	1532.16	1537.92	1440.00	1244.16	1002.24	1382.40
6	2073.60	2298.24	2306.88	2160.00	1866.24	1503.36	2073.60
8	2764.80	3064.32	3075.84	2880.00	2488.32	2004.48	2764.80
10	3456.00	3830.40	3844.80	3600.00	3110.40	2505.60	3456.00
12	4147.20	4596.48	4613.76	4320.00	3732.48	3006.72	4147.20
14	4838.40	5362.56	5382.72	5040.00	4354.56	3507.84	4838.40
16	5529.60	6128.64	6151.68	5760.00	4976.64	4008.96	5529.60

Πίνακας 23: Παροχές αέρα ηχοπαγίδων μήκους 1m με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 200mm [14]

Μετά τον υπολογισμό των επιθυμητών παροχών όγκου θέτουμε σε λειτουργία τον ανεμιστήρα. Με χρήση inverter ρυθμίζουμε τις στροφές του ώστε να επιτευχθούν οι απαιτούμενες παροχές. Ο έλεγχος για την επίτευξη των παροχών που παρουσιάζονται στους παραπάνω πίνακες γίνεται μέσω του ροόμετρου που βρίσκεται στον αγωγό κυκλικής διατομής ομαλοποίησης ροής. Η επίτευξη της κατάλληλης παροχής προκύπτει με την μέθοδο δοκιμής και επαλήθευσης αφού αφήσουμε ένα εύλογο χρονικό διάστημα τον ανεμιστήρα να σταθεροποιήσει τις στροφές του με αποτέλεσμα και την σταθεροποίηση της ροής.

Μετά τη σύνδεση των μετρητικών οργάνων και την επίτευξη της κατάλληλης παροχής είμαστε έτοιμοι να μετρήσουμε την διαφορά πίεσης που δημιουργείται από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας. Λαμβάνουμε και καταγράφουμε τις μετρήσεις της διαφοράς πίεσης, που παρουσιάζει το όταν στην διάταξη μας είναι τοποθετημένη μια ηχοπαγίδα. Όταν λάβουμε τις μετρήσεις που παρουσιάζει το όργανο μέτρησης πίεσης για όλες τις παροχές ενδιαφέροντος με την ηχοπαγίδα επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία μετά την αντικατάσταση της ηχοπαγίδας με κενό αγωγό όμοιων διαστάσεων. Καταγράφουμε τα δεδομένα και τα μεταφέρουμε στον υπολογιστή ώστε να μπορούμε να επεξεργαστούμε τα δεδομένα και να εξάγουμε την πτώση πίεσης. Έτσι λοιπόν έχοντας τις τιμές για την πτώση πίεσης με τα ηχοστοιχεία και χωρίς αυτά, με μια απλή αφαίρεση μπορούμε να υπολογίσουμε την πτώση πίεσης που δημιουργεί η ηχοπαγίδα (συγκεκριμένα τα ηχοστοιχεία). Αφαιρούμε λοιπόν από την διαφορά πίεσης που έχουμε καταγράψει με την παρουσία ηχοστοιχείων, την διαφορά πίεσης που έχουμε καταγράψει με την απουσία αυτών για όλο το εύρος ταχυτήτων. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Επίσης το πρότυπο απαιτεί τον υπολογισμό του συντελεστής πτώσης πίεσης (ζ) με τον τρόπο που αναφέρεται στην υποπαράγραφο 6.5.2.1 στις σελίδες 25-26 του ISO 7235. Ακολουθώς παραθέτουμε τους τύπους που χρησιμοποιήσαμε για να υπολογίσουμε αυτόν τον συντελεστή.

$$\zeta = \frac{\Delta p_t}{p_{d1}} + 1 - \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2 \quad p_{d1} = \frac{\rho}{2} \left(\frac{q_V}{S_1}\right)^2 \quad q_V = \frac{q_m}{\rho}$$

q_m : παροχή μάζας σε (kg/s)

q_V : παροχή όγκου σε m^3

ρ : πυκνότητα του αέρα σε κιλά ανά κυβικό (kg / m^3)

S_2 : διατομή ηχοπαγίδας

S_1 : διατομή κυκλικού αγωγού

p_{d1} : δυναμική πίεση κυκλικού αγωγού

Δp_t : πτώση πίεσης που προκαλεί η ηχοπαγίδα

ζ : συντελεστής πτώσης πίεσης

2.12.3. Μεθοδολογία μέτρησης αναγεννώμενου ήχου

Ο αναγεννώμενος ήχος που υφίσταται κατά την χρήση της ηχοπαγίδας μετράται όταν υπάρχει ροή εντός των αγωγών της διάταξης. Εξαιτίας της παρουσίας ροής εντός των αγωγών διατηρούμε τον κυκλικό αγωγών μετρήσεων ο οποίος διαθέτει ράβδο με περιστρεφόμενο τμήμα όπου τοποθετείται το μικρόφωνο για να καλύψει τις τρεις θέσεις μετρήσεων κατανεμημένες ίσα περιφερειακά στον αγωγό, δηλαδή σε θέσεις 120° όπως περιγράφεται στις σελίδες 20-21 του ISO 5136. Διαθέτει επίσης και τον καθετήρα για την μέτρηση της πίεσης κατόπιν της ηχοπαγίδας όπου σε συνεργασία με τον καθετήρα ανάντη της ηχοπαγίδας μετρούν την διαφορά πίεσης. Σε αυτό το σημείο επαναδιατυπώνουμε ότι επικεντρώσαμε το ενδιαφέρον μας σε οκτώ συγκεκριμένες συχνότητες (63Hz, 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz και 8000Hz) τις οποίες λαμβάνει το μικρόφωνο ώστε τα αποτελέσματα μας να είναι άμεσα συγκρίσιμα με άλλες εταιρείες του χώρου.

Αρχικά τοποθετείται το μικρόφωνο στην πρώτη θέση της διαγώνιας ράβδου η οποία βρίσκεται 120° αριστερά στον κάθετο άξονα της ράβδου, η δεύτερη θέση ομοαξονικά στον κάθετο άξονα της ράβδου και η τρίτη θέση 120° δεξιά στον κάθετο άξονα της ράβδου όπως προσπίπτει η ροή. Έπειτα το μικρόφωνο συνδέεται με το καλώδιο μικροφώνου ενός μέτρου και στη συνέχεια συνδέεται στη συσκευή ανάλυσης σήματος με σκοπό να λάβουμε το σήμα που λαμβάνει και το μικρόφωνο. Το ηχητικό σήμα (πίεση ήχου) που λαμβάνει το όργανο καταγράφεται σε decibels. Κατά την σταθεροποίηση της επιθυμητής ροής, αρχίζουμε την έναρξη καταγραφής του σήματος στη συσκευή ανάλυσης σήματος η οποία συνδέεται με το μικρόφωνο, με το πέρας τριάντα δευτερολέπτων (30s) όπως αναφέρεται στην υποπαράγραφο 7.2. του ISO 5136 παύουμε και την καταγραφή σήματος. Συγκεκριμένα το πρότυπο αναφέρει ότι για τις συχνότητες κάτω των 160Hz ο χρόνος μέτρησης πρέπει να είναι τουλάχιστο 30s ενώ πάνω από 200Hz πρέπει να είναι τουλάχιστο 10s, με αυτό τον τρόπο με χρόνο καταγραφής τριάντα δευτερολέπτων είμαστε καλυμμένοι για όλο το φάσμα συχνοτήτων. Αυτή η διαδικασία ακολουθείται ομοίως και για τις τρεις θέσεις τοποθέτησης του μικροφώνου σε ηχοπαγίδα και σε αγωγό ίδιας γεωμετρίας με την ηχοπαγίδα, ο οποίος δεν διαθέτει τα ηχοστοιχεία.

Λαμβάνονται οι μετρήσεις του ηχητικού σήματος των τριών θέσεων όταν στην πειραματική διάταξη είναι τοποθετημένη μια ηχοπαγίδα. Όταν ληφθούν οι μετρήσεις που κατέγραψε η συσκευή ανάλυσης σήματος από τα τρία σημεία μεταφέρουμε τα ηχητικά σήματα στον υπολογιστή ώστε να μπορούμε να επεξεργαστούμε τα δεδομένα.

Ομοίως λαμβάνουμε τις μετρήσεις του ηχητικού σήματος (έντασης του ήχου) των τριών θέσεων όταν στην διάταξη είναι τοποθετημένος ο κενός αγωγός όμοιων γεωμετρικών χαρακτηριστικών με την ηχοπαγίδα. Όταν ληφθούν οι μετρήσεις που κατέγραψε η συσκευή ανάλυσης σήματος από τα τρία σημεία, τα ηχητικά σήματα μεταφέρονται στον υπολογιστή ώστε να μπορούμε να επεξεργαστούμε τα δεδομένα.

Τέλος για να υπολογίσουμε τον αναγεννώμενο ήχο που δημιουργείται με την ηχοπαγίδα θα ακολουθήσουμε τις σχέσεις που προτάσσει στις υποπαραγράφους 8.1 και 8.2 στη σελίδα 23 το πρότυπο ISO 5136. Ακολουθώντας παραθέτουμε τους τύπους που χρησιμοποιήσαμε.

Μέση πίεση του ήχου

$$\bar{L}_p = 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_{pi}} \right] dB + C$$

n: το πλήθος θέσεων μέτρησης (n=3)

L_{pi} : μέση τιμή της πίεσης του ήχου, σε ντεσιμπέλ, για την θέση μέτρησης i

C: συντελεστής διόρθωσης μικροφώνου

Ένταση του ήχου

$$L_W = \bar{L}_p + \left(10 \log \frac{S}{S_0} - 10 \log \frac{\rho c}{(\rho c)_0} \right)$$

$S = \frac{\pi d^2}{4}$: επιφάνεια της διατομής του αγωγού

$S_0 = 1 \text{ m}^2$

$(\rho c)_0 = 400 \text{ N} \cdot \text{s/m}^3$

Επίσης καταγράφεται η ένταση ήχου του περιβάλλοντος (background noise) που επικρατεί εντός της διάταξης χωρίς ροή με κενό αγωγό στη θέση της ηχοπαγίδας. Συμπερασματικά για να υπολογιστεί ο αναγεννώμενος ήχος (ο ελάχιστος θόρυβος που μπορεί να υπάρξει με την χρήση της ηχοπαγίδας για τις εκάστοτε ροές) αφαιρούμε από την ένταση του ήχου (L_W) την οποία λαμβάνουμε όντας η ηχοπαγίδα στην διάταξη την ένταση του ήχου (L_W) του περιβάλλοντος. Αυτό γίνεται για όλες τις ταχύτητες ροής σε ολόκληρο το φάσμα συχνοτήτων.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι τα αποτελέσματα για τον ήχο που γεννά η ηχοπαγίδα αναφέρονται για την επιφάνεια της υπό δοκιμή ηχοπαγίδας. Εάν επιθυμούμε να την μετατρέψουμε σε επιφάνεια 1 m^2 , σύμφωνα με το πρότυπο ISO 7235 πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τον παρακάτω τύπο.

$$L_{W,flow,sil} = L_{W,flow,test} + 10 \log(S_0/S_T) \text{ dB}$$

$L_{W,flow,sil}$: πίεση του ήχου της ροής για την ηχοπαγίδα 1 m^2

$L_{W,flow,test}$: πίεση του ήχου της ροής για την υπό δοκιμή ηχοπαγίδα

$S_0 = 1 \text{ m}^2$

S_T : επιφάνεια της εξεταζόμενης ηχοπαγίδας σε m^2

3. Αποτελέσματα

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου δεν είναι μόνο η απλή παράθεση αποτελεσμάτων αλλά και η συστηματική παρουσίαση τους μέσω συγκριτικών πινάκων και διαγραμμάτων που θα συνεισφέρουν στο τέλος στην εξαγωγή συμπερασμάτων. Έτσι θα αναφερθούν αναλυτικά ως παράδειγμα τα αποτελέσματα για μια ηχοπαγίδα. Τα αποτελέσματα για τις υπόλοιπες ηχοπαγίδες παρατίθενται στο Παράρτημα Δ της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Συνολικά λήφθηκαν μετρήσεις για δύο κατηγορίες ηχοπαγίδων, αυτές με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 200mm και μήκους 1m και αυτές με τρία ηχοστοιχεία πλάτους 100mm και μήκους 1,5m. Οι ηχοπαγίδες με μήκος 1m ήταν έξι στον αριθμό τους ενώ οι υπόλοιπες επτά.

3.1. Ηχοπαγίδες με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 200mm μήκους 1000mm

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ηχοπαγίδων πλάτους 200mm μήκους 1000mm που μελετήσαμε βρίσκονται στον ακόλουθο πίνακα.

<u>Διάκενο</u> (S)	<u>Αριθμός ηχοστοιχείων</u> (N)	<u>Πλάτος</u> (B)	<u>Ύψος</u> (H)
160	2	0.720	0.300
140	2	0.680	0.380
120	2	0.640	0.445
100	2	0.600	0.500
80	2	0.560	0.540
60	2	0.520	0.580

Πίνακας 24: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ηχοπαγίδων πλάτους 200mm μήκους 1000mm [14]

3.1.1. Ενδεδλεχές παράδειγμα εξαγωγής αποτελεσμάτων ηχοπαγίδας διαστάσεων (58Hx52B)

Η ηχοπαγίδα που παρουσιάζουμε έχει ύψος 58 εκατοστά, πλάτος 52 εκατοστά (58Hx52B) και μήκος 1m (H). Αφού έχει πλάτος 52 εκατοστά εάν αφαιρέσουμε το πλάτος των ηχοστοιχείων έχουμε $52-(2 \times 20)=12$ εκατοστά. Άρα το διάκενο (airway) είναι $S = \frac{12}{2} = 6\text{cm} = 60\text{mm}$.

Εφόσον υπολογίστηκαν όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, είναι δόκιμο πλέον να αναφερόμαστε στη μορφή της ηχοπαγίδας ως συνηθίζεται στο εμπόριο, δηλαδή ηχοστοιχείο 200mm, διάκενο 60mm και μήκος 1000mm.

3.1.1.1. Υπολογισμός ηχοαπόσβεσης

Όπως αναφέραμε στο υποκεφάλαιο 2.12.1, λαμβάνουμε μετρήσεις στις πέντε θέσεις τοποθέτησης του μικροφώνου, σε ηχοπαγίδα και αντίστοιχα σε κενό αγωγό και από την διαφορά της μέσης τιμής κάθε περίπτωσης υπολογίζουμε την τιμή της καθαρής ηχοαπόσβεσης. Αναλυτικά για τη συγκεκριμένη ηχοπαγίδα παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες.

<u>Θέσεις τοποθέτησης μικροφώνου</u>	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	<i>63</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>	<i>2000</i>	<i>4000</i>	<i>8000</i>
Θέση 1	126,0	138,2	112,0	95,9	91,9	96,6	104,4	107,2
Θέση 2	128,1	140,8	113,2	95,8	90,8	96,0	103,1	114,9
Θέση 3	129,4	141,3	115,4	96,2	89,8	77,6	103,6	98,6
Θέση 4	129,4	140,3	112,1	96,8	88,6	100,8	99,1	109,9
Θέση 5	130,6	139,2	112,7	95,8	95,1	96,0	100,4	104,6
Μέσος όρος	128.7	139.96	113.08	96.1	91.24	93.4	102.12	107.04

Πίνακας 25: Μετρήσεις ηχητικού σήματος στις πέντε θέσεις ενδεικτικής ηχοπαγίδας [14]

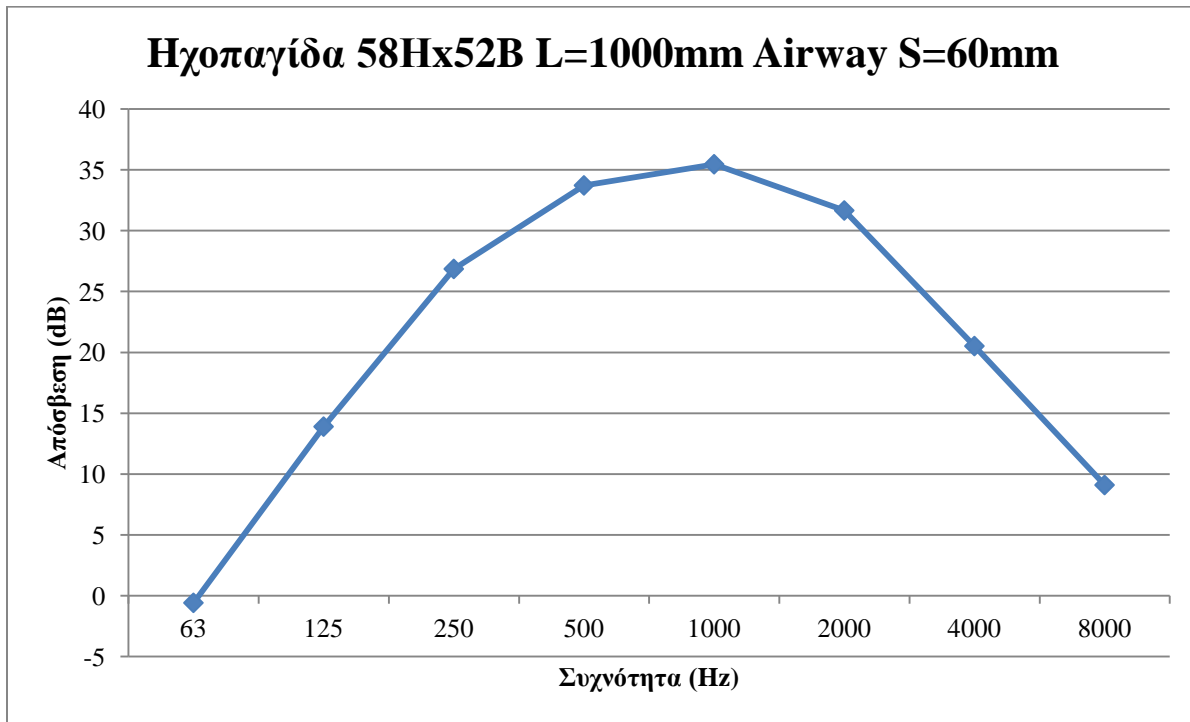
<u>Θέσεις τοποθέτησης μικροφώνου</u>	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	<i>63</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>	<i>2000</i>	<i>4000</i>	<i>8000</i>
Θέση 1	123,0	153,0	138,8	128,7	127,9	123,3	125,2	119,0
Θέση 2	127,3	154,8	140,1	130,8	127,7	128,1	117,0	125,4
Θέση 3	129,9	154,8	141,7	129,9	127,5	128,5	124,1	121,4
Θέση 4	129,9	153,8	139,5	129,6	126,2	122,0	125,2	103,2
Θέση 5	130,5	152,9	139,6	130,1	124,2	123,4	121,7	111,7
Μέσος όρος	128.12	153.86	139.94	129.82	126.7	125.06	122.64	116.14

Πίνακας 26: Μετρήσεις ηχητικού σήματος στις πέντε θέσεις κενού αγωγού [14]

<u>Αγωγός</u>	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	<i>63</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>	<i>2000</i>	<i>4000</i>	<i>8000</i>
Χωρίς ηχοπαγίδα	128.12	153.86	139.94	129.82	126.7	125.06	122.64	116.14
Με ηχοπαγίδα	128.7	139.96	113.08	96.1	91.24	93.4	102.12	107.04
Απόσβεση	-0.58	13.9	26.86	33.72	35.46	31.66	20.52	9.1

Πίνακας 27: Ηχοαπόσβεση ενδεικτικής ηχοπαγίδας [14]

Ακολουθώς παραθέτουμε το διάγραμμα της ηχοαπόσβεσης που επιτυγχάνεται με τη χρήση της συγκεκριμένης ηχοπαγίδας ώστε να μπορέσουμε να διακρίνουμε τη γραφική παράσταση των αποτελεσμάτων.



Σχήμα 32: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης ηχοπαγίδας 58Hx52B L=1000mm, S=60mm [7]

3.1.1.2. Υπολογισμός πτώσης πίεσης

Όπως αναφέραμε στο υποκεφάλαιο 2.12.2, λαμβάνουμε μετρήσεις στα σημεία ανάντη και κατόντη της ηχοπαγίδας. Στον πίνακα 27 παρουσιάζεται η διαφορά πίεσης για τις ταχύτητες που καλύπτουν το εύρος των 4 m/s έως 16 m/s με βήμα αύξησης τα 2 m/s με ηχοπαγίδα, στον πίνακα 28 παρουσιάζεται η αντίστοιχη διαφορά πίεσης χωρίς ηχοπαγίδα και στον πίνακα 29 η πτώση πίεσης που προκαλούν τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας.

U_f (m/s)	Δp (Pa)
4	6
6	17
8	36
10	55
12	89
14	118
16	151

Πίνακας 28: Μετρήσεις διαφοράς πίεσης ηχοπαγίδας 58Hx52B L=1000mm, S=60mm [14]

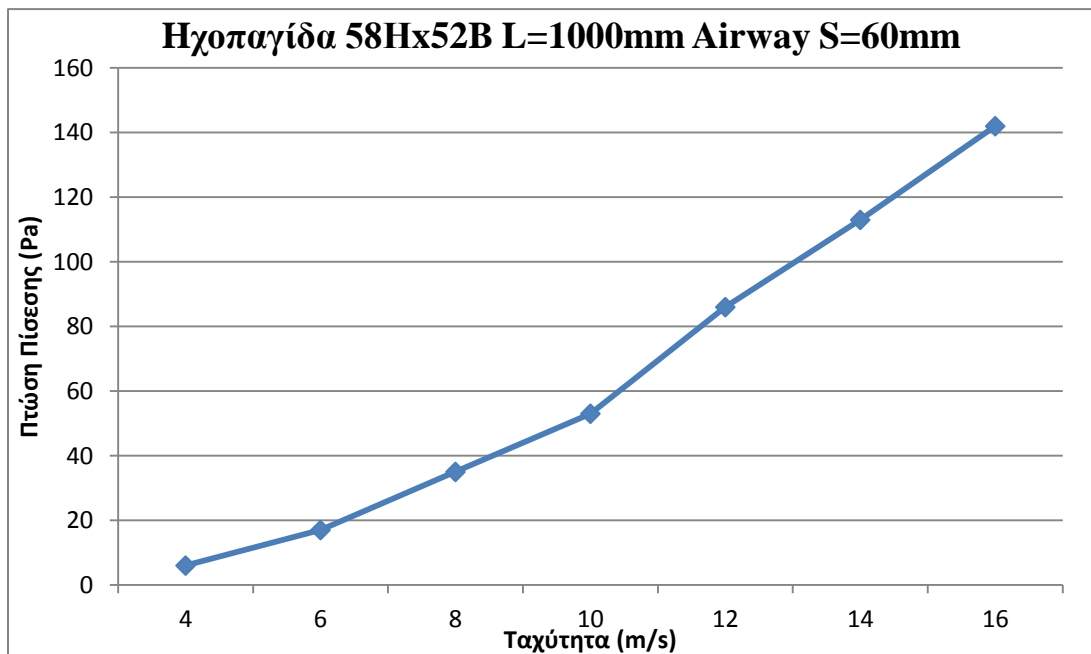
U_f (m/s)	Δp (Pa)
4	0
6	0
8	1
10	2
12	3
14	5
16	9

Πίνακας 29: Μετρήσεις διαφοράς πίεσης κενού αγωγού [14]

U_f (m/s)	Δp (Pa)
4	6
6	17
8	35
10	53
12	86
14	113
16	142

Πίνακας 30: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας [14]

Ακολουθώς παραθέτουμε το διάγραμμα της πτώσης πίεσης που επιτυγχάνεται με την χρήση της συγκεκριμένης ηχοπαγίδας ώστε να μπορέσουμε να διακρίνουμε μια γραφική παράσταση των αποτελεσμάτων.



Σχήμα 33: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας 58Hx52B L=1000mm, S=60mm [7]

Επίσης το πρότυπο απαιτεί τον υπολογισμό του συντελεστής πτώσης πίεσης (ζ) όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 2.12.2. Όπως διακρίνεται στον παρακάτω πίνακα ο συντελεστής ζ παραμένει ίδιος σε όλες τις ταχύτητες ροής, όπως είναι λογικό καθώς ο βασικός παράγοντας που το επηρεάζει είναι η μεταβολή τη διατομής. Οι ταχύτητες ροής όπως και η πτώση πίεσης που προκαλούν επηρεάζουν απειροελάχιστα τον συντελεστή αυτό. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι θα υπάρχει ένας συντελεστής πτώσης πίεσης για κάθε ηχοπαγίδα.

U_f (m/s)	Q (m ³ /h)	Δp_t (Pa)	q_v (m ³ /s)	p_{d1} (Pa)	ζ
4	1002.24	6	846.4865	26889485	0.826573
6	1503.36	17	1269.73	60501342	0.826573
8	2004.48	35	1692.973	1.08E+08	0.826573
10	2505.6	53	2116.216	1.68E+08	0.826573
12	3006.72	86	2539.459	2.42E+08	0.826573
14	3507.84	113	2962.703	3.29E+08	0.826573
16	4008.96	142	3385.946	4.3E+08	0.826573

Πίνακας 31: Συντελεστής πτώσης πίεσης [14]

S_1	0.1256
S_2	0.3016
H	0.58
B	0.52
ρ	1.184

Πίνακας 32: Απαιτούμενες σταθερές για τον υπολογισμό πτώσης πίεσης [14]

3.1.1.3. Υπολογισμός αναγεννώμενου ήχου

Η μεθοδολογία και οι απαραίτητοι τύποι ώστε να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τον βαθμό της ηχοαπόσβεσης φαίνονται στο υποκεφάλαιο 2.12.3. Στους ακόλουθους πίνακες φαίνονται οι μετρήσεις που πήραμε για το εύρος ταχυτήτων που μελετήσαμε. Ενδεικτικά δείχνουμε τις μετρήσεις και των τριών θέσεων τοποθέτησης του μικροφώνου για U_f (4 m/s).

Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (4 m/s) με ηχοπαγίδα								
	Συχνότητα (Hz)							
Θέσεις μικροφώνου	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Θέση 1	89,9	85,3	81,6	78,9	75,5	74,9	74,1	71,5
Θέση 2	93,8	88,4	82,1	81,3	77,9	77,4	76,1	73,5
Θέση 3	89,6	85,2	81,5	77,8	75,8	74,9	73,5	71,0
L_p (dB)	91.65	79.69	74.82	80.83	70.24	73.26	70.24	69.90
L_w (dB)	82.56	70.59	65.72	71.74	61.15	64.16	61.14	60.81

Πίνακας 33: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (4 m/s) με ηχοπαγίδα [14]

Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (4 m/s) χωρίς ηχοπαγίδα								
	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
<u>Θέσεις μικροφώνου</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Θέση 1	87,9	84,3	81,4	80,3	78,0	76,7	71,9	71,0
Θέση 2	92,1	88,7	83,0	81,8	78,4	76,1	80,6	71,5
Θέση 3	87,4	84,3	80,1	78,1	75,6	74,9	75,3	69,9
L_p (dB)	89.78	80.42	77.48	80.09	69.12	68.89	70.01	69.90
L_w (dB)	80.69	71.33	68.39	70.99	60.03	59.79	60.92	60.81

Πίνακας 34: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (4 m/s) χωρίς ηχοπαγίδα [14]

Ένταση – Πίεση ήχου (dB) Background noise								
<u>Συχνότητα (Hz)</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p (dB)	79.16	69.13	67.50	68.31	67.93	68.50	69.70	71.50
L_w (dB)	70.06	60.04	58.40	59.22	58.83	59.40	60.60	62.40

Πίνακας 35: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) Background noise [14]

Air-regenerated noise για U_f (4 m/s)								
<u>Συχνότητα (Hz)</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
(dB)	12.50	10.56	7.32	12.52	2.31	4.76	0.54	-1.60

Πίνακας 36: Air-regenerated noise για U_f (4 m/s) [14]

Ομοίως και για τις υπόλοιπες ταχύτητες που μελετάμε παραθέτουμε τους αντίστοιχους πίνακες.

Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (6 m/s) με ηχοπαγίδα								
<u>Συχνότητα (Hz)</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p (dB)	100.24	86.92	80.68	83.51	70.78	69.12	69.80	69.90
L_w (dB)	91.14	77.82	71.58	74.42	61.68	60.03	60.71	60.81

Πίνακας 37: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (6m/s) με ηχοπαγίδα [14]

Ένταση – Πίεση ήχου για U_f (6 m/s) χωρίς ηχοπαγίδα								
<u>Συχνότητα (Hz)</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p (dB)	98.18	86.24	79.21	83.40	69.84	69.15	69.80	69.90
L_w (dB)	89.08	77.14	70.12	74.31	60.74	60.06	60.71	60.81

Πίνακας 38: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (6 m/s) χωρίς ηχοπαγίδα [14]

Air-regenerated noise για U_f (6 m/s)								
<u>Συχνότητα (Hz)</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
(dB)	21.08	17.78	13.18	15.20	2.85	0.62	0.10	-1.60

Πίνακας 39: Air-regenerated noise για U_f (6 m/s) [14]

Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (8 m/s) με ηχοπαγίδα								
<u>Συχνότητα (Hz)</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p (dB)	110.42	99.13	88.19	87.05	84.09	78.56	74.59	70.11
L_w (dB)	101.33	90.04	79.10	77.96	74.99	69.46	65.49	61.02

Πίνακας 40: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (8 m/s) με ηχοπαγίδα [14]

Ένταση – Πίεση ήχου για U_f (8 m/s) χωρίς ηχοπαγίδα								
<u>Συχνότητα (Hz)</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p (dB)	109.19	97.25	88.25	85.64	80.89	73.09	69.80	69.90
L_w (dB)	100.10	88.15	79.15	76.54	71.79	64.00	60.71	60.81

Πίνακας 41: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (8 m/s) χωρίς ηχοπαγίδα [14]

Air-regenerated noise για U_f (8 m/s)								
<u>Συχνότητα (Hz)</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
(dB)	31.27	30.00	20.69	18.74	16.16	10.06	4.89	-1.39

Πίνακας 42: Air-regenerated noise για U_f (8 m/s) [14]

Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (10 m/s) με ηχοπαγίδα								
<u>Συχνότητα (Hz)</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p (dB)	116.70	106.61	95.19	92.11	90.07	81.30	72.54	70.31
L_w (dB)	107.60	97.52	86.09	83.01	80.97	72.21	63.44	61.22

Πίνακας 43: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (10m/s) με ηχοπαγίδα [14]

Ένταση – Πίεση ήχου για U_f (10 m/s) χωρίς ηχοπαγίδα								
<u>Συχνότητα (Hz)</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p (dB)	116.26	105.82	95.04	92.11	87.75	81.11	72.26	70.11
L_w (dB)	107.16	96.72	85.94	83.02	78.65	72.02	63.16	61.02

Πίνακας 44: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (10m/s) χωρίς ηχοπαγίδα [14]

Air-regenerated noise για U_f (10 m/s)								
<u>Συχνότητα (Hz)</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
(dB)	37.54	37.48	27.69	23.79	22.14	12.80	2.84	-1.19

Πίνακας 45: Air-regenerated noise για U_f (10 m/s) [14]

Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (12 m/s) με ηχοπαγίδα								
<u>Συχνότητα (Hz)</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p (dB)	120.53	112.74	101.96	97.22	91.26	87.42	77.87	72.50
L_w (dB)	111.43	103.64	92.87	88.12	82.16	78.33	68.78	63.41

Πίνακας 46: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (12m/s) με ηχοπαγίδα [14]

Ένταση – Πίεση ήχου για U_f (12 m/s) χωρίς ηχοπαγίδα								
<u>Συχνότητα (Hz)</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p (dB)	119.38	111.25	100.57	96.40	89.87	86.57	75.99	71.10
L_w (dB)	110.28	102.15	91.47	87.30	80.78	77.47	66.89	62.01

Πίνακας 47: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (12m/s) χωρίς ηχοπαγίδα [14]

Air-regenerated noise για U_f (12 m/s)								
<u>Συχνότητα (Hz)</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
(dB)	41.37	43.61	34.46	28.90	23.33	18.92	8.17	1.00

Πίνακας 48: Air-regenerated noise για U_f (12 m/s) [14]

Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (14 m/s) με ηχοπαγίδα								
<u>Συχνότητα (Hz)</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p (dB)	123.88	117.20	106.44	100.79	92.80	92.08	82.35	75.87
L_w (dB)	114.79	108.10	97.34	91.69	83.70	82.98	73.26	66.78

Πίνακας 49: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (14m/s) με ηχοπαγίδα [14]

Ένταση – Πίεση ήχου για U_f (14 m/s) χωρίς ηχοπαγίδα								
<u>Συχνότητα (Hz)</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p (dB)	123.25	116.01	105.62	100.28	92.05	91.07	80.14	73.00
L_w (dB)	114.15	106.92	96.52	91.18	82.95	81.97	71.04	63.91

Πίνακας 50: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (14m/s) χωρίς ηχοπαγίδα [14]

Air-regenerated noise για U_f (14 m/s)								
<u>Συχνότητα (Hz)</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
(dB)	44.72	48.07	38.94	32.48	24.87	23.58	12.65	4.37

Πίνακας 51: Air-regenerated noise για U_f (14 m/s) [14]

Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (16 m/s) με ηχοπαγίδα								
<u>Συχνότητα (Hz)</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_P (dB)	128.59	121.77	110.91	104.49	95.46	97.73	87.48	81.41
L_W (dB)	119.50	112.68	101.81	95.39	86.36	88.63	78.39	72.31

Πίνακας 52: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (16m/s) με ηχοπαγίδα [14]

Ένταση – Πίεση ήχου για U_f (16 m/s) χωρίς ηχοπαγίδα								
<u>Συχνότητα (Hz)</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_P (dB)	127.10	120.95	110.40	104.81	95.20	97.50	85.58	77.60
L_W (dB)	118.00	111.85	101.31	95.71	86.10	88.41	76.49	68.51

Πίνακας 53: Ένταση – Πίεση ήχου (dB) για U_f (16m/s) χωρίς ηχοπαγίδα [14]

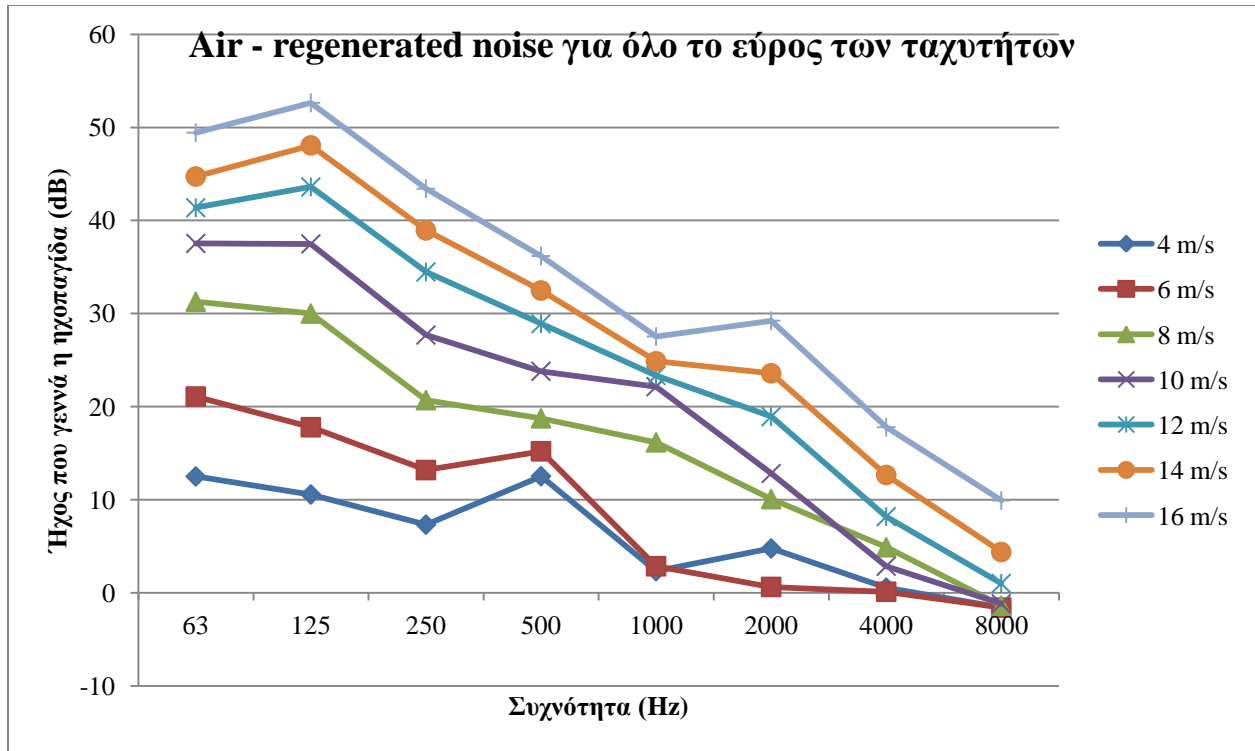
Air-regenerated noise για U_f (16 m/s)								
<u>Συχνότητα (Hz)</u>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
(dB)	49.44	52.64	43.41	36.18	27.53	29.23	17.78	9.91

Πίνακας 54: Air-regenerated noise για U_f (16 m/s) [14]

Ακολούθως παρατίθεται ο πίνακας του αναγεννώμενου ήχου καθώς και το διάγραμμα για όλο το φάσμα ταχυτήτων σε σχέση με τις ενδιαφερόμενες συχνότητες για ηχοπαγίδα διαστάσεων 58Hx52B L=1000mm airway S=60mm.

<u>Air - regenerated noise (dB) για όλο το εύρος των ταχυτήτων</u>								
U_f (m/s)	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4	12.4958	10.5564	7.31714	12.5192	2.314	4.75703	0.54068	-1.5972
6	21.0826	17.7838	13.1806	15.2	2.84834	0.62124	0.10279	-1.5972
8	31.2662	29.9996	20.6926	18.7389	16.1599	10.0594	4.88933	-1.3879
10	37.5383	37.4794	27.6882	23.7922	22.1393	12.8041	2.84026	-1.1881
12	41.3704	43.606	34.4628	28.9029	23.3321	18.923	8.1743	1.00279
14	44.7235	48.0668	38.9354	32.4752	24.8715	23.5794	12.6518	4.3743
16	49.4351	52.6404	43.4097	36.1759	27.5297	29.2309	17.785	9.9097

Πίνακας 55: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων [14]



Σχήμα 34: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας 58Hx52B L=1000mm, S=60mm {7}

Με την σχέση που υπάρχει στην τελευταία παράγραφο του υποκεφαλαίου 2.12.3 μπορούμε να μετατρέψουμε τον πιο πάνω αναγεννώμενο ήχο σε ηχοπαγίδα διατομής 1m².

Air - regenerated noise (dB) για όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας 1m²								
U_f (m/s)	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4	17.6885	15.7491	12.5099	17.7119	7.50675	9.94978	5.73343	3.59554
6	26.2753	22.9766	18.3734	20.3928	8.04109	5.81399	5.29554	3.59554
8	36.4589	35.1924	25.8854	23.9317	21.3526	15.2521	10.0821	3.80489
10	42.731	42.6721	32.8809	28.985	27.3321	17.9969	8.03301	4.0046
12	46.5631	48.7987	39.6555	34.0956	28.5249	24.1158	13.367	6.19554
14	49.9162	53.2595	44.1281	37.668	30.0643	28.7722	17.8445	9.56705
16	54.6278	57.8331	48.6024	41.3686	32.7225	34.4237	22.9777	15.1024

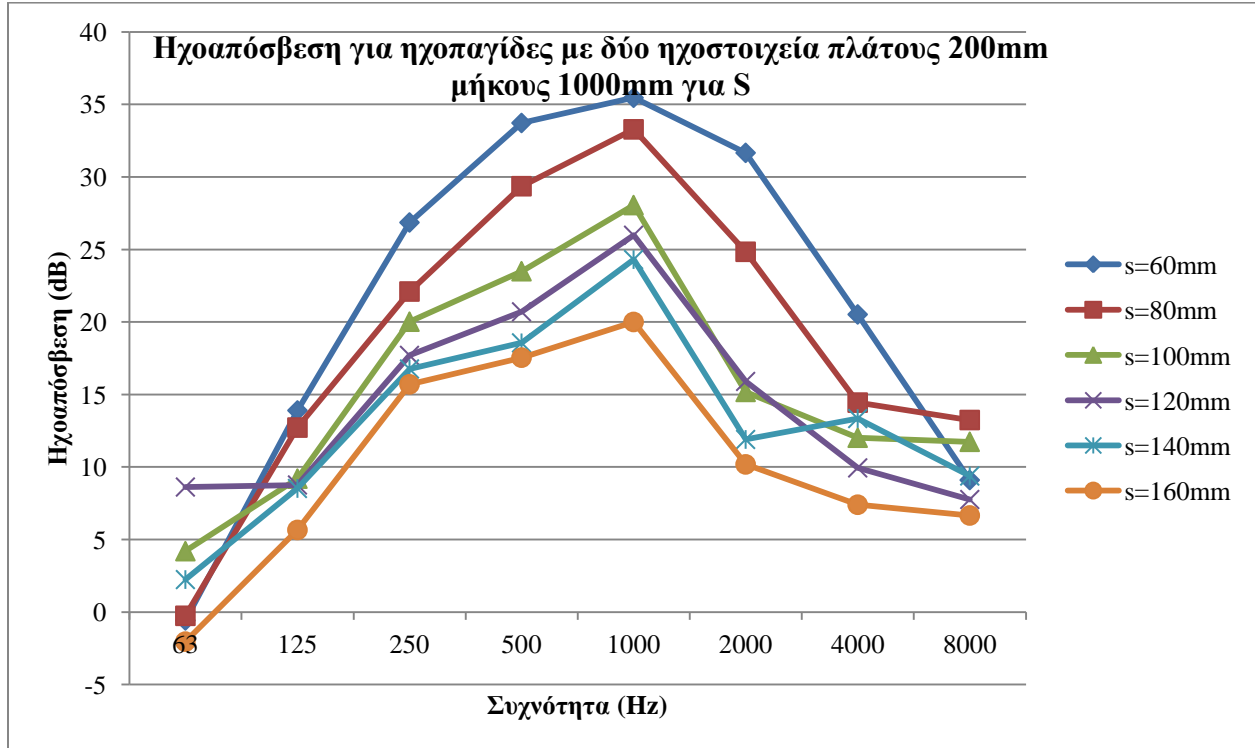
Πίνακας 56: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας 1m² [14]

3.1.2. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

3.1.2.1. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ηχοαπόσβεσης

Συχνότητα (Hz)	Ηχοαπόσβεση για ηχοπαγίδες με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 200mm μήκους 1000mm για S					
	60	80	100	120	140	160
63	-0.58	-0.26	4.2	8.62	2.24	-2.04
125	13.9	12.72	9.2	8.76	8.52	5.66
250	26.86	22.1	20.02	17.7	16.76	15.7
500	33.72	29.36	23.5	20.7	18.56	17.54
1000	35.46	33.28	28.06	25.98	24.3	20
2000	31.66	24.84	15.18	15.9	11.9	10.18
4000	20.52	14.44	12.02	9.94	13.34	7.4
8000	9.1	13.24	11.74	7.76	9.38	6.66

Πίνακας 57: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ηχοαπόσβεσης [14]

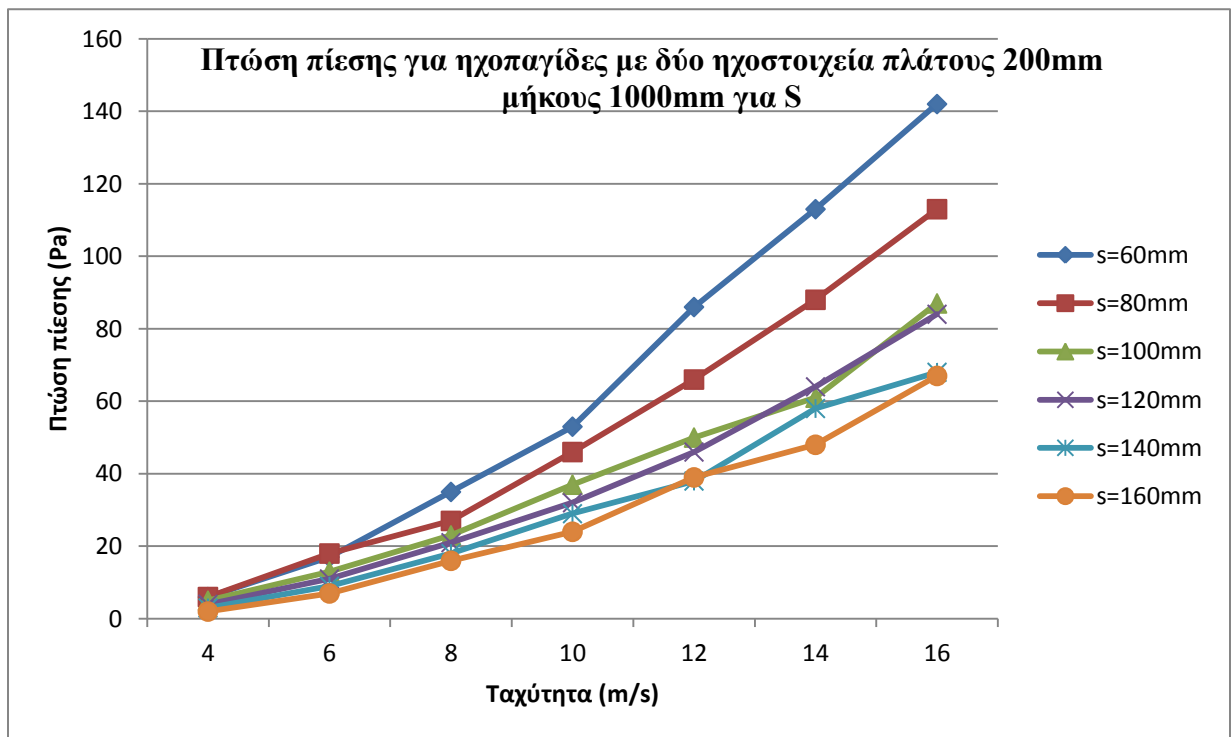


Σχήμα 35: Γραφική συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων ηχοαπόσβεσης {7}

3.1.2.2. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα πτώσης πίεσης

U_f (m/s)	Πτώση πίεσης για ηχοπαγίδες με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 200mm μήκους 1000mm για S					
	60	80	100	120	140	160
4	6	6	5	4	3	2
6	17	18	13	11	9	7
8	35	27	23	21	18	16
10	53	46	37	32	29	24
12	86	66	50	46	38	39
14	113	88	61	64	58	48
16	142	113	87	84	68	67

Πίνακας 58: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα πτώσης πίεσης [14]



Σχήμα 36: Γραφική συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων πτώσης πίεσης [7]

<u>Συντελεστής πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδες με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 200mm μήκους 1000mm για S</u>			
<u>Διάκενο (S)</u>	<u>Πλάτος (B)</u>	<u>Ύψος (H)</u>	<u>Συντελεστής πτώσης πίεσης (ζ)</u>
160	0.720	0.300	0.661879
140	0.680	0.380	0.763738
120	0.640	0.445	0.805509
100	0.600	0.500	0.824718
80	0.560	0.540	0.82749
60	0.520	0.580	0.826573

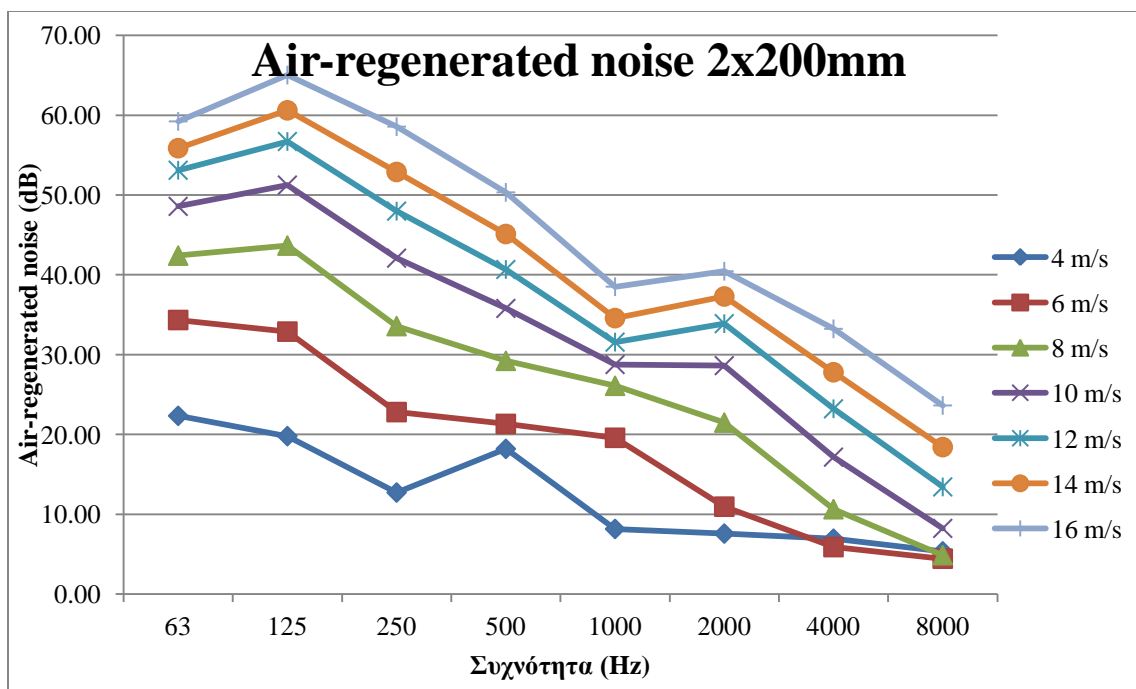
Πίνακας 59: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα συντελεστή πτώσης πίεσης [14]

3.1.2.3. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναγεννώμενου ήχου

Εφόσον μετρήσαμε τον αναγεννώμενο ήχο για κάθε μία ηχοπαγίδα ξεχωριστά και την μετατρέψαμε σε ηχοπαγίδα διατομής $1m^2$ κατασκευάσαμε ένα συγκεντρωτικό πίνακα. Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει την μέση τιμή του αναγεννώμενου ήχου και για τις έξι ηχοπαγίδες των 200mm που μετρήσαμε και έπειτα μετατρέψαμε σε διατομή ηχοπαγίδας $1m^2$. Στο παρακάτω πίνακα θα δείτε τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του αναγεννώμενου ήχου που προκύπτει για τις ηχοπαγίδες 200mm.

<u>Air - regenerated noise (dB) για όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας 200mm και διατομής $1m^2$</u>								
<u>U_f (m/s)</u>	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4	22.34	19.79	12.73	18.20	8.17	7.59	6.95	5.36
6	34.34	32.89	22.81	21.32	19.59	10.96	5.90	4.45
8	42.41	43.66	33.58	29.23	26.10	21.49	10.64	4.88
10	48.58	51.24	42.09	35.79	28.76	28.63	17.16	8.24
12	53.10	56.70	47.98	40.67	31.57	33.89	23.22	13.43
14	55.87	60.61	52.88	45.11	34.58	37.29	27.80	18.42
16	59.22	65.02	58.56	50.33	38.52	40.45	33.24	23.64

Πίνακας 60: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας 200mm και διατομής $1m^2$ [14]



Σχήμα 37: Γραφική συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας 200mm {7}

3.2. Ηχοπαγίδες με τρία ηχοστοιχεία πλάτους 100mm μήκους 1500mm

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ηχοπαγίδων πλάτους 200mm μήκους 1000mm που μελετήσαμε βρίσκονται στον ακόλουθο πίνακα.

<u>Διάκενο</u> (S)	<u>Αριθμός ηχοστοιχείων</u> (N)	<u>Πλάτος</u> (B)	<u>Ύψος</u> (H)
100	3	0.600	0.500
90	3	0.570	0.530
80	3	0.540	0.560
70	3	0.510	0.590
60	3	0.480	0.610
50	3	0.450	0.635
40	3	0.420	0.655

Πίνακας 61: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ηχοπαγίδων πλάτους 100mm μήκους 1500mm [14]

Για αυτού του τύπου τις ηχοπαγίδες δεν παραθέτουμε κάποιο παράδειγμα επειδή οι διαδικασίες και οι υπολογισμοί που χρησιμοποιούνται είναι όμοιοι με του προηγούμενου τύπου ηχοπαγίδες

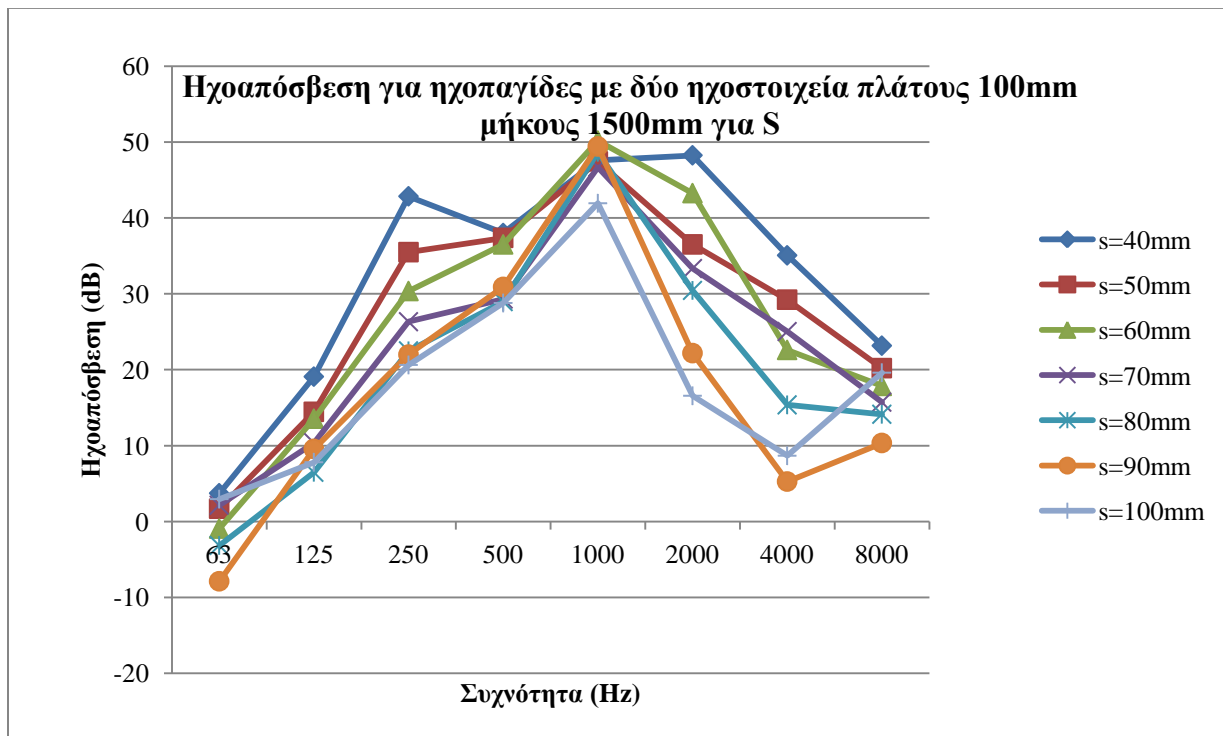
που αναφέρονται παραπάνω. Εξαιτίας αυτής της συγκυρίας προχωράμε κατευθείαν στα συγκεντρωτικά αποτελέσματα.

3.2.1. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

3.2.1.1. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ηχοαπόσβεσης

<u>Συχνότητα (Hz)</u>	<u>Ηχοαπόσβεση για ηχοπαγίδες με τρία ηχοστοιχεία πλάτους 100mm μήκους 1500mm για S</u>						
	40	50	60	70	80	90	100
63	3.72	1.68	-0.94	2.14	-3.16	-7.88	2.94
125	19.08	14.44	13.54	10.36	6.48	9.56	7.8
250	42.84	35.48	30.36	26.32	22.48	21.98	20.62
500	38	37.36	36.5	29.3	28.96	30.9	28.78
1000	47.6	47.44	50.18	46.68	48.64	49.4	41.92
2000	48.24	36.5	43.26	33.32	30.44	22.18	16.56
4000	35.06	29.22	22.6	25.02	15.36	5.26	8.66
8000	23.16	20.2	17.86	15.72	14.12	10.34	19.6

Πίνακας 62: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ηχοαπόσβεσης [14]

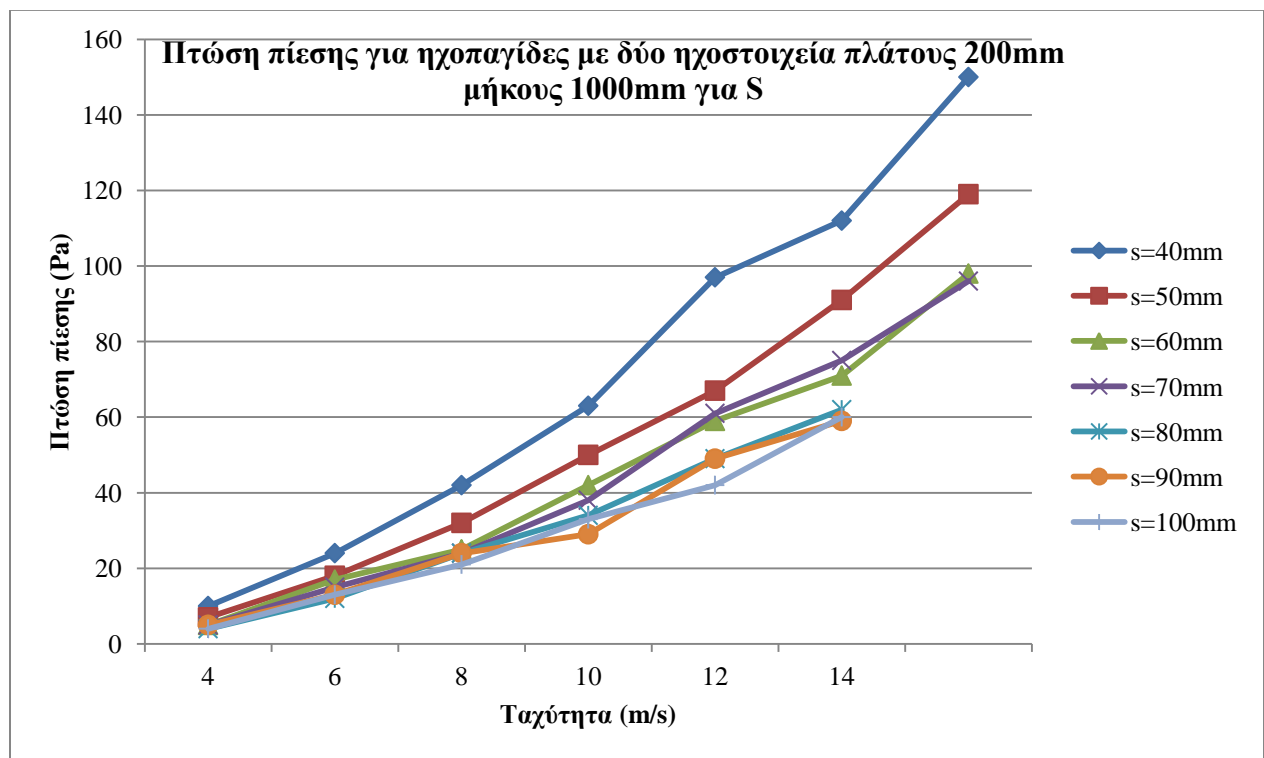


Σχήμα 38: Γραφική συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων ηχοαπόσβεσης {7}

3.2.1.2. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα πτώσης πίεσης

U_f (m/s)	<u>Πτώση πίεσης για ηχοπαγίδες με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 100mm μήκους 1500mm για S</u>						
	40	50	60	70	80	90	100
4	10	7	5	5	4	5	4
6	24	18	17	15	12	13	13
8	42	32	25	24	24	24	21
10	63	50	42	38	34	29	33
12	97	67	59	61	49	49	42
14	112	91	71	75	62	59	60
16	150	119	98	96	-	-	-

Πίνακας 63: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα πτώσης πίεσης [14]



Σχήμα 39: Γραφική συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων πτώσης πίεσης [7]

<u>Συντελεστής πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδες με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 100mm μήκους 1500mm για S</u>			
<u>Διάκενο (S)</u>	<u>Πλάτος (B)</u>	<u>Ύψος (H)</u>	<u>Συντελεστής πτώσης πίεσης (ζ)</u>
100	0.600	0.500	0.824718
90	0.570	0.530	0.827147
80	0.540	0.560	0.827489
70	0.510	0.590	0.825765
60	0.480	0.610	0.815992
50	0.450	0.635	0.8068
40	0.420	0.655	0.791552

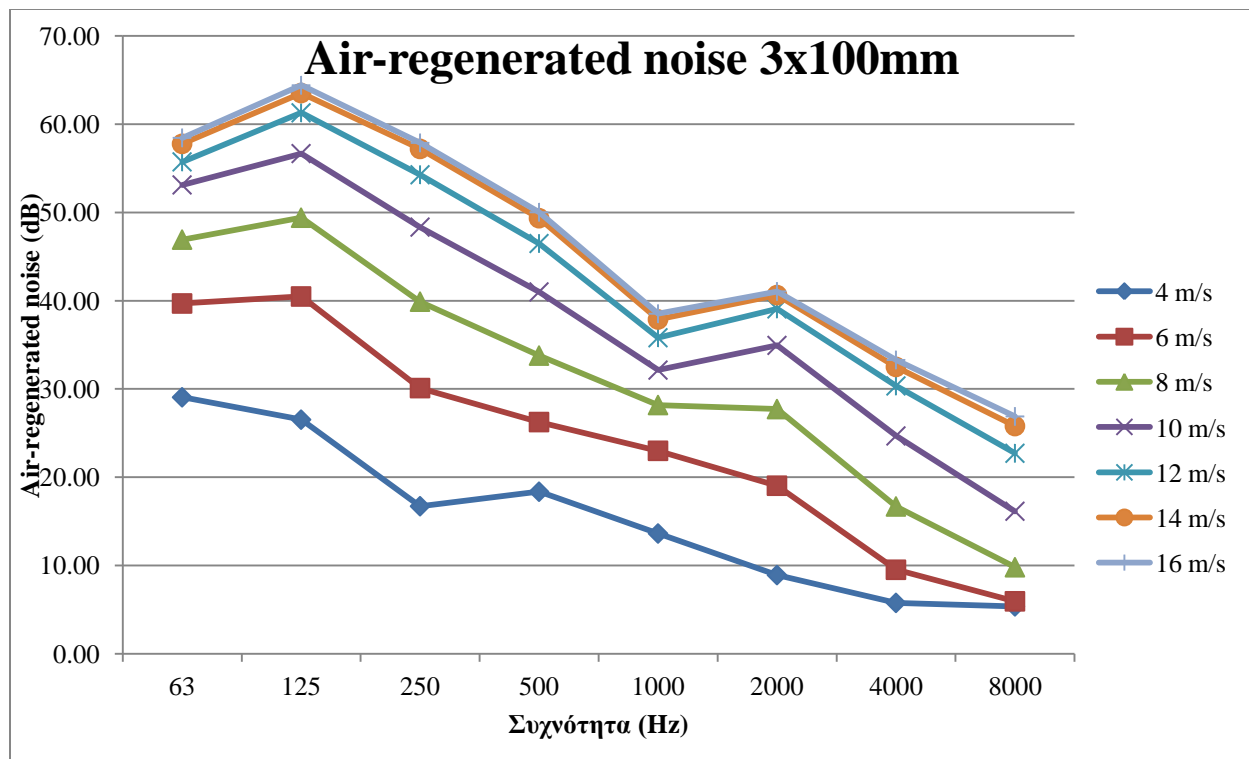
Πίνακας 64: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα συντελεστή πτώσης πίεσης [14]

3.2.1.3. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναγεννώμενου ήχου

Όπως είδατε και στο προηγούμενο τύπο ηχοπαγίδας κατασκευάσαμε ένα συγκεντρωτικό πίνακα για τον αναγεννώμενο. Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει την μέση τιμή του αναγεννώμενου ήχου και για τις επτά ηχοπαγίδες των 100mm που μετρήσαμε και έπειτα μετατροπή σε διατομή ηχοπαγίδας 1m². Στο παρακάτω πίνακα θα δείτε τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του αναγεννώμενου ήχου που προκύπτει για τις ηχοπαγίδες 100mm.

<u>Air - regenerated noise (dB) για όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας 100mm και διατομής 1m²</u>								
<u>U_f (m/s)</u>	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4	29.05	26.52	16.71	18.36	13.62	8.91	5.76	5.37
6	39.68	40.48	30.10	26.25	22.99	19.04	9.51	5.94
8	46.92	49.40	39.89	33.78	28.18	27.72	16.68	9.80
10	53.12	56.67	48.34	40.99	32.14	34.94	24.68	16.14
12	55.73	61.29	54.27	46.48	35.80	39.07	30.34	22.71
14	57.77	63.53	57.19	49.35	37.87	40.63	32.49	25.80
16	58.44	64.40	57.88	50.02	38.52	41.05	33.28	26.88

Πίνακας 65: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας 100mm και διατομής 1m² [14]



Σχήμα 40: Γραφική συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας 100mm {7}

3.3. Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων

Έχοντας στα χέρια μας τα αποτελέσματα των μετρήσεων, φτάνουμε στο σημείο να αναρωτηθούμε αν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Για το σκοπό αυτό συγκρίναμε τα αποτελέσματα μας με τις τιμές που παρουσιάζει μια από τις διεθνώς μεγαλύτερες εταιρείες του χώρου, με χρόνια εμπειρίας η γερμανική Trox. Στη συνέχεια φαίνεται η σύγκριση των συγκεντρωτικών μας αποτελεσμάτων με τις αντίστοιχες τιμές της Trox.

3.3.1. Σύγκριση αποτελεσμάτων ηχοαπόσβεσης

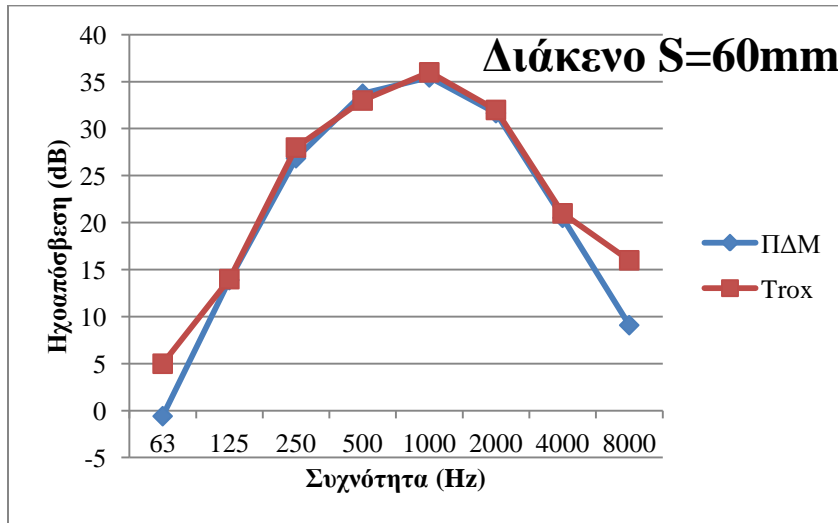
3.3.1.1. Ηχοπαγίδες με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 200mm μήκους 1000mm

Συχνότητα (Hz)	Ηχοαπόσβεση για ηχοπαγίδες με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 200mm μήκους 1000mm για S (ΠΔΜ)					
	60	80	100	120	140	160
63	-0.58	-0.26	4.2	8.62	2.24	-2.04
125	13.9	12.72	9.2	8.76	8.52	5.66
250	26.86	22.1	20.02	17.7	16.76	15.7
500	33.72	29.36	23.5	20.7	18.56	17.54
1000	35.46	33.28	28.06	25.98	24.3	20
2000	31.66	24.84	15.18	15.9	11.9	10.18
4000	20.52	14.44	12.02	9.94	13.34	7.4
8000	9.1	13.24	11.74	7.76	9.38	6.66

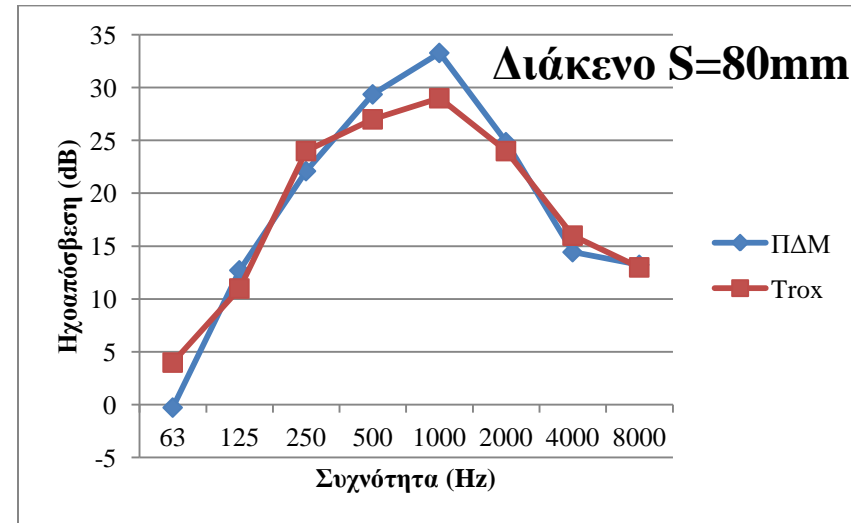
Πίνακας 66: Πειραματικά αποτελέσματα ηχοαπόσβεσης [14]

Συχνότητα (Hz)	Ηχοαπόσβεση για ηχοπαγίδες με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 200mm μήκους 1000mm για S (Trox)					
	60	80	100	120	140	160
63	5	4	4	3	3	2
125	14	11	10	9	8	7
250	28	24	22	19	16	15
500	33	27	23	19	17	15
1000	36	29	26	21	18	16
2000	32	24	19	16	14	12
4000	21	16	13	11	10	9
8000	16	13	11	9	8	7

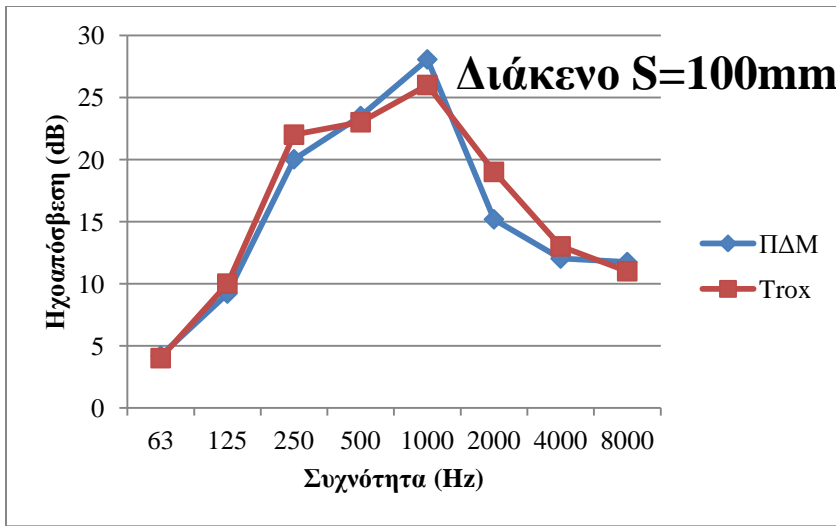
Πίνακας 67: Αποτελέσματα ηχοαπόσβεσης Trox [15]



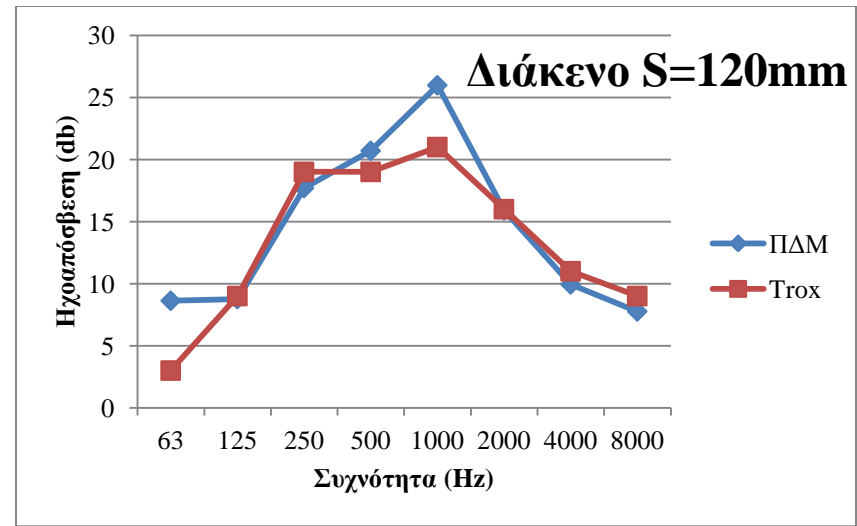
Σχήμα 41: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 60mm [7]



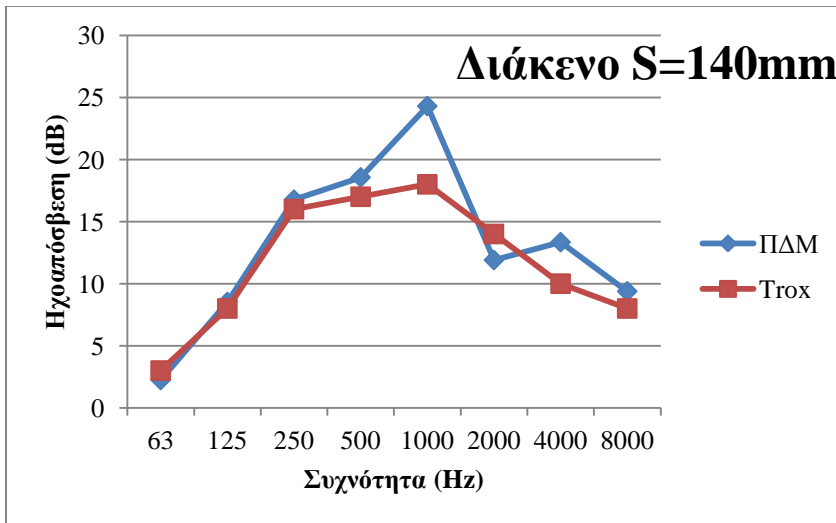
Σχήμα 42: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 80mm [7]



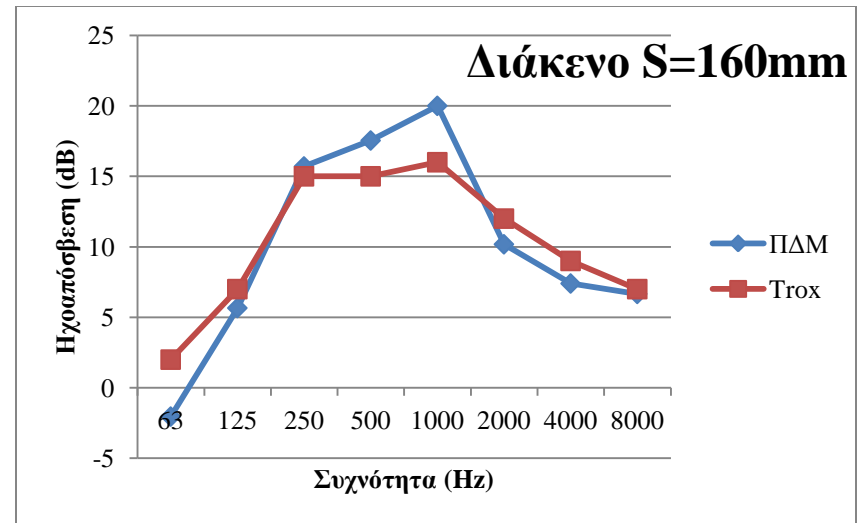
Σχήμα 43: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαρίδα διάκενου 100mm {7}



Σχήμα 44: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαρίδα διάκενου 120mm {7}



Σχήμα 45: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαρίδα διάκενου 140mm {7}



Σχήμα 46: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαρίδα διάκενου 160mm {7}

Όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα τα αποτελέσματα μας είναι κοντά στις τιμές της Trox. Επίσης παρουσιάζουν τις ίδιες τάσεις στις διάφορες συχνότητες ενδιαφέροντος. Αυτό που μπορούμε να διακρίνουμε είναι ότι οι δικές μας ηχοπαγίδες παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόσβεση στις μεσαίες συχνότητες, ενώ στις πολύ χαμηλές και πολύ υψηλές συχνότητες η Trox παρουσιάζει μεγαλύτερες αποσβέσεις. Γενικά αυτό που παρατηρήσαμε στις ηχοπαγίδες μας, στις πολύ χαμηλές συχνότητες έδειχναν να μην αποσβένουν καθώς κατά την διάρκεια των μετρήσεων παρατηρήσαμε συντονισμό της όλης διάταξης όταν εκπέμπονταν σήματα τέτοιου είδους.

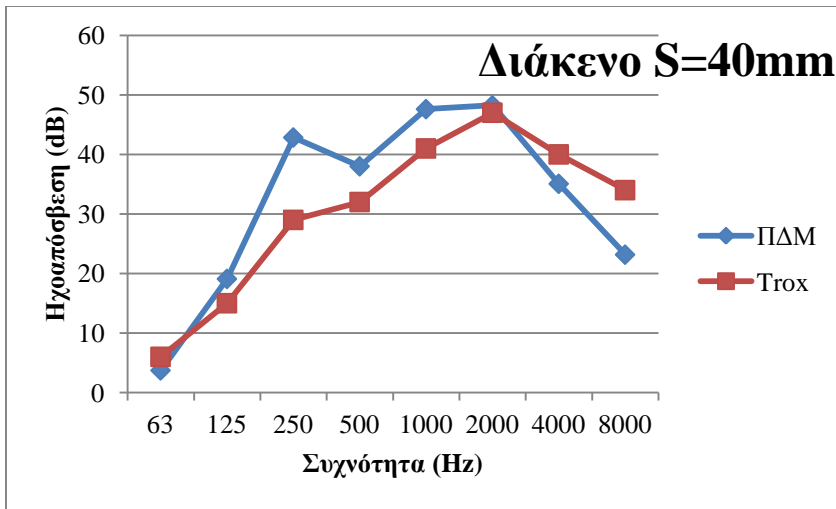
3.3.1.2. Ηχοπαγίδες με τρία ηχοστοιχεία πλάτους 100mm μήκους 1500mm

<u>Συχνότητα</u> (Hz)	<u>Ηχοαπόσβεση για ηχοπαγίδες με τρία ηχοστοιχεία πλάτους 100mm μήκους 1500mm για S (ΠΑΜ)</u>						
	40	50	60	70	80	90	100
63	3.72	1.68	-0.94	2.14	-3.16	-7.88	2.94
125	19.08	14.44	13.54	10.36	6.48	9.56	7.8
250	42.84	35.48	30.36	26.32	22.48	21.98	20.62
500	38	37.36	36.5	29.3	28.96	30.9	28.78
1000	47.6	47.44	50.18	46.68	48.64	49.4	41.92
2000	48.24	36.5	43.26	33.32	30.44	22.18	16.56
4000	35.06	29.22	22.6	25.02	15.36	5.26	8.66
8000	23.16	20.2	17.86	15.72	14.12	10.34	19.6

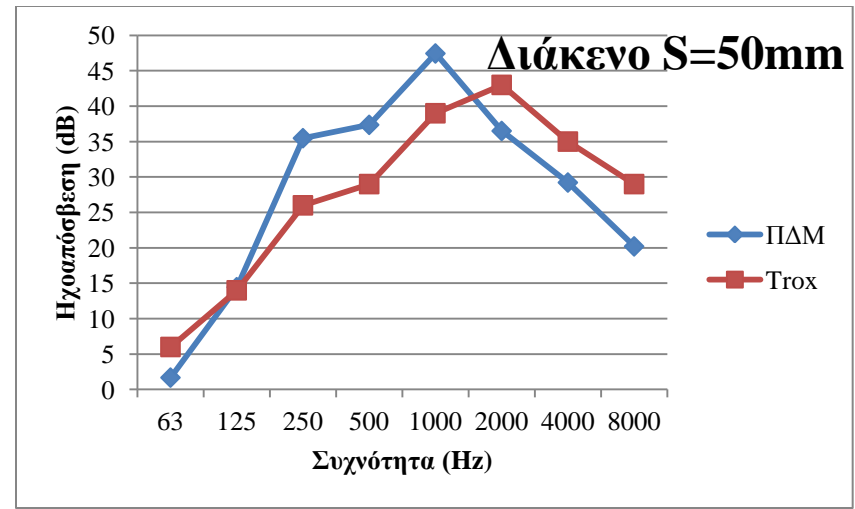
Πίνακας 68: Πειραματικά αποτελέσματα ηχοαπόσβεσης [14]

<u>Συχνότητα</u> (Hz)	<u>Ηχοαπόσβεση για ηχοπαγίδες με τρία ηχοστοιχεία πλάτους 100mm μήκους 1500mm για S (Trox)</u>						
	40	50	60	70	80	90	100
63	6	6	6	5	5	4	4
125	15	14	14	12	11	11	10
250	29	26	24	20	18	16	14
500	32	29	27	24	22	20	19
1000	41	39	37	34	32	30	29
2000	47	43	40	36	32	30	28
4000	40	35	33	28	24	21	19
8000	34	29	27	22	18	16	13

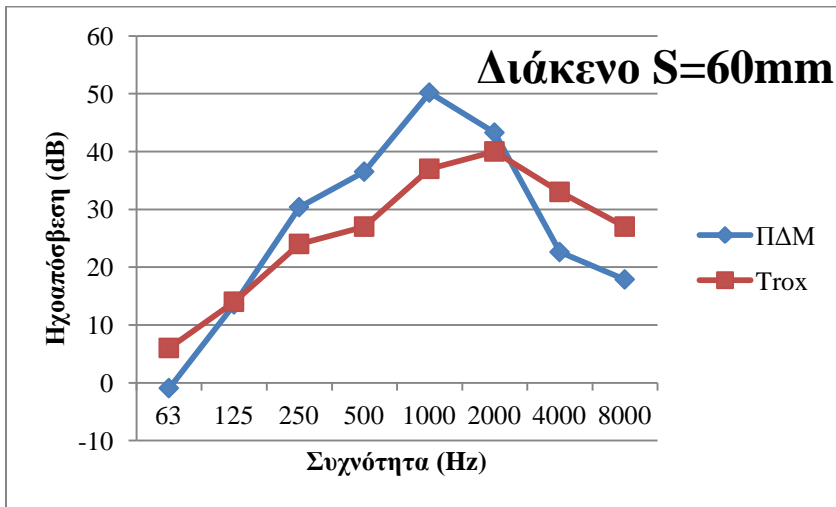
Πίνακας 69: Αποτελέσματα ηχοαπόσβεσης Trox [15]



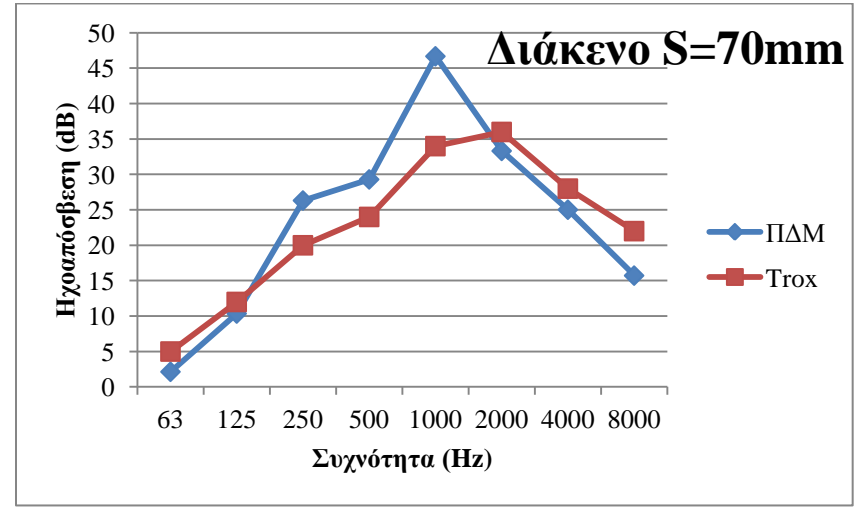
Σχήμα 47: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαρίδα διάκενον 40mm {7}



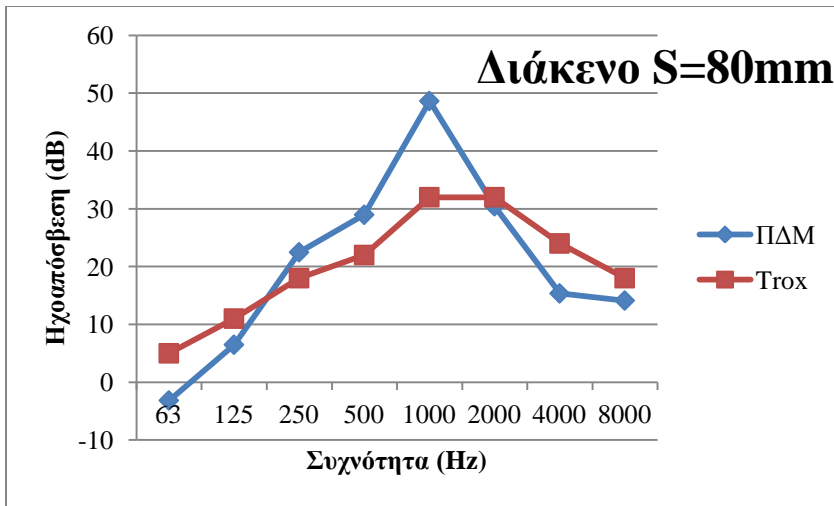
Σχήμα 48: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαρίδα διάκενον 50mm {7}



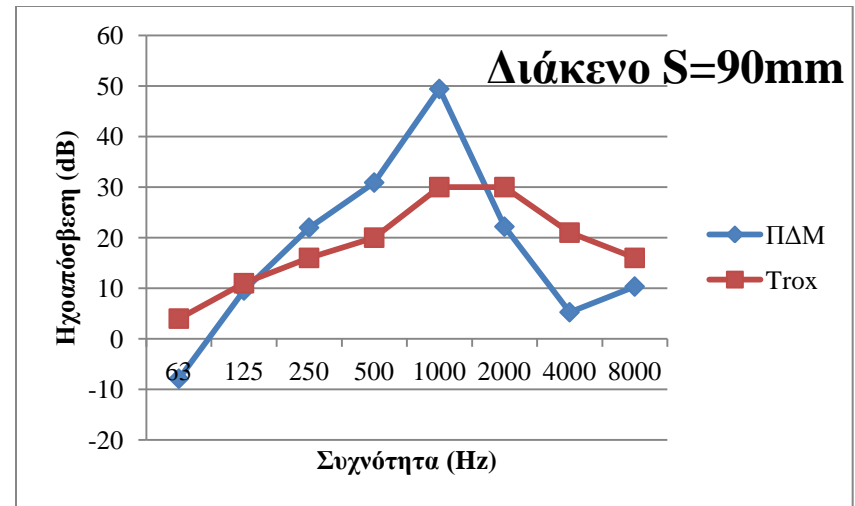
Σχήμα 49: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαρίδα διάκενον 60mm {7}



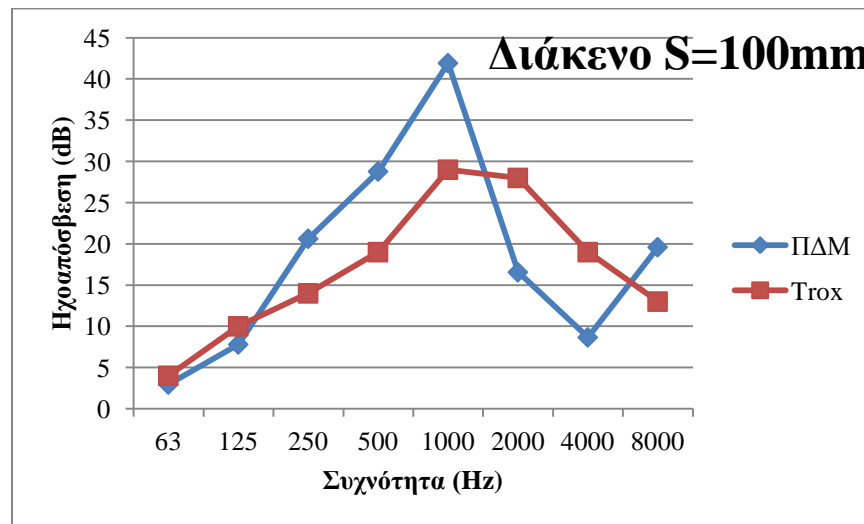
Σχήμα 50: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαρίδα διάκενον 70mm {7}



Σχήμα 51: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαρίδα διάκενον 80mm {7}



Σχήμα 52: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαρίδα διάκενον 90mm {7}



Σχήμα 53: Συγκριτικό διάγραμμα ηχοαπόσβεσης για ηχοπαρίδα διάκενον 100mm {7}

Όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα τα αποτελέσματα μας είναι κοντά στις τιμές της Trox. Επίσης παρουσιάζουν τις ίδιες τάσεις στις διάφορες συχνότητες ενδιαφέροντος. Αυτό που μπορούμε να διακρίνουμε είναι ότι οι ηχοπαγίδες που μελετήθηκαν παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόσβεση στις μεσαίες συχνότητες, ενώ στις πολύ χαμηλές και πολύ υψηλές συχνότητες η Trox παρουσιάζει μεγαλύτερες αποσβέσεις. Γενικά αυτό που παρατηρήθηκε στις ηχοπαγίδες μας, στις πολύ χαμηλές συχνότητες έδειχναν να μην αποσβαίνουν καθώς κατά την διάρκεια των μετρήσεων παρατηρήσαμε συντονισμό της όλης διάταξης όταν εκπέμπονταν σήματα τέτοιου είδους. Στην περίπτωση αυτού του τύπου ηχοπαγίδας παρατηρείται μια απότομη αύξηση της απόσβεσης στα 1000Hz γεγονός που προξενεί απορία.

3.3.2. Σύγκριση αποτελεσμάτων πτώσης πίεσης

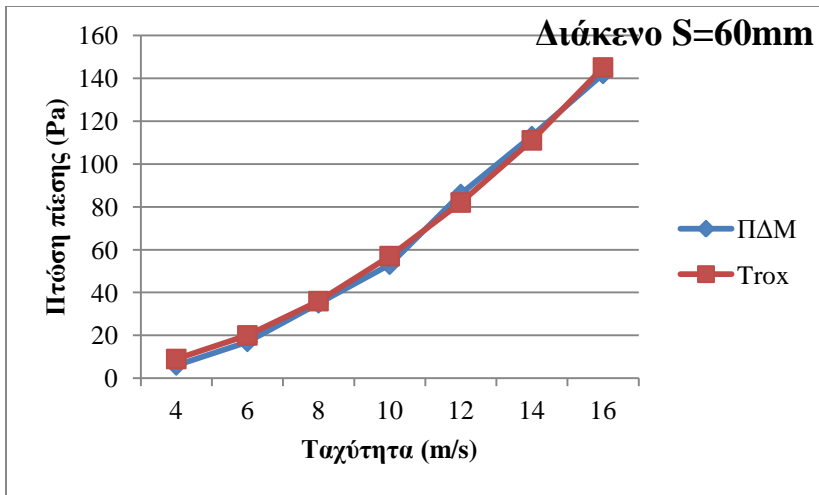
3.3.2.1. Ηχοπαγίδες με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 200mm μήκους 1000mm

U_f (m/s)	<u>Πτώση πίεσης για ηχοπαγίδες με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 200mm μήκους 1000mm για S (ΠΑΜ)</u>					
	60	80	100	120	140	160
4	6	6	5	4	3	2
6	17	18	13	11	9	7
8	35	27	23	21	18	16
10	53	46	37	32	29	24
12	86	66	50	46	38	39
14	113	88	61	64	58	48
16	142	113	87	84	68	67

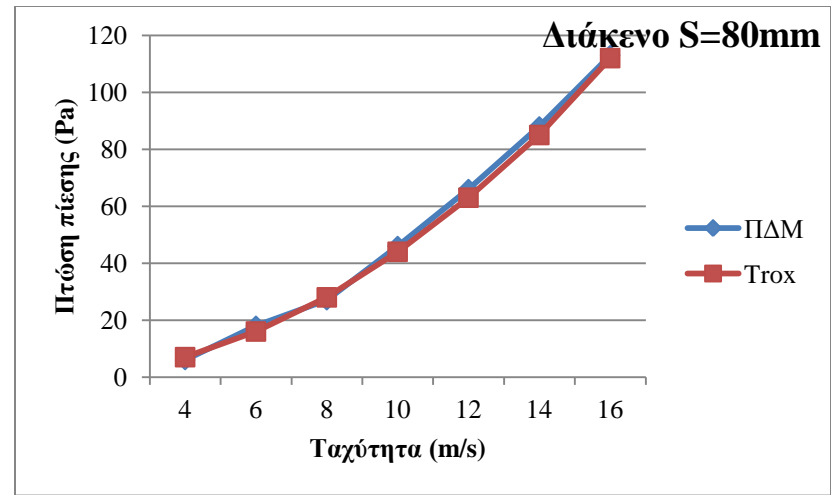
Πίνακας 70: Πειραματικά αποτελέσματα πτώσης πίεσης [14]

U_f (m/s)	<u>Πτώση πίεσης για ηχοπαγίδες με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 200mm μήκους 1000mm για S (Trox)</u>					
	60	80	100	120	140	160
4	9	7	6	5	4	4
6	20	16	13	11	10	9
8	36	28	23	20	18	16
10	57	44	36	31	28	25
12	82	63	52	45	40	36
14	111	85	71	61	54	49
16	145	112	92	80	71	64

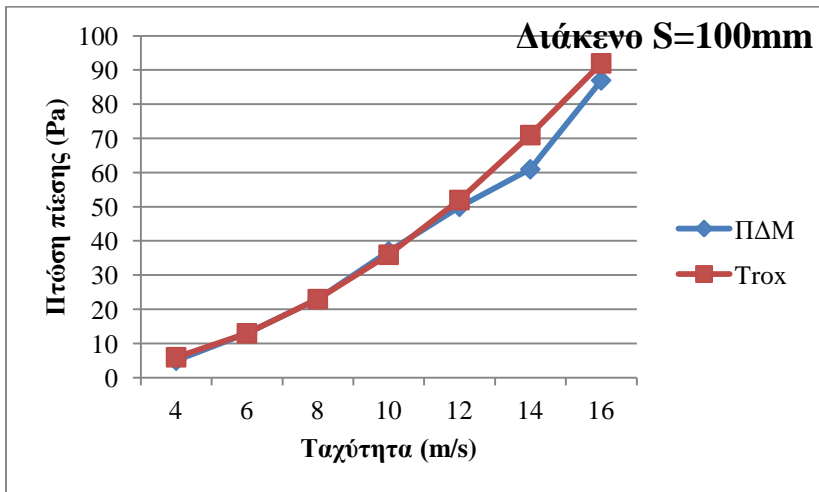
Πίνακας 71: Τιμές πτώσης πίεσης Trox [15]



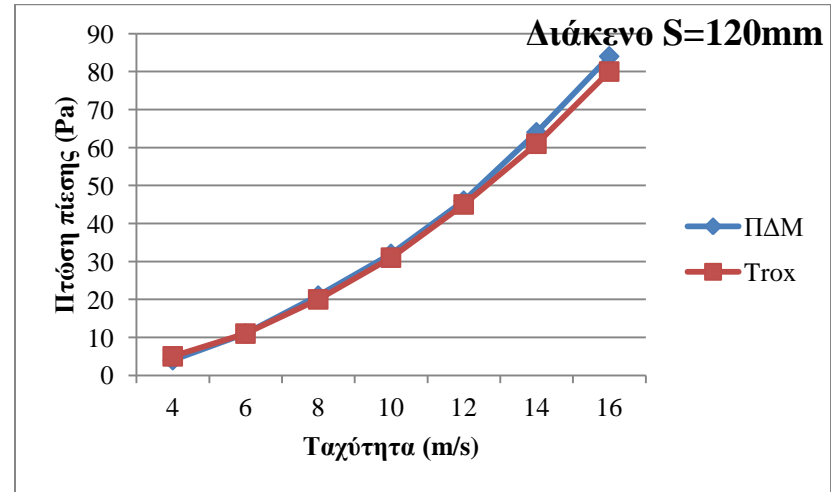
Σχήμα 54: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενον 60mm {7}



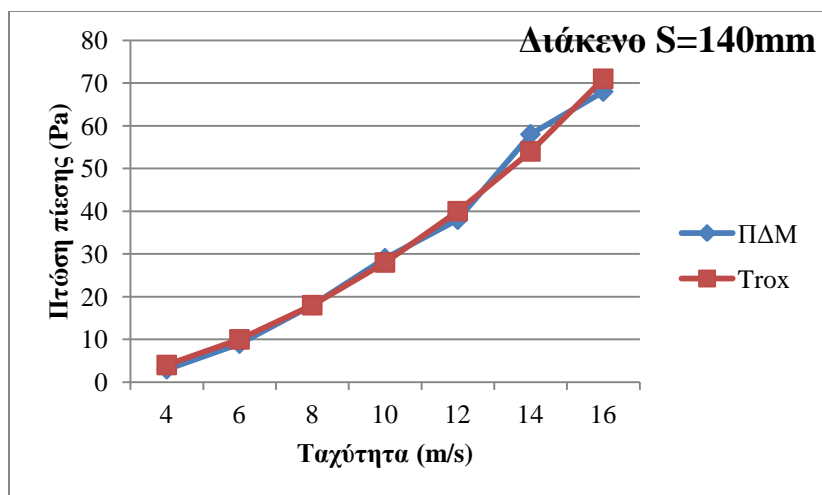
Σχήμα 55: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενον 80mm {7}



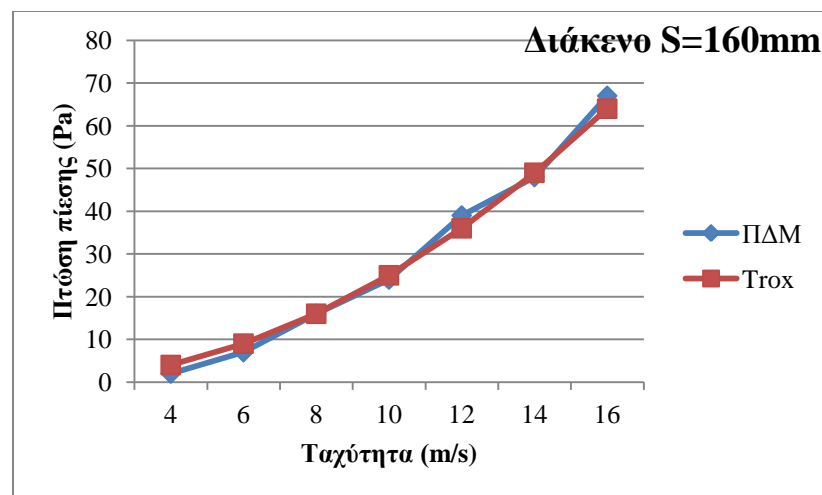
Σχήμα 56: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενον 100mm {7}



Σχήμα 57: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενον 120mm {7}



Σχήμα 58: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 140mm {7}



Σχήμα 59: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 160mm {7}

Όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα τα αποτελέσματα μας μοιάζουν με τις τιμές της Trox. Επίσης παρουσιάζουν τις ίδιες τάσεις στις διάφορες συχνότητες ενδιαφέροντος.

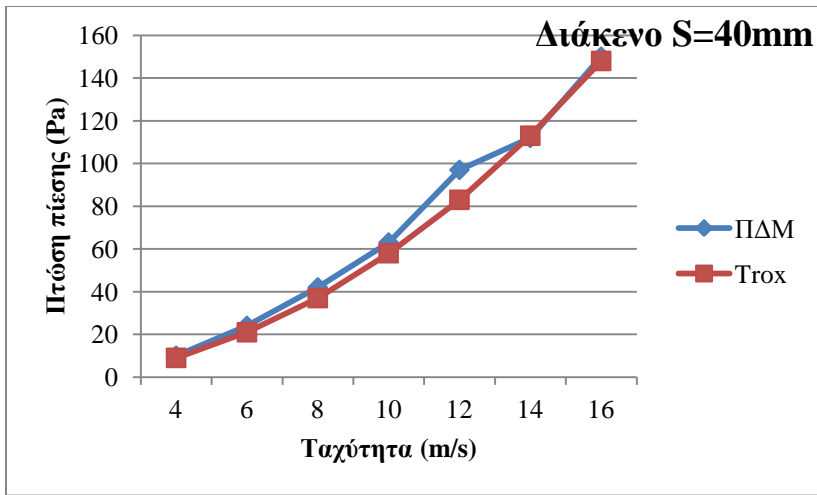
3.3.2.2. Ηχοπαγίδες με τρία ηχοστοιχεία πλάτους 100mm μήκους 15000mm

U_f (m/s)	Πτώση πίεσης για ηχοπαγίδες με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 100mm μήκους 1500mm για S (ΠΔΜ)						
	40	50	60	70	80	90	100
4	10	7	5	5	4	5	4
6	24	18	17	15	12	13	13
8	42	32	25	24	24	24	21
10	63	50	42	38	34	29	33
12	97	67	59	61	49	49	42
14	112	91	71	75	62	59	60
16	150	119	98	96	-	-	-

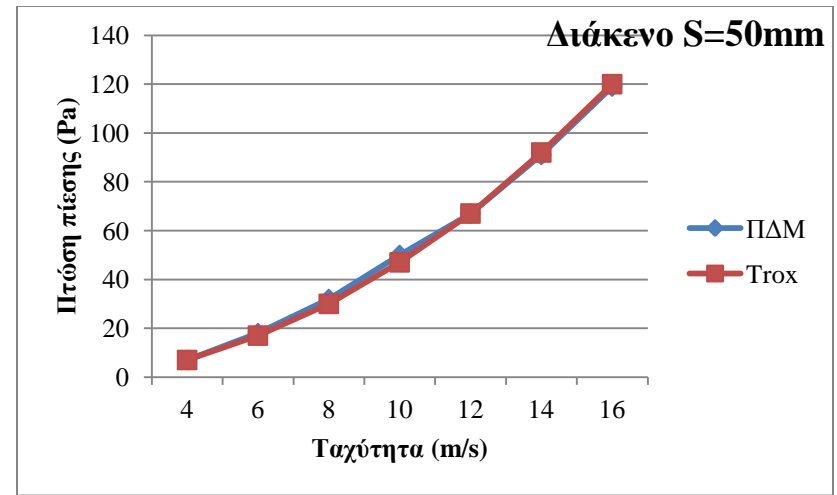
Πίνακας 72: Πειραματικά αποτελέσματα πτώσης πίεσης [14]

U_f (m/s)	Πτώση πίεσης για ηχοπαγίδες με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 100mm μήκους 1500mm για S (Trox)						
	40	50	60	70	80	90	100
4	9	7	6	6	5	5	5
6	21	17	15	13	12	11	11
8	37	30	26	23	21	20	19
10	58	47	40	36	33	31	30
12	83	67	58	52	48	45	43
14	113	92	79	71	66	62	59
16	148	120	103	93	-	-	-

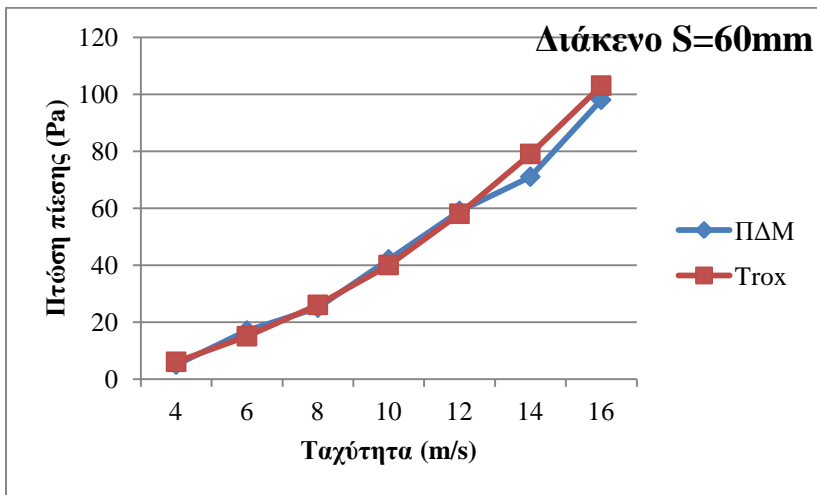
Πίνακας 73: Τιμές πτώσης πίεσης Trox [15]



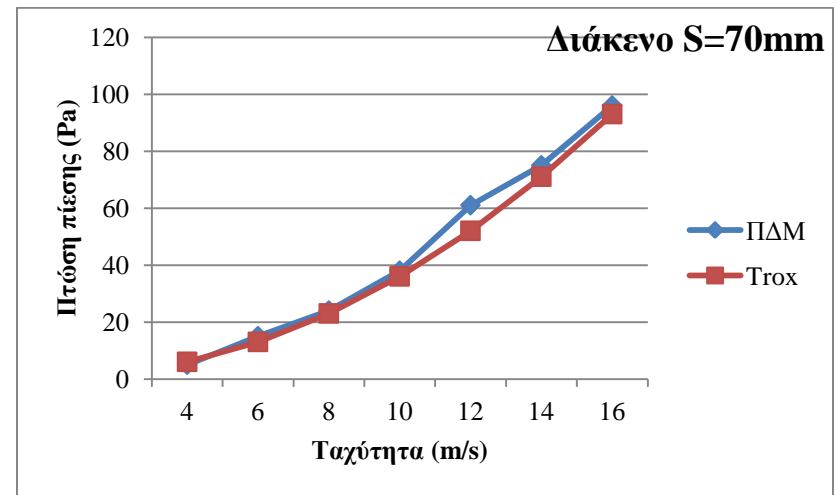
Σχήμα 60: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 40mm {7}



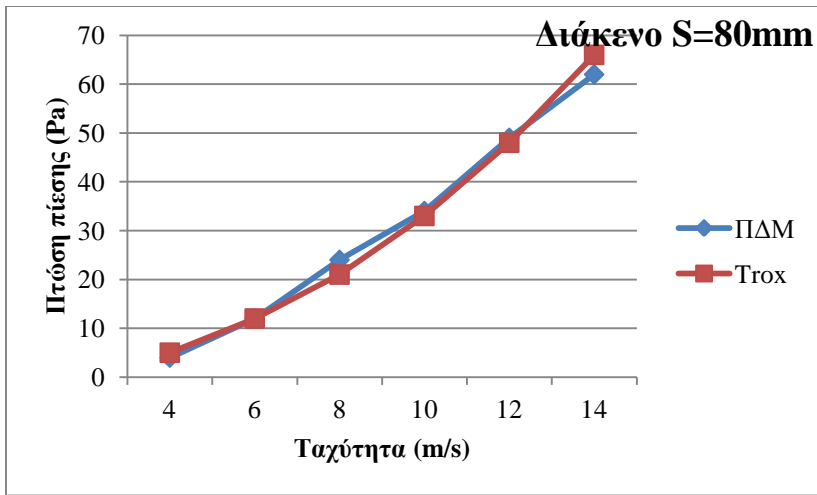
Σχήμα 61: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 50mm {7}



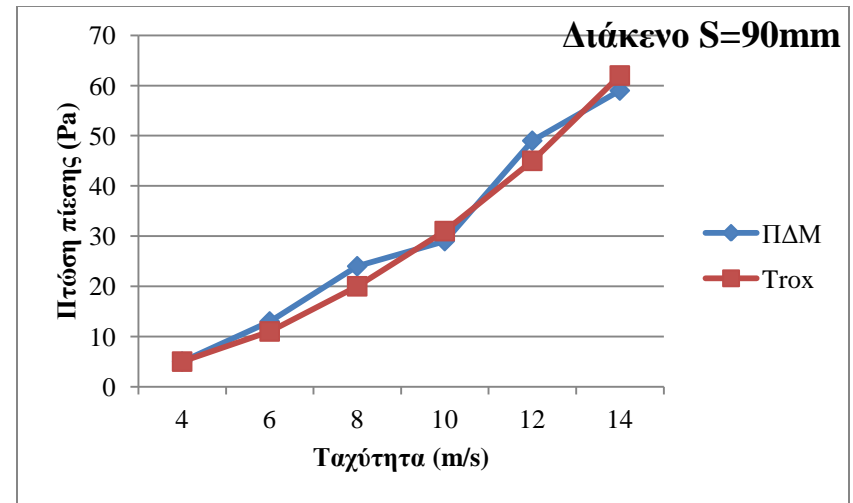
Σχήμα 62: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 60mm {7}



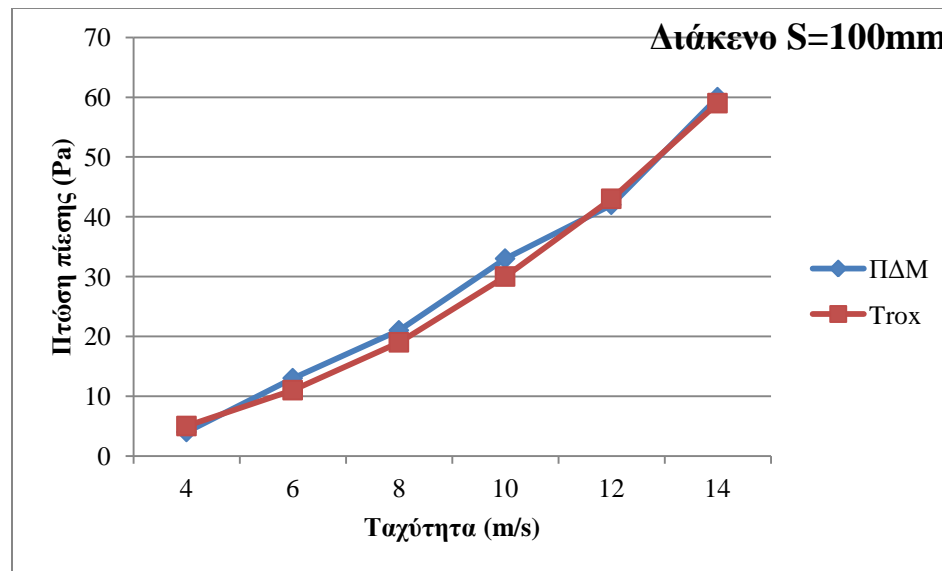
Σχήμα 63: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενου 70mm {7}



Σχήμα 64: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενον 80mm {7}



Σχήμα 65: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενον 90mm {7}



Σχήμα 66: Συγκριτικό διάγραμμα πτώσης πίεσης για ηχοπαγίδα διάκενον 100mm {7}

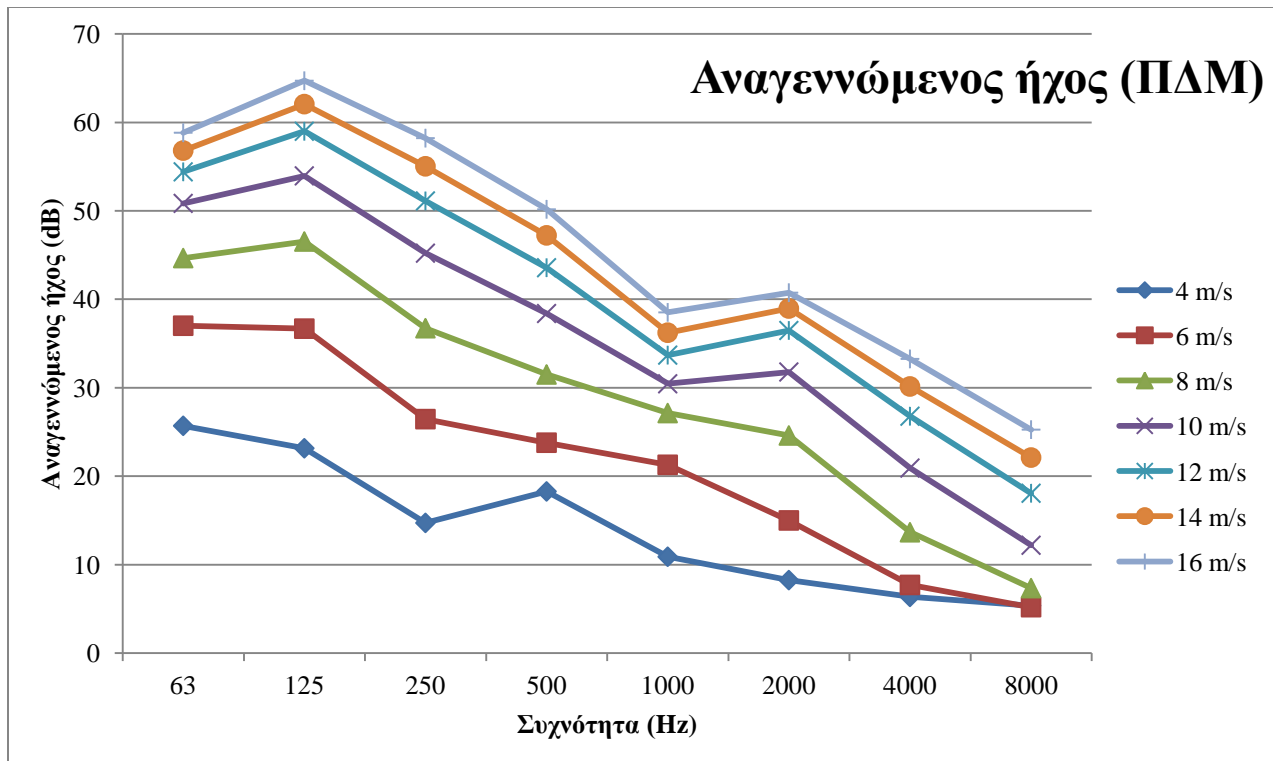
Διαπιστώνουμε ομοίως με τον προηγούμενο τύπο ηχοπαγίδας πως στα παραπάνω διαγράμματα τα αποτελέσματα μας είναι πολύ κοντά στις τιμές της Trox. Επίσης παρουσιάζουν τις ίδιες τάσεις στις διάφορες συχνότητες ενδιαφέροντος.

3.3.3. Σύγκριση αποτελεσμάτων αναγεννώμενου ήχου

Η Trox στο τεχνικό εγχειρίδιο της περιέχει ένα πίνακα, ο οποίος περιέχει τις τιμές του αναγεννώμενου ήχου για όλους τους τύπους ηχοπαγίδων, δηλαδή ανεξάρτητα γεωμετρικών χαρακτηριστικών (πλάτος ηχοστοιχείων, πλάτος διάκενων και μήκος ηχοπαγίδας). Για να μπορέσουμε να έχουμε άμεσα συγκρίσιμα νούμερα, κατασκευάσαμε και εμείς ένα όμοιο πίνακα, ο οποίος εμπεριέχει όλες τις μέσες τιμές του αναγεννώμενου ήχου για το πλήθος των ηχοπαγίδων στις οποίες λάβαμε μετρήσεις. Στο παρακάτω πίνακα θα δείτε τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του αναγεννώμενου ήχου που προκύπτει για τις μέσες τιμές από όλες ηχοπαγίδες στις οποίες λάβαμε μετρήσεις.

<i>Air - regenerated noise (dB) για όλο το πλήθος ηχοπαγίδων στις οποίες λάβαμε μετρήσεις διατομής 1m² (ΠΑΜ)</i>								
<i>U_f (m/s)</i>	<i><u>Συχνότητα (Hz)</u></i>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4	25.70	23.16	14.72	18.28	10.90	8.25	6.36	5.36
6	37.01	36.68	26.45	23.79	21.29	15.00	7.71	5.19
8	44.66	46.53	36.73	31.50	27.14	24.60	13.66	7.34
10	50.85	53.96	45.21	38.39	30.45	31.78	20.92	12.19
12	54.41	58.99	51.12	43.57	33.69	36.48	26.78	18.07
14	56.82	62.07	55.04	47.23	36.22	38.96	30.15	22.11
16	58.83	64.71	58.22	50.17	38.52	40.75	33.26	25.26

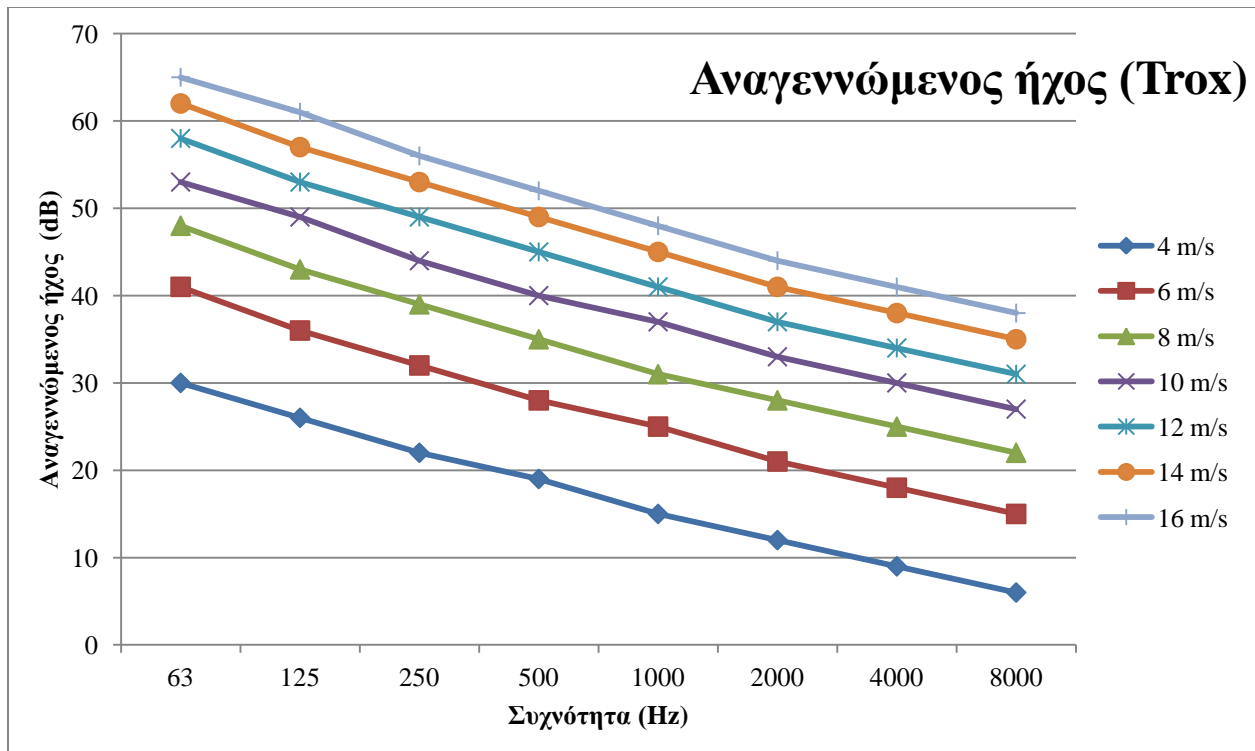
Πίνακας 74: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναγεννώμενου ήχου για όλο το πλήθος ηχοπαγίδων στις οποίες λάβαμε μετρήσεις διατομής 1m² (ΠΑΜ) [14]



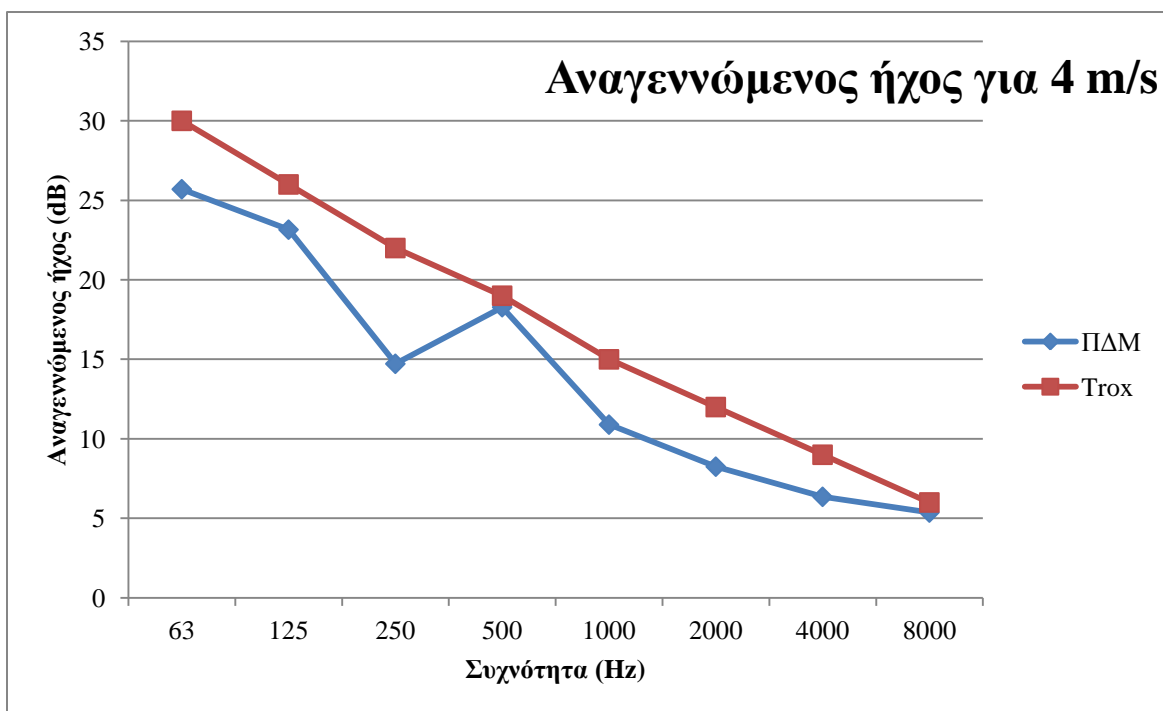
Σχήμα 67: Συγκεντρωτικό διάγραμμα αποτελεσμάτων αναγεννώμενου ήχου για όλο το πλήθος ηχοπαγίδων στις οποίες λάβαμε μετρήσεις διατομής 1m^2 (ΠΔΜ) [7]

<u><i>Air - regenerated noise (dB) για όλο το πλήθος ηχοπαγίδων στις οποίες λάβαμε μετρήσεις διατομής 1m^2 (Trox)</i></u>								
U_f (m/s)	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4	30	26	22	19	15	12	9	6
6	41	36	32	28	25	21	18	15
8	48	43	39	35	31	28	25	22
10	53	49	44	40	37	33	30	27
12	58	53	49	45	41	37	34	31
14	62	57	53	49	45	41	38	35
16	65	61	56	52	48	44	41	38

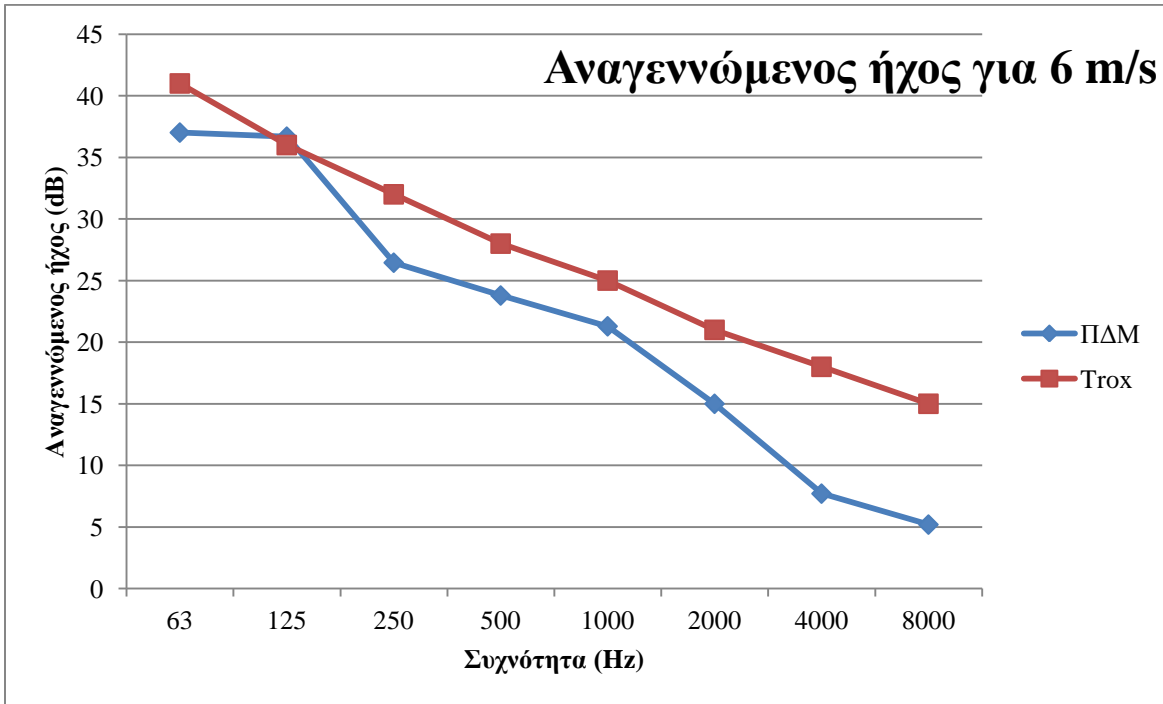
Πίνακας 75: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αναγεννώμενου ήχου για όλο το πλήθος ηχοπαγίδων διατομής 1m^2 (Trox) [15]



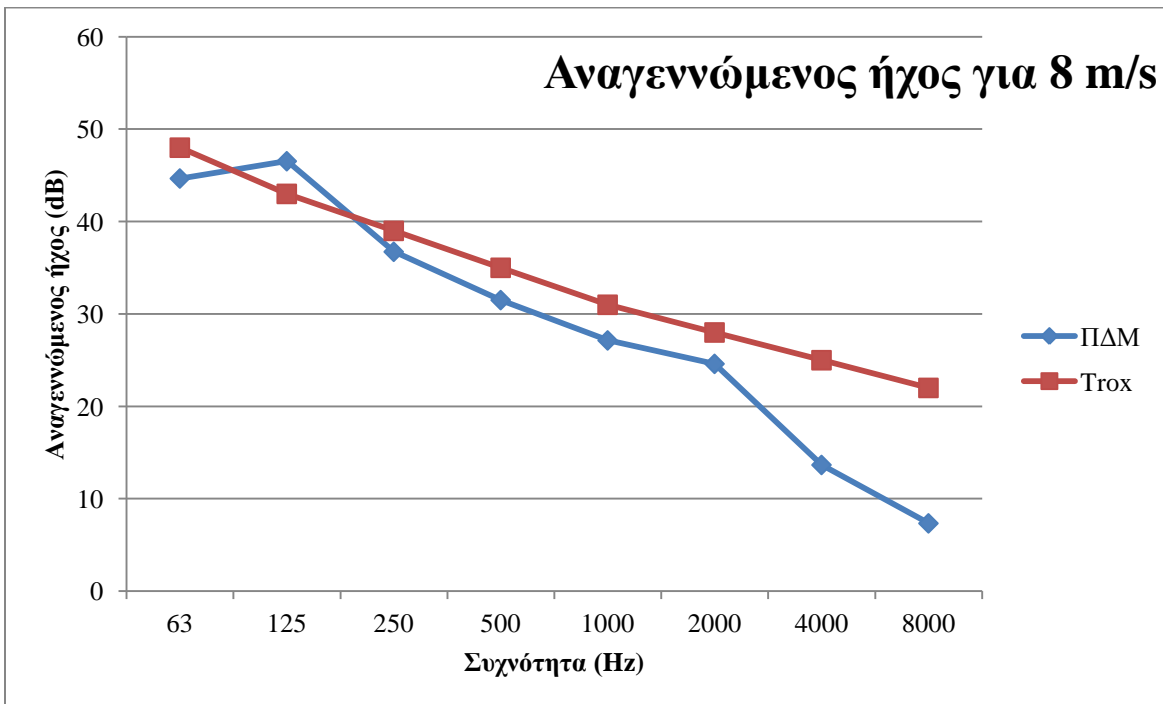
Σχήμα 68: Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμών αναγεννώμενου ήχου για όλο το πλήθος ηχοπαγίδων διατομής 1m² (Trox) {7}



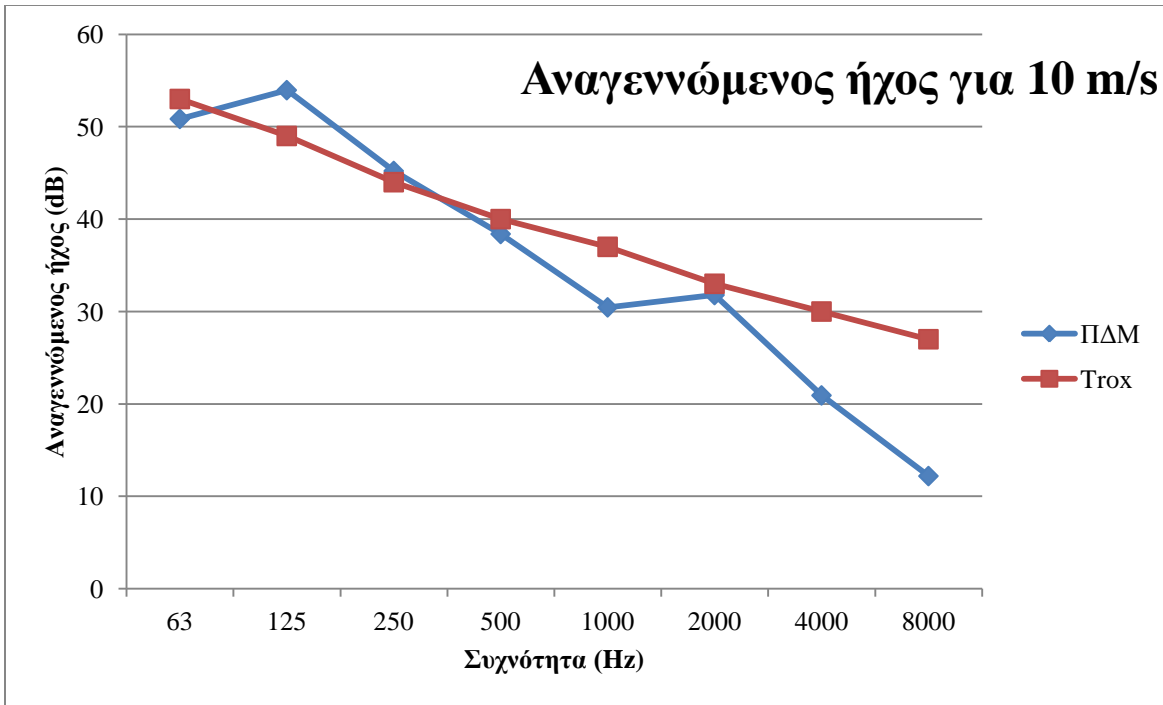
Σχήμα 69: Συγκριτικό διάγραμμα αναγεννώμενου ήχου για ταχύτητα 4m/s {7}



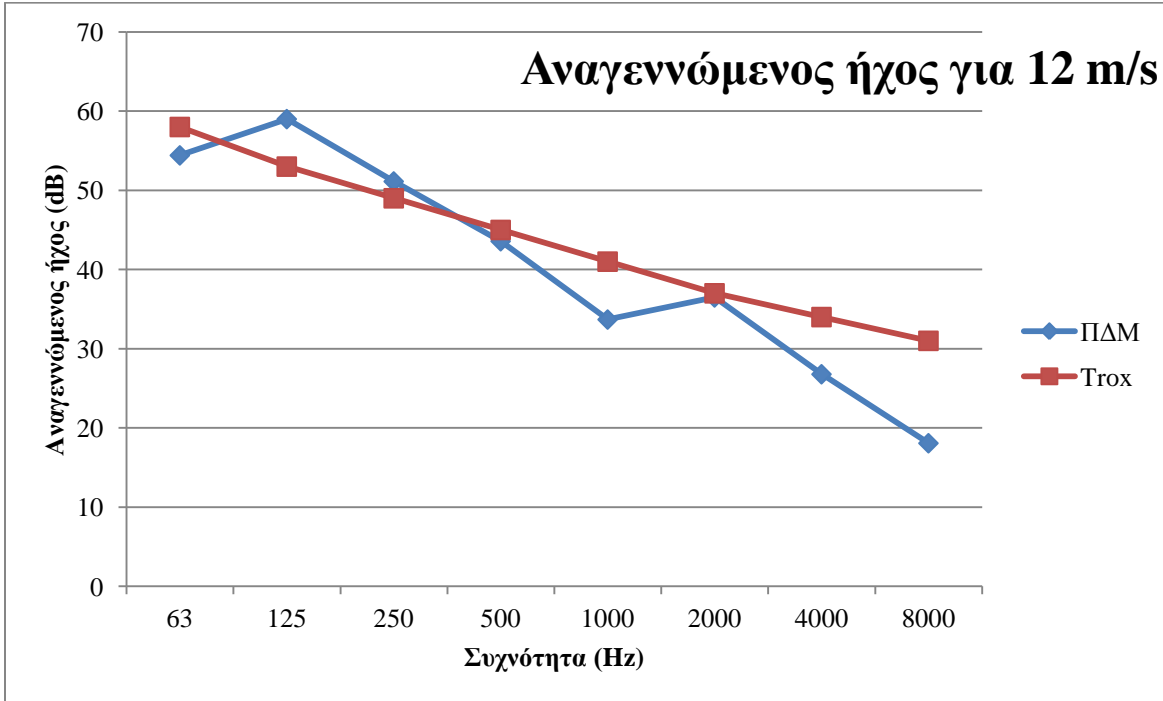
Σχήμα 70: Συγκριτικό διάγραμμα αναγεννώμενου ήχου για ταχύτητα 6m/s {7}



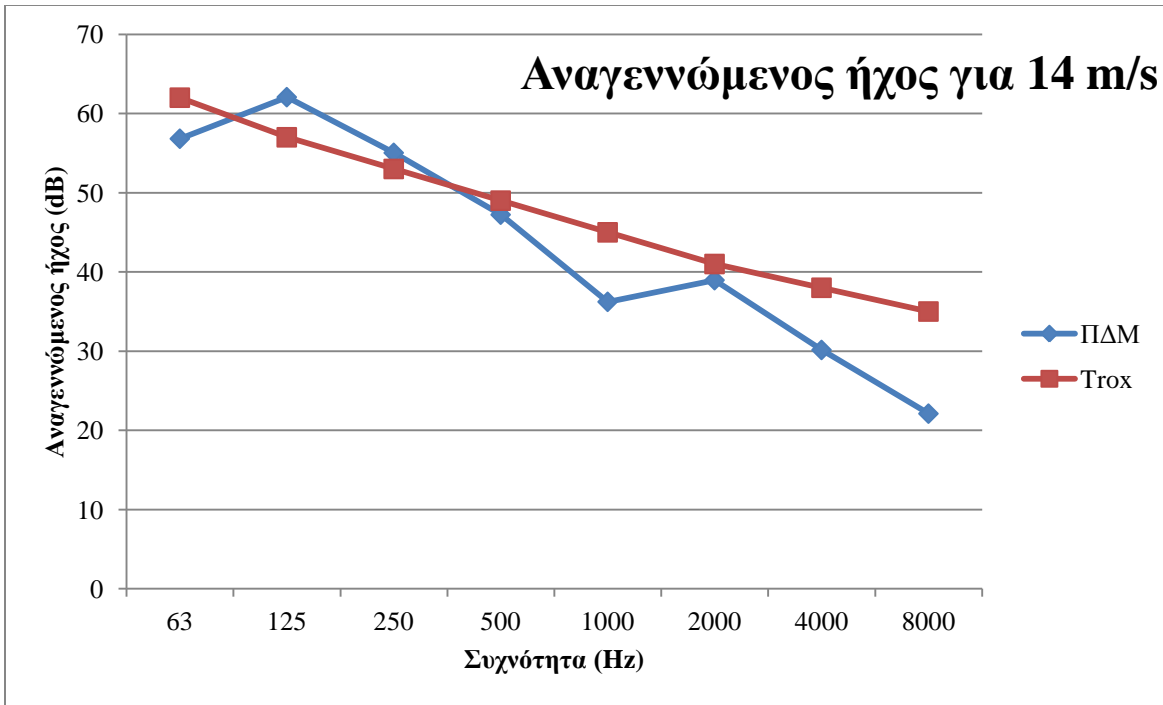
Σχήμα 71: Συγκριτικό διάγραμμα αναγεννώμενου ήχου για ταχύτητα 8m/s {7}



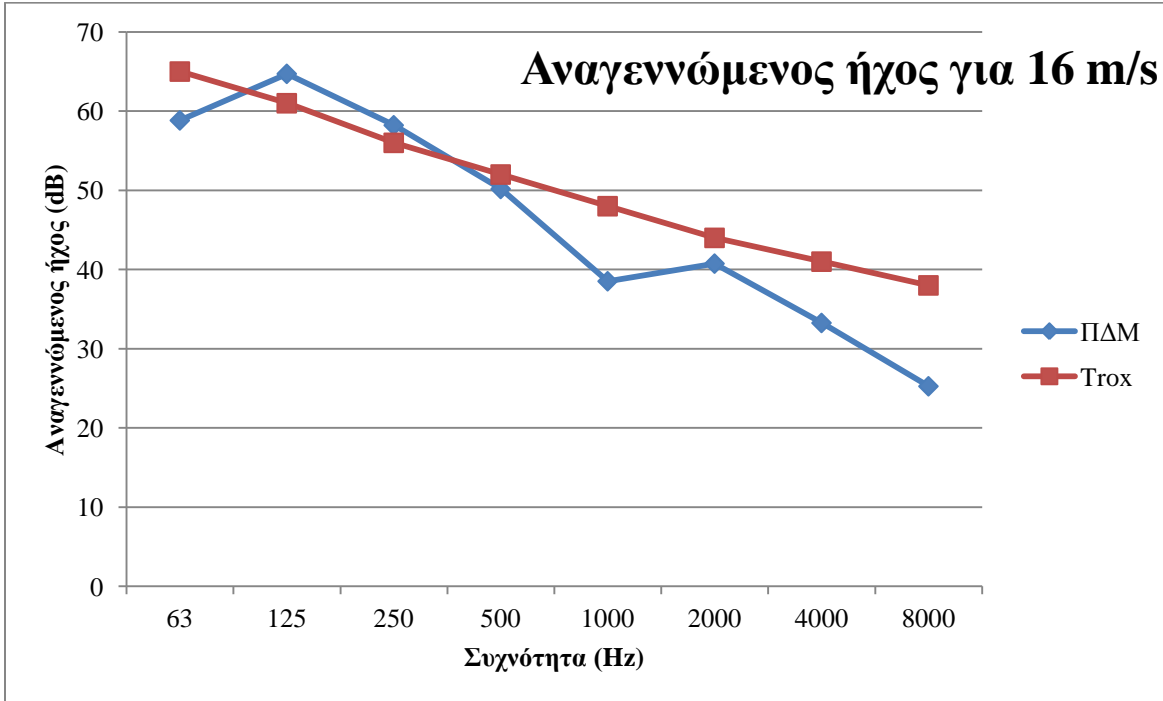
Σχήμα 72: Συγκριτικό διάγραμμα αναγεννώμενου ήχου για ταχύτητα 10m/s {7}



Σχήμα 73: Συγκριτικό διάγραμμα αναγεννώμενου ήχου για ταχύτητα 12m/s {7}



Σχήμα 74: Συγκριτικό διάγραμμα αναγεννώμενου ήχου για ταχύτητα 14m/s {7}



Σχήμα 75: Συγκριτικό διάγραμμα αναγεννώμενου ήχου για ταχύτητα 16m/s {7}

Όπως διακρίνουμε στα διαγράμματα που έχουμε προβάλλει σε αυτό το κεφάλαιο μπορούμε να πούμε ότι τα αποτελέσματα μας ταυτίζονται σε μεγάλο βαθμό με αυτά της ξένης εταιρείας Trox. Τα αποτελέσματα μας για τον αναγεννώμενο ήχο προκύπτουν από μετρήσεις έντεκα διαφορετικών γεωμετριών ηχοπαγίδες ενώ τα αντίστοιχες τιμές της Trox απορρέουν από την μελέτη ενενήντα ηχοπαγίδων. Αυτό που φαίνεται στα πειραματικά μας αποτελέσματα είναι κάποιες απότομες διακυμάνσεις στις τιμές του αναγεννώμενου ήχου και πιστεύουμε πως αυτό οφείλεται στις διακυμάνσεις του κινητήρα του ανεμιστήρα. Οι διακυμάνσεις αυτές οφείλονται στην αστάθεια που παρουσιάζει στην τάση του το δίκτυο ηλεκτροδότησης. Επίσης μπορεί να οφείλεται και σε σφάλμα των μετρητικών μας οργάνων (μικρόφωνο) καθώς και σε εξωγενείς παράγοντες στο χώρο του εργαστηρίου (θερμοκρασία, θόρυβος, υγρασία).

Σε γενικές γραμμές από τις συγκρίσεις που διαπράξαμε είμαστε ικανοποιημένοι από τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας, θεωρώντας ότι οι αποκλίσεις που εμφανίζονται βρίσκονται εντός των επιτρεπτών ορίων πειραματικών σφαλμάτων.

3.4. Πρόβλεψη ηχοαπόσβεσης

Όπως διαπιστώσαμε στο υποκεφάλαιο 3.3 οι μετρήσεις που λάβαμε κατά τα πειράματα και κατόπιν επεξεργασίας τους μας δίνουν αξιόπιστα αποτελέσματα. Αυτό μπορούμε να το πούμε με μεγάλο ποσοστό βεβαιότητας εφόσον τα αποτελέσματα που έχουμε στα χέρια μας είναι πανομοιότυπα με τις τιμές της εταιρείας Trox, η οποία ασχολείται για χρόνια με το χώρο αυτό. Σε αυτό το σημείο λοιπόν, εφόσον έχουμε επιβεβαιώσει την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων μας, εξάγουμε ορισμένες μαθηματικές σχέσεις με τις οποίες μπορούμε να προβλέψουμε την ηχοαπόσβεση που αναμένουμε από μια ηχοπαγίδα. Κάναμε μια μονοδιάστατη προσέγγιση των αποτελεσμάτων για δύο περιπτώσεις, πρώτον για σταθερό μήκος ηχοπαγίδας και μεταβλητό διάκενο και δεύτερο μεταβλητό μήκος ηχοπαγίδας και σταθερό διάκενο. Αμφότερες οι περιπτώσεις έγιναν για σταθερή συχνότητα. Λόγω έλλειψης αποτελεσμάτων, δανειστήκαμε κάποια τα αποτελέσματα της Trox τα οποία διαθέτει στο τεχνικό εγχειρίδιο της, για ηχοπαγίδες τύπου MSA100 και MSA200 για την περίπτωση του μεταβλητού μήκους της ηχοπαγίδας. Ο δανεισμός αυτός είναι απόρροια της εν μέρη ταύτισης των αποτελεσμάτων μας με αυτά της Trox. [41]

Στην συνέχεια αναφέρουμε πως οι μαθηματικές σχέσεις μπορούν να εξαχθούν από το υπολογιστικό πρόγραμμα Microsoft Office Excel. Αρχικά περάσαμε τα αποτελέσματα στο πρόγραμμα και σχηματίσαμε τις γραφικές παραστάσεις για τις δύο περιπτώσεις που αναφέραμε στην προηγούμενη ακριβώς παράγραφο. Έπειτα προσθέσαμε μια γραμμή τάσης στη γραφική παράσταση. Οι γραμμές τάσης χρησιμοποιούνται για την απόδοση γραφικής αναπαράστασης των τάσεων και για να βοηθούν στην ανάλυση προβλημάτων πρόβλεψης. Με την ανάλυση

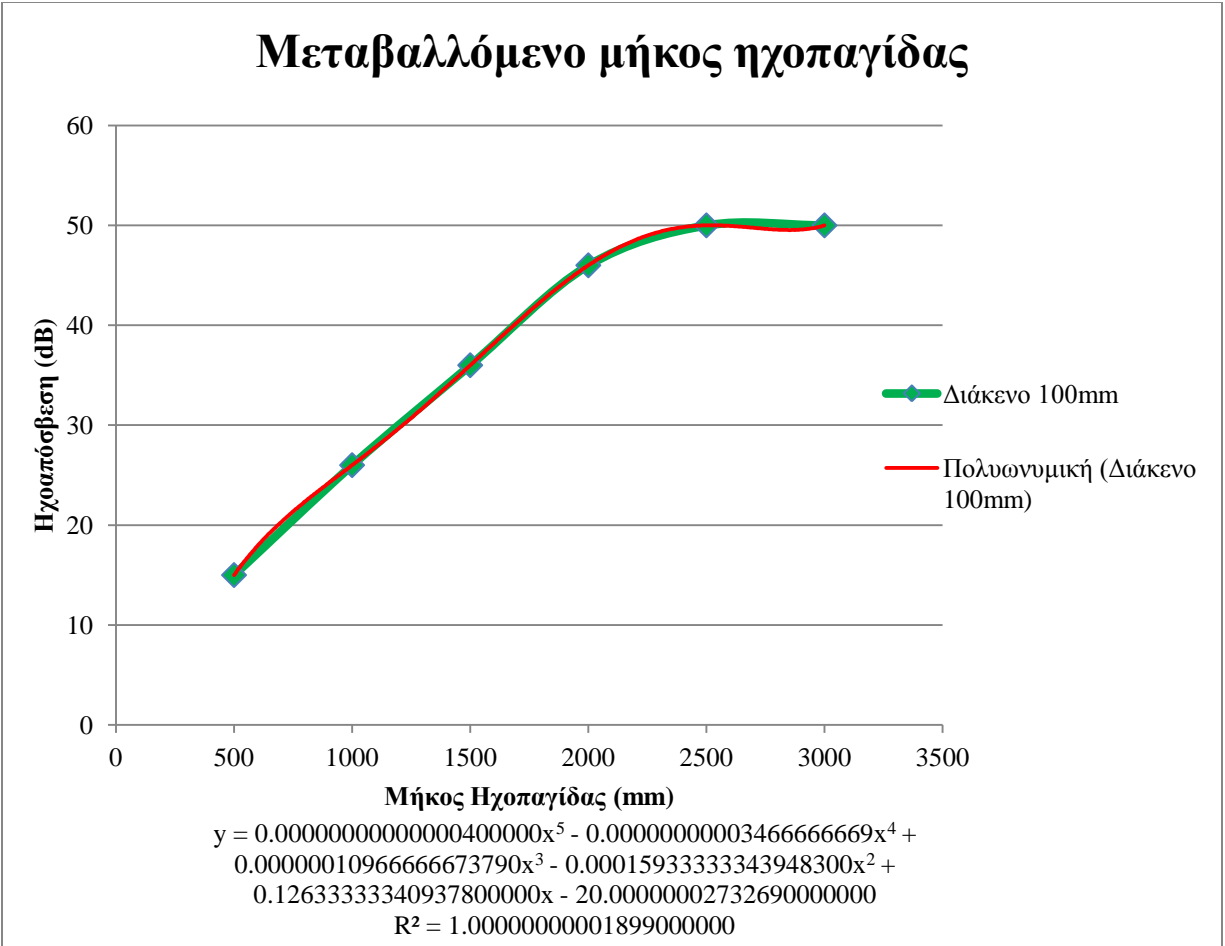
προβλημάτων πρόβλεψης, μπορούμε να επεκτείνουμε μια γραμμή τάσης σε ένα γράφημα πέρα από τα πραγματικά δεδομένα έτσι, ώστε να προβλέψουμε τιμές. Το Microsoft Office Excel διαθέτει έξι διαφορετικούς τύπους τάσης: γραμμικές γραμμές τάσης, πολυωνυμικές γραμμές τάσης, γραμμές τάσης αύξησης, εκθετικές γραμμές τάσης ή γραμμές τάσης κυλιόμενου μέσου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που διαθέτουμε στα οποία υπάρχει διακύμανση η οποία αντικατοπτρίζονται στις γραφικές παραστάσεις, ο καταλληλότερος τύπος γραμμής τάσης τον οποίο και χρησιμοποιήσαμε, είναι η πολυωνυμική γραμμή τάσης. Καθορίσαμε τον αριθμό των διακυμάνσεων σε 5 από το πόσες καμπές (κυρτά και κοίλα τμήματα) εμφανίζονται στην καμπύλη. Αποτέλεσμα αυτού ήταν να μας εμφανίσει το πρόγραμμα μια πολυωνυμική γραμμή τάσης πέμπτης τάξης και την αντίστοιχη μαθηματική σχέση. Κάτω από την μαθηματική σχέση μπορούμε να διακρίνουμε και την αξιοπιστία της όταν η τιμή $R^2 = 1$. Ακολούθως παρουσιάζουμε τις γραφικές παραστάσεις καθώς και τις μαθηματικές σχέσεις για κάθε περίπτωση. [42]

3.4.1. Μεταβαλλόμενο μήκος ηχοπαγίδας

Στην περίπτωση αυτή, για το λόγο ότι λήφθηκαν μετρήσεις για δυο διαφορετικά μήκη ηχοπαγίδων, δανειστήκαμε τιμές από την εταιρεία Trox ώστε να εξάγουμε αξιόπιστη γραφική παράσταση και μαθηματική σχέση. Σε αυτή την περίπτωση διατηρείτε το διάκενο της ηχοπαγίδας σταθερό στα 100mm καθώς και την συχνότητα στα 1000Hz και το μόνο μεταβαλλόμενο στοιχείο είναι το μήκος της ηχοπαγίδας. Το εύρος της διακύμανσης καλύπτει ηχοπαγίδες μήκους 0.5m έως 3m με βήμα αύξησης 0.5m. Ακολούθως παρουσιάζεται η σχετική γραφική παράσταση, την μαθηματική σχέση που εξάγεται μέσα από την πολυωνυμική γραμμή τάσης πέμπτου βαθμού καθώς και την επαλήθευση της.

<u>Συχνότητα</u> (Hz)	<u>Μήκος ηχοπαγίδας σταθερού διάκενου 100mm</u>					
	500	1000	1500	2000	2500	3000
1000	15	26	36	46	50	50

Πίνακας 76: Ηχοαπόσβεση μεταβαλλόμενου μήκους ηχοπαγίδας σταθερού διάκενου και σταθερής συχνότητας [14]



Σχήμα 76: Διάγραμμα ηχοαπόσβεσης μεταβαλλόμενου μήκους ηχοπαγίδας με πολυωνομική γραμμή τάσης {7}

$$\begin{aligned}
 y &= 0.00000000000000400000x^5 - 0.00000000003466666669x^4 \\
 &+ 0.00000010966666673790x^3 - 0.00015933333343948300x^2 \\
 &+ 0.12633333340937800000x - 20.00000002732690000000 \\
 R^2 &= 1.0000000000
 \end{aligned}$$

R²: αξιοπιστία πολυωνομικής σχέσης

Το πεδίο ορισμού της παραπάνω συνάρτησης είναι από 500mm μέχρι 3000mm.

Όπως διακρίνεται το R² το οποίο απευθύνεται στην αξιοπιστία της πολυωνομικής σχέσης είναι μονάδα. Αυτό αυτόματα σημαίνει την τέλεια προσαρμογή της πολυωνομικής γραμμής τάσης και της μαθηματικής σχέσεις που αντιστοιχεί σε αυτή με τα αποτελέσματα μας.

	<u>Μήκος ηχοπαγίδας σταθερού διάκενου 100mm</u>					
	500	1000	1500	2000	2500	3000
Μετρήσεις	15	26	36	46	50	50
Αποτελέσματα πολυωνομικής σχέσης	<i>14.99998</i>	<i>25.99967</i>	<i>35.99831</i>	<i>45.99467</i>	<i>49.98698</i>	<i>49.97301</i>

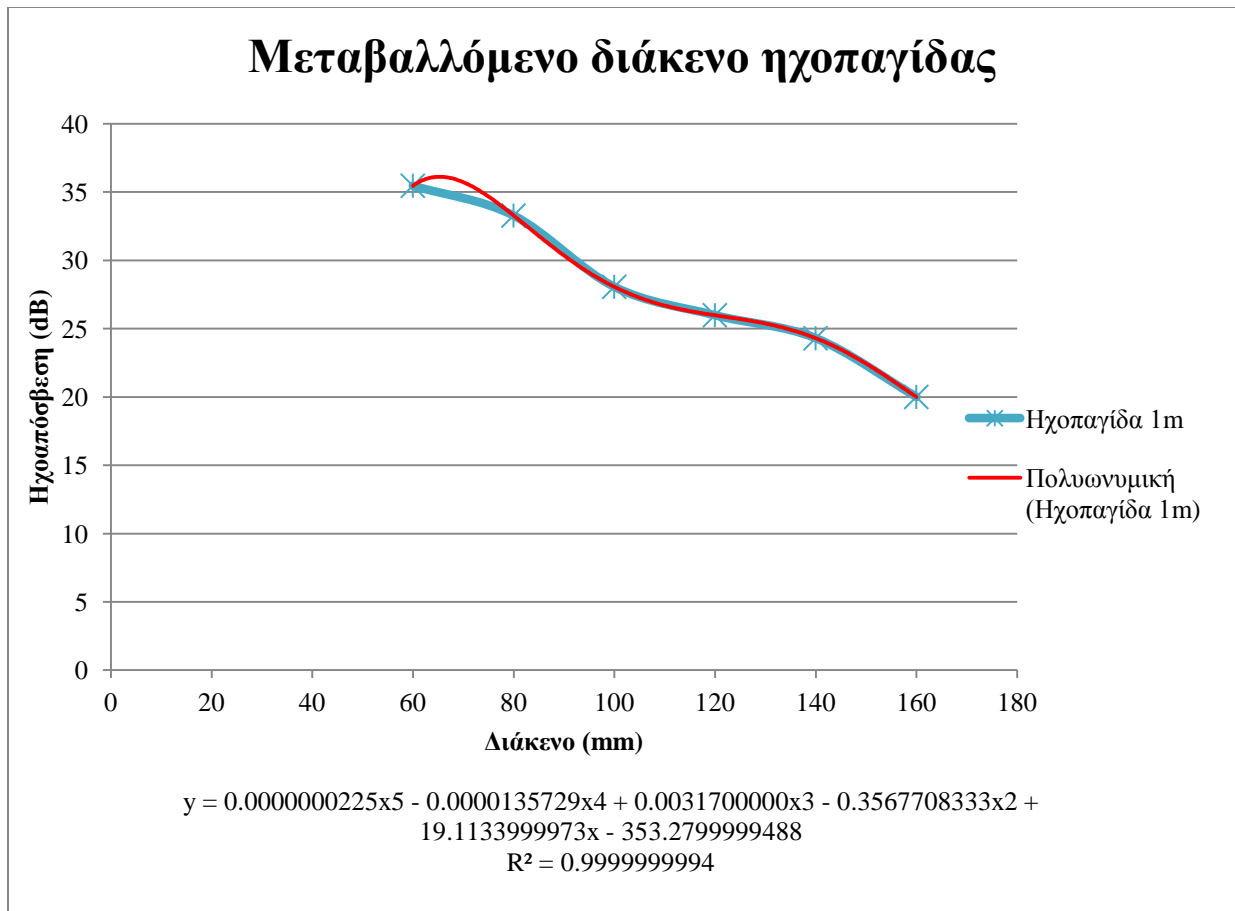
Πίνακας 77: Αποτελέσματα πολυωνομικής σχέσεις για ηχοαπόσβεση μεταβαλλόμενο μήκους ηχοπαγίδας με πολυωνομική γραμμή τάσης [14]

3.4.2. Μεταβαλλόμενο διάκενο ηχοπαγίδας

Σε αυτή την περίπτωση διατηρούμε σταθερό το μήκος της ηχοπαγίδας στο 1m καθώς και την συχνότητα στα 1000Hz και το μόνο μεταβαλλόμενο στοιχείο είναι το διάκενο της ηχοπαγίδας. Το εύρος της διακύμανση καλύπτει ηχοπαγίδες διάκενου 60mm έως 160mm με βήμα αύξησης 20m. Ακολουθώς παρουσιάζουμε τη σχετική γραφική παράσταση, την μαθηματική σχέση που εξάγεται μέσα από την πολυωνομική γραμμή τάσης πέμπτου βαθμού καθώς και την επαλήθευση της.

<u>Συχνότητα</u> <i>(Hz)</i>	<u>Διάκενο ηχοπαγίδας σταθερού μήκους 1000mm</u>					
	60	80	100	120	140	160
1000	35.460	33.280	28.060	25.980	24.300	20.000

Πίνακας 78: Ηχοαπόσβεση μεταβαλλόμενο διάκενο ηχοπαγίδας σταθερού μήκους και σταθερής συχνότητας [14]



Σχήμα 77: Διάγραμμα ηχοαπόσβεσης μεταβαλλόμενου διακένου ηχοπαγίδας με πολυωνυμική γραμμή τάσης {7}

$$y = 0.0000000225x^5 - 0.0000135729x^4 + 0.0031700000x^3 - 0.3567708333x^2 + 19.1133999973x - 353.2799999488$$

$$R^2 = 0.9999999994$$

R^2 : αξιοπιστία πολυωνυμικής σχέσης

Το πεδίο ορισμού της παραπάνω συνάρτησης είναι από 60mm μέχρι 160mm.

Όπως διακρίνεται το R^2 το οποίο απευθύνεται στην αξιοπιστία της πολυωνυμικής σχέσης τείνει κατά μεγάλο βαθμό στη μονάδα. Αυτό αυτόματα σημαίνει την πάρα πολύ καλή προσαρμογή της πολυωνυμικής γραμμής τάσης και της μαθηματικής σχέσεις που αντιστοιχεί σε αυτή με τα αποτελέσματα μας.

	<u>Διάκενο ηχοπαγίδας σταθερού μήκους 1000mm</u>					
	60	80	100	120	140	160
Μετρήσεις	35.460	33.280	28.060	25.980	24.300	20.000
Αποτελέσματα πολυωνυμικής σχέσης	35.46022	33.28068	28.06167	25.98346	24.3064	20.01092

Πίνακας 77: Αποτελέσματα πολυωνυμικής σχέσεις για ηχοαπόσβεση μεταβαλλόμενου διάκενου ηχοπαγίδας με πολυωνυμική γραμμή τάσης [14]

4. Συμπεράσματα

Η εργασία μας έφτασε στο πέρας της έτσι μπορούμε να πούμε ότι είμαστε ικανοποιημένοι σε μεγάλο βαθμό, καθώς οι στόχοι που θέσαμε αρχικά επιτεύχθηκαν με επιτυχία.

Αρχικά μελετώντας τα διεθνή πρότυπα ISO 7235 και ISO 5136 σχεδιάσαμε και εν συνεχεία κατασκευάστηκε από εγχώρια εταιρεία του χώρου με την οποία συνεργαζόμαστε, η απαραίτητη διάταξη για την διεξαγωγή των μετρήσεων. Στη συνέχεια καταφέραμε να μελετήσουμε έναν ικανό αριθμό ηχοπαγίδων (συγκεκριμένα δεκατριών), με διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά η καθεμία, πράγμα το οποίο μας επέτρεψε να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα. Για κάθε μια από τις ηχοπαγίδες μελετήσαμε την ηχοαπόσβεση, την πτώση πίεσης (καθώς και τον συντελεστή της πτώση αυτής) και τον αναγεννώμενο ήχο που παράγει η κάθε ηχοπαγίδα.

Έχοντας ολοκληρώσει τις μετρήσεις μας επεξεργαστήκαμε τα αποτελέσματα όπως ορίζουν τα διεθνή πρότυπα και εξάγαμε τα χρήσιμα μεγέθη που μας ενδιαφέρουν για κάθε ηχοπαγίδα. Επακόλουθο αυτού ήταν η σύγκριση των αποτελεσμάτων μας με αντίστοιχες τιμές, όμοιας έρευνας προερχόμενες από αλλοδαπή αξιόπιστη εταιρεία του χώρου ώστε να δούμε τον βαθμό ταύτισης τους. Η σύγκριση αυτή μας επιτρέπει να πούμε ότι τα στοιχεία μας ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα και δεν απέχουν από αυτή. Απόρροια αυτής της σύγκρισης είναι η ασφαλή εξαγωγή των περαιτέρω συμπερασμάτων.

Όσον αφορά την ηχοαπόσβεση όλες μας οι ηχοπαγίδες παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόσβεση στις μεσαίες συχνότητες ενώ μικρότερη στις πολύ χαμηλές και πολύ υψηλές. Η επιρροή που έχει το διάκενο στην ηχοαπόσβεση είναι αντιστρόφως ανάλογη, με αποτέλεσμα όσο αυξανόταν το διάκενο τόσο μειωνόταν η ηχοαπόσβεση. Αντιθέτως η επιρροή του μήκους των ηχοστοιχείων ήταν ανάλογη, δηλαδή μεγαλύτερο μήκος ηχοστοιχείου οδηγεί σε μεγαλύτερη ηχοαπόσβεση.

Συνεχίζοντας με την πτώση πίεσης καταλήξαμε σε δυο πολύ λογικά και αναμενόμενα συμπεράσματα. Η αύξηση στην ταχύτητα ροής αυξάνει την πτώση πίεσης, ενώ η αύξηση του διακένου μεταξύ των ηχοστοιχείων μειώνει την πτώση πίεσης.

Τέλος για τον αναγεννώμενο ήχο μπορούμε να πούμε πως ήταν σχεδόν ίδιος σε όλες τις ηχοπαγίδες που μετρήσαμε. Τα δεδομένα μας δείχνουν ότι υπάρχει μια τάση αύξησης του αναγεννώμενου ήχου στις ηχοπαγίδες 100mm συγκριτικά με αυτές των 200mm που δεν ξεπερνά όμως τα 5dB. Ο βασικός παράγοντας που παρατηρήσαμε ότι επηρεάζει τον αναγεννώμενο ήχο είναι η διατομή της ηχοπαγίδας και μάλιστα με ανάλογο τρόπο. Όσο αυξάνεται η διατομή της ηχοπαγίδας τόσο αυξάνεται ο αναγεννώμενος ήχος.

Φέροντας σε πέρας την παρούσα διπλωματική εργασία, μπορούμε να κάνουμε κάποιες προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Θα είχε ενδιαφέρον να μελετηθούν ηχοπαγίδες μεγαλύτερου μήκους ώστε να μπορούν να εξαχθούν ασφαλέστερα συμπεράσματα για την επιρροή του μήκους στις διάφορες παραμέτρους. Ακόμη μια παρέμβαση στις ηχοπαγίδες για την βελτιστοποίηση της ροής γύρω από αυτήν θα ήταν ο σχεδιασμός ηχοστοιχείων με αεροδυναμικό προφίλ.

Επίσης θα ήταν χρήσιμο να μελετηθούν οι ηχοπαγίδες σε μεγαλύτερες ταχύτητες ροής πράγμα το οποίο απαιτεί δυο παρεμβάσεις στον υπάρχοντα εξοπλισμό μας. Η πρώτη είναι η τοποθέτηση μεγαλύτερου ανεμιστήρα για την επίτευξη μεγαλύτερων παροχών και η δεύτερη είναι η αλλαγή του μικροφώνου καθώς το ήδη υπάρχον μπορεί να μετρήσει για ταχύτητες ροής έως 15 m/s.

Τέλος η μοντελοποίηση της διάταξης και των ηχοπαγίδων στο υπολογιστικό πρόγραμμα ANSYS Acoustics είναι μια πολύ καλή πρόταση ώστε να μπορούν να εξάγονται αποτελέσματα τα οποία θα έχουν άμεση σύγκριση με τα αντίστοιχα πειραματικά.

Εν κατακλείδι θα θέλαμε να αναφέρουμε ότι είναι αρκετά σημαντική και ενδιαφέρουσα η έρευνα στον τομέα αυτό, καθώς οι απαιτήσεις για μείωση του θορύβου, είτε για λόγους υγείας είτε για αισθητικούς λόγους ολοένα και αυξάνονται.

Παράρτημα Α

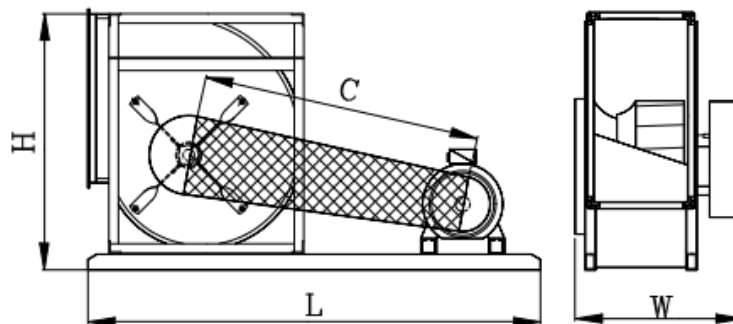


Date
Company
Attention
Project
Reference
Notes

Address1
Address2
Address3
Address4
tel
email
fax

Fan Type	SISW Backward Curved	
Unit	BSB500/CM (CLI)	
Operating Conditions	Ducted	
Air Volume	10000 m3/h	
Static Pressure	450 Pa	
Velocity Pressure	94 Pa	
Total Pressure	544 Pa	
Outlet Velocity	12,62 m/s	
Fan Total Efficiency	58,5 %	
Fan Static Efficiency	48,4 %	
Fan Speed	1580 rpm	
Air Temperature	20,0 °C	
Altitude	0 m	
Fan Absorbed Power	2,58 kW	
Motor Installed Power	D100L (3,00 kW)	
Motor Speed	-	
Service Factor	0 %	
Plenum Size	-	
Outlet Size	-	
Rec. Airflow Variation	-	
Fan Pulley / Bush / Shaft	-	
Motor Pulley / Bush / Shaft	-	
Belt Length	-	
Number of Belts / f	-	
Static Belt Tension/Belt	-	
Belt Deflection	-	
Belt Speed (<40m/s)	-	
Bearing Life (L10 / L50)	-	Hz 63 125 250 500 1k 2k 4k 8k Overall
Starting Torque	-	Lwi(Lin)83 85 93 85 83 81 74 67 95 dB
Operating Limits		Lwi(A) 57 70 85 82 83 82 75 66 89 dB(A)
Max. Absorbed Power	5,00 kW	Lpi(A) 50 63 78 75 75 75 68 59 82 dB(A)
Max. Fan Speed	1950 rpm	* Sound data is for the inlet side
Temperature (Min-Max)	-20° to +85°C	* Sound Pressure Level 1m, Room Conditions

(CCW90°)-Pos W



C	L	W	H
711	1160	623	968

Date 11:03:420 January 2007 Date 17/09/2014 Date 16:55:12 Date

Σχήμα Α.1: Στοιχεία για παροχή ανεμιστήρα 10000m³/h {20}

Παράρτημα Β

Mineral wool sound absorber



Lfd	Model	K	Ka	S	B	H	L	Kg	Vzu	Apt	Vk	Vs						
0001	Schako- MBS	200	4	100	1.200	1.000	2.000	218	10.500	17	2,4	7,3	Required	0 db[A]				
Hz																		
									F63	F125	F250	F500	F1000	F2000	F4000	F8000	db[A]	
									Attenuation	5	24	38	38	45	37	24	17	
									Flow noise	33	33	33	31	26	17	17	16	32
0002	Schako- MBS	200	4	100	1.200	1.000	2.000	218	8.000	13	1,9	5,6	Required	0 db[A]				
Hz																		
									F63	F125	F250	F500	F1000	F2000	F4000	F8000	db[A]	
									Attenuation	5	24	38	38	45	37	24	17	
									Flow noise	28	28	28	26	20	11	12	12	26
0003	Schako- MBS	200	4	100	1.200	1.000	2.000	218	6.000	9	1,4	4,2	Required	0 db[A]				
Hz																		
									F63	F125	F250	F500	F1000	F2000	F4000	F8000	db[A]	
									Attenuation	5	24	38	38	45	37	24	17	
									Flow noise	23	23	23	21	15	11	11	11	22
0004	Schako- MBS	200	4	100	1.200	1.000	2.000	218	4.000	7	0,9	2,8	Required	0 db[A]				
Hz																		
									F63	F125	F250	F500	F1000	F2000	F4000	F8000	db[A]	
									Attenuation	5	24	38	38	45	37	24	17	
									Flow noise	18	18	18	15	11	11	11	11	19

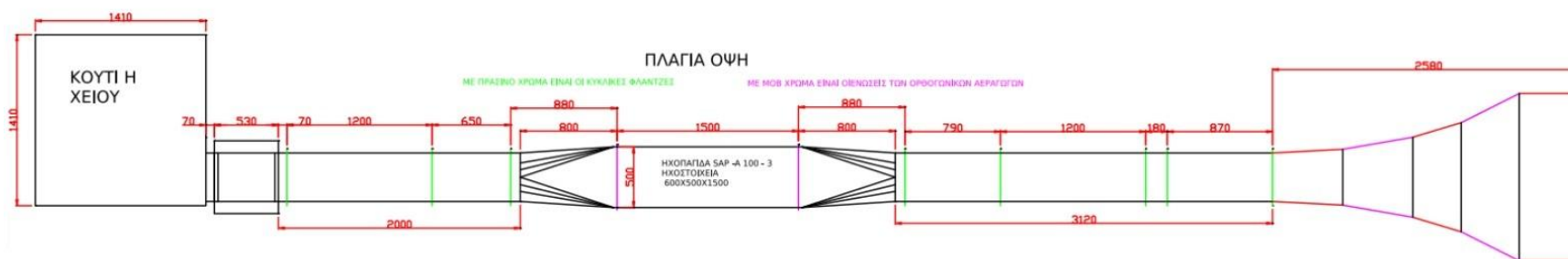
Mineral wool sound absorber



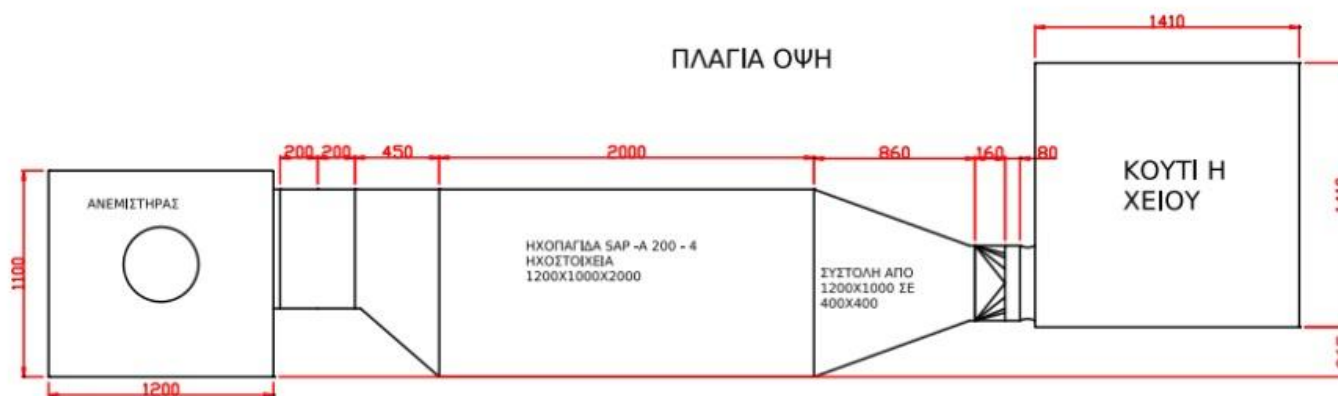
Lfd	Model	K	Ka	S	B	H	L	Kg	Vzu	Δpt	Vk	Vs																																		
0005	Schako- MBS	200	4	100	1.200	1.000	2.000	218	2.000	5	0,5	1,4	Required	0 db[A]																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Hz</th> <th>F63</th> <th>F125</th> <th>F250</th> <th>F500</th> <th>F1000</th> <th>F2000</th> <th>F4000</th> <th>F8000</th> <th>db[A]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Attenuation</td> <td></td> <td>5</td> <td>24</td> <td>38</td> <td>38</td> <td>45</td> <td>37</td> <td>24</td> <td>17</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Flow noise</td> <td></td> <td>13</td> <td>13</td> <td>13</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>18</td> </tr> </tbody> </table>															Hz	F63	F125	F250	F500	F1000	F2000	F4000	F8000	db[A]	Attenuation		5	24	38	38	45	37	24	17		Flow noise		13	13	13	11	11	11	11	11	18
	Hz	F63	F125	F250	F500	F1000	F2000	F4000	F8000	db[A]																																				
Attenuation		5	24	38	38	45	37	24	17																																					
Flow noise		13	13	13	11	11	11	11	11	18																																				
0006	Schako- MBS	200	4	100	1.200	1.000	2.000	218	1.000	5	0,2	0,7	Required	0 db[A]																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Hz</th> <th>F63</th> <th>F125</th> <th>F250</th> <th>F500</th> <th>F1000</th> <th>F2000</th> <th>F4000</th> <th>F8000</th> <th>db[A]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Attenuation</td> <td></td> <td>5</td> <td>24</td> <td>38</td> <td>38</td> <td>45</td> <td>37</td> <td>24</td> <td>17</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Flow noise</td> <td></td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>18</td> </tr> </tbody> </table>															Hz	F63	F125	F250	F500	F1000	F2000	F4000	F8000	db[A]	Attenuation		5	24	38	38	45	37	24	17		Flow noise		11	11	11	11	11	11	11	11	18
	Hz	F63	F125	F250	F500	F1000	F2000	F4000	F8000	db[A]																																				
Attenuation		5	24	38	38	45	37	24	17																																					
Flow noise		11	11	11	11	11	11	11	11	18																																				
0007	Schako- MBS	200	4	100	1.200	1.000	2.000	218	500	5	0,1	0,3	Required	0 db[A]																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Hz</th> <th>F63</th> <th>F125</th> <th>F250</th> <th>F500</th> <th>F1000</th> <th>F2000</th> <th>F4000</th> <th>F8000</th> <th>db[A]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Attenuation</td> <td></td> <td>5</td> <td>24</td> <td>38</td> <td>38</td> <td>45</td> <td>37</td> <td>24</td> <td>17</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Flow noise</td> <td></td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>18</td> </tr> </tbody> </table>															Hz	F63	F125	F250	F500	F1000	F2000	F4000	F8000	db[A]	Attenuation		5	24	38	38	45	37	24	17		Flow noise		11	11	11	11	11	11	11	11	18
	Hz	F63	F125	F250	F500	F1000	F2000	F4000	F8000	db[A]																																				
Attenuation		5	24	38	38	45	37	24	17																																					
Flow noise		11	11	11	11	11	11	11	11	18																																				

Σχήμα Β.1: Αποσβέσεις ηχοπαγίδας της Schako διαστάσεων 1200 × 1000 × 2000 με 4ηχοστοιχεία {21}

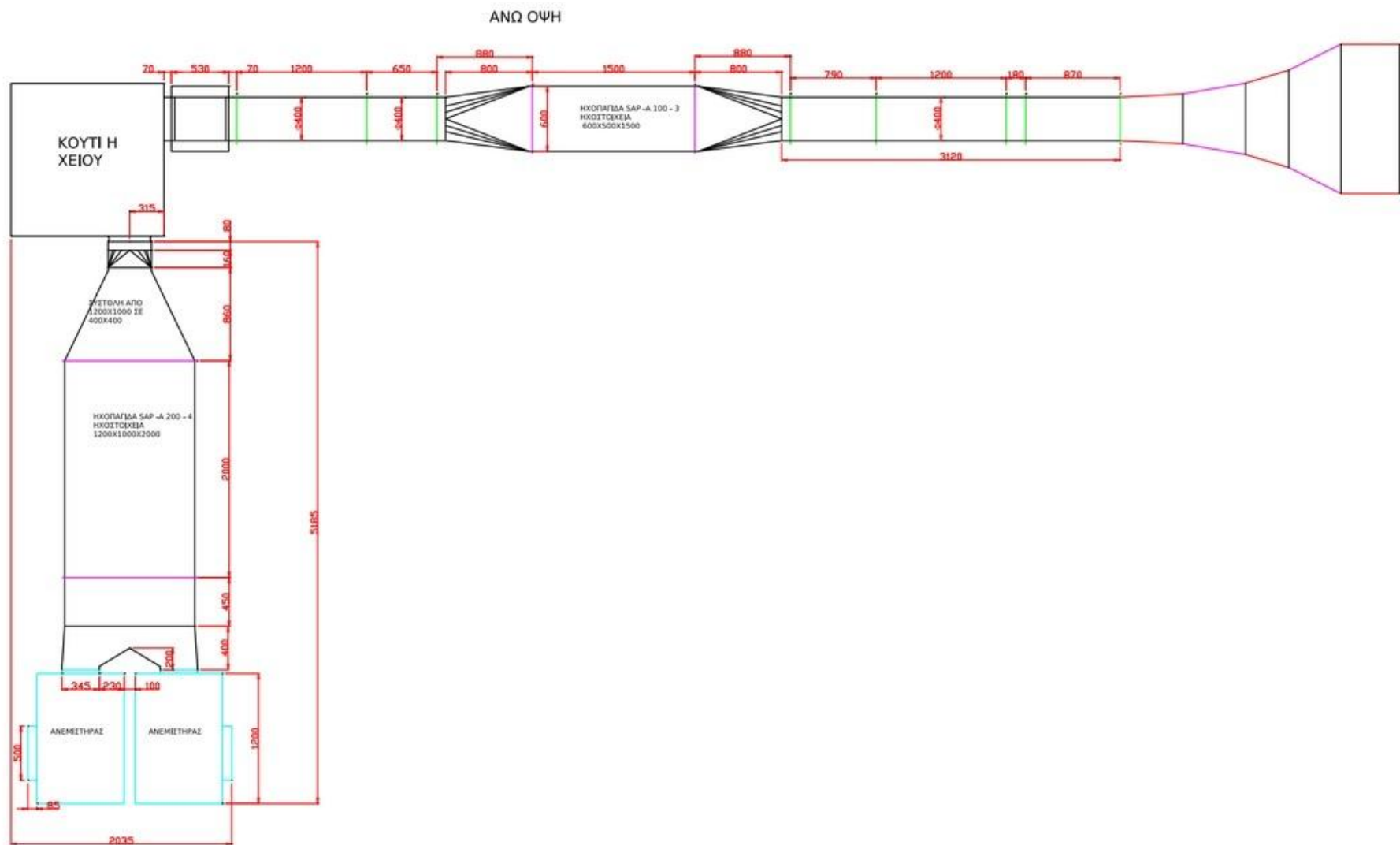
Παράρτημα Γ



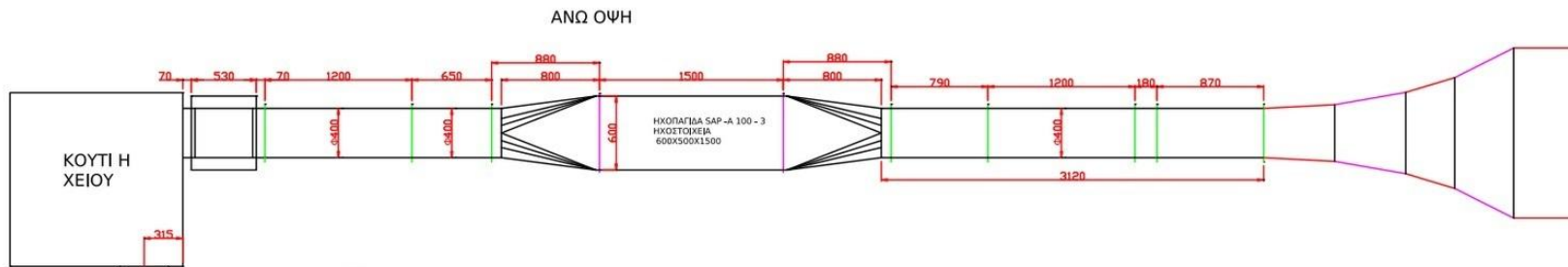
Σχήμα Γ.1: Πλάγια όψη της διάταξης (κουτί ηχείου έως ανηχοϊκή σήραγγα) {22}



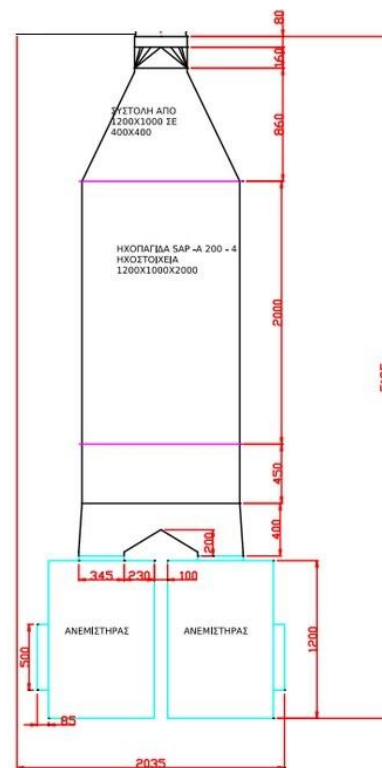
Σχήμα Γ.2: Πλάγια όψη της διάταξης (ανεμιστήρας έως κουτί ηχείου) {22}



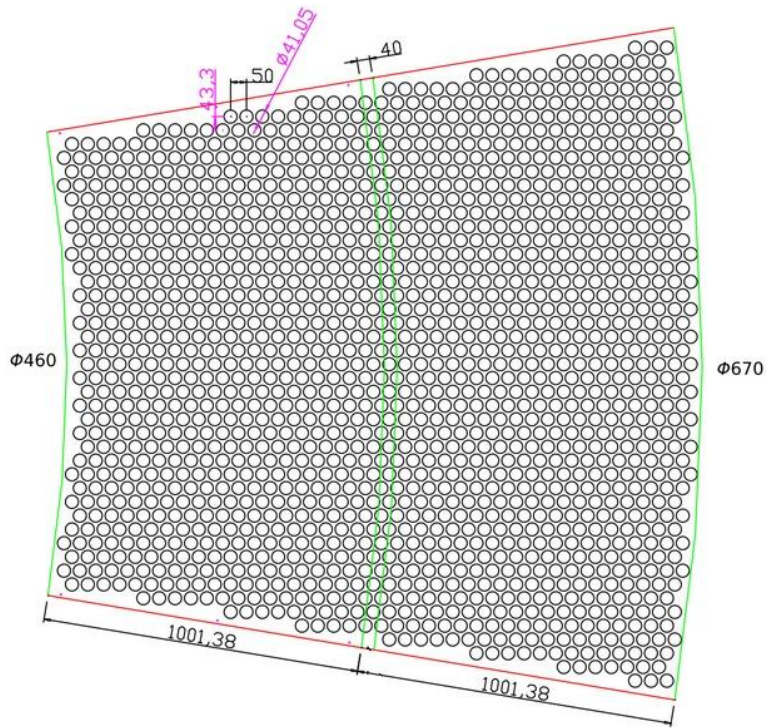
Σχήμα Γ.3: Άνω όψη της διάταξης {22}



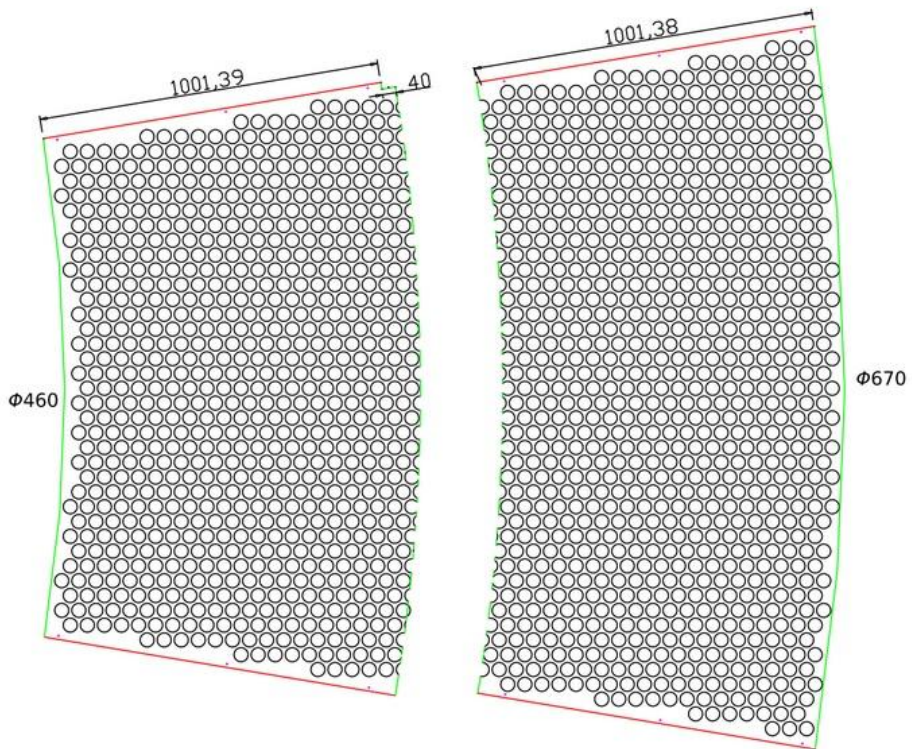
Σχήμα Γ.4: Άνω όψη της διάταξης (κουτί ηχείου έως ανηχοϊκή σήραγγα) {22}



Σχήμα Γ.5: Άνω όψη της διάταξης (ανεμιστήρας έως κουτί ηχείου) {22}



Σχήμα Γ.6: Διάτρητη λαμαρίνα τοποθετημένη εντός της ανηχοϊκής σήραγγας {22}



Σχήμα Γ.7: Τμήματα διάτρητης λαμαρίνας {22}

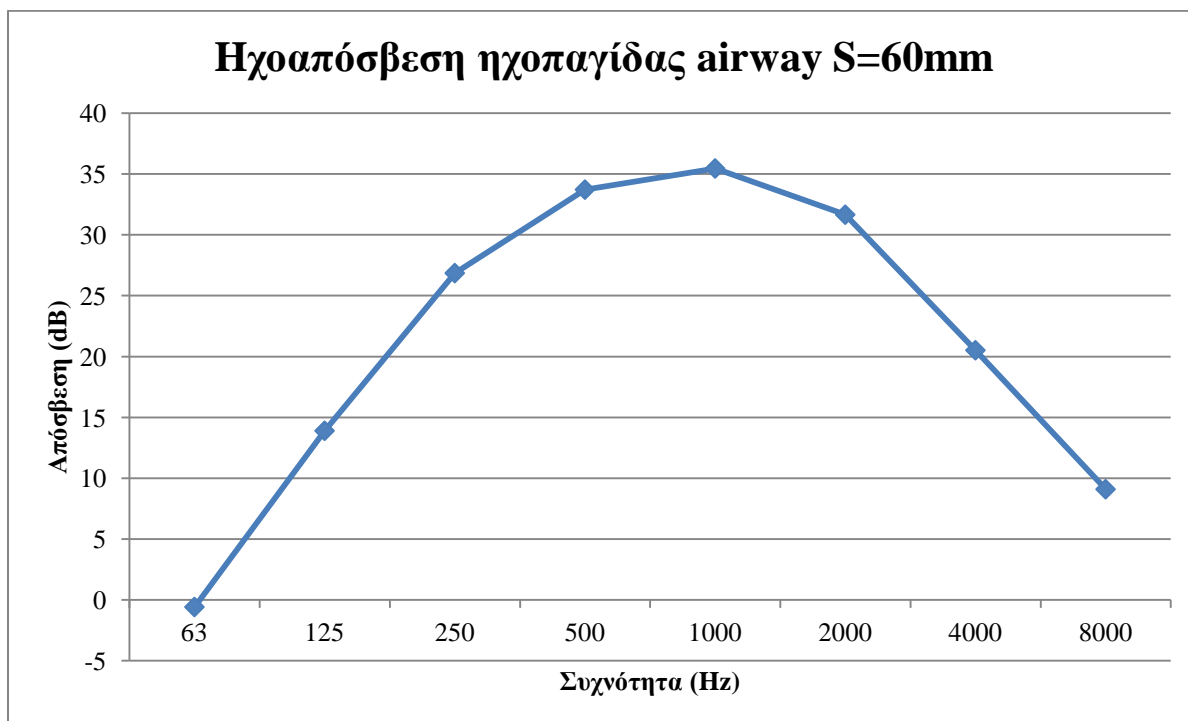
Παράρτημα Δ

Δ.1. Ηχοπαγίδες με δύο ηχοστοιχεία πλάτους 200mm μήκους 1000mm

Δ.1.1. Διάκενο ηχοπαγίδας 60mm

<u>Αγωγός</u>	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	<i>63</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>	<i>2000</i>	<i>4000</i>	<i>8000</i>
Χωρίς ηχοπαγίδα	128.12	153.86	139.94	129.82	126.7	125.06	122.64	116.14
Με ηχοπαγίδα	128.7	139.96	113.08	96.1	91.24	93.4	102.12	107.04
Απόσβεση	-0.58	13.9	26.86	33.72	35.46	31.66	20.52	9.1

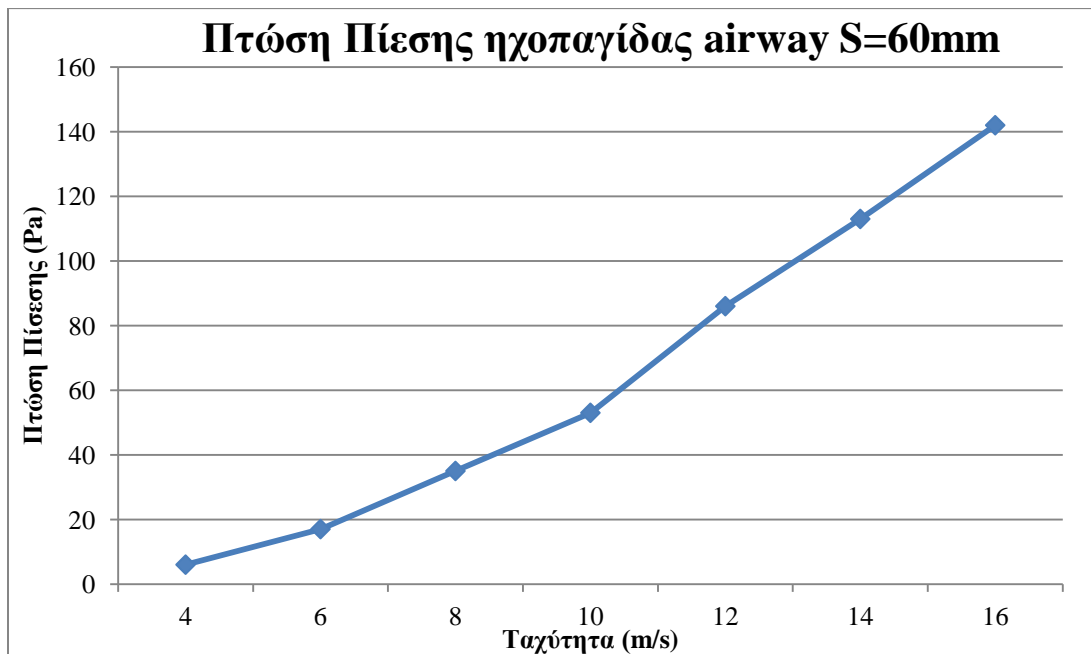
Πίνακας Δ.1.1: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 60mm [14]



Σχήμα Δ.1.1: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 60mm {7}

U_f (m/s)	Δp (Pa)
4	6
6	17
8	35
10	53
12	86
14	113
16	142

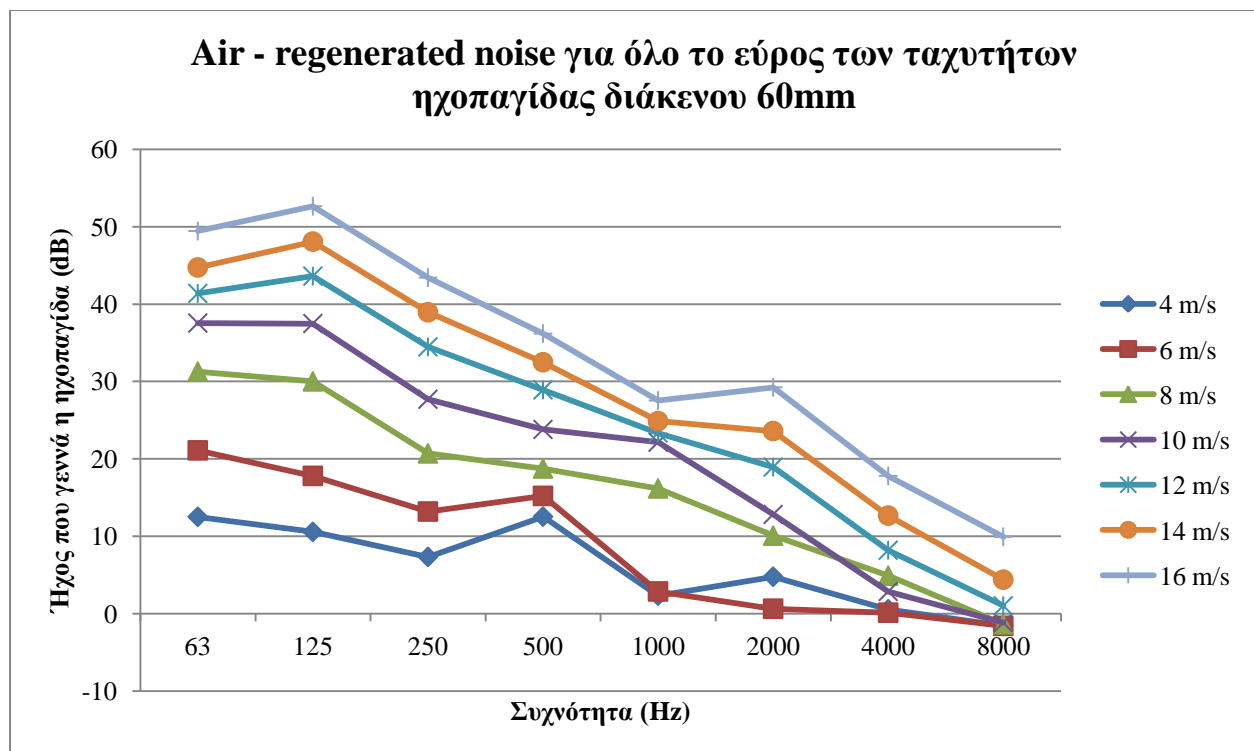
Πίνακας Δ.1.2: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 60mm [14]



Σχήμα Δ.1.2: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 60mm {7}

Air - regenerated noise (dB) για όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 60mm								
U_f (m/s)	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4	12.4958	10.5564	7.31714	12.5192	2.314	4.75703	0.54068	-1.5972
6	21.0826	17.7838	13.1806	15.2	2.84834	0.62124	0.10279	-1.5972
8	31.2662	29.9996	20.6926	18.7389	16.1599	10.0594	4.88933	-1.3879
10	37.5383	37.4794	27.6882	23.7922	22.1393	12.8041	2.84026	-1.1881
12	41.3704	43.606	34.4628	28.9029	23.3321	18.923	8.1743	1.00279
14	44.7235	48.0668	38.9354	32.4752	24.8715	23.5794	12.6518	4.3743
16	49.4351	52.6404	43.4097	36.1759	27.5297	29.2309	17.785	9.9097

Πίνακας Δ.1.3: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 60mm [14]

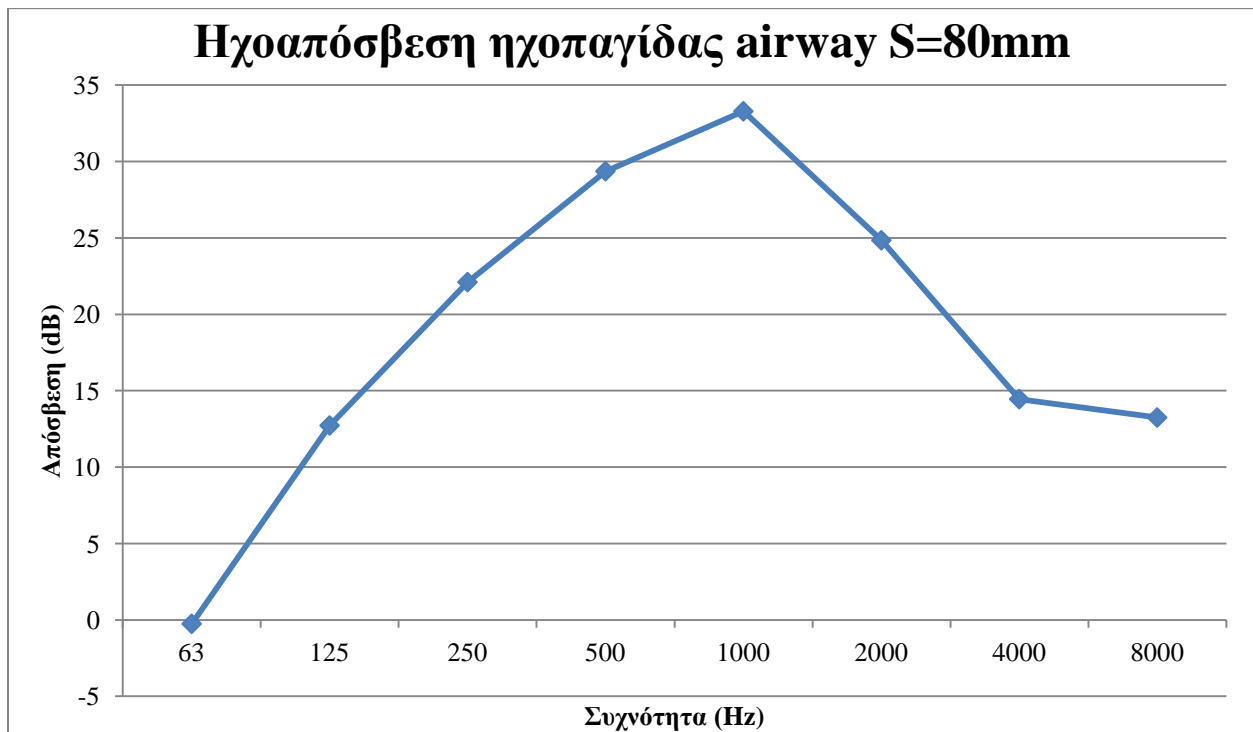


Σχήμα Δ.1.3: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 60mm {7}

Δ.1.2. Διάκενο ηχοπαγίδας 80mm

<u>Αγωγός</u>	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Χωρίς ηχοπαγίδα	127.76	153.54	138.56	127.98	129.04	127.2	127.6	130.48
Με ηχοπαγίδα	128.02	140.82	116.46	98.62	95.76	102.36	113.16	117.24
Απόσβεση	-0.26	12.72	22.1	29.36	33.28	24.84	14.44	13.24

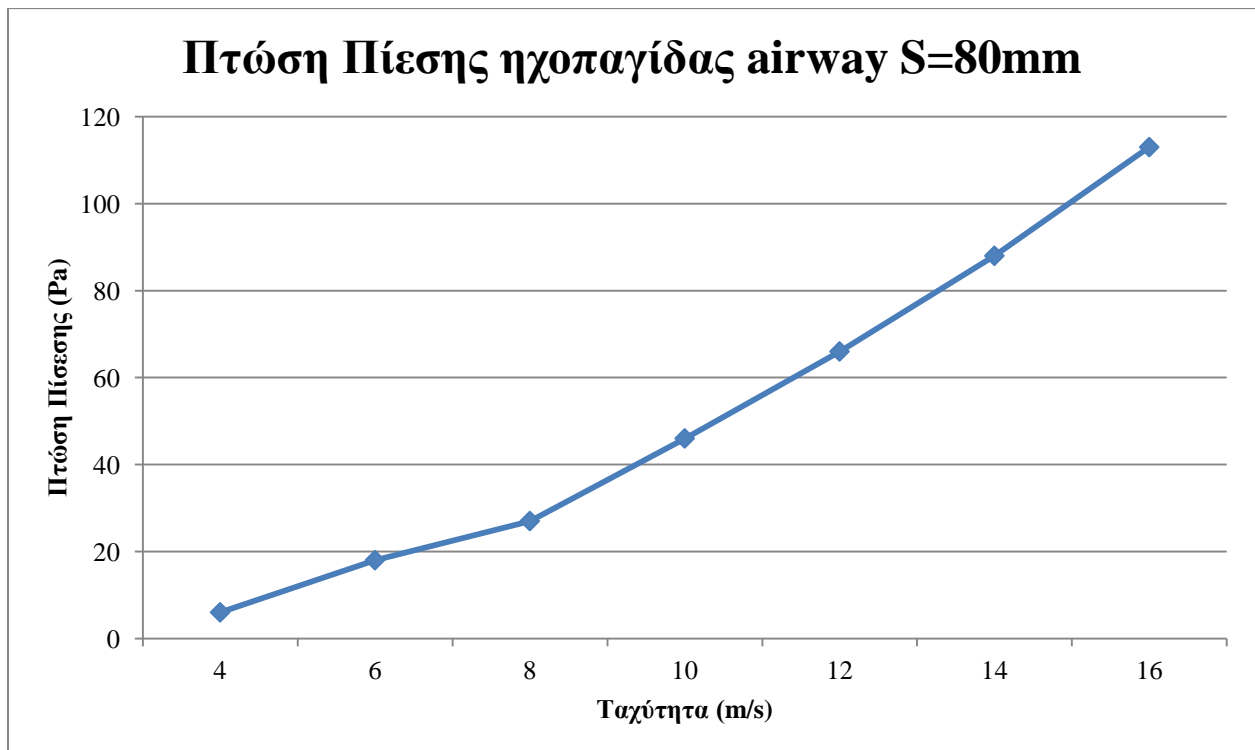
Πίνακας Δ.1.4: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 80mm [14]



Σχήμα Δ.1.4: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 80mm {7}

U_f (m/s)	Δp (Pa)
4	6
6	18
8	27
10	46
12	66
14	88
16	113

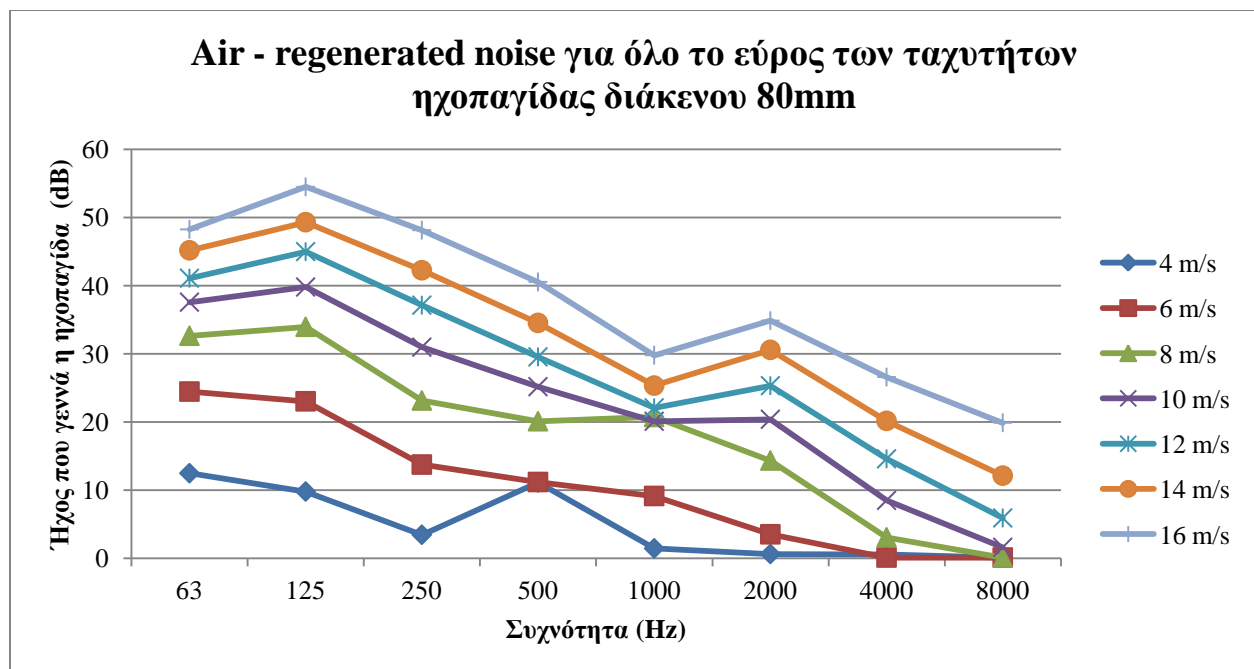
Πίνακας Δ.1.5: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 80mm [14]



Σχήμα Δ.1.5: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 80mm {7}

Air - regenerated noise (dB) για όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 80mm								
U_f (m/s)	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4	12.4771	9.78745	3.44244	11.1275	1.44834	0.62124	0.54068	0.10279
6	24.4516	23.0256	13.7456	11.1807	9.13127	3.51506	0.10279	0.10279
8	32.6447	33.9605	23.1428	20.1047	20.73	14.3371	3.07362	0.10279
10	37.5708	39.7916	30.9651	25.168	20.092	20.3894	8.48687	1.60508
12	41.0838	44.9867	37.1281	29.544	22.068	25.3191	14.5869	5.90822
14	45.1762	49.3028	42.2494	34.5255	25.33	30.5711	20.1554	12.1187
16	48.2456	54.4866	48.1315	40.5371	29.784	34.8605	26.58	19.8767

Πίνακας Δ.1.6: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 80mm [14]

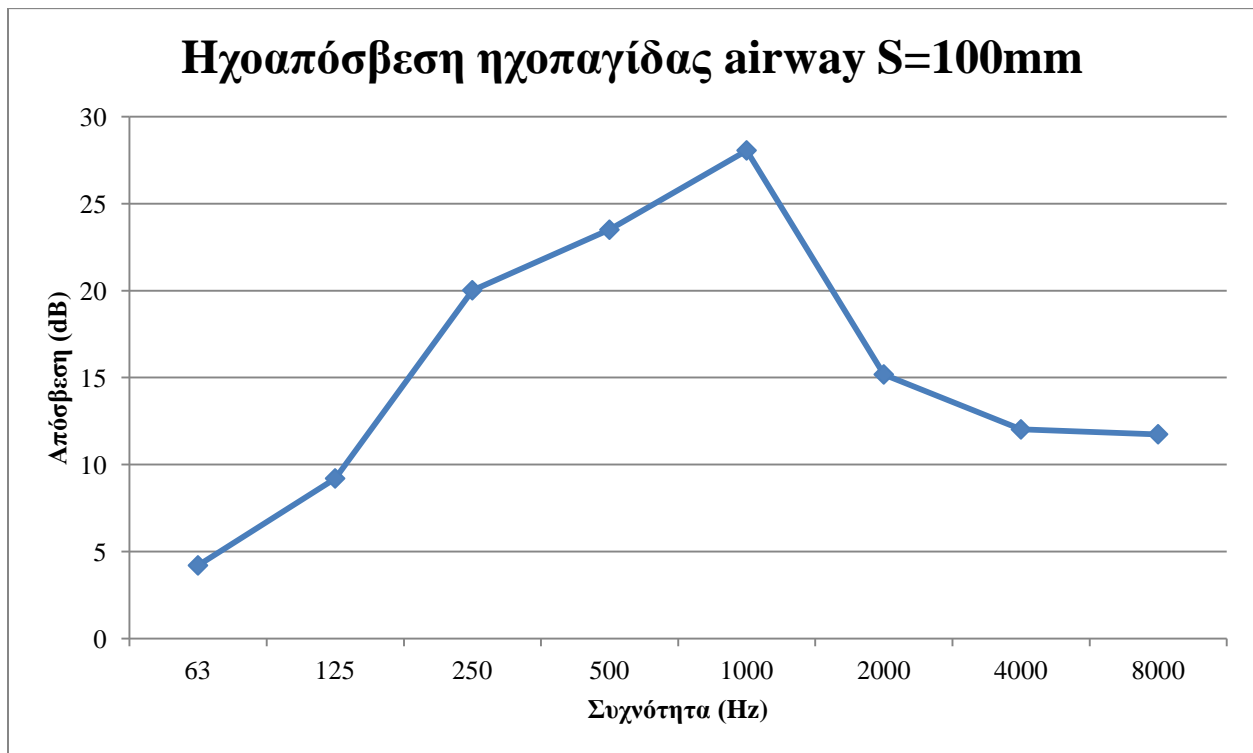


Σχήμα Δ.1.6: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 80mm {7}

Δ.1.3. Διάκενο ηχοπαγίδας 100mm

<u>Αγωγός</u>	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	<i>63</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>	<i>2000</i>	<i>4000</i>	<i>8000</i>
Χωρίς ηχοπαγίδα	129.94	153.38	139.86	129.84	127.8	124.78	124.22	120.82
Με ηχοπαγίδα	125.74	144.18	119.84	106.34	99.74	109.6	112.2	109.08
Απόσβεση	4.2	9.2	20.02	23.5	28.06	15.18	12.02	11.74

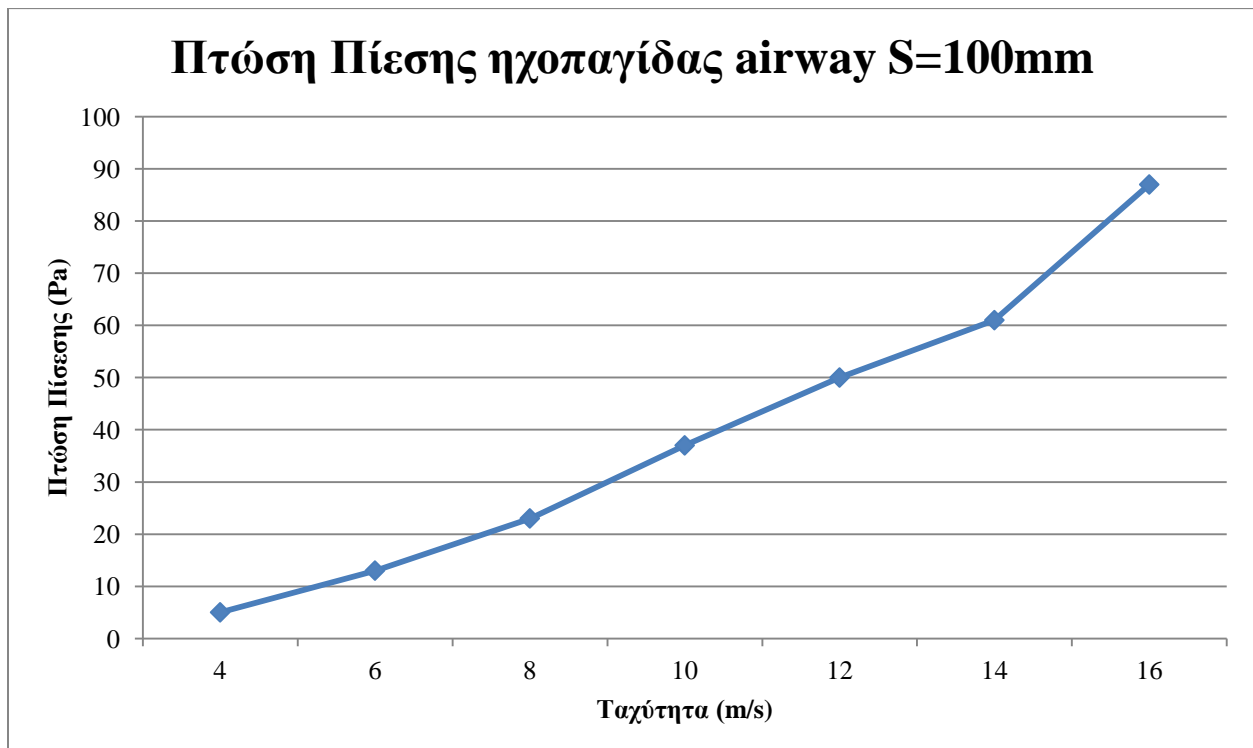
Πίνακας Δ.1.7: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 100mm [14]



Σχήμα Δ.1.7: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 100mm {7}

U_f (m/s)	Δp (Pa)
4	5
6	13
8	23
10	37
12	50
14	61
16	87

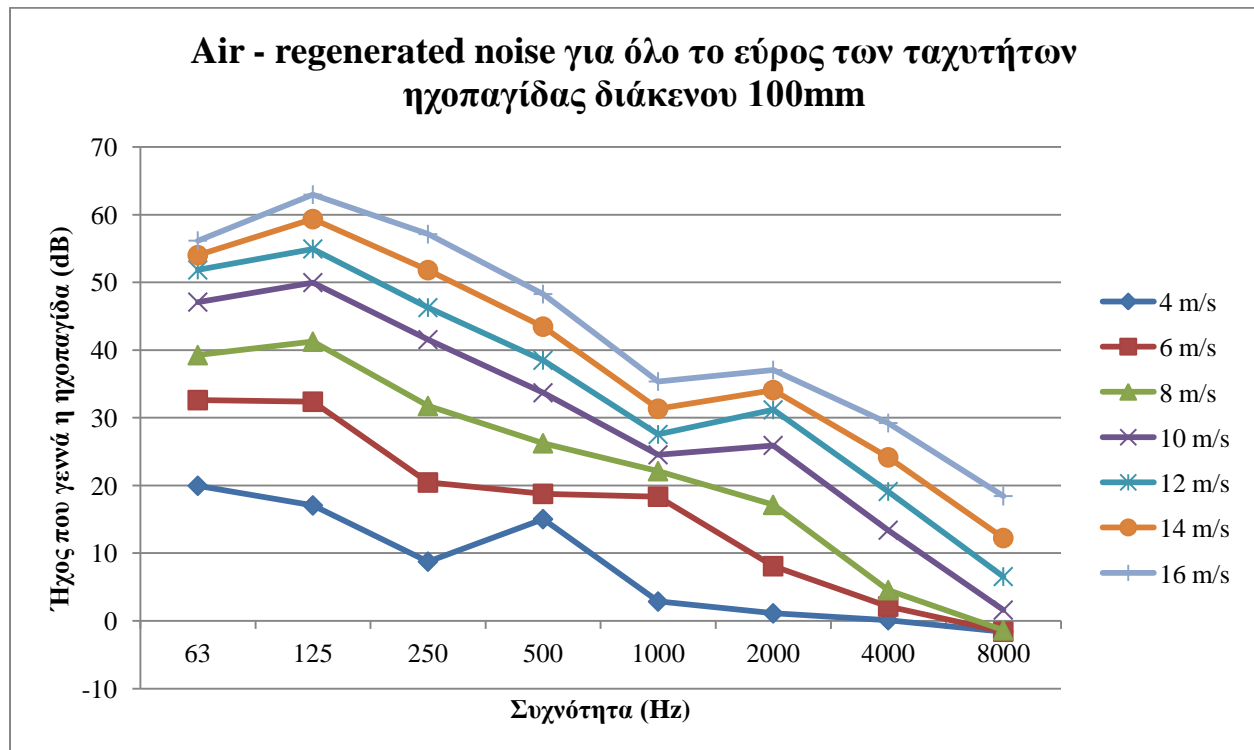
Πίνακας Δ.1.8: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 100mm [14]



Σχήμα Δ.1.8: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 100mm {7}

Air - regenerated noise (dB) για όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 100mm								
U_f (m/s)	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4	19.9544	17.0536	8.7496	15.0292	2.85887	1.11214	0.10279	-1.5972
6	32.6124	32.3734	20.441	18.7632	18.3498	8.08208	2.11674	-1.5972
8	39.2583	41.242	31.7474	26.2334	22.1171	17.141	4.54856	-1.3879
10	47.0883	49.9669	41.5454	33.6963	24.5369	25.9187	13.3952	1.60508
12	51.8333	54.9406	46.2725	38.4881	27.5375	31.1716	19.1074	6.54244
14	54.0149	59.3456	51.8122	43.4591	31.3297	34.0919	24.1496	12.2379
16	56.1627	62.9621	57.1207	48.2721	35.3586	37.053	29.2238	18.4371

Πίνακας Δ.1.9: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 100mm [14]

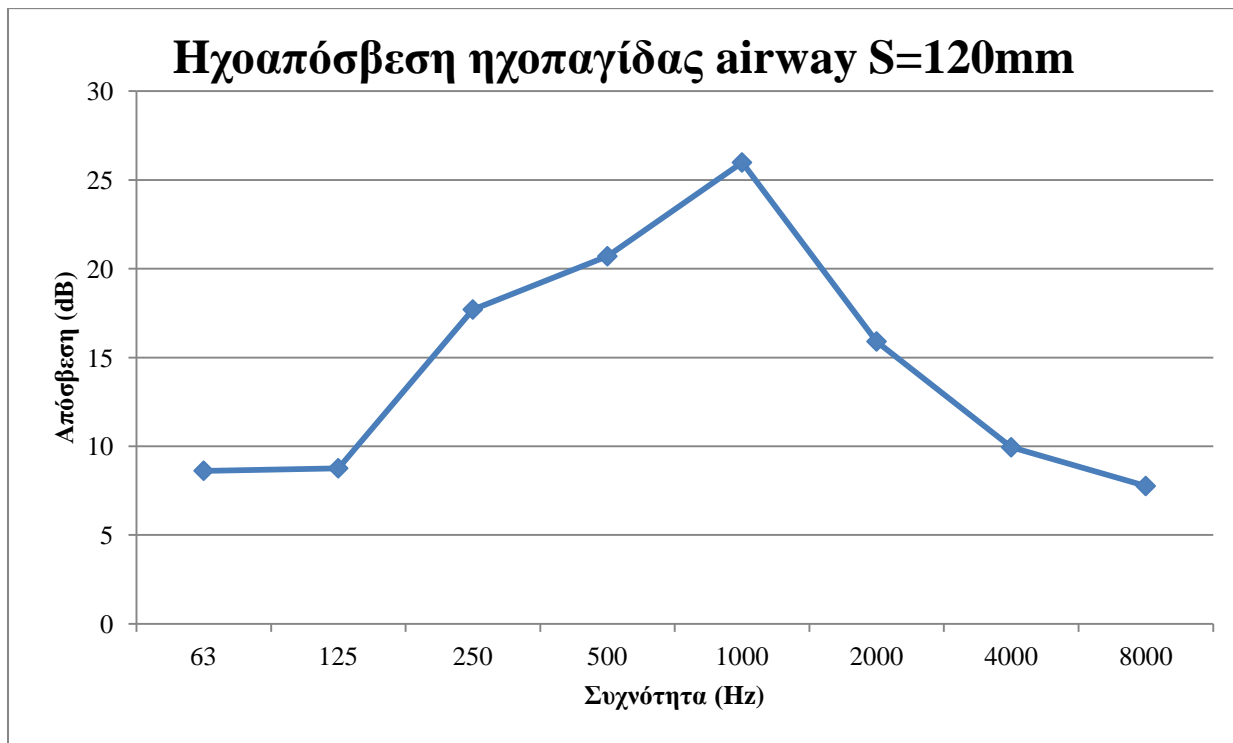


Σχήμα Δ.1.9: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 100mm {7}

Δ.1.4. Διάκενο ηχοπαγίδας 120mm

<u>Αγωγός</u>	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Χωρίς ηχοπαγίδα	133.96	152.78	138.86	127.98	131.2	127	125.68	129.1
Με ηχοπαγίδα	125.34	144.02	121.16	107.28	105.22	111.1	115.74	121.34
Απόσβεση	8.62	8.76	17.7	20.7	25.98	15.9	9.94	7.76

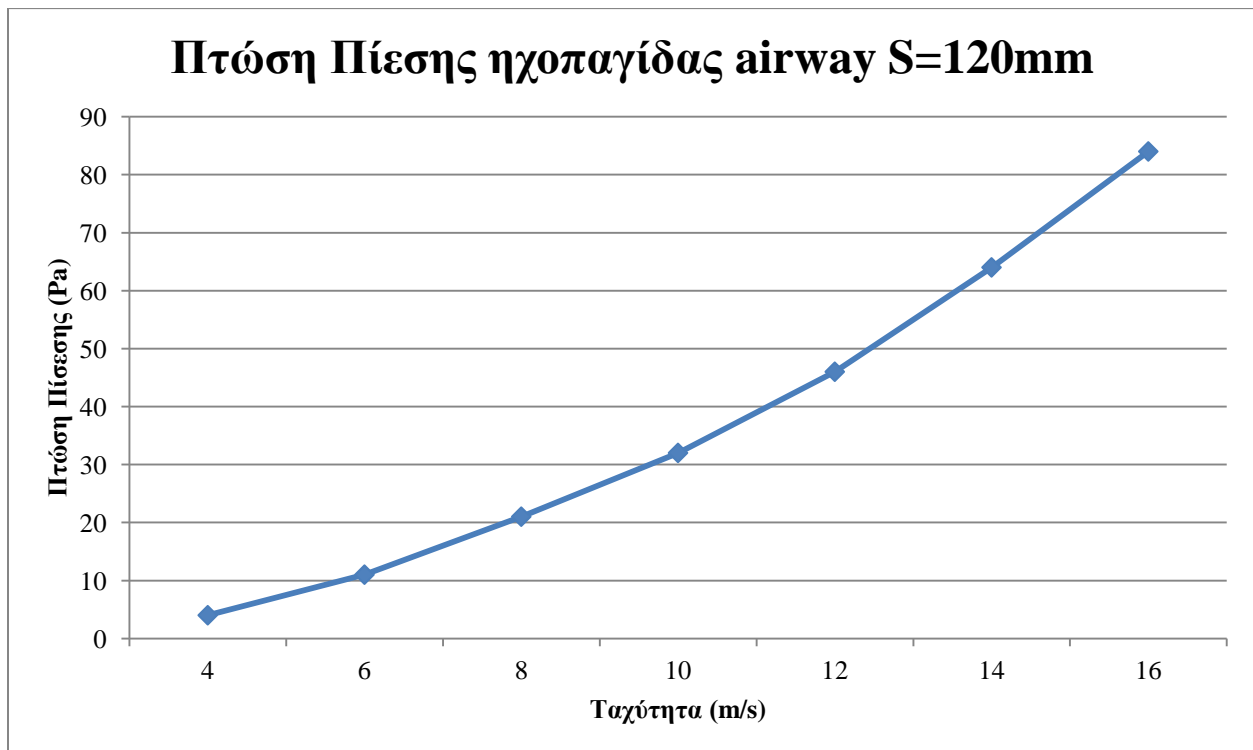
Πίνακας Δ.1.10: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 120mm [14]



Σχήμα Δ.1.10: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 120mm {7}

U_f (m/s)	Δp (Pa)
4	4
6	11
8	21
10	32
12	46
14	64
16	84

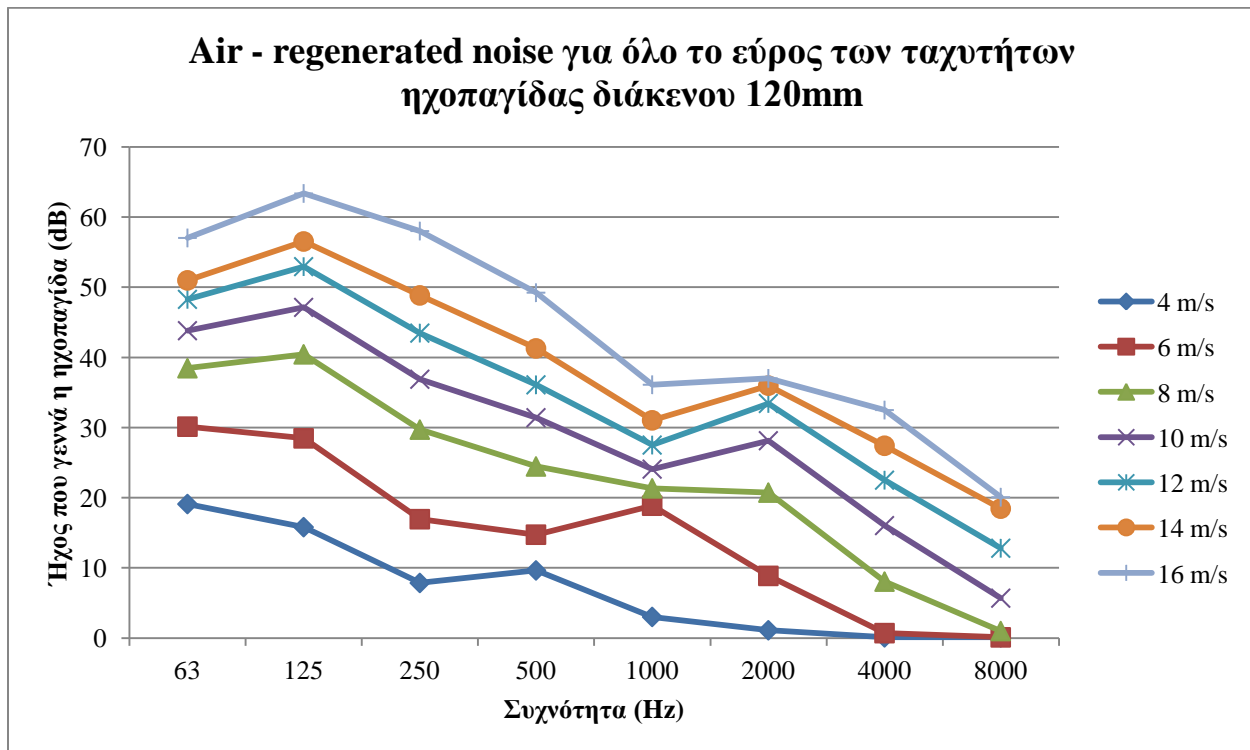
Πίνακας Δ.1.11: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 120mm [14]



Σχήμα Δ.1.11: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 120mm {7}

Air - regenerated noise (dB) για όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 120mm								
U_f (m/s)	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4	19.1063	15.81	7.85801	9.64324	3.01444	1.11214	0.10279	0.10279
6	30.1368	28.4718	16.9463	14.7377	18.8712	8.86515	0.70279	0.10279
8	38.4663	40.4474	29.7174	24.4656	21.3451	20.7407	8.04959	1.00279
10	43.8208	47.1392	36.8944	31.4144	24.0842	28.1371	16.0336	5.68615
12	48.2822	52.944	43.4697	36.0995	27.5138	33.4403	22.5066	12.8012
14	50.989	56.5305	48.8432	41.2885	31.0367	35.9834	27.4143	18.4496
16	57.0367	63.3737	58.0176	49.2322	36.1095	37.0187	32.498	20.0794

Πίνακας Δ.1.12: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 120mm [14]

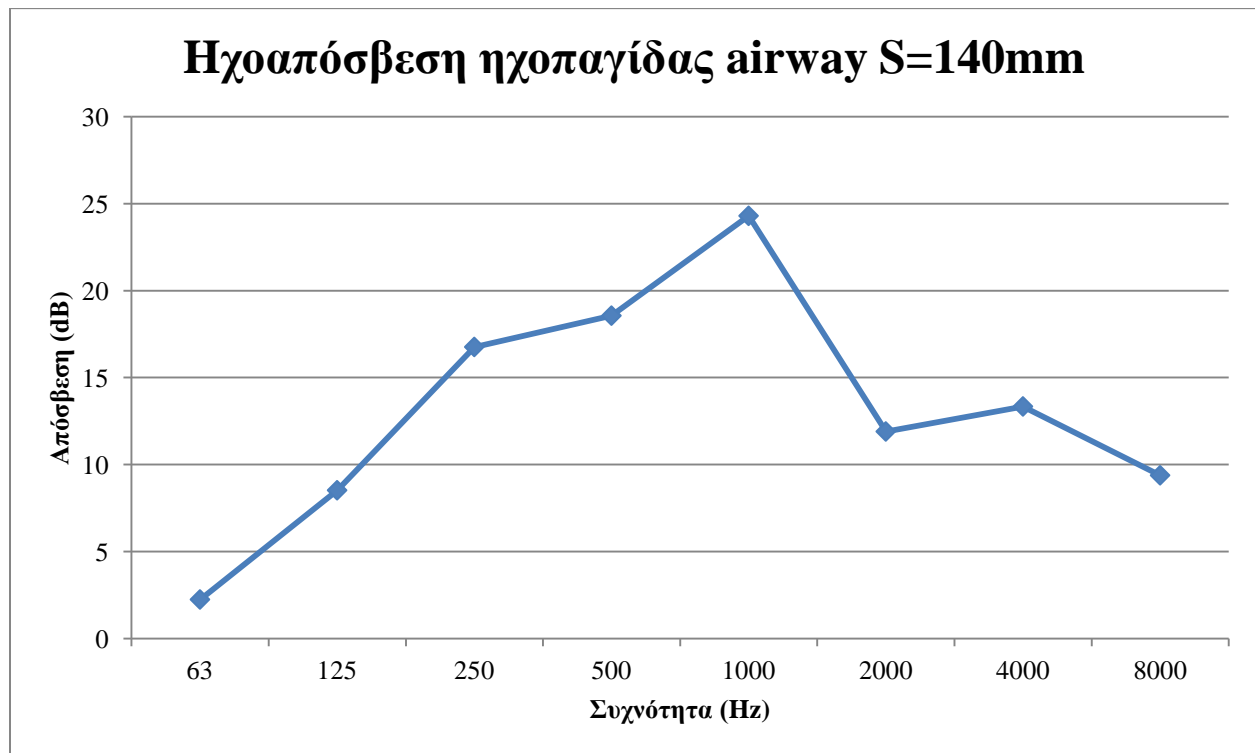


Σχήμα Δ.1.12: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 120mm {7}

Δ.1.5. Διάκενο ηχοπαγίδας 140mm

<u>Αγωγός</u>	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Χωρίς ηχοπαγίδα	133.44	154.26	139.9	129.34	125.68	120.72	125.16	122.18
Με ηχοπαγίδα	131.2	145.74	123.14	110.78	101.38	108.82	111.82	112.8
Απόσβεση	2.24	8.52	16.76	18.56	24.3	11.9	13.34	9.38

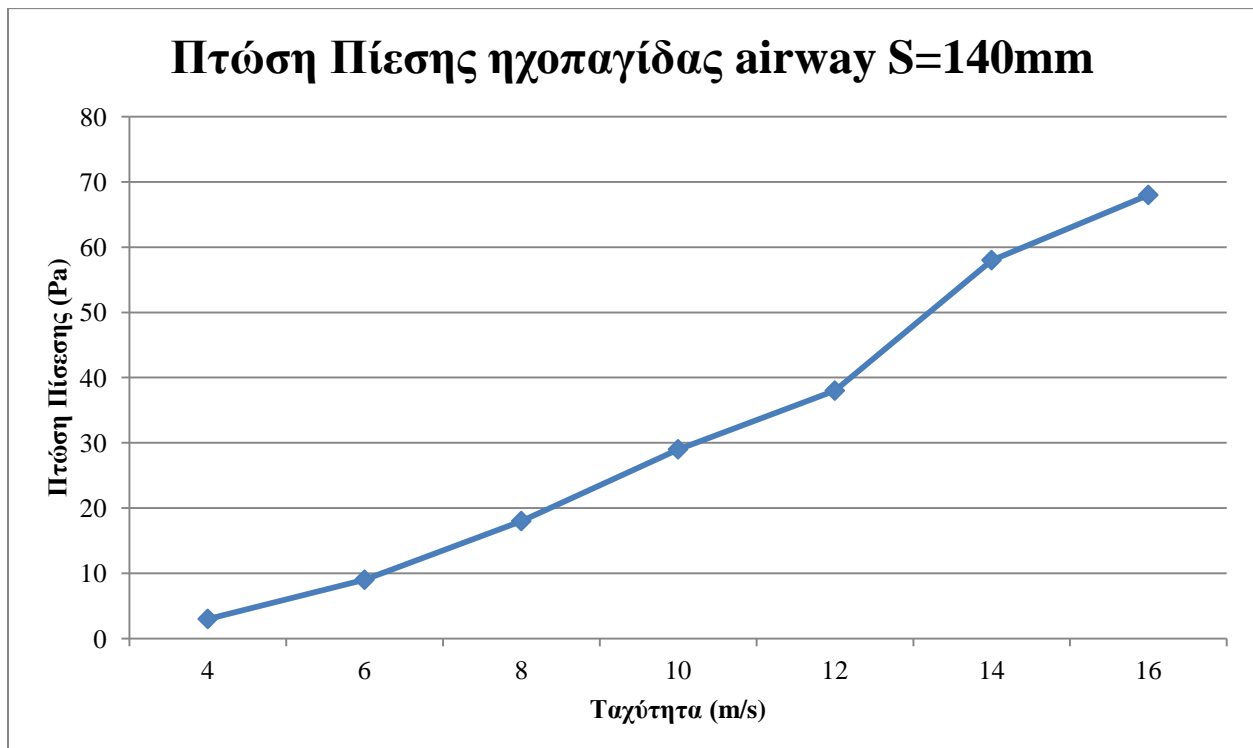
Πίνακας Δ.1.13: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 140mm [14]



Σχήμα Δ.1.13: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 120mm {7}

U_f (m/s)	Δp (Pa)
4	3
6	9
8	18
10	29
12	38
14	58
16	68

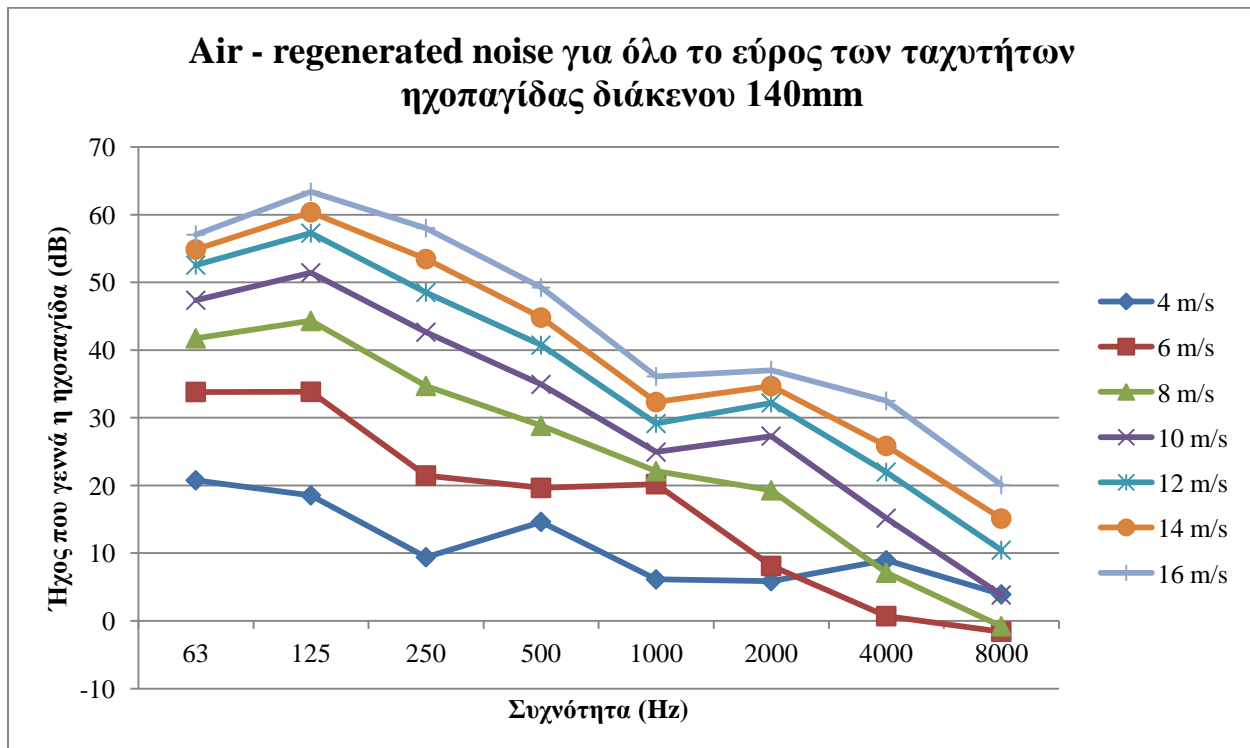
Πίνακας Δ.1.14: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 140mm [14]



Σχήμα Δ.1.14: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 140mm {7}

Air - regenerated noise (dB) για όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 140mm								
U_f (m/s)	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4	20.763	18.5372	9.40508	14.6243	6.12619	5.87095	8.95662	3.90896
6	33.8168	33.8427	21.4743	19.6457	20.1969	8.11452	0.70279	-1.5972
8	41.7383	44.3161	34.7129	28.8186	22.1181	19.2954	7.12196	-0.7879
10	47.3556	51.4291	42.6424	34.9283	24.9316	27.2893	15.1789	3.83038
12	52.547	57.2714	48.5081	40.7318	29.1486	32.1885	21.9773	10.4459
14	54.8725	60.3602	53.4371	44.7981	32.3245	34.6869	25.8432	15.1124
16	57.0367	63.3737	58.0176	49.2322	36.1095	37.0187	32.498	20.0794

Πίνακας Δ.1.15: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 140mm [14]

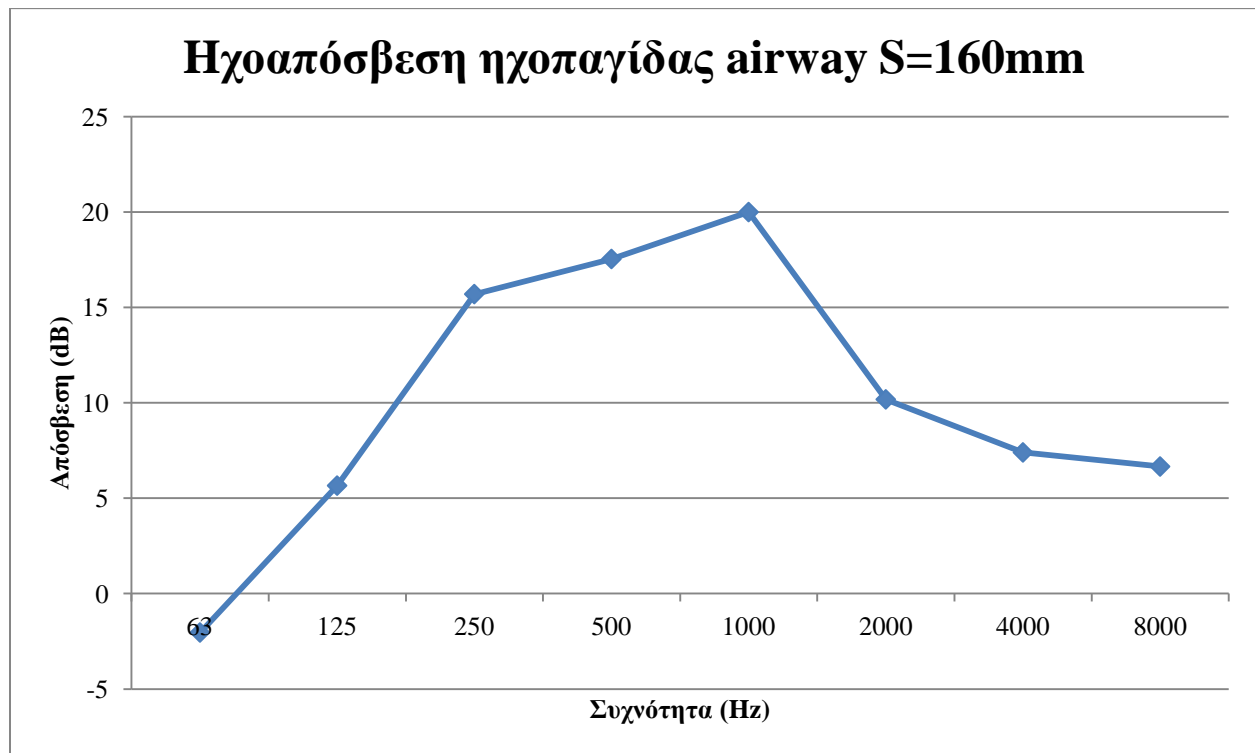


Σχήμα Δ.1.15: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 140mm {7}

Δ.1.6. Διάκενο ηχοπαγίδας 160mm

<u>Αγωγός</u>	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Χωρίς ηχοπαγίδα	128.28	153.68	141.46	130.58	126.22	120.26	123.9	124.66
Με ηχοπαγίδα	130.32	148.02	125.76	113.04	106.22	110.08	116.5	118
Απόσβεση	-2.04	5.66	15.7	17.54	20	10.18	7.4	6.66

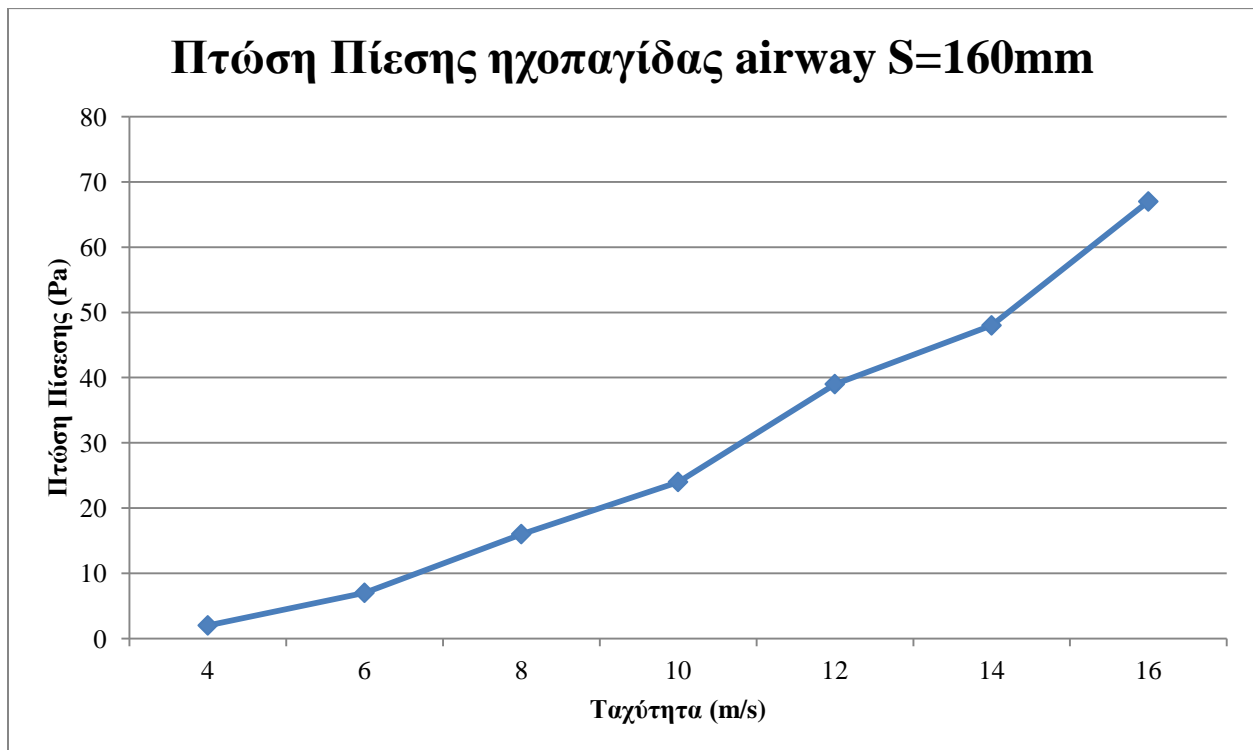
Πίνακας Δ.1.16: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 160mm [14]



Σχήμα Δ.1.16: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 160mm {7}

U_f (m/s)	Δp (Pa)
4	2
6	7
8	16
10	24
12	39
14	48
16	67

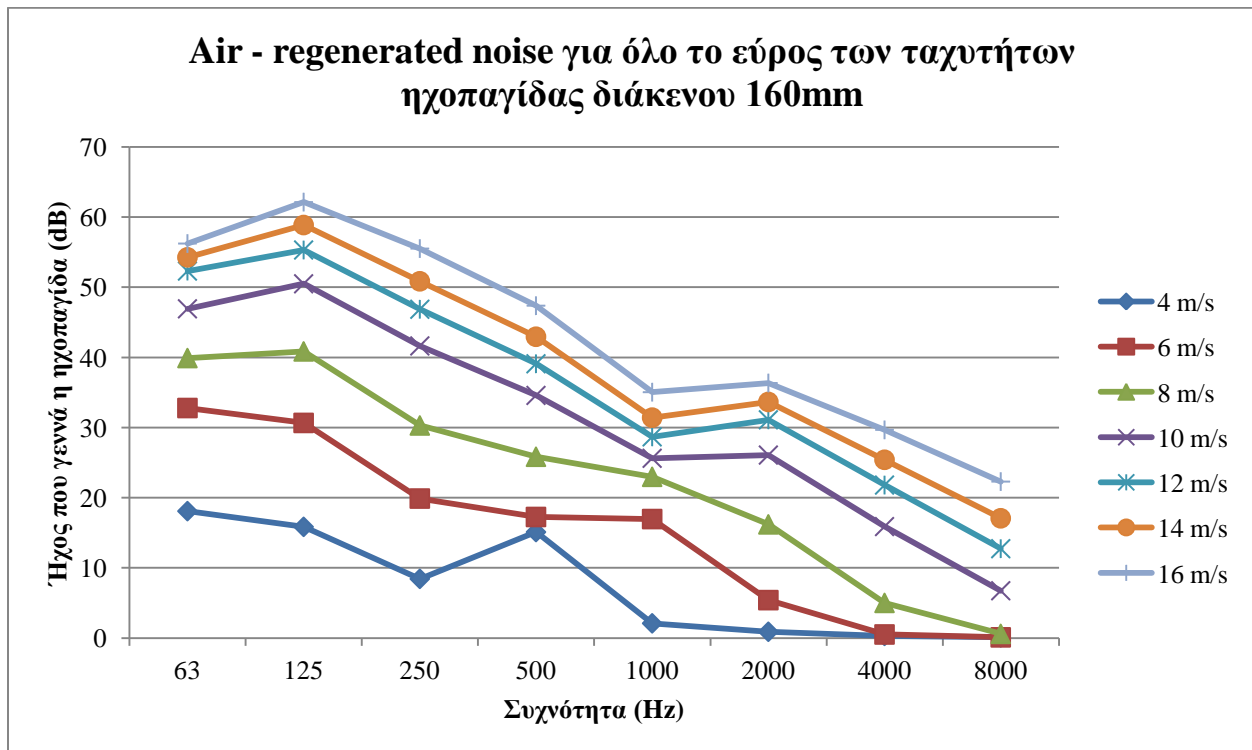
Πίνακας Δ.1.17: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 160mm [14]



Σχήμα Δ.1.17: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 140mm {7}

Air - regenerated noise (dB) για όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 160mm								
U_f (m/s)	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4	18.0945	15.8529	8.44137	15.115	2.10238	0.90279	0.31214	0.10279
6	32.7934	30.6685	19.8894	17.2596	16.9657	5.41002	0.51186	0.10279
8	39.9152	40.8636	30.3051	25.8485	22.9883	16.208	5.01266	0.60279
10	46.9375	50.5017	41.6432	34.5919	25.6271	26.0877	15.8926	6.75178
12	52.3158	55.3176	46.867	39.1021	28.6824	31.1122	21.8127	12.7456
14	54.2671	58.8739	50.853	42.9521	31.4206	33.6576	25.4127	17.0743
16	56.2382	62.142	55.5169	47.3821	35.0486	36.3557	29.6789	22.3036

Πίνακας Δ.1.18: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 160mm [14]



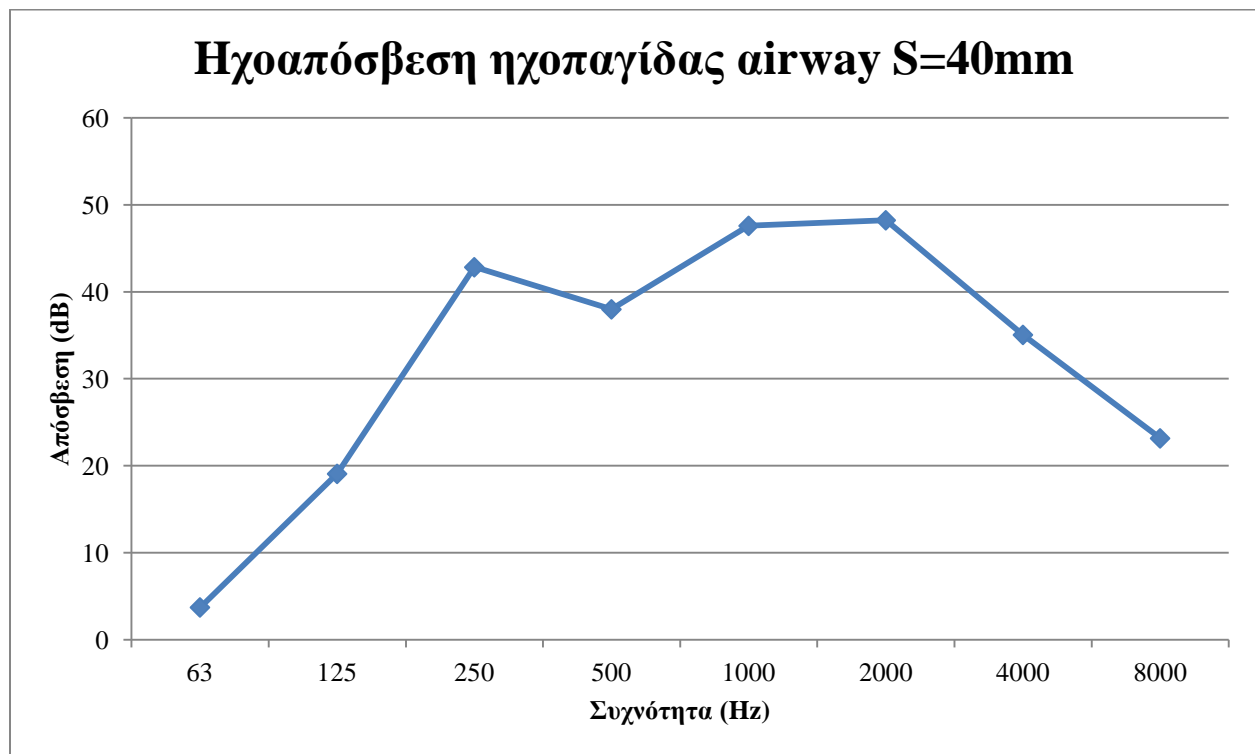
Σχήμα Δ.1.18: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 160mm {7}

Δ.2. Ηχοπαγίδες με τρία ηχοστοιχεία πλάτους 100mm μήκους 1500mm

Δ.2.1. Διάκενο ηχοπαγίδας 40mm

<u>Αγωγός</u>	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Χωρίς ηχοπαγίδα	131.42	153.98	138.94	129.94	125.46	123.18	119.66	126.68
Με ηχοπαγίδα	127.7	134.9	96.1	91.94	77.86	74.94	84.6	103.52
Απόσβεση	3.72	19.08	42.84	38	47.6	48.24	35.06	23.16

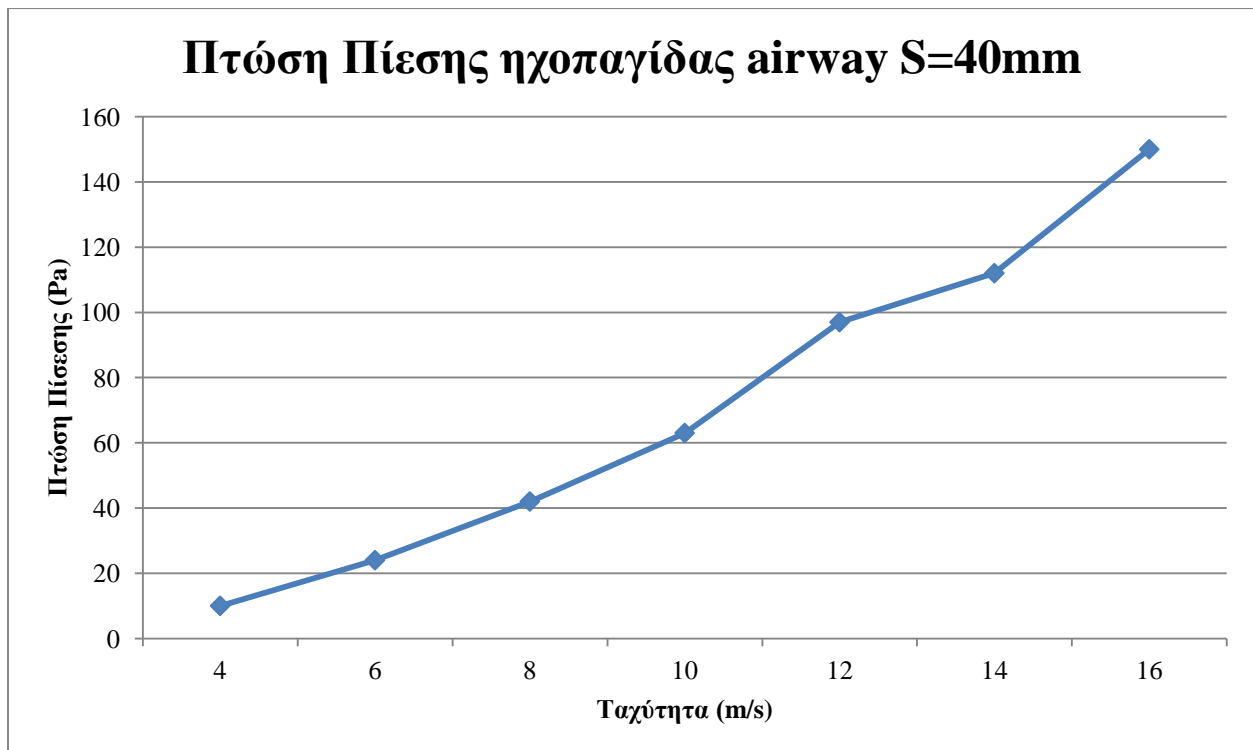
Πίνακας Δ.2.1: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 40mm [14]



Σχήμα Δ.2.1: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 40mm {7}

U_f (m/s)	Δp (Pa)
4	10
6	24
8	42
10	63
12	97
14	112
16	150

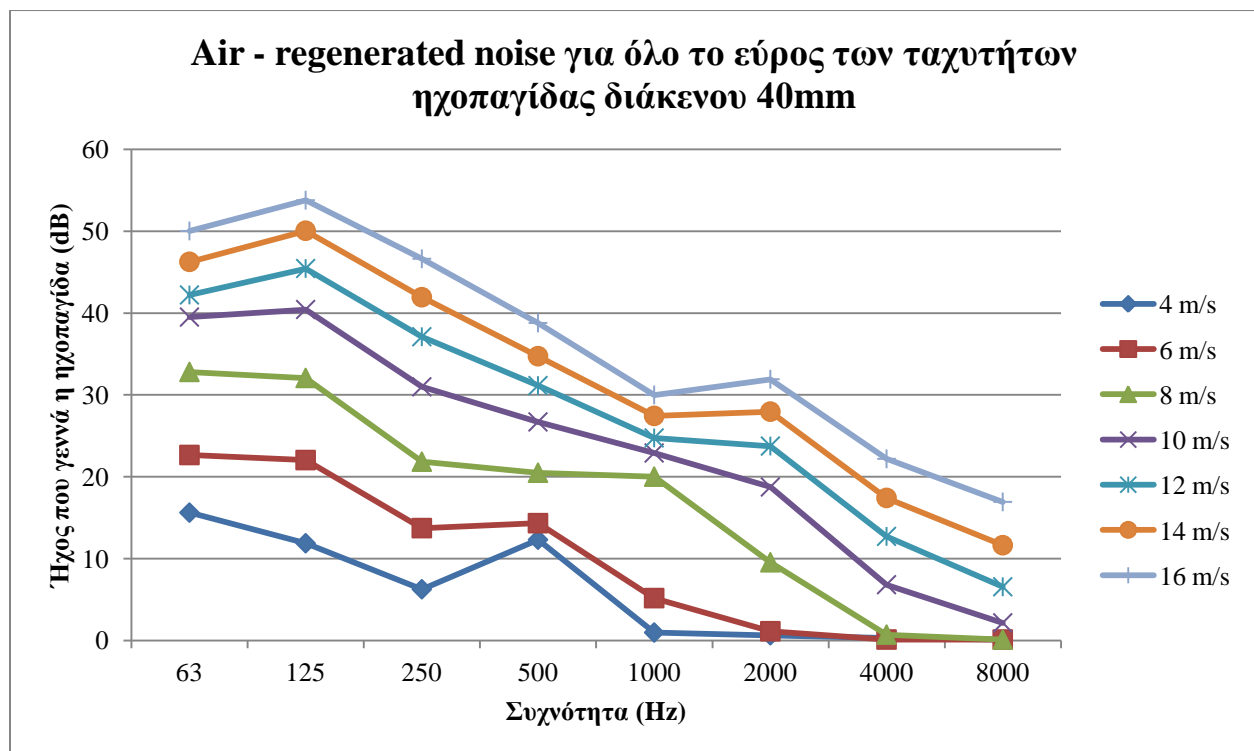
Πίνακας Δ.2.2: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 40mm [14]



Σχήμα Δ.2.2: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 40mm {7}

Air - regenerated noise (dB) για όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 40mm								
U_f (m/s)	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4	15.6063	11.8635	6.24244	12.2995	0.95815	0.62124	0.31214	0.10279
6	22.6463	22.0291	13.7149	14.3178	5.16106	1.11214	0.10279	0.10279
8	32.8006	32.0629	21.8333	20.4853	20.0061	9.53943	0.70279	0.10279
10	39.4995	40.4252	30.976	26.6859	22.8963	18.7379	6.80508	2.14026
12	42.2034	45.4295	37.0972	31.1318	24.7312	23.7379	12.7028	6.5496
14	46.248	50.0488	41.9238	34.7192	27.424	27.9456	17.4036	11.6247
16	50.0177	53.7733	46.6188	38.7791	29.9835	31.9051	22.1767	16.9176

Πίνακας Δ.2.3: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 40mm [14]

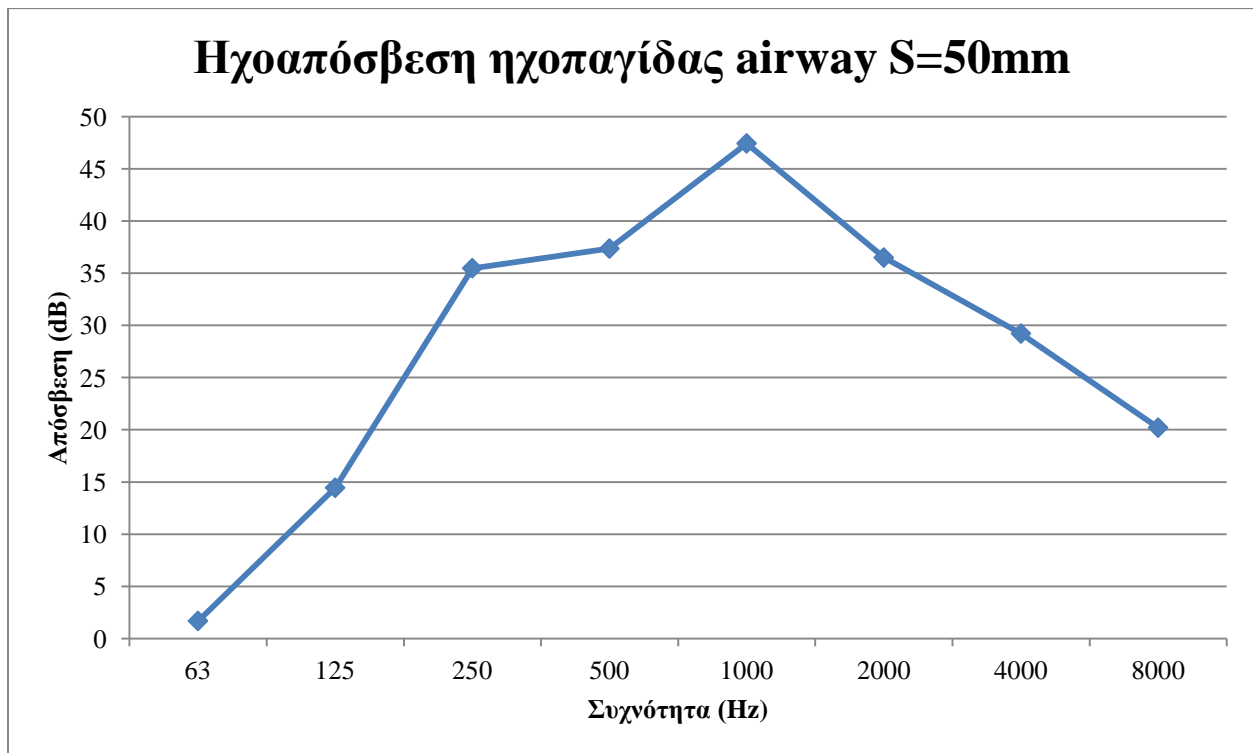


Σχήμα Δ.2.3: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 40mm {7}

Δ.2.2. Διάκενο ηχοπαγίδας 50mm

<u>Αγωγός</u>	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Χωρίς ηχοπαγίδα	131.86	153.98	139.02	129.68	126.48	125.92	124.8	128.26
Με ηχοπαγίδα	130.18	139.54	103.54	92.32	79.04	89.42	95.58	108.06
Απόσβεση	1.68	14.44	35.48	37.36	47.44	36.5	29.22	20.2

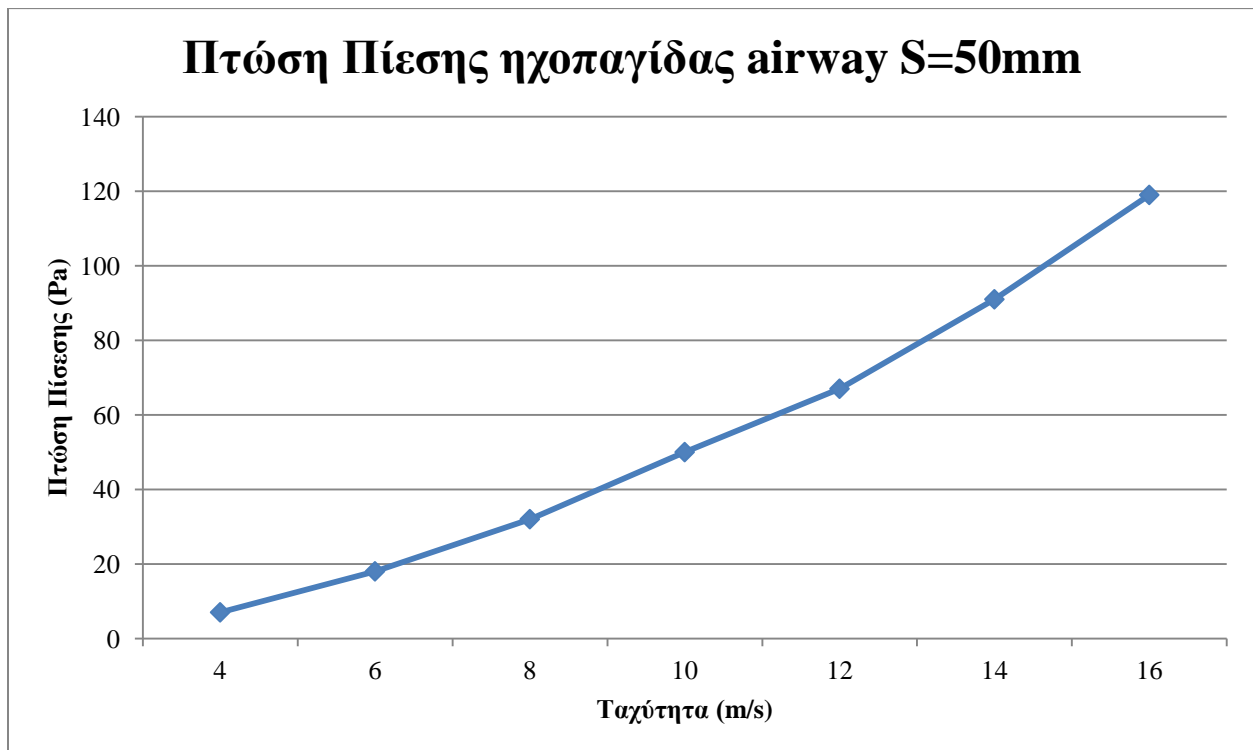
Πίνακας Δ.2.4: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 50mm [14]



Σχήμα Δ.2.4: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 50mm {7}

U_f (m/s)	Δp (Pa)
4	7
6	18
8	32
10	50
12	67
14	91
16	119

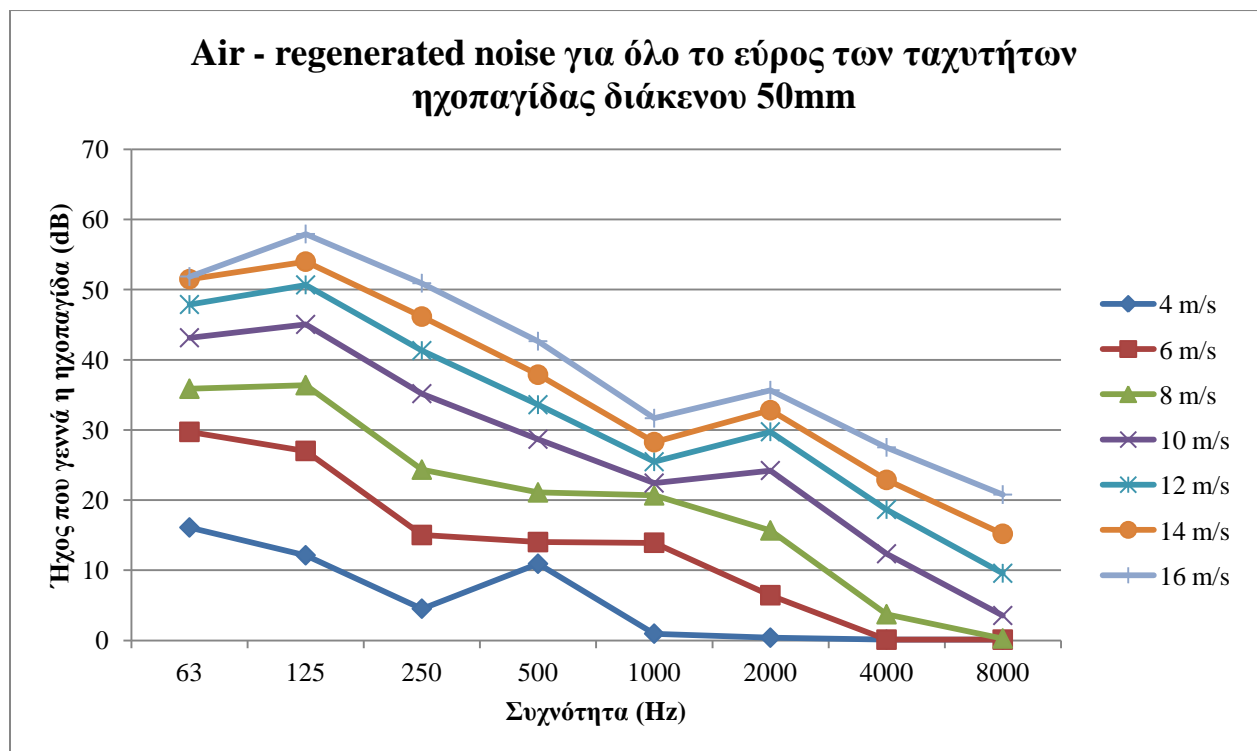
Πίνακας Δ.2.5: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 50mm [14]



Σχήμα Δ.2.5: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 50mm {7}

Air - regenerated noise (dB) για όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 50mm								
U_f (m/s)	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4	16.0937	12.1309	4.51506	10.9217	0.95815	0.38615	0.10279	0.10279
6	29.7168	27.0046	15.0191	14.0122	13.9175	6.43714	0.10279	0.10279
8	35.872	36.3807	24.3389	21.0939	20.6717	15.6728	3.73038	0.27593
10	43.1374	45.0366	35.163	28.6693	22.4236	24.2082	12.3459	3.54323
12	47.8706	50.6699	41.3052	33.5955	25.4626	29.7379	18.653	9.56047
14	51.4849	53.9844	46.1551	37.8688	28.2536	32.8051	22.8712	15.1847
16	51.8634	57.9265	50.909	42.645	31.6642	35.6486	27.5112	20.7792

Πίνακας Δ.2.6: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 50mm [14]

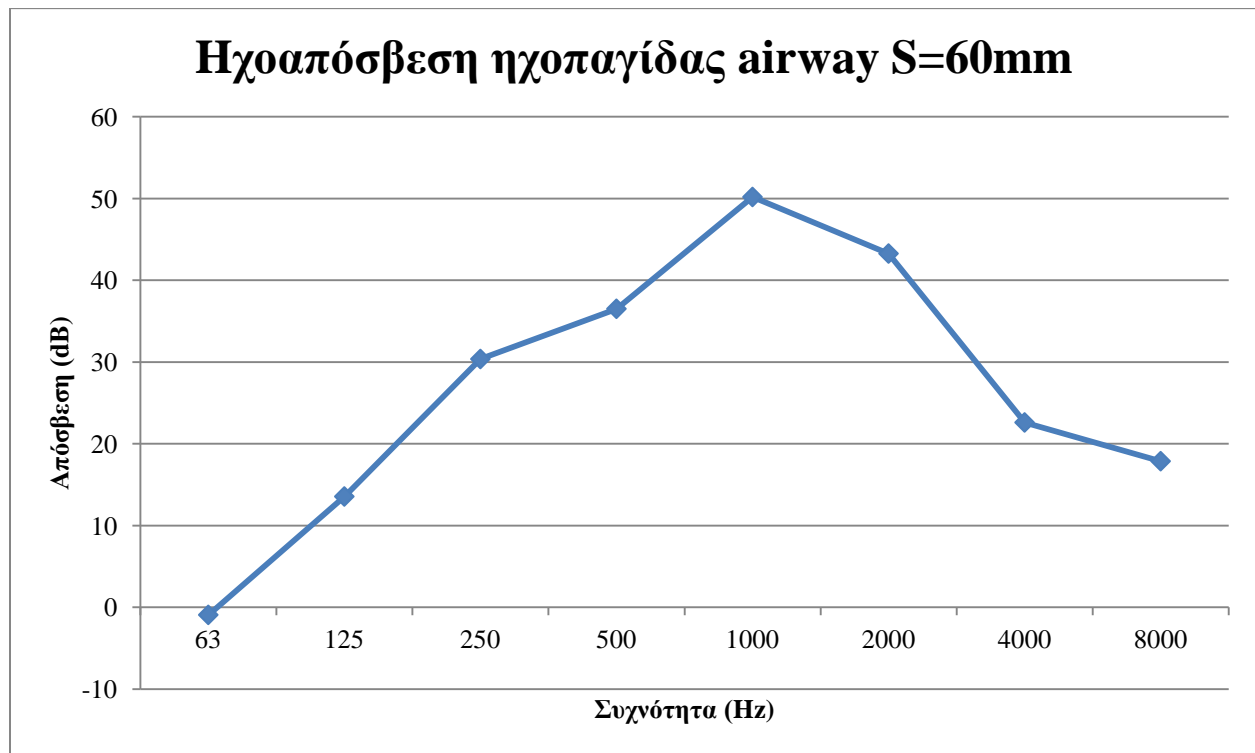


Σχήμα Δ.2.6: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 50mm {7}

Δ.2.3. Διάκενο ηχοπαγίδας 60mm

<u>Αγωγός</u>	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Χωρίς ηχοπαγίδα	128.78	155.88	141.1	130.72	127.54	125.9	119.04	125.98
Με ηχοπαγίδα	129.72	142.34	110.74	94.22	77.36	82.64	96.44	108.12
Απόσβεση	-0.94	13.54	30.36	36.5	50.18	43.26	22.6	17.86

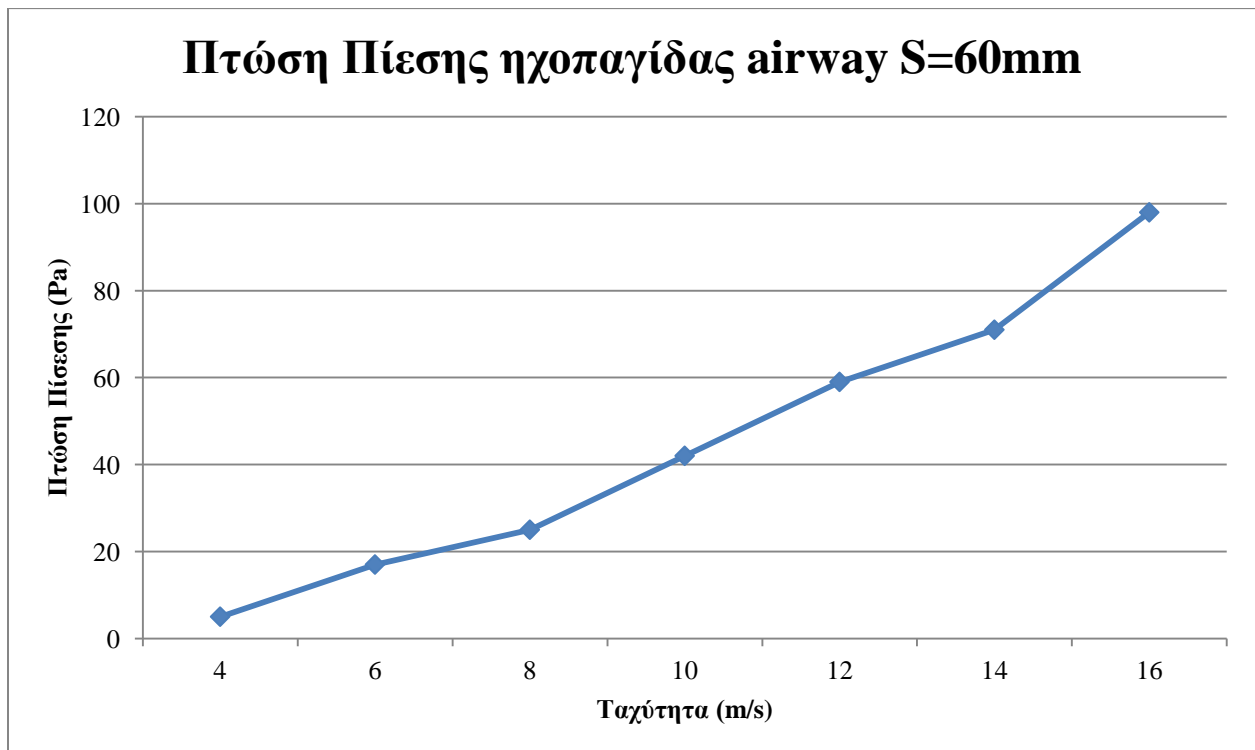
Πίνακας Δ.2.7: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 60mm [14]



Σχήμα Δ.2.7: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 60mm {7}

U_f (m/s)	Δp (Pa)
4	5
6	17
8	25
10	42
12	59
14	71
16	98

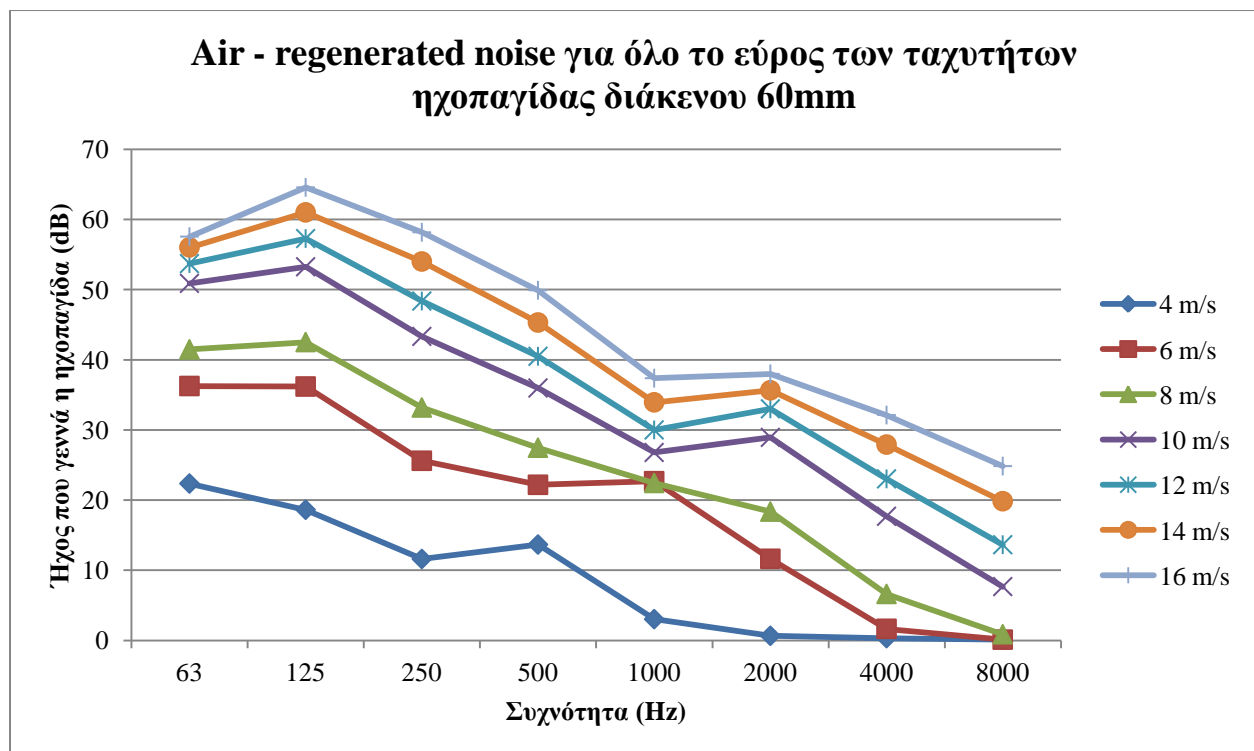
Πίνακας Δ.2.8: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 60mm [14]



Σχήμα Δ.2.8: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 60mm {7}

Air - regenerated noise (dB) για όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 60mm								
U_f (m/s)	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4	22.3534	18.613	11.5975	13.6571	3.02422	0.65215	0.31214	0.10279
6	36.2547	36.1839	25.6019	22.1759	22.6844	11.626	1.64244	0.10279
8	41.4735	42.5179	33.195	27.4632	22.4365	18.3548	6.6171	0.87351
10	50.8849	53.2553	43.3261	35.9728	26.7832	28.9361	17.685	7.66232
12	53.7003	57.2694	48.3647	40.49	29.9984	33.0058	23.0171	13.6354
14	56.017	61.0046	54.0008	45.3071	33.9293	35.6469	27.9097	19.8364
16	57.5535	64.5727	58.1652	49.9024	37.368	37.9885	32.1151	24.8364

Πίνακας Δ.2.9: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 60mm [14]

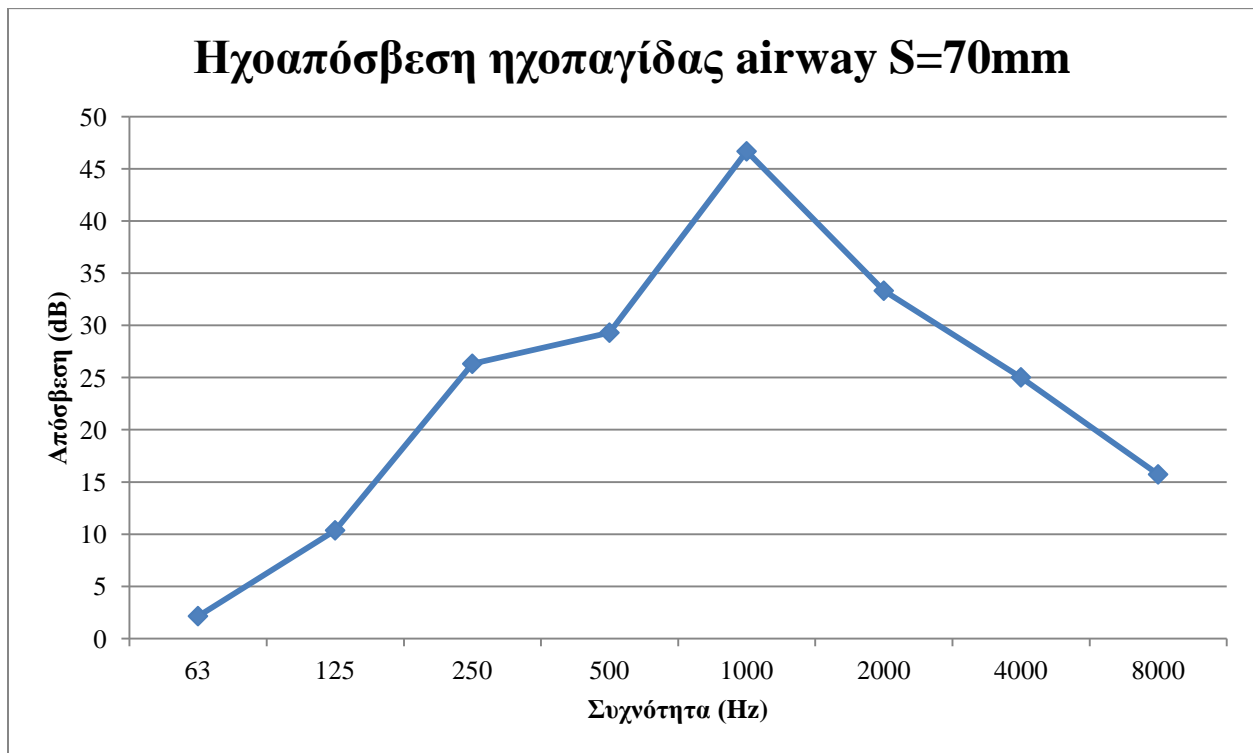


Σχήμα Δ.2.9: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 60mm {7}

Δ.2.4. Διάκενο ηχοπαγίδας 70mm

<u>Αγωγός</u>	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Χωρίς ηχοπαγίδα	128.92	152.28	138.94	128.58	127.42	124.02	126.52	125.98
Με ηχοπαγίδα	126.78	141.92	112.62	99.28	80.74	90.7	101.5	110.26
Απόσβεση	2.14	10.36	26.32	29.3	46.68	33.32	25.02	15.72

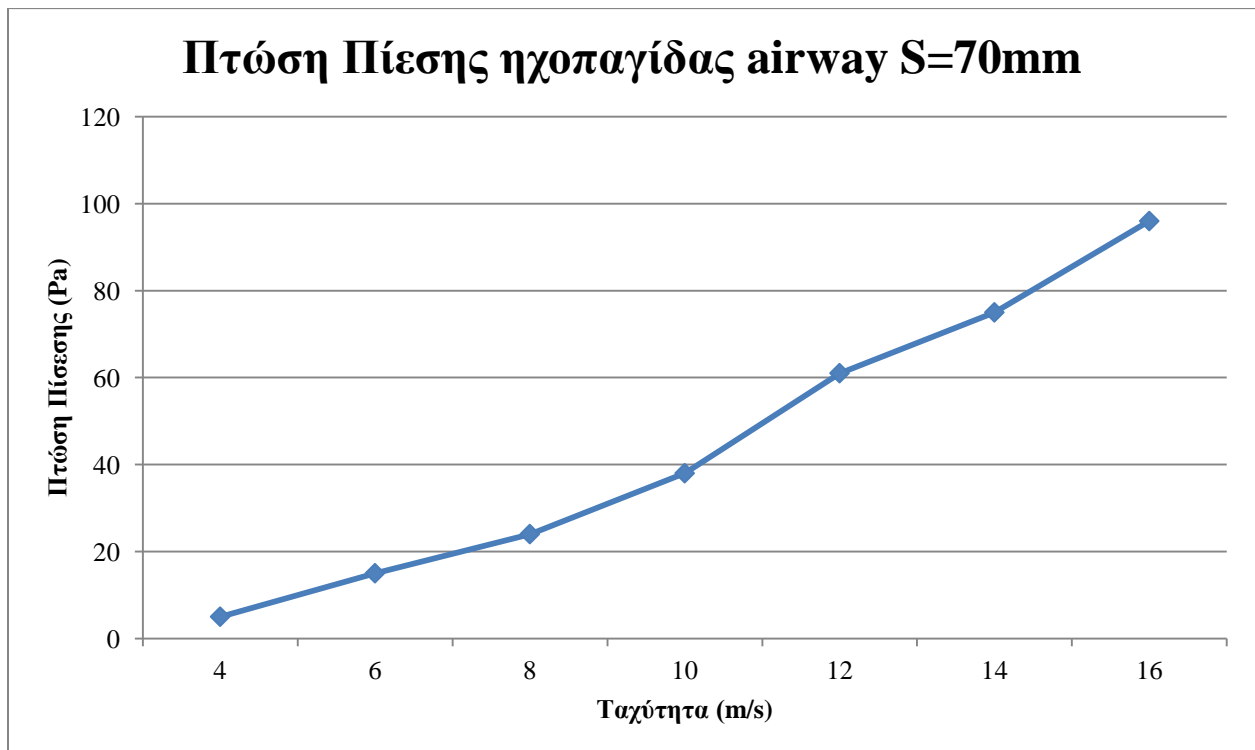
Πίνακας Δ.2.10: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 70mm [14]



Σχήμα Δ.2.10: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 70mm {7}

U_f (m/s)	Δp (Pa)
4	5
6	15
8	24
10	38
12	61
14	75
16	96

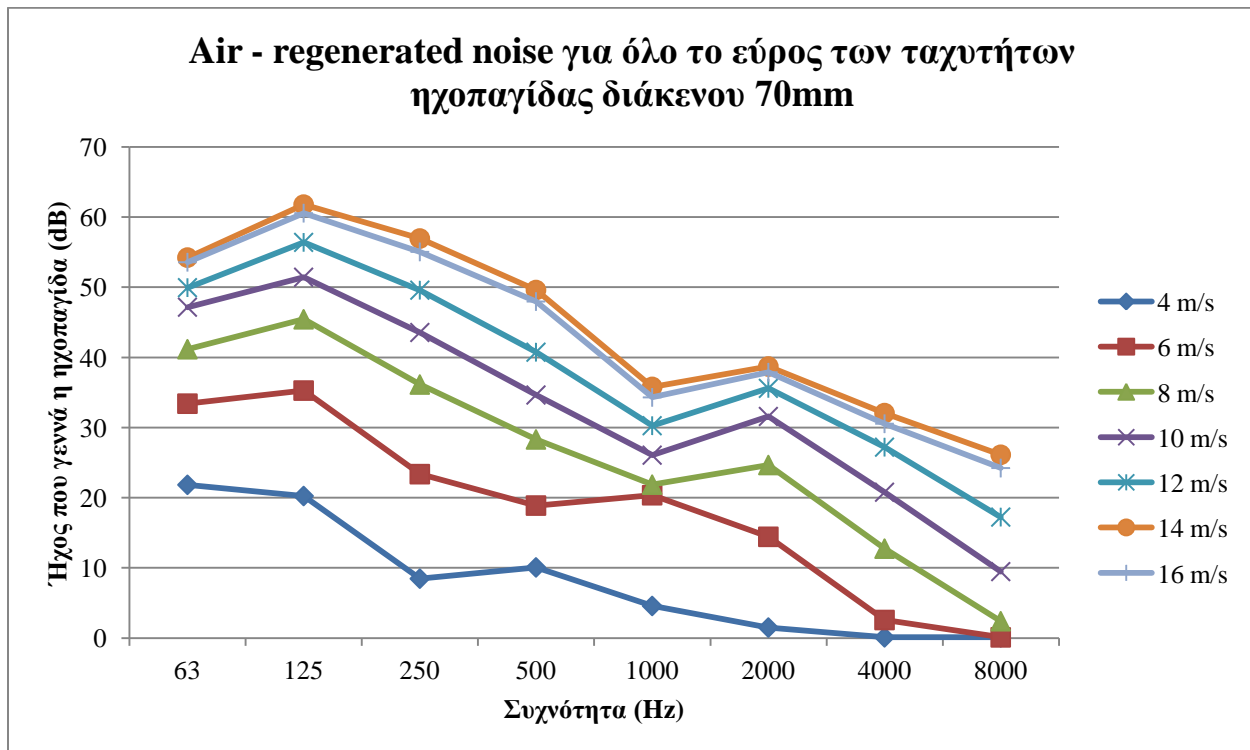
Πίνακας Δ.2.11: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενον 70mm [14]



Σχήμα Δ.2.11: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενον 70mm {7}

Air - regenerated noise (dB) για όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 70mm								
U_f (m/s)	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4	21.8433	20.2488	8.47049	10.074	4.57745	1.50279	0.10279	0.10279
6	33.4133	35.2767	23.3647	18.8898	20.3637	14.4319	2.57351	0.10279
8	41.1739	45.4417	36.1435	28.3142	21.8717	24.6695	12.7496	2.40279
10	47.1649	51.4376	43.5614	34.6485	26.0717	31.5894	20.7869	9.4743
12	49.9513	56.405	49.5877	40.7497	30.2774	35.5947	27.2124	17.2442
14	54.2335	61.7829	56.9504	49.6066	35.8019	38.7121	32.0662	26.1259
16	53.5735	60.5683	55.0458	47.9679	34.3106	37.885	30.5522	24.2346

Πίνακας Δ.2.12: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 70mm [14]

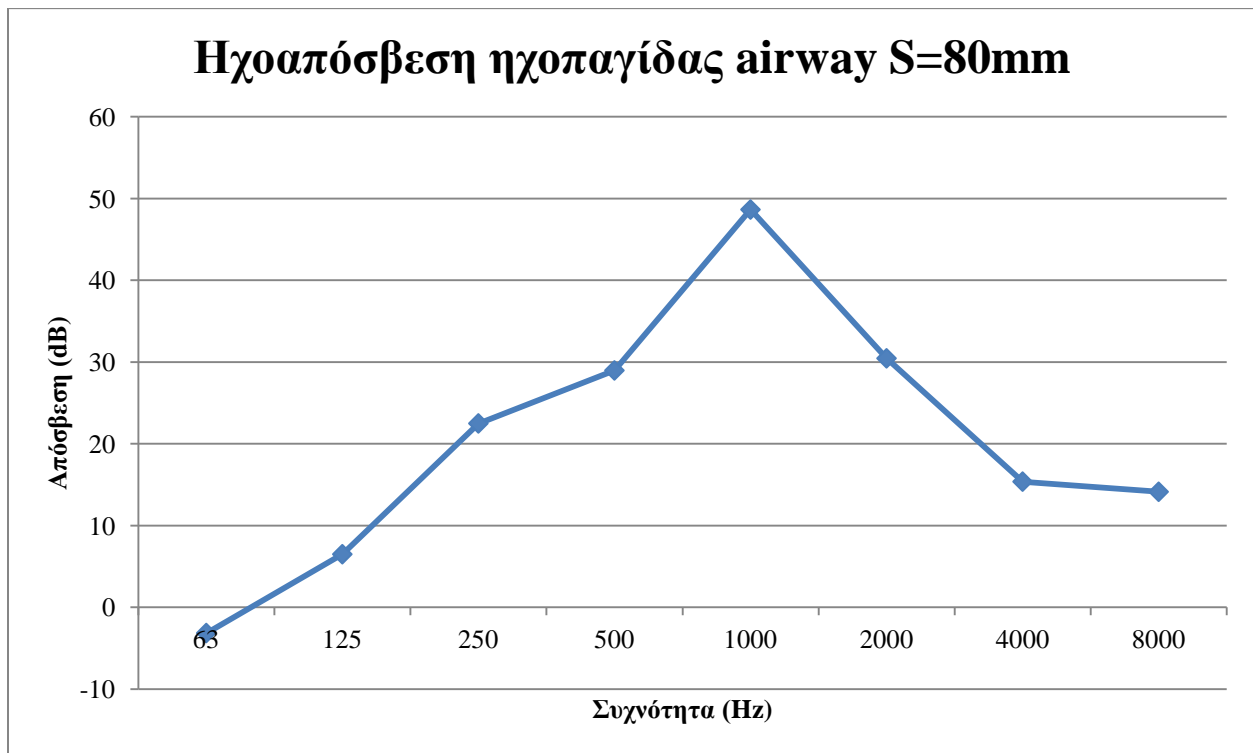


Σχήμα Δ.2.12: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 70mm {7}

Δ.2.5. Διάκενο ηχοπαγίδας 80mm

<u>Αγωγός</u>	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Χωρίς ηχοπαγίδα	124.16	150.86	139.42	128.3	127.08	122.12	124.8	127.26
Με ηχοπαγίδα	127.32	144.38	116.94	99.34	78.44	91.68	109.44	113.14
Απόσβεση	-3.16	6.48	22.48	28.96	48.64	30.44	15.36	14.12

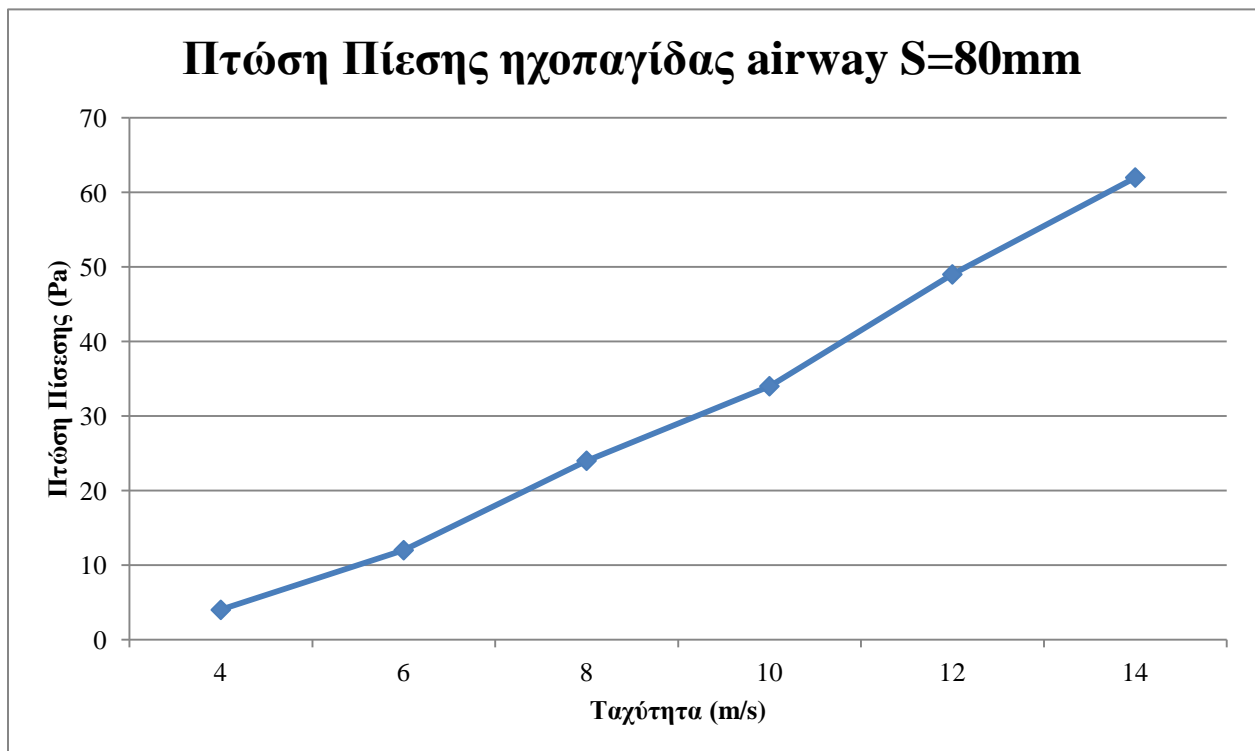
Πίνακας Δ.2.13: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 80mm [14]



Σχήμα Δ.2.13: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 80mm {7}

U_f (m/s)	Δp (Pa)
4	4
6	12
8	24
10	34
12	49
14	62

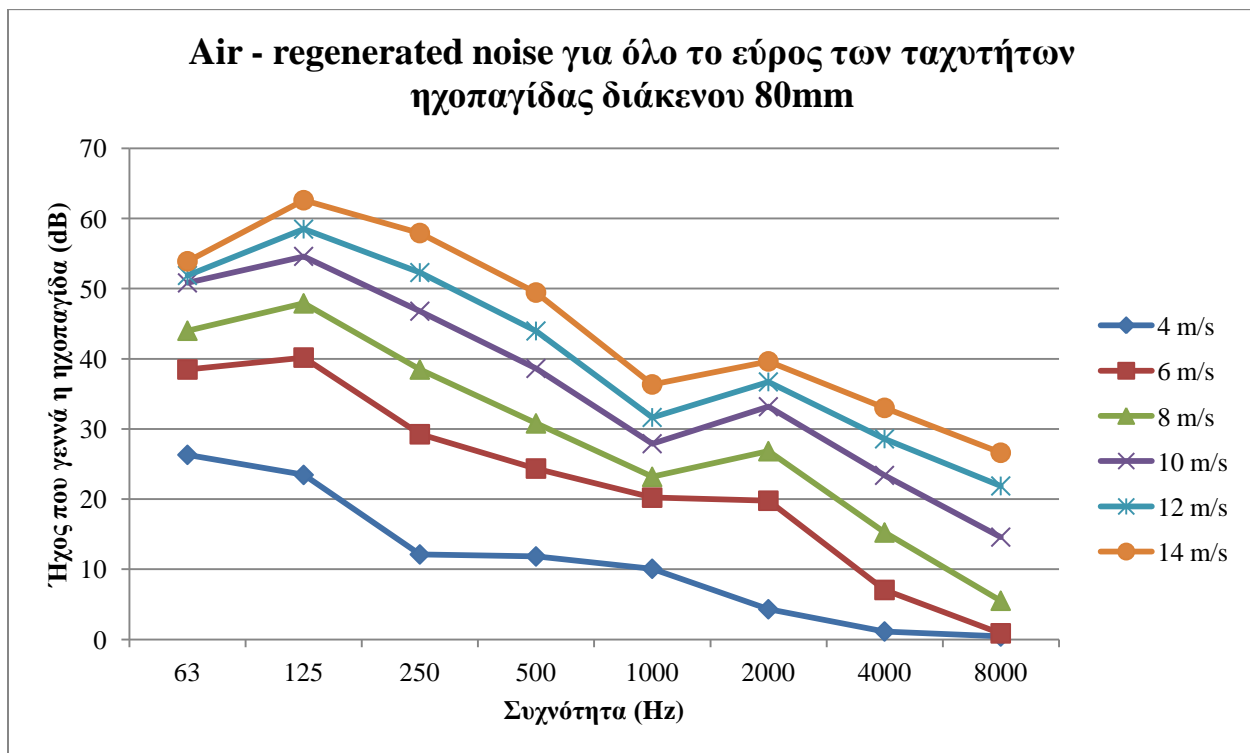
Πίνακας Δ.2.14: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 80mm [14]



Σχήμα Δ.2.14: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 80mm {7}

Air - regenerated noise (dB) για όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 80mm								
U_f (m/s)	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4	26.3164	23.4553	12.1187	11.8328	10.0774	4.30511	1.13825	0.42397
6	38.4817	40.1802	29.2508	24.3633	20.2162	19.7759	7.05517	0.87351
8	44.0111	47.9089	38.481	30.7961	23.1841	26.8371	15.2456	5.51907
10	50.8244	54.6052	46.7881	38.6312	27.9031	33.1789	23.3877	14.5869
12	51.8832	58.4876	52.3011	43.9715	31.6447	36.7119	28.589	21.8816
14	53.9036	62.6092	57.9288	49.4506	36.3515	39.6364	33.0081	26.6122

Πίνακας Δ.2.15: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 80mm [14]

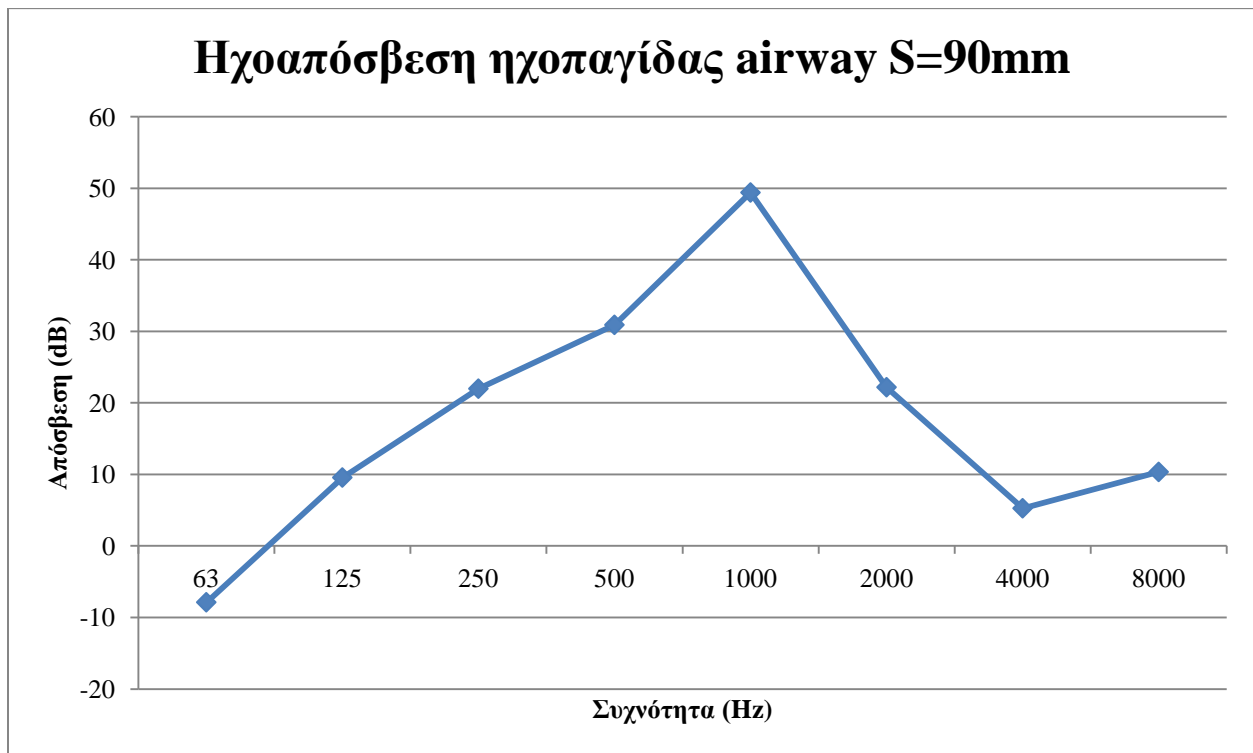


Σχήμα Δ.2.15: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 80mm {7}

Δ.2.6. Διάκενο ηχοπαγίδας 90mm

<u>Αγωγός</u>	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Χωρίς ηχοπαγίδα	118.74	154.4	140	129.78	127.54	121.62	118.98	125.8
Με ηχοπαγίδα	126.62	144.84	118.02	98.88	78.14	99.44	113.72	115.46
Απόσβεση	-7.88	9.56	21.98	30.9	49.4	22.18	5.26	10.34

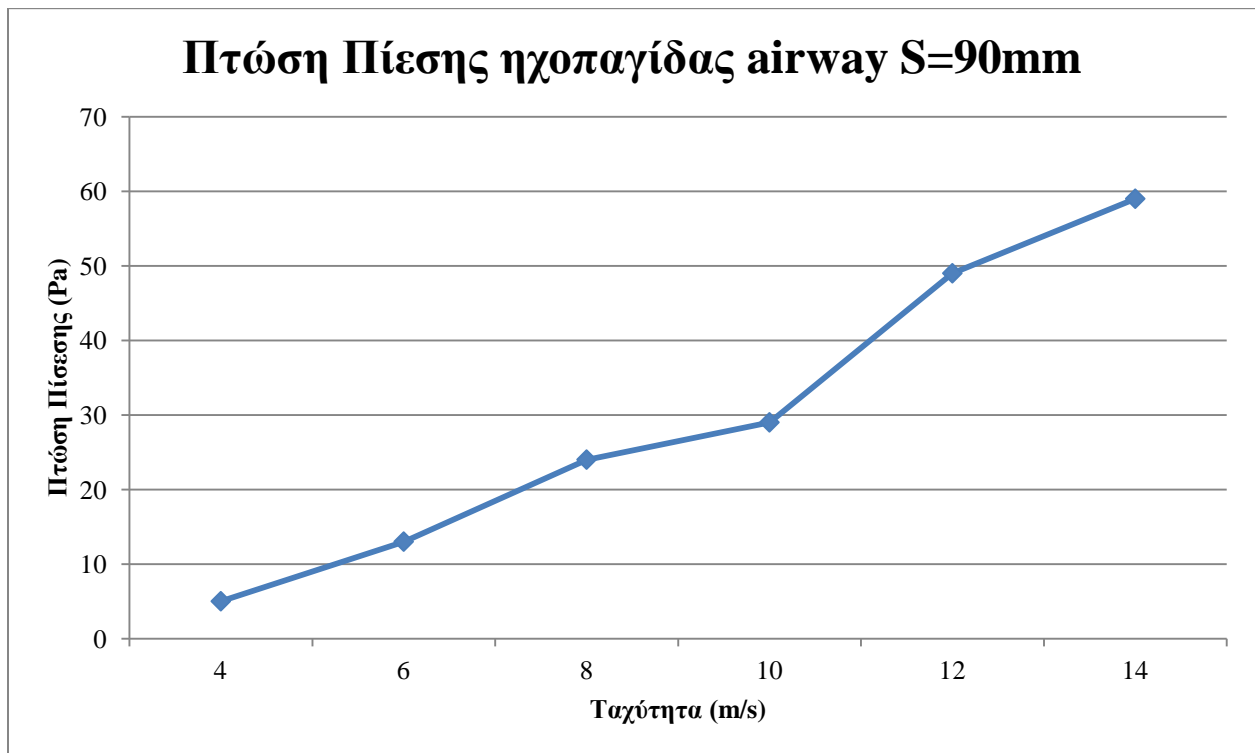
Πίνακας Δ.2.16: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 90mm [14]



Σχήμα Δ.2.16: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 90mm {7}

U_f (m/s)	Δp (Pa)
4	5
6	13
8	24
10	29
12	49
14	59

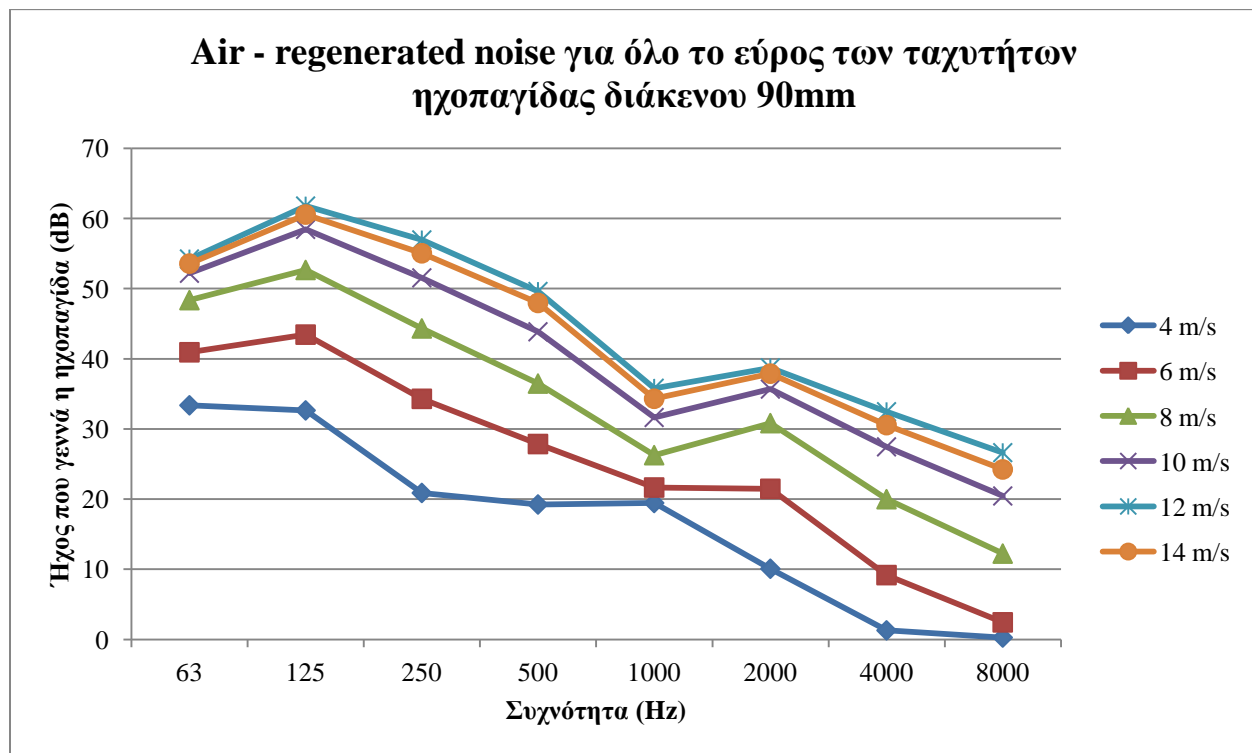
Πίνακας Δ.2.17: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 90mm [14]



Σχήμα Δ.2.17: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 90mm {7}

Air - regenerated noise (dB) για όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 90mm								
U_f (m/s)	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4	33.374	32.647	20.8838	19.2367	19.4515	10.0818	1.29262	0.27593
6	40.9356	43.4491	34.2973	27.857	21.6576	21.4697	9.17281	2.43825
8	48.3708	52.6683	44.3333	36.478	26.2715	30.8371	19.9933	12.242
10	52.1937	58.4487	51.5425	43.8629	31.6376	35.6806	27.4554	20.4563
12	54.2335	61.7829	56.9504	49.6066	35.8019	38.7121	32.4662	26.6259
14	53.5735	60.5683	55.0458	47.9679	34.3106	37.885	30.5522	24.2346

Πίνακας Δ.2.18: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 90mm [14]

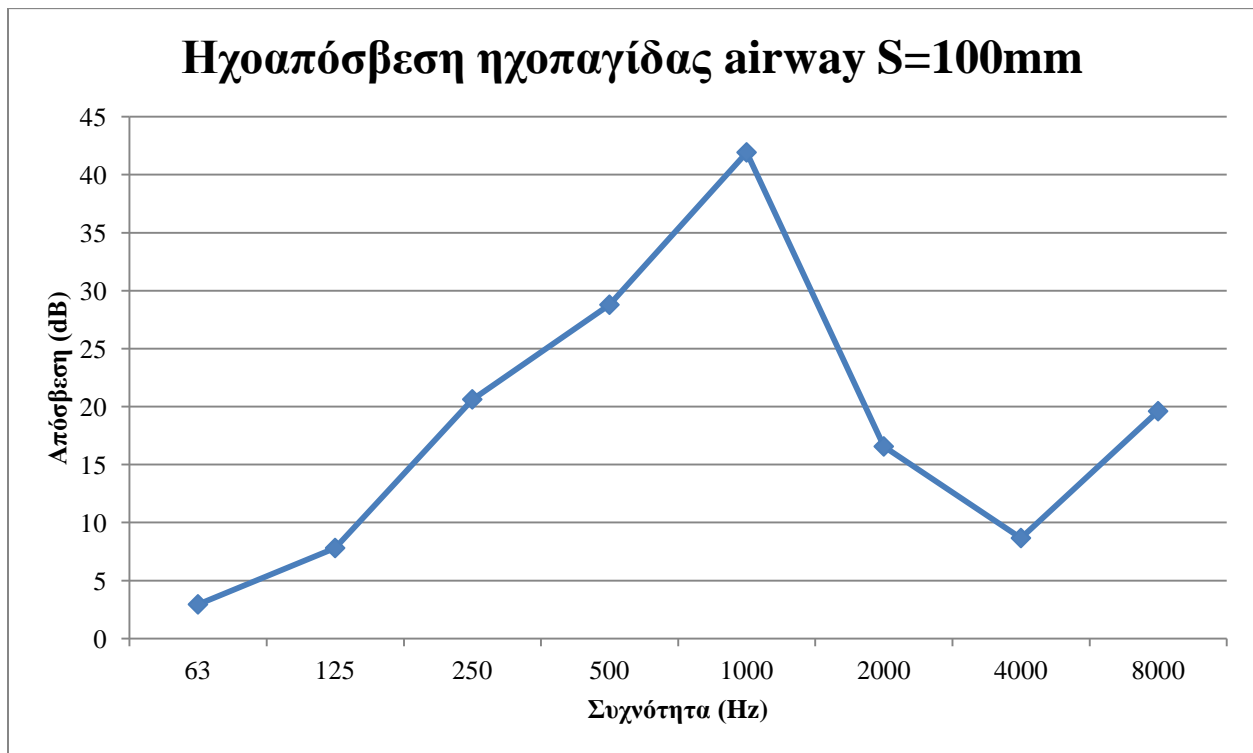


Σχήμα Δ.2.18: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 90mm {7}

Δ.2.7. Διάκενο ηχοπαγίδας 100mm

<u>Αγωγός</u>	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Χωρίς ηχοπαγίδα	133.24	154.06	139.28	128.9	127.88	120.58	123.6	131.98
Με ηχοπαγίδα	130.3	146.26	118.66	100.12	85.96	104.02	114.94	112.38
Απόσβεση	2.94	7.8	20.62	28.78	41.92	16.56	8.66	19.6

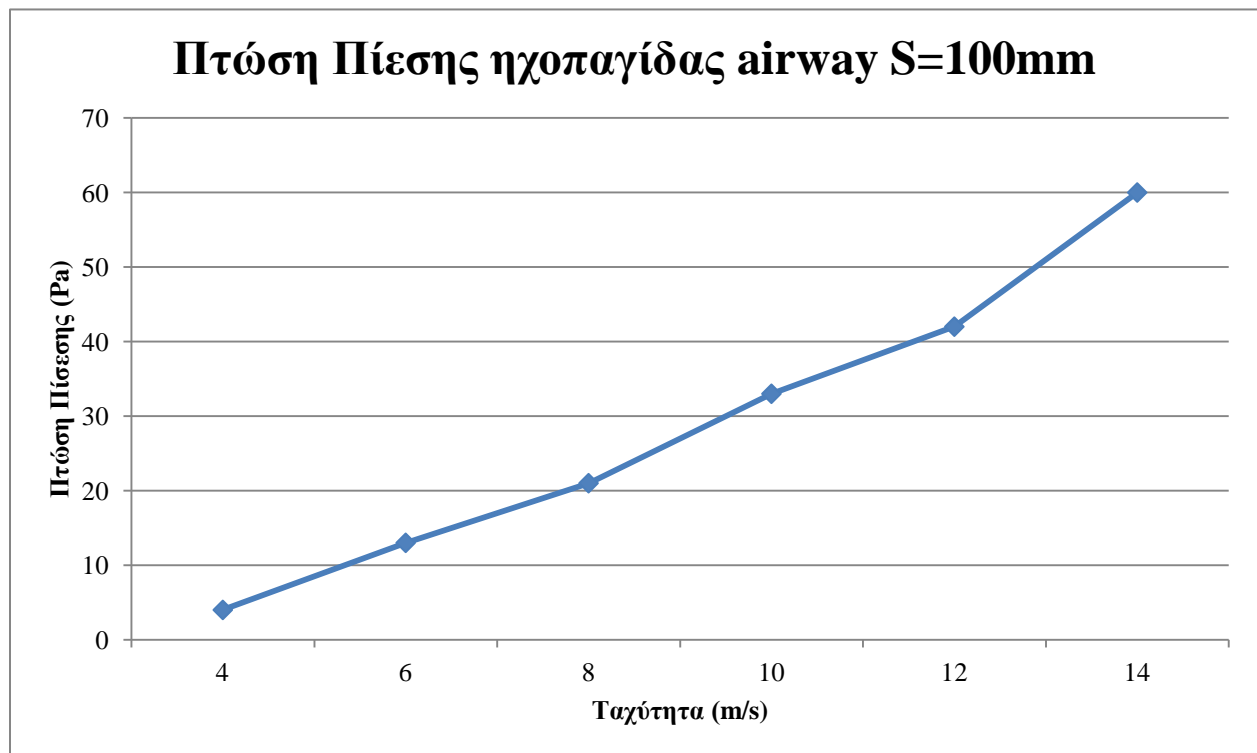
Πίνακας Δ.2.19: Ηχοαπόσβεση ηχοπαγίδας διάκενου 100mm [14]



Σχήμα Δ.2.19: Γραφική απεικόνιση ηχοαπόσβεσης διάκενου 100mm {7}

U_f (m/s)	Δp (Pa)
4	4
6	13
8	21
10	33
12	42

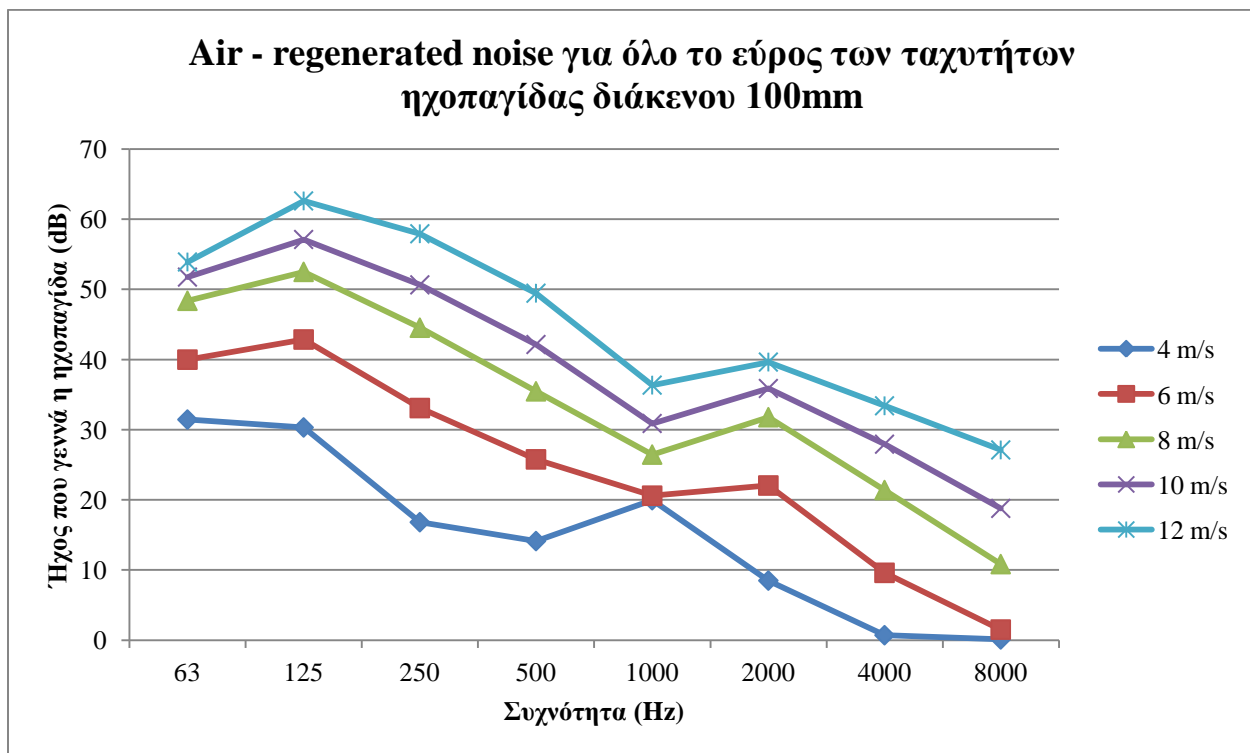
Πίνακας Δ.2.20: Πτώση πίεσης που προκύπτει από τα ηχοστοιχεία της ηχοπαγίδας διάκενου 100mm [14]



Σχήμα Δ.2.20: Γραφική απεικόνιση πτώσης πίεσης ηχοπαγίδας διάκενου 100mm {7}

Air - regenerated noise (dB) για όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 100mm								
U_f (m/s)	<u>Συχνότητα (Hz)</u>							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4	31.4433	30.3189	16.8121	14.1212	19.952	8.48903	0.70279	0.10279
6	39.9833	42.8529	33.0806	25.7684	20.5865	22.0442	9.59435	1.50511
8	48.3762	52.4982	44.5364	35.468	26.4535	31.7773	21.3976	10.8403
10	51.7524	57.1124	50.6457	42.141	30.8845	35.8736	27.9304	18.7759
12	53.9036	62.6092	57.9288	49.4506	36.3515	39.6364	33.4081	27.1122

Πίνακας Δ.2.21: Air-regenerated noise όλο το εύρος των ταχυτήτων ηχοπαγίδας διάκενου 100mm [14]



Σχήμα Δ.2.21: Γραφική απεικόνιση αναγεννώμενου ήχου ηχοπαγίδας διάκενου 100mm {7}

Παράρτημα Ε



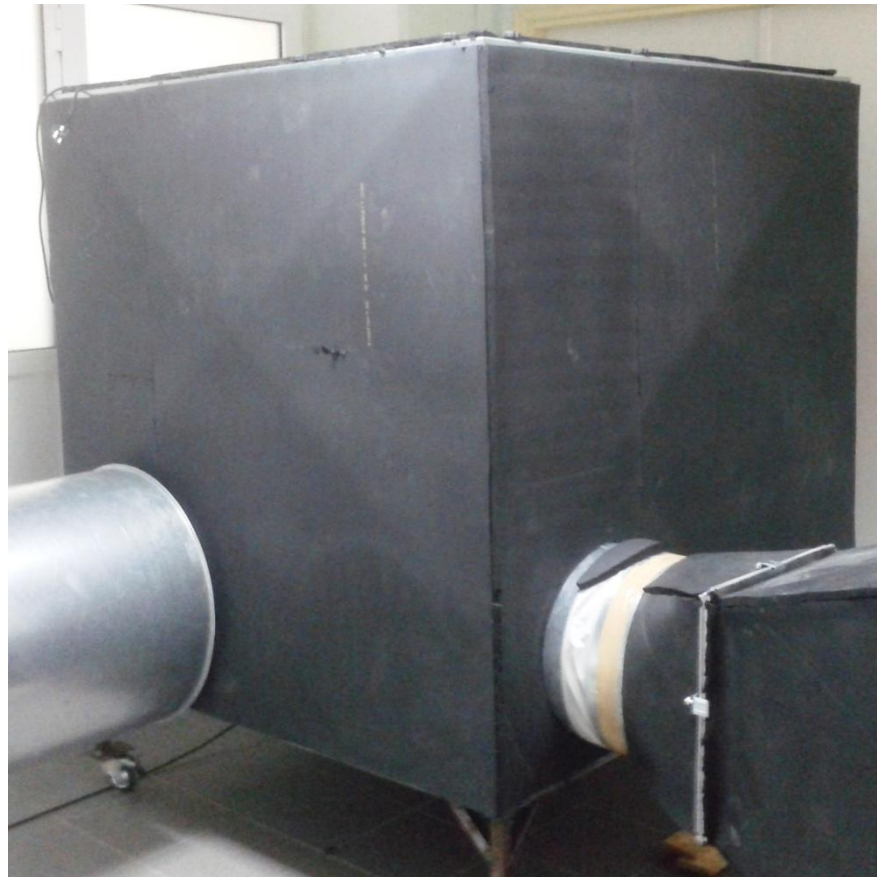
Σχήμα Ε.1: Ανεμιστήρας {7}



Σχήμα Ε.2: Ρυθμιστής στροφών ανεμιστήρα (inverter) {7}



Σχήμα E.3: Ηχοπαγίδα ανεμιστήρα {7}



Σχήμα E.4: Κουτί τοποθέτησης ηχείου {7}



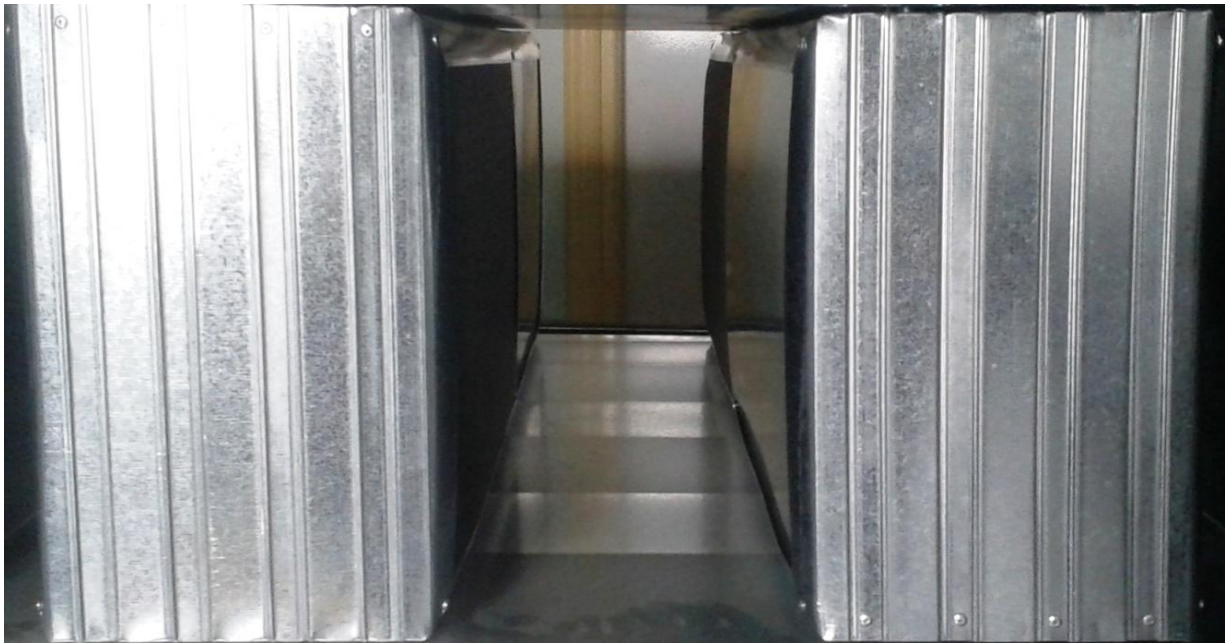
Σχήμα E.5: Modal filter {7}



Σχήμα E.6: Κοκλικής διατομής αγωγός ομαλοποίησης της ροής {7}



Σχήμα E.7: Διαστολή και Συστολή {7}



Σχήμα E.8: Εσωτερικό ηχοπαγίδας, δύο ηχοστοιχείων 200mm {7}



Σχήμα E.9: Εσωτερικό ηχοπαγίδας, τριών ηχοστοιχείων 100mm {7}



Σχήμα E.10: Ηχοπαγίδα ενσωματωμένη με τους αγωγούς συστολής και διαστολής {7}



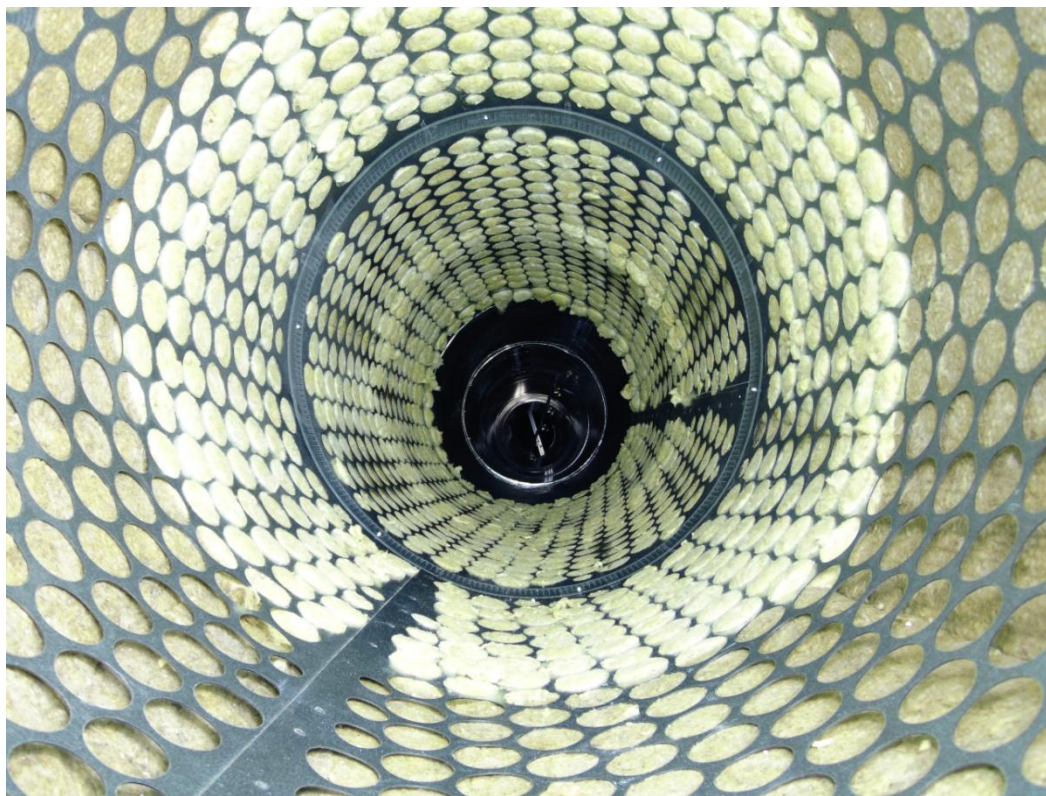
Σχήμα E.11: Κυκλικός αγωγός μετρήσεων χωρίς ροή {7}



Σχήμα E.12: Κυκλικός αγωγός μετρήσεων με ροή {7}



Σχήμα E.13: Εξωτερική όψη ανηχοϊκή σήραγγα {7}



Σχήμα E.14: Εσωτερική όψη ανηχοϊκή σήραγγα {7}

Βιβλιογραφία

- [1] ΕΛΟΤ 263.1 Ακουστική Ορολογία “Ταλαντώσεις Δονήσεις, Ήχος, Μηχανικό σοκ”
- [2] F. Alton Everest & Ken C. Pohlmann, Master Handbook of Acoustics, Fifth Edition, Copyright © 2009, 2001 by The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [3] Jearl Walker, Fundamentals of Physics, 9th Edition, Copyright © 2011, Halliday & Resnick
- [4] Allan D. Pierce, Acoustics: an introduction to its physical principles and applications, McGraw-Hill Book Co., 1981
- [5] W. Sato, "Acoustics" Schaum's Outline Series, McGraw Hill Book Co., 1970
- [6] Martin Russ, Sound Synthesis and Sampling, 3rd Edition, Focal Press, 2009
- [7] Michael Möser, Engineering Acoustic: an introduction to Noise Control, 2nd Edition, translated by S. Zimmermann and R. Ellis, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009
- [8] Οι σημαντικότερες πηγές θορύβου, ΥΠΕΧΩΔΕ, 2008γ.
<http://www.minenv.gr/1/12/122/12202/g1220203.html>
- [9] Χατζηλυμπέρης, Κ., 2008. Το πρόβλημα της αστικής Ηχορύπανσης. Στα Πρακτικά: Οι επιπτώσεις της ηχορύπανσης στα αστικά κέντρα - αναγκαία μέτρα και παρεμβάσεις, ΤΕΕ, Αθήνα, Ιανουάριος 2008.
- [10] <http://helina.gr/gr/announcements/21>
- [11] Harold W. Lord, William S. Gately, Harold A. Evensen, Frank J. Cerra, Nancy B. Moore, Annette Hall, Noise control for engineers, McGraw-Hill, 1980
- [12] WHO, 2008c. Noise and Health, <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/data-and-statistics>
- [13] Σ. Δημητρουλοπούλου, Μ. Κάπαρη, Β. Πλεμμένος, Δ. Χατζηλάκου, Α. Καλλία, Μ. Αραβαντινού, Σ. Τασόγλου, Ν. Καραμέρος, Μ. Μπάρλα, Ι. Νικηταρά, Κ. Ράλλης, Χ. Στουραίτη, Λ. Παπαβασιλόπουλος, Α. Δημοπούλου, Λ. Μήτση, ΕΛΛΑΔΑ – Η Κατάσταση του Περιβάλλοντος 2008, Έκδοση ΕΚΠΙΑΑ, Ιούλιος 2009, http://moper.ncsd.gr/files/Ellada_i_katastasi_tou_perivallontos.pdf
- [14] Δεδομένα από την ιστοσελίδα του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας, 1999 Guidelines for Community Noise, <http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf>

- [15] WHO, 2008, <http://www.who.int/docstore/peh/noise/Commnoise4.htm>
- [16] D. D. Reynolds, Engineering Principles of Acoustics: Noise and Vibration Control", Allyn and Bacon, 1972
- [17] S. Graham Kelly, "Fundamentals of Mechanical Vibrations", McGraw-Hill Inc., 1993.
- [18] Ε Τζεκάκης " Ηχοαπορροφητικά Υλικά", Θεσσαλονίκη, 1982
- [19] Δ. Σκαρλάτος, Εφαρμοσμένη Ακουστική, Εκδόσεις ΙΩΝ, 1998.
- [20] W. Frommhold, F.P. Mechel, Simplified methods to calculate the attenuation of silencers, Journal of Sound and Vibration, Volume 141, Issue 1, 22 August 1990, Pages 103-125, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022460X90905163>
- [21] P. Brandstätt, W. Frommhold, M.J. Fisher, Program for the computation of absorptive silencers in straight ducts, Applied Acoustics, Volume 43, Issue 1, 1994, Pages 19-38, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0003682X94900388>
- [22] Hyeon-Don Ju, Shi-Bok Lee, Weui-Bong Jeong, Byung-Hoon Lee, Design of an acoustic enclosure with duct silencers for the heavy duty diesel engine generator set, Applied Acoustics, Volume 65, Issue 4, April 2004, Pages 441-455, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X0300166X>
- [23] Chao-Nan Wang, Chien-Ho Wu, Tzann-Dwo Wu, A network approach for analysis of silencers with/without absorbent material, Applied Acoustics, Volume 70, Issue 1, January 2009, Pages 208-214, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X07001971>
- [24] <http://www.trox.de/en>
- [25] http://www.schako.de/en/00_home/00.html
- [26] <http://alphacooustic.com>
- [27] <http://www.mechansite.gr/webfiles/index.php>
- [28] <http://www.airtechnic.gr/appdata/documents/Hxopagides/ENTYPO%20KYKLIKES%20HXOPAGIDES.pdf>
- [29] <http://www.dynaduct.com/Default.aspx>
- [30] Διεθνές Πρότυπο, ISO 7235 Acoustics - Laboratory measurement procedures for ducted silencers and air-terminal units - Insertion loss, flow noise and total pressure loss, 3η Έκδοση, 2011-07-12.
- [31] Διεθνές Πρότυπο ISO 5136 Acoustics - Determination of sound power radiated into a duct by fans and other air-moving devices - In-ductmethod, Second edition, 2003-04-01.
- [32] Τεχνικό εγχειρίδιο για ανεμιστήρα τύπου BSB 500CM,

- http://www.kaffe.gr/datafiles/file/katalogos_2014_2015/P098.099%20BSB.pdf
- [33] Τεχνικό εγχειρίδιο της Schako για ηχοπαγίδες διαστάσεων 1200 × 1000 × 2000 με 4 ηχοστοιχεία πάχους 200mm.
- [34] Τεχνικό εγχειρίδιο της Metrel για το μικρόφωνο τύπου A1151 (Κλάσης 2). http://gossen-metrawatt.ru/docs/gossen/climofm_soundprobes_manual.pdf
- [35] Τεχνικό εγχειρίδιο της Metrel για συσκευή ανάλυσης σήματος τύπου FonS MI 6301 http://www.metrel.si/fileadmin/BAZA_od_Damijan_Dolinar/Metrel/Navodila_instrumentov/Instruments/MI_6201_MI_6301_MI_6401_Poly_Fons_Multinorm/Ang/MI_6201_MI_6301_MI_6401_HW3_ANG_Ver_1.2_20_751_260.pdf
- [36] Τεχνικό εγχειρίδιο της εταιρείας HK Instruments για καθετήρα FloXact-R400, http://www.hkinstruments.fi/wp-content/uploads/2011/11/Floxact_Datasheet.pdf
- [37] Τεχνικό εγχειρίδιο της εταιρείας HK Instruments για το ροόμετρο DPT-FLOW-2000-AZ-D, http://www.hkinstruments.fi/wp-content/uploads/2011/11/DPT_Flow_Series_Datasheet.pdf
- [38] Τεχνικό εγχειρίδιο της εταιρείας HK Instruments για το μανόμετρο DPT- 2500-R8-AZ-D, http://www.hkinstruments.fi/wp-content/uploads/2012/09/DPT-R8-Series_Datasheet.pdf
- [39] Επίσημη ιστοσελίδα της εταιρείας JBL για το αυτοενισχυόμενο ηχείο EON515XT, http://www.jblpro.com/www/products/portable-market/eon500-powered-series/eon515xt#.U8aX1fl_v4a
- [40] Random noise generator MINIRATOR MR2, <https://www.scmsinc.com/shop-item/studio-products-test-service-equipment/600-000-300-nti-mr2-audio-signal-generator/>
- [41] Τεχνικό εγχειρίδιο της εταιρείας Trox για ορθογωνικής διατομής ηχοπαγίδες τύπου MSA100 και MSA200, http://www.trox.com.tr/xpool/download/en/technical_documents/attenuators/leaflets/6_9_msa_mka.pdf
- [42] Επίσημη ιστοσελίδα υποστήριξης της Microsoft Office, <http://office.microsoft.com/el-gr/excel-help/HP010342158.aspx>

Βιβλιογραφία Σχημάτων

- {1} <http://physics.tutorvista.com/waves/longitudinal-waves.html>
- {2} <http://demo.webassign.net/ebooks/cj6demo/xlinks/c16-sec1-0012.htm>
- {3} Δ. Σκαρλάτος, Εφαρμοσμένη Ακουστική, Εκδόσεις ΙΩΝ, 1998.
- {4} <http://helina.gr/gr/announcements/21>
- {5} <http://www.mpapapetrou.gr/products6.php?wh=1&theid=11>
- {6} Τεχνικό εγχειρίδιο για ανεμιστήρα τύπου BSB 500CM,
http://www.kaffe.gr/datafiles/file/katalogos_2014_2015/P098.099%20BSB.pdf
- {7} Σχεδιάστηκε από εμάς για να εξηγητηθεί τους σκοπούς της διπλωματικής.
- {8} Τεχνικό εγχειρίδιο της AIRTECHNIC για ορθογωνικής διατομής ηχοπαγίδες,
<http://www.airtechnic.gr/appdata/documents/hxopagides/entypo%20hxopagides.pdf>
- {9} Διεθνές Πρότυπο, ISO 7235 Acoustics - Laboratory measurement procedures for ducted silencers and air-terminal units - Insertion loss, flow noise and total pressure loss, 3η Έκδοση, 2011-07-12.
- {10} Διεθνές Πρότυπο ISO 5136 Acoustics - Determination of sound power radiated into a duct by fans and other air-moving devices - In-duct method, Second edition, 2003-04-01.
- {11} Τεχνικό εγχειρίδιο της Metrel για το μικρόφωνο τύπου A1151 (Κλάσης 2). http://gossen-metrawatt.ru/docs/gossen/climofm_soundprobes_manual.pdf
- {12} [http://www.metrel.si/index.php?eID=tx_cms_showpic&file=uploads%2Fpics%2FA_114_5_Extension_cable.jpg&md5=7ea653cc50710f7ecec12529b10041125e84ba67¶meters\[0\]=YTozOntzOjU6IndpZHRoIjtzOjM6IjQwMCI7czo3OiJib2R5VGFnIjtzOjIwOiI8¶meters\[1\]=Qk9EWSBiZ0NvbG9yPWJsYWNRPiI7czo0OiJ3cmFwIjtzOjM3OiI8QSBocmVmPSJq¶meters\[2\]=YXZhc2NyaXB0OmNsb3NIKk7Ij4gfCA8L0E%2BIjt9](http://www.metrel.si/index.php?eID=tx_cms_showpic&file=uploads%2Fpics%2FA_114_5_Extension_cable.jpg&md5=7ea653cc50710f7ecec12529b10041125e84ba67¶meters[0]=YTozOntzOjU6IndpZHRoIjtzOjM6IjQwMCI7czo3OiJib2R5VGFnIjtzOjIwOiI8¶meters[1]=Qk9EWSBiZ0NvbG9yPWJsYWNRPiI7czo0OiJ3cmFwIjtzOjM3OiI8QSBocmVmPSJq¶meters[2]=YXZhc2NyaXB0OmNsb3NIKk7Ij4gfCA8L0E%2BIjt9)
- {13} Τεχνικό εγχειρίδιο της Metrel για συσκευή ανάλυσης σήματος τύπου FonS MI 6301
http://www.metrel.si/fileadmin/BAZA_od_Damijan_Dolinar/Metrel/Navodila_instrumentov/Instruments/MI_6201_MI_6301_MI_6401_Poly_Fons_Multinorm/Ang/MI_6201_MI_6301_MI_6401_HW3_ANG_Ver_1.2_20_751_260.pdf
- {14} [http://www.metrel.si/index.php?eID=tx_cms_showpic&file=uploads%2Fpics%2FMI_6301_FonS_standard_set.jpg&md5=30c1daa59c93a5daf7ddbfa1dd5f735aaed0dd¶meters\[0\]=YTozOntzOjU6IndpZHRoIjtzOjM6IjQwMCI7czo3OiJib2R5VGFnIjtzOjIwOiI8¶meters\[1\]=Qk9EWSBiZ0NvbG9yPWJsYWNRPiI7czo0OiJ3cmFwIjtzOjM3OiI8QSBocmVmPSJq¶meters\[2\]=YXZhc2NyaXB0OmNsb3NIKk7Ij4gfCA8L0E%2BIjt9](http://www.metrel.si/index.php?eID=tx_cms_showpic&file=uploads%2Fpics%2FMI_6301_FonS_standard_set.jpg&md5=30c1daa59c93a5daf7ddbfa1dd5f735aaed0dd¶meters[0]=YTozOntzOjU6IndpZHRoIjtzOjM6IjQwMCI7czo3OiJib2R5VGFnIjtzOjIwOiI8¶meters[1]=Qk9EWSBiZ0NvbG9yPWJsYWNRPiI7czo0OiJ3cmFwIjtzOjM3OiI8QSBocmVmPSJq¶meters[2]=YXZhc2NyaXB0OmNsb3NIKk7Ij4gfCA8L0E%2BIjt9)
- {15} Τεχνικό εγχειρίδιο της εταιρείας HK Instruments για καθετήρα FloXact-R400,
http://www.hkinstruments.fi/wp-content/uploads/2011/11/Floxact_Datasheet.pdf
- {16} Τεχνικό εγχειρίδιο της εταιρείας HK Instruments για το ροόμετρο DPT-FLOW-2000-AZ-D,
http://www.hkinstruments.fi/wp-content/uploads/2011/11/DPT_Flow_Series_Datasheet.pdf

- {17} Τεχνικό εγχειρίδιο της εταιρείας HK Instruments για το μανόμετρο DPT- 2500-R8-AZ-D, http://www.hkinstruments.fi/wp-content/uploads/2012/09/DPT-R8-Series_Datasheet.pdf
- {18} Επίσημη ιστοσελίδα της εταιρείας JBL για το αυτοεπισχυρόμενο ηχείο EON515XT, http://www.jblpro.com/www/products/portable-market/eon500-powered-series/eon515xt#.U8aXlfl_v4a
- {19} Random noise generator MINIRATOR MR2, <https://www.scmsinc.com/shop-item/studio-products-test-service-equipment/600-000-300-nti-mr2-audio-signal-generator/>
- {20} Στοιχεία για παροχή ανεμιστήρα 10000m³/h
- {21} Αποσβέσεις ηχοπαγίδας της Schako διάστασεων 1200 ×1000×2000 με 4ηχοστοιχεία
- {22} Υπολογίστηκε από εμάς και σχεδιάστηκε τον μηχανικό της εταιρείας.

Βιβλιογραφία Πινάκων

- [1] Κεραμιδάς Γ. Κωνσταντίνος, Σημειώσεις Ακουτικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων Κοζάνης, 2003.
- [2] Δ. Σκαρλάτος, Εφαρμοσμένη Ακουστική, Εκδόσεις ΙΩΝ, 1998.
- [3] Δεδομένα από την ιστοσελίδα του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας <http://www.who.int/docstore/peh/noise/Commnoise4.htm>
- [4] ΤΕΕ, 2008α. ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗ, <http://2tee-zograf.att.sch.gr/ergas1/soundpol.htm>
- [5] Δεδομένα από την ιστοσελίδα του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας, 1999 Guidelines for Community Noise, <http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf>
- [6] Τεχνικό εγχειρίδιο της εταιρείας ROCKWOOL, Industrial and sound adsorbing slab Silkrock® 3 SE/SZ
- [7] Κατασκευάστηκε από εμάς, μετά από μαθηματικούς υπολογισμούς.
- [8] Διεθνές Πρότυπο ISO 5136 Acoustics - Determination of sound power radiated into a duct by fans and other air-moving devices - In-duct method, Second edition, 2003-04-01.
- [9] Διεθνές Πρότυπο, ISO 7235 Acoustics - Laboratory measurement procedures for ducted silencers and air-terminal units - Insertion loss, flow noise and total pressure loss, 3^η Έκδοση, 2011-07-12.
- [10] Τεχνικό εγχειρίδιο της εταιρείας HK Instruments για το ροόμετρο DPT-FLOW-2000-AZ-D, http://www.hkinstruments.fi/wp-content/uploads/2011/11/DPT_Flow_Series_Datasheet.pdf
- [11] Τεχνικό εγχειρίδιο της εταιρείας HK Instruments για το μανόμετρο DPT- 2500-R8-AZ-D, http://www.hkinstruments.fi/wp-content/uploads/2012/09/DPT-R8-Series_Datasheet.pdf
- [12] Τεχνικό εγχειρίδιο της εταιρείας JBL για το αυτοενισχυόμενο ηχείο EON515XT, http://www.jblpro.com/ProductAttachments/EON515XT_SS_0811.web.pdf
- [13] Τεχνικό εγχειρίδιο της εταιρείας NTi AUDIO για το Random noise generator MINIRATOR MR2, <http://www.nti-audio.com/Portals/0/data/en/Minirator-MR-PRO-MR2-Manual.pdf>
- [14] Κατασκευάστηκε από εμάς, έπειτα από τις μετρήσεις που λάβαμε από τα πειράματα, σε συνδιασμό με μαθηματικούς υπολογισμούς
- [15] Τεχνικό εγχειρίδιο της εταιρείας Trox για ορθογωνικής διατομής ηχοπαγίδες τύπου MSA100 και MSA200, http://www.trox.com.tr/xpool/download/en/technical_documents/attenuators/leaflets/6_9_msa_mka.pdf