

**Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ**



**Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας**  
**και Ακουστικής**

## **Πτυχιακή Εργασία**

**Επιμέλεια: Μυτιληνάκης Δημήτρης**

**Επιβλέπων καθηγητής : Σηφάκης Μηνάς**

**Θέμα : Μελέτη διάδοσης θορύβου σε εξωτερικό περιβάλλον  
με εφαρμογή σε κατασκευαστικά έργα**

**A. M. : 265**

**Ημερομηνία:17/12/2010**

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΣΥΝΟΨΗ</b> .....	7
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ</b>	
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	9
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ</b>	
<b>2.1 Γενικές γνώσεις</b> .....	11
<b>2.2 Θεωρητική εισαγωγή</b> .....	12
<b>2.2.1 Ένταση Ηχητικής Ισχύος (<math>L_w</math>)</b> .....	13
<b>2.2.2 Ηχητική Ένταση(<math>L_I</math>)</b> .....	14
<b>2.2.3 Στάθμη Ηχητικής Πίεσης (<math>L_p</math>)</b> .....	14
<b>2.2.4 Φίλτρα</b> .....	15
<b>2.2.5 Πηγές</b> .....	16
<b>2.2.5.1 Ακίνητες πηγές</b> .....	16
<b>2.2.5.2 Κινούμενες πηγές</b> .....	18
<b>2.2.6 Στοιχεία στη τροχιά της διάδοσης του ήχου</b> .....	19
<b>2.2.6.1 Ηχητική διάδοση σε ομοιογενές ελεύθερο χώρο πάνω από το έδαφος</b> .....	19
<b>2.2.6.2 Διάθλαση ήχου σε ανομοιογενή ατμόσφαιρα</b> .....	20
<b>2.2.7 Φράγματα ήχου/Ηχοπετάσματα</b> .....	21
<b>2.2.7.1 Βασική θεωρία (Απώλεια εισαγωγής Ηχοπετάσματος)</b> .....	21
<b>2.2.7.2 Απώλεια μετάδοσης στα φράγματα του ήχου</b> .....	25
<b>2.2.7.3 Χρήση ηχοπετασμάτων σε εξωτερικό περιβάλλον</b> .....	26
<b>2.2.7.4 Πεπερασμένο ηχοπέτασμα</b> .....	26
<b>2.2.7.5 Μη παράλληλο φράγμα προς την πηγή</b> .....	27
<b>2.2.7.6 Φράγματα μεγάλου πάχους</b> .....	27
<b>2.2.7.7 Περίθλαση στα όρια του Φράγματος</b> .....	28
<b>2.2.7.8 Διπλά ηχοπετάσματα</b> .....	29
<b>2.2.7.9 Λοιπά χαρακτηριστικά</b> .....	30

2.2.7.10 Υλικά.....	30
2.2.7.11 Ατμοσφαιρική απορρόφηση.....	31
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ</b>	
3.1 Θόρυβος από εργοτάξια.....	33
3.2 Πρόβλεψη ατμοσφαιρικού θορύβου.....	36
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ</b>	
4.1 Γενικές παρατηρήσεις για την διάδοση του θορύβου και την ηχοπροστασία.....	40
4.2 Εντοπισμός και αντιμετώπιση του προβλήματος.....	40
4.2.1 Μηχανολογικές μετατροπές.....	41
4.2.2 Εγκλεισμός μηχανημάτων.....	42
4.2.3 Εγκλεισμός χειριστών.....	42
4.3 Μέσα καταστολής του προβλήματος (ωτοασπίδες).....	43
4.4 Διάδοση θορύβων σε ανοικτό χώρο.....	44
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ</b>	
ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΟ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	46
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ</b>	
6.1 Συνθήκες μετρήσεων.....	48
6.2 Ανάλυση μετρήσεων.....	49
6.3 Μετρήσεις.....	50
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ</b>	
7.1 Περιγραφή μοντέλου.....	53
7.2 Ανάλυση υπολογιστικού μοντέλου.....	54
7.3 Εφαρμογή του υπολογιστικού μοντέλου στις συνθήκες του εργοταξίου όπου πραγματοποιηθήκαν οι μετρήσεις και σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις μετρήσεις.....	61
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ</b>	
Συμπεράσματα Πτυχιακής Εργασίας-Προτάσεις μελλοντικής έρευνας.....	71

<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι</b> .....	73
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ</b> .....	93
<b>Παράρτημα ΙΙΙ</b> .....	97
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	98

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ , ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ

Σχήμα 1 Καμπύλες Στάθμισης Φίλτρων Α,Β,С.....	15
Σχήμα 2 Καμπύλη ηχητικών ακτινών και περιοχή σκίασης.....	21
Σχήμα 3 Πέτασμα μεταξύ δέκτη και πηγής.....	22
Σχήμα 4 Περίθλαση ήχου από ηχοπέτασμα.....	23
Σχήμα 5 Χρησιμοποιούμενη γεωμετρία στη θεωρία της περίθλασης.....	23
Σχήμα 6 Πεπερασμένο ηχοπέτασμα παράλληλα σε δρόμο.....	27
Σχήμα 7 Χρησιμοποιούμενη γεωμετρία για μη παράλληλο φράγμα/ ηχοπέτασμα προς τη πηγή.....	27
Σχήμα 8 Χρησιμοποιούμενη γεωμετρία για την εκτίμηση της εξασθένισης ενός φράγματος.....	28
Σχήμα 9 Περίθλαση στα όρια του φράγματος.....	29
Σχήμα 10 Γεωμετρία διπλού ηχοπετάσματος.....	29
Σχήμα 11 Συνηθέστερα υλικά για την κατασκευή ηχοπετασμάτων.....	31
Σχήμα 12 Διαδικασία πρόβλεψης θορύβου.....	36
Σχήμα 13 Γεωγραφική αναπαράσταση του χώρου του εργοταξίου και απεικόνιση των ηχητικών κυμάτων.....	52, 66

---

Πίνακας 1 Σχέση ηχητικής πίεσης και πηγών.....	13
Πίνακας 2 Σύγκριση φίλτρων σε σχέση με τη συχνότητα.....	16
Πίνακας 3 Κατασκευαστικά μηχανήματα και ηχητικές εντάσεις.....	35
Πίνακας 4 Μετρήσεις σε μικρή απόσταση ( 1-1.5m).....	50
Πίνακας 5 Μετρήσεις σε μεγαλύτερη απόσταση ( 3-4m).....	51

<b>Πίνακας 6</b> Γενικές μετρήσεις.....	52
<b>Πίνακας 7</b> Υπολογισμός συνολικής στάθμης ηχητικής πίεσης στη πλαϊνή είσοδο.....	61
<b>Πίνακας 8</b> Υπολογισμός συνολικής στάθμης ηχητικής πίεσης στην μπροστινή είσοδο.....	62
<b>Πίνακας 9</b> Υπολογισμός συνολικής στάθμης ηχητικής πίεσης στα πλάγια του εργοταξίου.....	63
<b>Πίνακας 10</b> Υπολογισμός συνολικής στάθμης ηχητικής πίεσης μπροστά στη κατοικημένη περιοχή.....	63
<b>Πίνακας 11</b> Σύγκριση μετρήσεων εργοταξίου σε σχέση με τους υπολογισμούς του μοντέλου.....	64
<b>Πίνακας 12</b> Διαφορές στάθμης μετά το ηχοπέτασμα.....	68
<b>Πίνακας 13</b> Τιμές ηχοπετασμάτων.....	68
<b>Πίνακας 14</b> Ηχομείωση Υλικών Ηχοπετασμάτων.....	69
<b>Πίνακας 15</b> Σχέση της ηχομείωσης του υλικού με την απαιτούμενη ηχομείωση.....	70
<b>Πίνακας 16</b> Συνθήκες λειτουργίας κατασκευαστικών μηχανημάτων.....	78
<b>Πίνακας 17</b> Συμβολισμοί.....	97
<hr/>	
<b>Εικόνα 1</b> Ηχοπετάσματα.....	31
<b>Εικόνα 2</b> Υπολογισμός του $L_{pA}$ και $L_{wA}$ σύμφωνα με τα γεωμετρικά δεδομένα.....	55
<b>Εικόνα 3</b> Γραφήματα σχέσης $L_{wA}$ και $L_{pA}$ .....	55
<b>Εικόνα 4</b> Υπολογισμός του $L_{pA}$ σε σχέση με την απορρόφηση του εδάφους.....	57
<b>Εικόνα 5</b> Γράφημα Σχέσης Αρχικού και Τελικού $L_{pA}$ μετά την απορρόφηση.....	57
<b>Εικόνα 6</b> Υπολογισμός της ηχομείωσης ηχοπετασμάτων ( Α΄ Μέρος).....	59
<b>Εικόνα 7</b> Υπολογισμός της ηχομείωσης ηχοπετασμάτων ( Β΄ Μέρος ).....	60
<b>Εικόνα 8</b> Γράφημα σχέσης $L_{pA}$ και $D_z$ .....	60

<b>Εικόνα 9</b>	<b>Ερπυστριοφόρο όχημα Komatsu 400LC με υδραυλική σφύρα..</b>	<b>93</b>
<b>Εικόνα 10</b>	<b>Εσωτερική και εξωτερική εικόνα υδραυλικής σφύρας Rammer 4200.....</b>	<b>93</b>
<b>Εικόνα 11</b>	<b>Mercedes 3535 σε στάση.....</b>	<b>93</b>
<b>Εικόνα 12</b>	<b>Ερπυστριοφόρο όχημα Liebherr 912 Litronic.....</b>	<b>93</b>
<b>Εικόνα 13</b>	<b>Ερπυστριοφόρο όχημα Hitachi ex300 Landy.....</b>	<b>94</b>
<b>Εικόνα 14</b>	<b>Υδραυλική σφύρα Furukawa F35.....</b>	<b>94</b>
<b>Εικόνα 15</b>	<b>Ερπυστριοφόρο όχημα Liebherr 934 Litronic.....</b>	<b>94</b>
<b>Εικόνα 16</b>	<b>Ερπυστριοφόρο όχημα Hitachi ex400 KHS 4055.....</b>	<b>94</b>
<b>Εικόνα 17</b>	<b>Υδραυλική σφύρα Promove.....</b>	<b>95</b>
<b>Εικόνα 18</b>	<b>Ερπυστριοφόρο όχημα Caterpillar 330BL.....</b>	<b>95</b>
<b>Εικόνα 19</b>	<b>Ερπυστριοφόρο όχημα Hitachi ex450H.....</b>	<b>95</b>
<b>Εικόνα 20</b>	<b>Ηχοπέτασμα από λαμαρίνα.....</b>	<b>95</b>
<b>Εικόνα 21</b>	<b>Ηχοπέτασμα από Μπετόν.....</b>	<b>96</b>
<b>Εικόνα 22</b>	<b>Ηχοπέτασμα από Plexiglass.....</b>	<b>96</b>
<b>Εικόνα 23</b>	<b>Ηχοπέτασμα από λαμαρίνα στην πηγή.....</b>	<b>96</b>
<b>Εικόνα 24</b>	<b>Ηχοπέτασμα από αλουμίνιο.....</b>	<b>96</b>

## ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά στη μελέτη της διάδοσης του ήχου σε εξωτερικό περιβάλλον και συγκεκριμένα στο θόρυβο από κατασκευαστικά έργα (εργοτάξια). Μελετήθηκε η σχετική βιβλιογραφία και διεθνείς κανονισμοί, καθώς επίσης και η Ελληνική Νομοθεσία. Αξιολογώντας και χρησιμοποιώντας τα στοιχεία αυτά κατασκευάστηκε, στο excel, μοντέλο υπολογισμού της διάδοσης θορύβου σε εξωτερικό περιβάλλον. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν ηχομετρήσεις σε εργοτάξιο δομικών έργων της Αττικής. Τα στοιχεία του εργοταξίου εισήχθησαν στο υπολογιστικό μοντέλο και πραγματοποιήθηκε σύγκριση των θεωρητικών υπολογισμών και των μετρήσεων στο εργοτάξιο.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να τονίσω την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση από τον επιβλέποντα καθηγητή μου Μηνά Σηφάκη και να τον ευχαριστήσω για τη συμβολή του και την πραγματικά εποικοδομητική συνεργασία μας . Επιπλέον θέλω να ευχαριστήσω τους ιθύνοντες της σχολής του Τεχνολογικού Ιδρύματος Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής του Ρεθύμνου για την παραχώρηση του ηχόμετρου από το εργαστήριο της Μηχανικής Ήχου, χωρίς το οποίο δεν θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες για τα συμπεράσματα της εργασίας μετρήσεις. Τέλος θέλω να ευχαριστήσω τους υπεύθυνους του εργοταξίου για την καλοπροαίρετη αντιμετώπιση προς το πρόσωπο μου και την παραχώρηση άδειας να προβώ σε μετρήσεις στον χώρο εργασίας τους .



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

## *ΠΕΡΙΛΗΨΗ*

Το Θέμα της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της διάδοσης θορύβου σε εξωτερικό περιβάλλον, καθώς και η αποτίμηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον από την ταυτόχρονη δράση περισσότερων από μιας ηχητικής πηγής σε συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά της και τη γεωμετρία του περιβάλλοντος χώρου.

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι να δημιουργηθεί ένα μοντέλο πρόβλεψης θορύβου (σε excel) το οποίο θα είναι σε θέση να υπολογίσει τη στάθμη του θορύβου σε δεδομένη απόσταση από μια ή παραπάνω εξωτερικές πηγές θορύβου ( για παράδειγμα ένα εργοτάξιο ) ούτως ώστε αν απαιτείται να προβλεφθούν τα κατάλληλα μέτρα ηχοπροστασίας.

Με λίγα λόγια θα κατασκευαστεί μοντέλο πρόβλεψης θορύβου το οποίο ,εισάγοντας κάποια στοιχεία για τις ηχητικές πηγές και τη γεωμετρία του χώρου, θα προβλέπει τη στάθμη θορύβου σε απόσταση από αυτές σύμφωνα με τις απαιτήσεις της σχετικής νομοθεσίας και κανονισμών και θα ελέγχει εάν ο θόρυβος αυτός βρίσκεται μέσα στα επιθυμητά όρια.

Επομένως χρησιμοποιώντας το υπολογιστικό μοντέλο, θα μπορεί να πραγματοποιηθεί έλεγχος κατά πόσο ο θόρυβος που παράγεται είναι μέσα στα επιθυμητά όρια και εφόσον υπερβαίνει αυτά να γίνουν κάποιες προτάσεις για την ηχοπροστασία του περιβάλλοντος χώρου και των εργαζομένων.

Το μοντέλο αυτό τέθηκε σε εφαρμογή στον υπολογισμό όχλησης από εργοτάξιο δομικών έργων στο οποίο πραγματοποιήθηκαν και πραγματικές μετρήσεις θορύβου τόσο εντός του χώρου του εργοταξίου, όσο και στα όρια αυτού. Από την εξέταση των μετρήσεων και τη σύγκρισή του με τους υπολογισμούς του μοντέλου ελέγχθηκε η αξιοπιστία του τελευταίου ενώ από τη σύγκριση με τις απαιτήσεις της νομοθεσίας προέκυψε η ανάγκη για μέτρα ηχοπροστασίας για τα οποία έγιναν συγκεκριμένες προτάσεις.

Για την κατασκευή του υπολογιστικού μοντέλου και κατόπιν εξέτασης της σχετικής με το αντικείμενο βιβλιογραφίας κατόπιν και υπόδειξης του επιβλέποντος

καθηγητή Μηνά Σηφάκη , χρησιμοποιήθηκε ένας συνδυασμός από τους τύπους που παρουσιάζει στο έργο του ‘ Noise Control Engineering’ ο Leo Beranek και αυτών που προτείνονται στο ΦΕΚ 570B/9-9-1986 του Υπουργείου Οικονομίας, Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων .

Συγκεκριμένα, στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται αναφορά στην θεωρία της ακουστικής και της διάδοσης των ηχητικών κυμάτων καθώς και εισαγωγή στη θεωρία των ηχοπετασμάτων και τον τρόπο λειτουργίας τους. Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στον εκπεμπόμενο ήχο από εργοτάξια και στους διάφορους τύπους μηχανημάτων και αναλύεται η μεθοδολογία πρόβλεψης του θορύβου σε αυτά. Επίσης παρουσιάζονται οι απαραίτητες θεωρητικές προσεγγίσεις για την κατανόηση των μηχανισμών εκπομπής και διάδοσης του θορύβου. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνονται κάποιες παρατηρήσεις για την διάδοση του θορύβου σε εξωτερικό περιβάλλον και παράλληλα παρουσιάζονται τα κυριότερα μέσα ηχοπροστασίας που μπορούν να ληφθούν για την μείωση της στάθμης θορύβου. Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται οι σημαντικότεροι ισχύοντες νόμοι και κανονισμοί που καθορίζουν τα πλαίσια εκπομπής θορύβου (τα επιθυμητά όρια), τις ποινικές κυρώσεις , τα μέτρα ηχοπροστασίας και τους τρόπους που προτείνονται από το κράτος για την μέτρηση του ήχου και παρατίθενται ολοκληρωμένοι στο Παράρτημα Ι. Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μετρήσεις που συλλέχθηκαν από το εργοτάξιο δομικών έργων στην Αθήνα καθώς και η ανάλυσή τους. Στο έβδομο παρουσιάζεται το μοντέλο που κατασκευάστηκε ( σε excel 2003) για την πρόγνωση του ήχου καθώς και τα συμπεράσματα που βγήκαν από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου με τις μετρήσεις από το εργοτάξιο. Τέλος στο όγδοο κεφάλαιο αναλύονται οι μετρήσεις του υπολογιστικού μοντέλου ,σε σχέση με τις πραγματικές, και εξάγονται τα τελικά συμπεράσματα.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ευελπιστεί να προσθέσει άλλο ένα μικρό λιθαράκι στην μελέτη του ήχου αλλά κυρίως να αποτελέσει μοχλό για περαιτέρω μελέτη στα συγκεκριμένα ζητήματα που πραγματεύεται .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### 2.1 Γενικές γνώσεις

Ο ήχος είναι αποτέλεσμα μεταβολών πίεσης σε κάποιο μέσο διάδοσης όπως ο αέρας. Το πλάτος ταλάντωσης αυτών των μεταβολών καθορίζει την ένταση του ήχου και η ταχύτητα με την οποία γίνονται αυτές οι μεταβολές καθορίζει την συχνότητα του ήχου. Η ένταση του ήχου μετριέται σε decibel (dB) και η συχνότητα μετριέται σε cycles per second (Hz). Η κλίμακα dB είναι λογαριθμική και δείχνει τη σχέση της ηχητικής ισχύος της συγκεκριμένης ηχητικής πηγής σε σχέση με την χαμηλότερη ηχητική ισχύ που μπορεί να ανιχνεύσει το ανθρώπινο αυτί ( $10 \log W / W_T$ ). Πιο απλά ο ήχος είναι ένα είδος ερεθίσματος που φτάνει στα αυτιά μας υπό την μορφή περιοδικών μεταβολών στην ατμοσφαιρική πίεση, δηλαδή τα ηχητικά κύματα. Τα ηχητικά κύματα παράγονται με την ταλάντωση μιας ηχητικής πηγής. Η πηγή αυτή μπορεί να είναι φυσική (τα κλαδιά των δέντρων) ή τεχνητή όπως οι χορδές των μουσικών οργάνων (έγχορδα).

Η διάδοση του ήχου σε ιδανικές συνθήκες είναι ευθύγραμμη και προς όλες τις κατευθύνσεις. Σε φυσιολογικές συνθήκες επηρεάζεται από τη γεωμετρία του χώρου, την κατάσταση του εδάφους, την θερμοκρασία και την ταχύτητα του αέρα, από αντανakλάσεις σε φράγματα (ηχητικά ή μη), από ατμοσφαιρικές απορροφήσεις και εξασθενίσεις, και από επεμβάσεις της βλάστησης. Δηλαδή όταν τα κύματα του ήχου συναντούν κάποιο από τα παραπάνω εμπόδια τότε αντανakλώνται ή περιθλώνται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παραμόρφωση των ηχητικών κυμάτων.

Ο θόρυβος είναι ένας ανεπιθύμητος-ενοχλητικός ήχος. Οι επιπτώσεις του θορύβου στον άνθρωπο καθορίζονται κυρίως από την διάρκεια και την ένταση, αλλά σχετίζονται και με τη συχνότητα. Θόρυβοι μεγάλης διάρκειας και έντασης είναι γενικά περισσότερο επικίνδυνοι και ενοχλητικοί. Σημασία έχει και ο τρόπος με τον οποίο διαδίδεται ο θόρυβος σε σχέση με το χρόνο. Για παράδειγμα ο περιοδικός θόρυβος φαίνεται να είναι λιγότερο επικίνδυνος στην ακοή, σε σχέση με τον συνεχή θόρυβο, γιατί το αυτί έχει την ικανότητα

να επουλώνεται και να αναζωογονείται στα ενδιάμεσα ήσυχα χρονικά διαστήματα. Αυτό δεν συμβαίνει σε περιπτώσεις ήχων που είναι απότομοι (πυροβολισμοί), όπου ισχύει το αντίθετο. Σποραδικοί όμως και παλμικοί θόρυβοι είναι συνήθως περισσότερο ενοχλητικοί, κυρίως επειδή είναι απρόβλεπτοι και ξαφνιάζουν τον ανθρώπινο οργανισμό.

Σχετικά κριτήρια που καθορίζουν αυτές τις σχέσεις δίνονται στην μορφή των δύο ακουστικών περιγραφών:

1. Του ισοδύναμου συνεχή A σταθμισμένης στάθμης ηχητικής πίεσης ( $L_{eq}$ )
2. Του μέσου μέγιστου A σταθμισμένης στάθμης ηχητικής πίεσης ( $L_{A,max}$ )

Πρέπει να πούμε ότι η ένταση του εξωτερικού θορύβου φθίνει όσο η απόσταση μεγαλώνει μεταξύ της πηγής και του δέκτη. Αυτή η γεωμετρική μείωση είναι ιδιαίτερος σημαντική για την εξασθένιση κοντά στη πηγή. Φράγματα, κτίρια και λόφοι, τα οποία διακόπτουν την απευθείας διάδοση του ήχου από την πηγή στο δέκτη είναι επίσης σημαντικοί παράγοντες για τη μείωση της ηχητικής πίεσης. Γενικά οι λιγότερο σημαντικοί παράγοντες είναι οι επιδράσεις της ατμοσφαιρικής απορρόφησης, της απορρόφησης του εδάφους, δέντρα, δάση, και πεδιάδες. Ο υπολογισμός των επιδράσεων αυτών χρειάζεται δεδομένα τα οποία δεν είναι διαθέσιμα συχνά στη πράξη, όπως για παράδειγμα η χωρική διανομή της σχετικής υγρασίας. Σε ομοιογενή ατμόσφαιρα, η γεωμετρική απόκλιση του ήχου από τις πηγές περιγράφεται από αυστηρές λύσεις των κυματικών εξισώσεων σε σφαιρικές συντεταγμένες.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς αυτούς, όπως προαναφέραμε, ο ήχος ταξιδεύει σε ευθεία πορεία προς όλες τις κατευθύνσεις με την ίδια ταχύτητα, όμως στην πραγματικότητα η τροχιά που ακολουθεί ο ήχος δεν είναι ευθεία επειδή η ταχύτητά του ποικίλει σύμφωνα με την θερμοκρασία και την ένταση του αέρα.

## **2.2 Θεωρητική εισαγωγή**

Η μονάδα μέτρησης της έντασης του ήχου είναι το **decibel (dB)** και υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την ηχητική πίεση (**L<sub>pA</sub>**)

$$L_p(\text{dB})=10*\log (P_1^2/P_0^2)$$

Όπου  $P_1 \rightarrow$  Η ηχητική πίεση του ηχητικού κύματος σε **pascal (Pa)**

$P_0 \rightarrow$  Η πίεση αναφοράς ( $20*10^{-6}$  Pa)

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τη σχέση του **LpA** με συνηθισμένες πηγές :

<i>Ηχητική Πίεση (LpA) level dB(A)</i>	<i>Πηγές</i>
<b>140</b>	<i>Όριο πόνου</i>
<b>120</b>	<i>Υδραυλικές σφύρες, Δωμάτιο λέβητα, Καυστήρες</i>
<b>100</b>	<i>Πετρελαιομηχανές σε απόσταση d=1m</i>
<b>80</b>	<i>Μέσα σε αυτοκίνητο κινούμενο με 80 km/h</i>
<b>70</b>	<i>Θόρυβος δρόμου</i>
<b>60</b>	<i>Θόρυβος βάθους σε τοπίο</i>
<b>50</b>	<i>Συζήτηση</i>
<b>40</b>	<i>Ήσυχο περιβάλλον</i>
<b>30</b>	<i>Ψίθυρος</i>
<b>10</b>	<i>Άδειο Δωμάτιο</i>

Πίνακας 1 . Σχέση ηχητικής πίεσης και πηγών

### 2.2.1 Ένταση Ηχητικής Ισχύος ( $L_w$ )

Ένταση ηχητικής ισχύος είναι το ποσοστό ενέργειας – η ενέργεια του ήχου ανά μονάδα χρόνου (**J/s, W σε SI**)

Η ηχητική ισχύς μπορεί πιο πρακτικά να εφαρμοστεί σαν μια σχέση για το όριο της ακοής ( $-10^{-12}$  W) σε λογαριθμική κλίμακα ονομαζόμενη ένταση ηχητικής ισχύος (**Lw**).

$$L_w=10*\log (N/N_0)$$

όπου  $N \rightarrow$  ηχητική ισχύς (W)

- Η χαμηλότερη ένταση ήχου όπου άνθρωποι με τέλεια ακοή μπορούν να ακούσουν είναι  $10^{-12}\text{W}$  (**0 dB**)
- Η υψηλότερη ένταση ήχου όπου άνθρωποι με τέλεια ακοή μπορούν να ακούσουν είναι γενικά ο ήχος από ένα αεροπλάνο με ηχητική ισχύ  $10^5\text{W}$  (**170 dB**)

## 2.2.2 Ηχητική Ένταση ( $L_I$ )

Ηχητική ένταση είναι η ακουστική της ηχητικής ισχύος ανά μονάδα περιοχής. Οι μονάδες μέτρησης στο **SI** είναι  $\text{W/m}^2$ .

$$L_I = 10 \cdot \log(I/I_{\text{ref}})$$

όπου  $I \rightarrow$  ηχητική ένταση ( $\text{W/m}^2$ )

$I_{\text{ref}} \rightarrow 10^{-12} (\text{W/m}^2)$

## 2.2.3 Στάθμη Ηχητικής Πίεσης ( $L_p$ )

Ένταση ηχητικής πίεσης είναι η δύναμη (**N**) του ήχου πάνω σε μια περιοχή ( $\text{m}^2$ ) σε σχέση πάντα με την κατεύθυνση του ήχου.

Οι μονάδες μέτρησης στο **SI** είναι ( $\text{N/m}^2$ ) ή **Pascals**

$$L_p = 10 \cdot \log(p^2/p_{\text{ref}}^2) = 10 \cdot \log(p/p_{\text{ref}})^2 \rightarrow$$

$$L_p = 20 \cdot \log(p/p_{\text{ref}})$$

Όπου  $p \rightarrow$  ηχητική πίεση (**Pa**)

$p_{\text{ref}} \rightarrow 2 \cdot 10^{-5} (\text{Pa})$

Αν η πίεση διπλασιαστεί η στάθμη ηχητικής πίεσης μεγαλώνει κατά 6 dB.

Η σχέση που ισχύει πάντα μεταξύ στάθμης ηχητικής πίεσης και έντασης ηχητικής ισχύος είναι η :

$$L_w = L_p + 10 \cdot \log(S) \quad \text{dB} \quad \leftrightarrow$$

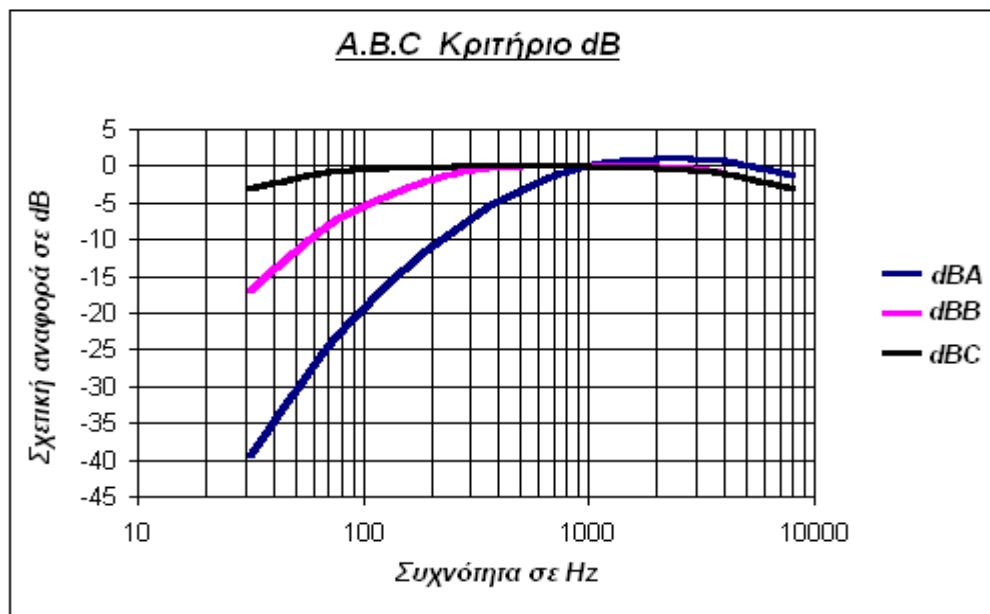
$$L_p = L_w - 10 \cdot \log(S) \quad \text{dB}$$

## 2.2.4 Φίλτρα

Το ανθρώπινο αυτί είναι πιο ευαίσθητο στην συχνοτική περιοχή από **1KHz** μέχρι **4 KHz** παρά στις πιο χαμηλές συχνοτικά περιοχές.

Αυτή η πληροφορία είναι σημαντική για το σχεδιασμό της ακουστικής και ηχητικής. Έτσι χρησιμοποιούμε κάποια φίλτρα, όπου τα πιο κοινά από αυτά είναι τα εξής :

- **dB(A)**
- **dB(B)**
- **dB(C)**



Σχήμα 1 . Καμπύλες Στάθμησης Φίλτρων A,B,C

### A. dB(A)

Το φίλτρο A χρησιμοποιείται κατά κόρον. Το **dB(A)** περίπου ανταποκρίνεται στα **-40 dB** στα **1000 Hz**. Το χρησιμοποιούμε, για να είναι λιγότερο ευαίσθητο το ηχόμετρο σε πολύ υψηλές ή πολύ χαμηλές συχνότητες.

## B. dB(B) και dB(C)

Το φίλτρο C είναι γραμμικό σε πολλές οκτάβες και είναι κατάλληλο για μετρήσεις σε πολύ υψηλές εντάσεις ηχητικής πίεσης.

Το φίλτρο B είναι ενδιάμεσα στα άλλα δυο. Η Σύγκρισή των φίλτρων φαίνεται στον παρακάτω πίνακα σε σχέση πάντα με τη συχνότητα :

Συχνότητα(Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Σχετική αναφορά(dB)									
dB(A)	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,2
dB(B)	-17	-9	-4	-1	0	0	0	-1	-3
dB(C)	-3	-0,8	-0,2	0	0	0	-0,2	-0,8	-3

Πίνακας 2. Σύγκριση φίλτρων σε σχέση με τη συχνότητα .

### 2.2.5 Πηγές

#### 2.2.5.1 Ακίνητες πηγές

Τα υπολογιστικά προγράμματα σπάνε τις διασκορπισμένες πηγές σε μικρά στοιχεία-πηγές. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο πρέπει:

- Η μεγαλύτερη διάσταση ενός στοιχείου-πηγής να είναι μικρότερη από το μισό της απόστασης μεταξύ πηγής και δέκτη.
- Η ηχητική ισχύς πρέπει να είναι ισάξια διανεμημένη στο στοιχείο-πηγή και
- Περίπου η ίδια διάδοση να υπάρχει από όλα τα σημεία προς τον δέκτη.

Η τελευταία απαίτηση αφορά την επίδραση του εδάφους και των εμποδίων στο δρόμο της διάδοσης. Αν είναι σχετικές δυο πηγές-στοιχεία, η επιτρεπτή διαφορά σε ύψος πάνω από το έδαφος πρέπει να είναι μικρότερη από 0,3 μέτρα. Τα σημεία πηγές περιγράφονται από :



- I. Την τοποθεσία τους ( $\chi, \psi, \zeta$ )
- II. Την ένταση ηχητικής ισχύος  $L_w$  σε περιοχές συχνοτήτων
- III. Την κατευθυντικότητα  $D_I$  σε περιοχές συχνοτήτων

Οι περιοχές συχνοτήτων που προτιμώνται είναι περιοχές οκτάβων με κεντρικές συχνότητες από 63 έως 8000 Hz, όπου οι χαμηλότερες συχνότητες μπορεί να είναι σημαντικές και χρειάζονται ειδικό υπολογισμό, και οι υψηλότερες είναι αντικείμενα δυνατών και ποικίλων ατμοσφαιρικών εξασθενίσεων οι οποίες μπορούν να μην ληφθούν υπόψη σε εξωτερική διάδοση.

Όταν είναι διαθέσιμο θα πρέπει να χρησιμοποιείται φάσμα μετρήσεων και κατευθυντικότητας συγκεκριμένων πηγών θορύβων. Για σύγκριση μεγάλων και αργών σε κίνηση πηγών με ουσιαστική δόνηση, το φάσμα πρέπει να αλλάξει στις χαμηλές συχνότητες για μια οκτάβα, ενώ για σύγκριση μικρών και γρήγορων κινούμενων πηγών με μικρή δόνηση το φάσμα θα πρέπει να αλλάξει στις υψηλές συχνότητες για μια οκτάβα.

Η κατευθυντικότητα τείνει προς το κανονικό της, τόσο πολύ που η μέση τιμή του ( $10^{D_I/10}$ ) προς όλες τις κατευθύνσεις είναι ενιαία.

Η βασική σχέση μεταξύ της στάθμης ηχητικής πίεσης  $L_p$  σε απόσταση  $d$  από την πηγή, και της έντασης ηχητικής ισχύος μιας πηγής είναι:

$$L_p(d, \varphi) = L_w + D_I(\varphi) + D_\Omega - A(d, \varphi)$$

Όπου  $A(d, \varphi) \rightarrow$  μεταφορική λειτουργία από την επίδραση των στοιχείων στο δρόμο της διάδοσης

$D_I(\varphi) \rightarrow$  Κατευθυντικότητα

$D_\Omega \rightarrow$  Η σχέση για τη διάδοση του ήχου σε σταθερές γωνίες μικρότερες από  $4\pi$ .

Όταν η ηχητική ισχύς μίας πηγής είναι προκαθορισμένη από εξωτερική μέτρηση της στάθμης της ηχητικής πίεσης  $L_p(d, \varphi)$  σε πολλές κατευθύνσεις  $\varphi$  σε συγκεκριμένη απόσταση  $d$  από την πηγή, είναι σημαντικό να χρησιμοποιείται η ίδια  $A(d, \varphi)$  από την ένταση ηχητικής ισχύος στην ένταση ηχητικής πίεσης. Η περιγραφή της ηχητικής εκπομπής σε όρους της έντασης ηχητικής ισχύος γενικά περιέχει ότι η πηγή εκπέμπει σε ελεύθερο χώρο  $\Omega = 4\pi$ .

Αντί αυτού όταν η πηγή βρίσκεται στο έδαφος με γωνίες  $2\pi$ , δυο υποθέσεις μπορούν να γίνουν όσον αφορά το έδαφος :

A) Σε ασυνάρτητη εικόνα πηγής κάτω από το έδαφος με ίδια ηχητική ισχύ.

B) Σε διόρθωση της έντασης ηχητικής ισχύος  $L_w$  από  $D_\Omega=3dB$  σε Eq.

Γενικά όταν η πηγή βρίσκεται σε ύψος  $H_{source}$  και ο δέκτης σε ύψος  $H_{receiver}$  από το έδαφος, τότε ο τύπος που χρησιμοποιείται είναι ο εξής :

$$D_\Omega = 10 \log [1 + (d^2 + (H_S - H_R)^2) / (d^2 + (H_S + H_R)^2)] \text{ dB}$$

Όταν η πηγή βρίσκεται κοντά σε τοίχο με γωνία σχηματισμένη από δυο τοίχους, η ηχητική πίεση σε κάποια απόσταση περιέχει αντανάκλασεις και από τους δυο τοίχους. Η επίδραση από αυτήν την αντανάκλαση είναι μια διαφορά έντασης περίπου  $D_\Omega = 6dB$  για ένα μονό τοίχο και  $9dB$  για γωνία. Εναλλακτικά και υποχρεωτικά για ηχητικά απορροφητικούς τοίχους οι πηγές πρέπει να είναι υποθετικά χωριστά η μία από την άλλη.

### 2.2.5.2 Κινούμενες πηγές

Σε αντίθεση με τις ακίνητες πηγές οι κινούμενες πηγές :

- Ποικίλουν ως προς την ένταση ηχητικής πίεσης σε σχέση με σταθερό δέκτη.
- Ποικίλουν στο τονικό ύψος σε σχέση με σταθερό δέκτη.
- Έχουν διαφορετική ακτινοβολία εξαιτίας διαφορετικής ακουστικής από τον περιβάλλοντα αέρα.

Για κινούμενες πηγές ,οποιοδήποτε τύπου, η ποικιλότητα στην ένταση ηχητικής πίεσης την ώρα που πλησιάζουν και απομακρύνονται δεν λαμβάνεται υπόψιν, εκτός από ενεργειακές και σε μερικές περιπτώσεις στην μέγιστη τιμή της ηχητικής πίεσης. Ένα ηχόμετρο χρησιμοποιείται για να καθορίσει την συνολική ηχητική ενέργεια και να την καταγράψει σε σχέση με τον χρόνο ενός δευτερόλεπτου (**SEL**)→ **sound exposure level**(ένταση ηχητικής έκθεσης). Από τη στιγμή που η κατεύθυνση του ήχου πλησιάζει το δέκτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς κατευθυντικότητα (λόγω ευθείας) για να μετατραπεί το **SEL** σε **Lw**.

## 2.2.6 Στοιχεία στη τροχιά της διάδοσης του ήχου

Η συνάρτηση μεταφοράς του ήχου από την πηγή προς τον δέκτη καθορίζεται από το άθροισμα όλων των εξασθενίσεων σε μια τροχιά και από την πρόσθεση όλων των τροχιών του απευθείας και ανακλώμενου ήχου.

Μειώσεις /Απορροφήσεις συμβαίνουν από τους εξής λόγους :

- Σφαιρική διάδοση  $A_{div}$
- Επιδράσεις εδάφους  $A_{gr}$
- Διαθλάσεις ηχοπετασμάτων  $A_{bar}$
- Τμηματικές ανακλάσεις  $A_{ref}$
- Ατμοσφαιρικές απορροφήσεις  $A_{atm}$
- Διάφορες άλλες  $A_{misc}$

### 2.2.6.1 Ηχητική διάδοση σε ομοιογενές ελεύθερο χώρο πάνω από το έδαφος

Στη γεωμετρία, υψηλές συχνότητες προσεγγίζουν τις λύσεις της εξισώσεως του **Helmholtz** για ηχητική πίεση

$$\Delta p + (2\pi f/c)^2 \rho = -\delta^2 (r-r_s)$$

Η διάδοση του ήχου με συχνότητα  $f$  από ένα σημείο πηγή σε  $r=r_s$  περιγράφεται από την θεωρία των ακτινών. Σε μικρές αποστάσεις είναι λογικό να θεωρούμε ευθείες ακτίνες. Σε ελεύθερο χώρο, όμως, σφαιρική διάδοση σε κάποια απόσταση  $d$  έχει ως αποτέλεσμα την εξασθένιση :

$$A_{div}=10\log (4\pi d^2/d_0^2) \text{ dB}$$

Όπου  $d_0 \rightarrow 1\mu$

Ένας παρατηρητής πάνω από τμηματικό ανακλώμενο έδαφος δέχεται όχι μόνο την απευθείας ηχητική ακτίνα αλλά και τις ανακλάσεις του εδάφους. Μια απευθείας

ακτίνα επεμβαίνει καταστρεπτικά στην ανάκλαση του εδάφους και προκαλεί χαμηλή ηχητική πίεση κοντά σε αυτό. Παράλληλα όταν η πηγή είναι πολύ πιο κοντά στο έδαφος από ότι ο δέκτης η επίδραση του εδάφους μπορεί να συντελέσει σε κάθετη ακτινοβολία της πηγής.

Επομένως μέσα σε μια μέση απόσταση του δέκτη μικρότερη από 200 μ έχουμε την ισχύουσα εξίσωση :

$$A_{gr,o}=10\log (r/15m) \text{ dB} > 0 \quad \text{με το}$$

$$0 \leq G \equiv 0,75 (1-(h_{av}/12,5m)) \geq 0,66$$

Όπου  $h_{av} \rightarrow$  μέσο ύψος της ηχητικής ακτίνας από τη πηγή στο  $h_S$  (source) στο ύψος του δέκτη  $h_R$ , όπου γενικά ισχύει ότι :

$$H_{av} = 1/2 (h_S+h_R) \quad \text{Για ένα μέσο ύψος 2 μέτρων.}$$

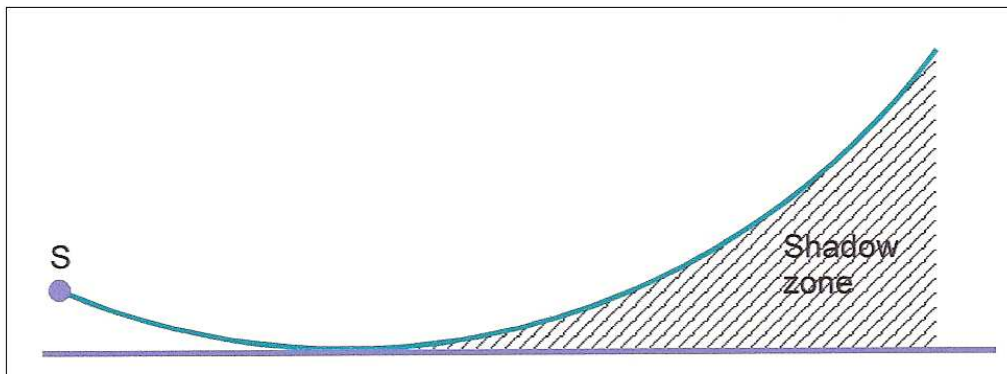
Από μηχανικής απόψεως κάποια μείωση της έντασης ήχου μπορεί να υπάρξει σε έδαφος κυκλωμένο από πελούζα (κομμάτι γης από χαμηλή και αραιά χλόη). Πράγμα που δεν μπορεί όμως να προστατέψει από τη διάδοση του ήχου λόγω πορτών και παραθύρων όσον αφορά γειτονικούς σε βιομηχανικές περιοχές οικισμούς.

### ***2.2.6.2 Διάθλαση ήχου σε ανομοιογενή ατμόσφαιρα***

Η ανομοιογένεια της ατμόσφαιρας είναι πολύ σημαντική για την διάδοση του ήχου σε εξωτερικό περιβάλλον. Η κανονική κατάσταση του αέρα είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο στο οποίο η ένταση του ήχου ποικίλει λόγω της θερμοκρασίας και της ταχύτητας του ανέμου σε σχέση με το ύψος της διάδοσης του ήχου πάνω από το έδαφος.

Υψηλότερες θερμοκρασίες κοντά στο έδαφος έχουν ως αποτέλεσμα υψηλότερη ένταση ήχου. Ένα στοιχείο του ανέμου στην κατεύθυνση της διάδοσης του ήχου δημιουργεί διάθλαση των ηχητικών ακτίνων προς το έδαφος, επειδή η ταχύτητα του ανέμου πάντα μεγαλώνει ταυτόχρονα με το ύψος. Γραμμικά άνεμος και θερμοκρασία έχουν ως αποτέλεσμα ακτίνες να ακολουθούν μια καμπύλη με :

$$R = 1 / a \cos \varphi$$



Σχήμα 2 . Καμπύλη ηχητικών ακτινών και περιοχή σκίασης .

Ένα απλό μοντέλο για την επίδραση του εδάφους στη διάδοση του ήχου βρίσκεται στο ISO 9613-2<sup>6</sup> .

## 2.2.7 Φράγματα ήχου/Ηχοπετάσματα

### 2.2.7.1 Βασική θεωρία (Απώλεια εισαγωγής Ηχοπετάσματος)

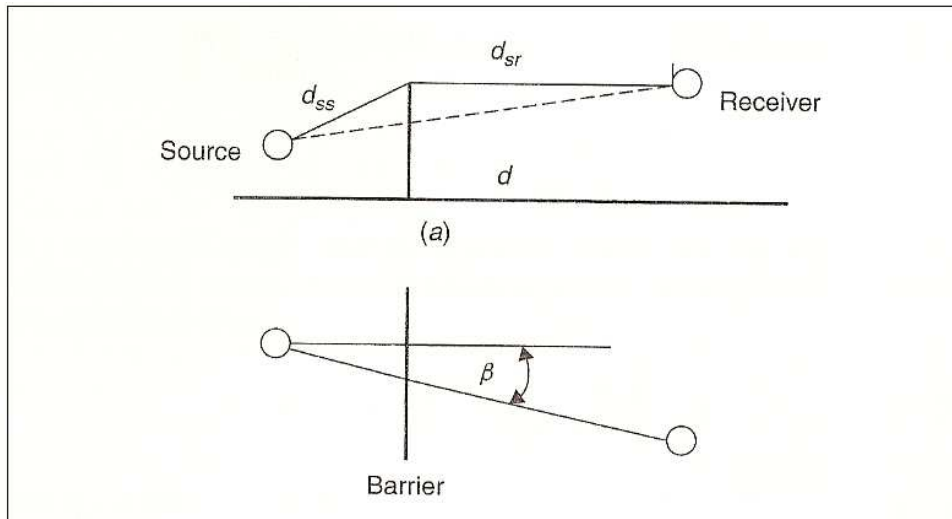
Οποιοδήποτε μεγάλο αντικείμενο προκαλεί μια ζώνη ακουστικής σκιάς στη τροχιά του ήχου, θεωρείται φράγμα. Τέτοια αντικείμενα είναι οι τοίχοι, σκεπές, κτίρια ή το έδαφος από μόνο του. Το μέγεθος της εξασθένισης που λαμβάνει χώρα καθορίζεται από τον αριθμό **Fresnel** :

$$N = 2z / \lambda$$

Όπου  $z \rightarrow$  είναι η αύξηση του μήκους της τροχιάς προκαλούμενο από ένα ή περισσότερα φράγματα

$\lambda = c/f \rightarrow$  είναι το μήκος κύματος του ήχου σε ταχύτητα  $c$  με συχνότητα  $f$

Πρέπει να ξέρουμε ότι το  $z$  μειώνεται όσο αυξάνει η γωνία της ακτίνας του ήχου.



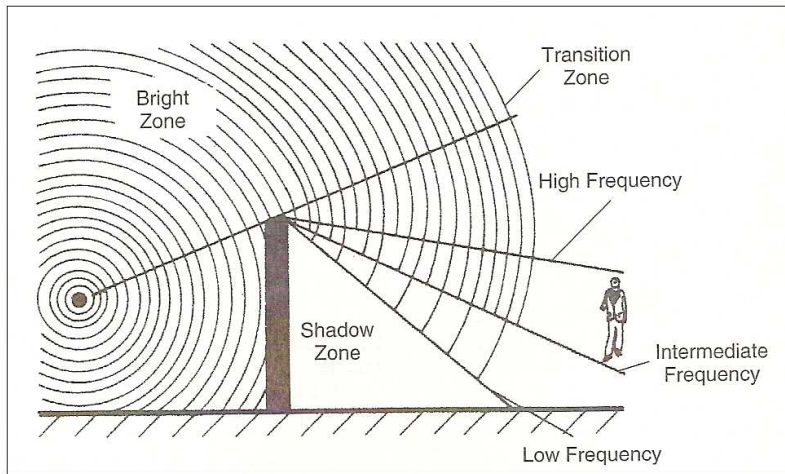
**Σχήμα 3 . Πέτασμα μεταξύ δέκτη και πηγής .**

Το φράγμα είναι μια κατασκευή που ανακλάει τη περισσότερη από την ενέργεια του ήχου προς το μέρος που βρίσκεται η πηγή. Όμως υπάρχουν και απορροφητικά φράγματα που απορροφούν την ηχητική ενέργεια, για αυτό πρέπει το υλικό του φράγματος να είναι τέτοιο ώστε η ηχομείωση να είναι τουλάχιστον 5 dB μεγαλύτερη από την επιθυμητή. Τα ηχοπετάσματα χρησιμοποιούνται κυρίως για να μειώσουν τα υψηλά επίπεδα του εκάστοτε περιβαλλοντικού θορύβου που προξενείται από την κίνηση στους αυτοκινητοδρόμους. Για την σωστή τους χρήση, πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν συγκεκριμένοι παράγοντες όπως :

- Ο σχεδιασμός
- Τα υλικά κατασκευής
- Τα κατασκευαστικά δεδομένα
- Η αισθητική
- Η ανθεκτικότητα
- Τα οικονομικά

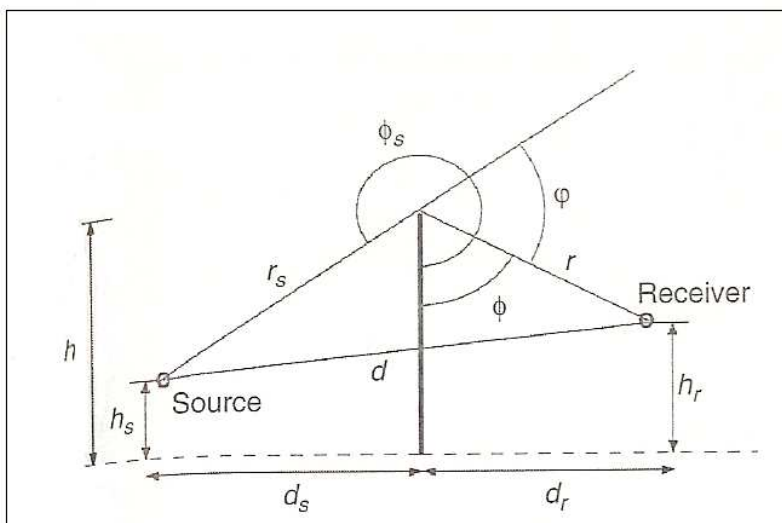
Έχουν κατασκευαστεί πολλά μοντέλα για να προβλέπουν την ακουστική των φραγμάτων. Σχεδιαστικοί πίνακες των **Fehr**, **Maekawa** και **Rathe** συν τις φυσικές και γεωμετρικές θεωρίες, είχαν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μερικών εξισώσεων και αλγορίθμων που προβλέπουν τις μειώσεις των απλών φραγμάτων. Όπως στην περίπτωση των μικρών κυμάτων όπου ο ήχος φτάνει στον δέκτη από μια μη απευθείας τροχιά, έτσι πάνω από ένα φράγμα υπάρχει μια ζώνη σκιάς και μια ζώνη

φωτός. Αυτό γίνεται περισσότερο κατανοητό με τη βοήθεια του παρακάτω σχήματος



**Σχήμα 4 . Περίθλαση ήχου από ηχοπέτασμα .**

Ωστόσο το περιθλώμενο κύμα ερχόμενο από την κορυφή του ηχοπετάσματος επηρεάζει μια μικρή μεταβατική περιοχή κοντά στη ζώνη της σιάς με το να επεμβαίνει με το απευθείας κύμα. Η γεωμετρική κατάσταση που χρησιμοποιείται για την περίθλαση φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



**Σχήμα 5 . Χρησιμοποιούμενη γεωμετρία στη θεωρία της περίθλασης .**

Για ένα άπειρο πολύ λεπτό ημιεπίπεδο χωρίς αντανάκλασεις από το έδαφος, το περιθλώμενο πλάτος της ηχητικής πίεσης είναι :

$$\Psi = (-1/2 * (\sqrt{2\pi\kappa})) * (Q(\varphi, \varphi_s) / \sqrt{r * r_s(r+r_s)}) \exp\{i(\kappa[r+r_s] + \pi/4)\} i$$

- Όπου  $r_s$  → απόσταση πηγής και κορυφής επιπέδου  
 $r$  → απόσταση κορυφής επιπέδου και δέκτη  
 $\kappa$  → κυματάρριθμος του ελεύθερου πεδίου

$$Q(\varphi, \varphi_s) = 1/(\cos 1/2 * (\varphi + \varphi_s)) + 1/(\cos 1/2 (\varphi - \varphi_s)) \quad \text{ii}$$

Το  $Q(\varphi, \varphi_s)$  δείχνει ότι η άκρη του επιπέδου ανακλά τον ήχο σαν κατευθυντική ηχητική πηγή.

Στην εξίσωση i πρέπει να περιέχεται ο όρος  $1\sqrt{2\kappa\pi}$  για την σωστή περιγραφή της κατευθυντικότητας της περιθλώμενης άκρης. Ενώ πάντα ισχύει μια μείωση της τάξεως των **3 dB** για κάθε διπλασιασμό της απόστασης. Για σημεία μακριά από την άκρη η ηχητική πίεση θα φθίνει **6 dB** για κάθε διπλασιασμό της απόστασης. Έτσι για να βρούμε την απώλεια μετάδοσης (**IL**) από την θεωρία του Keller χρειαζόμαστε το ποσοστό μεταξύ της εξίσωσης i και του πλάτους της ηχητικής πίεσης για διάδοση σφαιρικών κυμάτων σε ελεύθερο πεδίο.

Η εξασθένιση σε dB βρίσκεται από τον εξής τύπο :

$$IL_{\kappa} = -10 * \log[(d^2 / 8 * \kappa * \pi * r * r_s * (r + r_s)) * |Q(\varphi, \varphi_s)|^2] \quad \text{iii}$$

Όπου  $d$  → ευθεία γραμμή απόστασης δέκτη και πηγής

Μία από τις γνωστότερες απλοποιήσεις έγιναν το 1940 από τον Redfearn, ο οποίος παρουσίασε την γραφική σχέση εξασθένισης και της παραμέτρου  $h/\lambda$ , όπου το  $h$  δείχνει το αποτελεσματικό ύψος του πετάσματος και το  $\lambda$  είναι το μήκος κύματος.

Άρα :

$$h/\lambda = (r * r_s / \lambda * d) * \sin \varphi \quad \text{iv}$$

Αργότερα το 1971 οι Kurze και Anderson κατασκεύασαν έναν αλγόριθμο για την εξασθένιση (διαφορά έντασης ηχητικής πίεσης στον δέκτη).

Ο αλγόριθμος αυτός είναι ο εξής :

$$IL_{\kappa} = 10 * \log[8 * \pi^2 * (A/\lambda) * \tan(\varphi/2)] - 10 * \log(d/r + r_s) - 20 * \log[1 + (\sin(\varphi/2)) / (\sin(\varphi + \varphi/2))] \quad \text{v}$$

Όπου



$$\varphi = \arccos * (d_s * d_r + h * h_r - h^2 / \sqrt{[d_r^2 + (h - h_r)^2] * [d_s^2 + h^2]}) \quad \text{vi}$$

$$\varphi = \arcsin * (d_r / \sqrt{d_r^2 + (h - h_r)^2}) \quad \text{vii}$$

Από την άλλη μεριά ο Maekawa παρουσίασε ένα πίνακα για την φυσική θεωρία της διάθλασης, ο οποίος έδινε τιμές εξασθένησης ενάντια στον (χωρίς διαστάσεις) αριθμό του Fresnel :

$$N = \pm(2/\lambda) * \delta = \pm 2/\lambda * (r_s + r - d) \quad \text{viii}$$

Όπου  $d \rightarrow$  Η διαφορά του μήκους τροχιάς

$\pm \rightarrow$  σύμβολο για την εύρεση ζώνης

Και ο αριθμός Fresnel με γεωμετρικούς όρους έχει ως εξής :

$$N = \sqrt{d_s^2 + h_s^2} + \sqrt{d_r^2 + (h - h_r)^2} - \sqrt{h_r^2 + (d_s + d_r)^2} ix$$

Όπου για  $N > 1$  η απώλεια μετάδοσης του Maekawa είναι περίπου  $13 + 10 * \log N$  ,  
ενώ όταν  $\varphi \ll 1$  και  $d \rightarrow r + r_s$  μετατρέπεται σε  $5 + 10 * \log 4 * \pi * N$ .

Ωστόσο για να βρεθεί πιο αξιόπιστη λύση για την εξασθένηση οι Kurze και Anderson έφτιαξαν τον αλγόριθμο που δίνεται από :

$$IL_k = 5 + 20 * \log (\sqrt{2 * \pi * N} / \tanh \sqrt{2 * \pi * N}) x$$

Η οποία εξίσωση δίνει πολύ καλά αποτελέσματα για  $N > 0$ .

### 2.2.7.2 Απώλεια μετάδοσης στα φράγματα του ήχου

Τα φράγματα (ηχοπετάσματα) συνήθως δεν περικλείουν εντελώς τον δέκτη ή την πηγή. Οι άκρες τους περιθλούν τα κύματα του ήχου, όμως κάποια από αυτά περνάνε από το πέτασμα.

Είναι λογικό και φανερό ότι όσο πιο βαρύ το υλικό κατασκευής του πετάσματος, ή όσο πιο ψηλή η συχνότητα, τόσο πιο μεγάλη είναι η απώλεια μετάδοσης για τον ήχο που περνάει μέσα από το ηχοπέτασμα. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, επειδή ορισμένα φράγματα είναι απορροφητικά ή μερικώς απορροφητικά, η διάδοση ορισμένων ηχητικών κυμάτων γίνεται μέσα από το υλικό του φράγματος. Για τον

λόγο αυτό το υλικό του θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε η ηχομείωση που επιτυγχάνεται να είναι 5 dB μεγαλύτερη από την επιθυμητή .

### **2.2.7.3 Χρήση ηχοπετασμάτων σε εξωτερικό περιβάλλον**

Αυτή η χρήση των φραγμάτων του ήχου γίνεται για να μειώσει συνήθως τον θόρυβο από αυτοκινητοδρόμους, βιομηχανικές περιοχές και εργοτάξια, και να βελτιώσει την ποιότητα ζωής των ανθρώπων που κατοικούν κοντά σε τέτοιες πηγές θορύβου. Τα ηχοπετάσματα που χρησιμοποιούνται στο εξωτερικό περιβάλλον για τους παραπάνω λόγους είναι συνήθως :

- Τοίχοι
- Φράκτες
- Πυκνή βλάστηση
- Κτίρια
- Συνδυασμοί όλων των παραπάνω

Η κατασκευή τους είναι η κύρια εναλλακτική λύση για την μείωση του θορύβου, αν και έχουν πλέον σχεδιαστεί και άλλοι τρόποι όπως κατασκευή ήσυχων επιφανειών των δρόμων και τούνελ για την μείωση των θορύβων.

### **2.2.7.4 Πεπερασμένο ηχοπέτασμα**

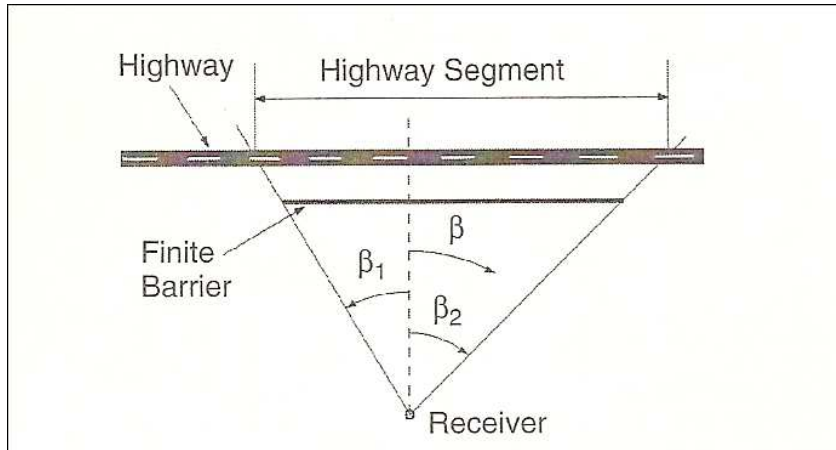
Αν ένα ηχοπέτασμα είναι πεπερασμένο σε μήκος, το φαινόμενο που θα αναγκάσει τον ήχο να ταξιδέψει γύρω από τις άκρες του πετάσματος, θα μειώσει την εξασθένιση. (για παράδειγμα σε μεγάλους αυτοκινητοδρόμους προτείνεται η μικρότερη γωνία, για να αποφευχθεί το παραπάνω φαινόμενο, να είναι 160°.)

Άρα αυτό σημαίνει ότι για να μειωθεί αποτελεσματικά ο θόρυβος που έρχεται γύρω από τις άκρες του πετάσματος, πρέπει το πέτασμα να είναι τουλάχιστον οκτώ φορές πιο μακρύ από την απόσταση μεταξύ του δέκτη και του ηχοπετάσματος.

Για μια τέτοια περίπτωση η κατά προσέγγιση εξασθένιση είναι :

$$A=10*\log (1/(\beta_2-\beta_1) \beta_1)^{\beta_2} 10^{1(\beta)/10} \text{ dB}$$

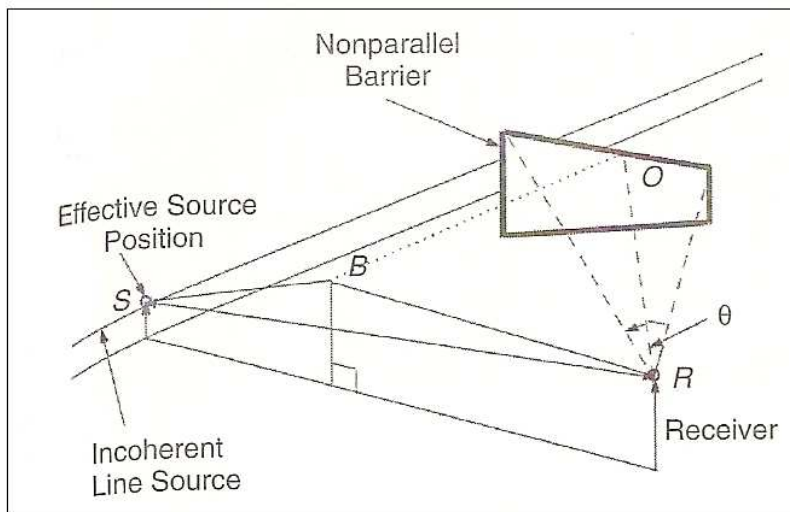
Όπου  $\beta \rightarrow$  η γωνιακή θέση πηγής από μια ευθεία που έρχεται από δέκτη.



Σχήμα 6. Πεπερασμένο ηχοπέτασμα παράλληλα σε δρόμο .

### 2.2.7.5 Μη παράλληλο φράγμα προς την πηγή

Για την εκτίμηση της εξασθένησης πρέπει να γνωρίζουμε τη διαφορά του μήκους τροχιάς ( $\delta$ ) που δίνει τη σωστή ηχητική θέση.



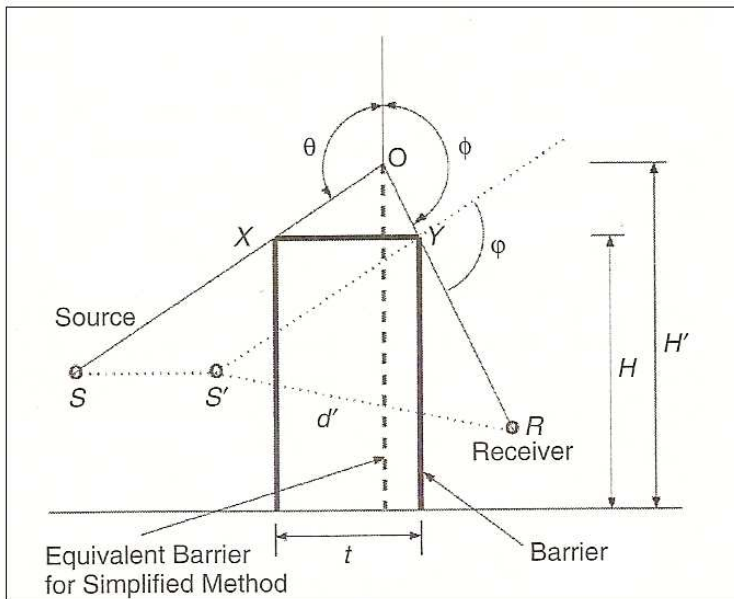
Σχήμα 7. Χρησιμοποιούμενη γεωμετρία για μη παράλληλο φράγμα/ ηχοπέτασμα προς τη πηγή .

Και αυτό ( $\delta$ ) υπολογίζεται ως η προσκείμενη συν τη κάθετη μείον την υποτείνουσα στο προκείμενο σχήμα ( $\delta = SB+BR-SR$ ) και ύστερα υπολογίζεται η εξασθένηση με βάση το ( $\delta$ ).

### 2.2.7.6 Φράγματα μεγάλου πάχους

Τα ηχοπετάσματα μπορεί να είναι και παχιά. Παχύ φράγμα μπορεί να θεωρηθεί ένα κτίριο που διακόπτει την ορατότητα μεταξύ της πηγής και του δέκτη.

Η διπλή διάθλαση στις δυο άκρες του πετάσματος αυξάνει την εξασθένηση της έντασης της ηχητικής πίεσης.



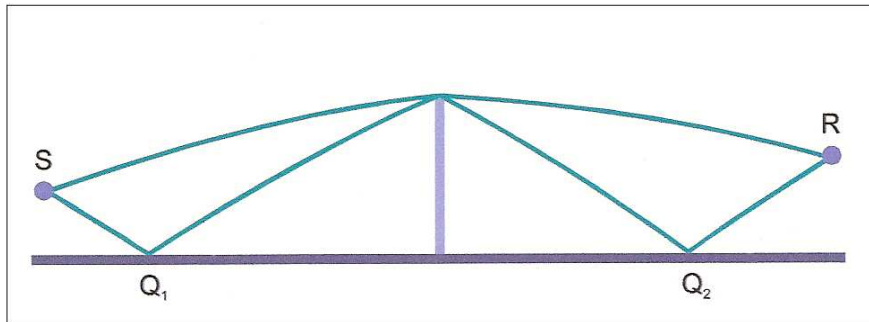
**Σχήμα 8. Χρησιμοποιούμενη γεωμετρία για την εκτίμηση της εξασθένησης ενός φράγματος .**

### 2.2.7.7 Περίθλαση στα όρια του φράγματος

Όταν ένα ηχητικό κύμα προσπίπτει σε ένα εμπόδιο(φράγμα) τότε τα άκρα του εμποδίου λειτουργούν ως δευτερογενείς πηγές, με αποτέλεσμα το τα ηχητικά κύματα να παρεκκλίνουν από την πορεία τους και να μεταδίδονται πίσω από τα εμπόδια. Το κατά πόσο περιθλώνται εξαρτάται από το μήκος του εκάστοτε κύματος και την γεωμετρία του εμποδίου. Στις περιπτώσεις που υπάρχουν ανακλάσεις του θορύβου από το έδαφος πρέπει να γνωρίζουμε ότι δημιουργούνται νέες τροχιές διάδοσης με αποτέλεσμα την αύξηση της ηχητικής πίεσης στον δέκτη. Όπως φαίνεται στο σχήμα 9, θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν και οι τέσσερεις τρόποι διάθλασης. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να συνδεθούν λογαριθμικά ώστε να προκύψει η σχέση τους με το ηχοπέτασμα. Συνήθως το έδαφος είναι απορροφητικό , για αυτό τον λόγο το πλάτος της κάθε ανακλώμενης τροχιάς πρέπει να μειωθεί, και αυτό επιτυγχάνεται με το πολλαπλασιασμό του με τη ανακλώμενη πίεση από το έδαφος.

Εν τέλει για να αποφύγουμε πολλαπλές ανακλάσεις θα χρειαστεί να :

- A. Να μεγαλώσουμε το ύψος του ηχοπετάσματος.
- B. Να χρησιμοποιούμε ηχοπετάσματα με απορροφητικές επιφάνειες.
- C. Να γυρνάμε την εξωτερική πλευρά των ηχοφραγμάτων σε μια γωνία της τάξεως των 5° με 15°



Σχήμα 9 . Περίθλαση στα όρια του φράγματος.

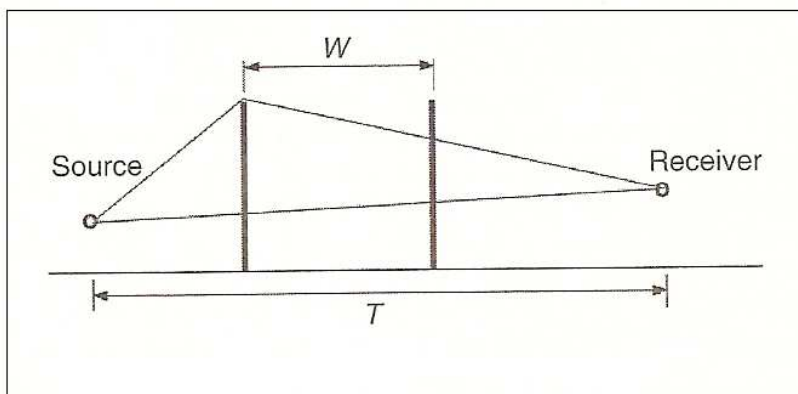
### 2.2.7.8 Διπλά ηχοπετάσματα

Σε κάποιες περιπτώσεις τοποθετείται και ένα δεύτερο φράγμα παράλληλα και πίσω από το πρώτο για να προσφέρει περισσότερη μείωση της ηχητικής πίεσης.

Η μέθοδος υπολογισμού σε αυτήν την περίπτωση είναι :

$$A = F+J - \{6*\exp(-2w/T) + 1,3*[\exp((-35w/T)-1)]\} * [1-\exp(-J/2)]$$

Όπου και η **F** και η **J** υπολογίζονται σύμφωνα με τη παραπάνω εξίσωση.



Σχήμα 10 . Γεωμετρία διπλού ηχοπετάσματος .

Πρώτα υπολογίζεται η εξασθένηση για το 1<sup>ο</sup> και ύστερα για το 2<sup>ο</sup> ηχοπέτασμα, σε κάθε περίπτωση, αγνοώντας το άλλο. Έτσι η εξασθένηση του **F** είναι η μεγαλύτερη από τις δυο εξασθενίσεις.

### **2.2.7.9 Λοιπά χαρακτηριστικά**

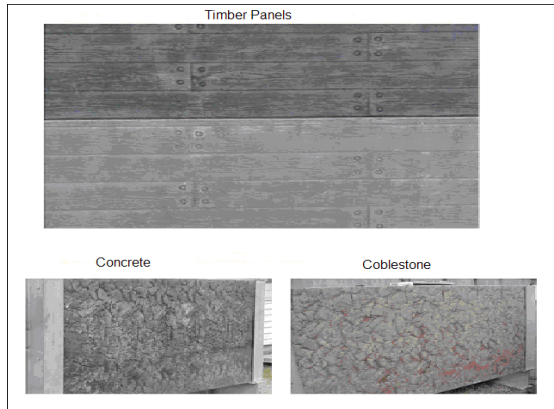
Σε πολλές εφαρμογές είναι απαραίτητο να μεγαλώσει η εξασθένηση ενός φράγματος χωρίς να μεγαλώσει το ύψος, γιατί είναι πολύ πιθανόν να εμποδίζει την ορατότητα σε κατοικημένες περιοχές ή απλά να είναι αισθητικά παράταιρο. Αυτό μπορεί να γίνει εφικτό με κάποιο στοιχείο που τοποθετείται στην κορυφή του πετάσματος, το οποίο αλλάζει το αρχικό διαθλώμενο ηχητικό πεδίο. Ακόμα θεωρητικά και πειραματικά έχουν χρησιμοποιηθεί ηχοπετάσματα πολλαπλών άκρων, με σωληνοειδή καλύμματα, και συσκευές επέμβασης στην κορυφή τους. Άλλες επιλογές είναι η χρησιμοποίηση απορροφητικών φραγμάτων και απορροφητικών άκρων τους, τα οποία σε αντίθεση με τα απλά ηχοπετάσματα έχουν το πλεονέκτημα να αυξάνουν την ηχητική στάθμη από τη μεριά της πηγής. Επίσης θα πρέπει να προσεχθεί και ο σχεδιασμός της όψεώς τους ώστε να γίνουν όσο γίνεται πιο όμορφα, να αποτελέσουν μέρος της καθημερινότητας και γενικά να γίνουν πιο εύκολα αποδεκτά από την κοινότητα.

### **2.2.7.10 Υλικά**

Τα υλικά που είναι συνήθως κατασκευασμένα τα ηχοπετάσματα είναι τα εξής :

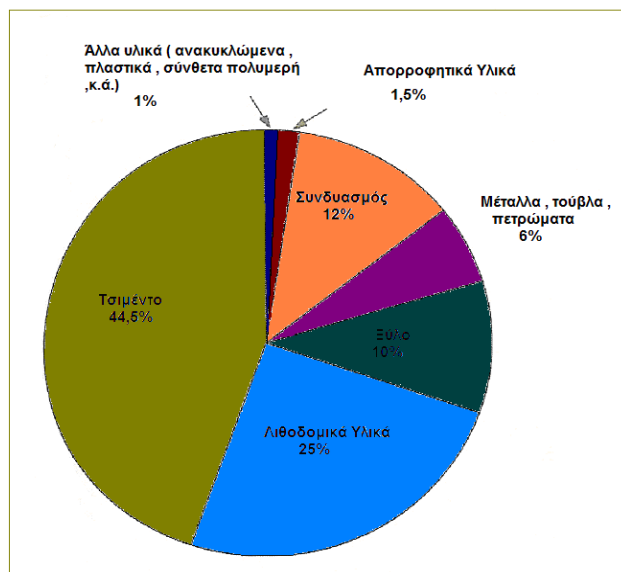
- Τσιμέντο
- Λίθος
- Ξύλο
- Μέταλλο
- Τούβλο
- Απορροφητικά υλικά
- Άλλα (πλαστικό, σύνθετα πολυμερή)

Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε μερικά παραδείγματα ηχοπετασμάτων και περισσότερα στο Παράρτημα II.



**Εικόνα 1. Ηχοπετάσματα .**

Στο παρακάτω σχήμα διακρίνουμε τα ποσοστά χρήσης διάφορων υλικών σε ηχοπετάσματα. Όπως βλέπουμε το πιο διαδεδομένο υλικό για κατασκευή ηχοπετασμάτων είναι το τσιμέντο εξαιτίας του χαμηλού κόστους του. Αντίθετα αυτό που χρησιμοποιείται λιγότερο είναι τα συνθετικά υλικά ( κυρίως πλαστικό ), αφού είναι και το πιο ακριβό υλικό μεταξύ των υπολοίπων .



**Σχήμα 11. Συνηθέστερα υλικά για την κατασκευή ηχοπετασμάτων .**

### 2.2.7.11 Ατμοσφαιρική απορρόφηση

Η εξασθένιση μέσω του παράγοντα της ατμοσφαιρικής απορρόφησης  $A_{atm}$  :

$$A_{atm} = a \cdot d$$

$a$  → συντελεστής ατμοσφαιρικής εξασθένισης

$d$  → απόσταση

βέβαια η συνολική εξασθένιση που έχει μια ηχητική ακτίνα σε τροχιά διάδοσης είναι

$$A = A_{div} + A_{gr} + A_{bar} + A_{atm}$$

$A_{div}$  → εξασθένιση σφαιρικής εξάπλωσης

$A_{gr}$  → εξασθένιση λόγω επίδρασης εδάφους

$A_{bar}$  → εξασθένιση λόγω διάθλασης σε ηχοπέτασμα

$A_{atm}$  → εξασθένιση λόγω ατμοσφαιρικής απορρόφησης

Σίγουρα ρόλο πολύ ιδιαίτερο και σημαντικό για την διάδοση του ήχου παίζει και η μετεωρολογική κατάσταση. Σύμφωνα με το (ISO9613-2) η τιμή  $L_{AT}(LT)$  (**A-weighted sound pressure level in long terms**) μπορεί να καθοριστεί από την τιμή  $L_{AT}(DW)$  (συνεχής ισοδύναμη ένταση ηχητικής πίεσης) με τον διορθωτικό μετεωρολογικό όρο :

$$C_{met} = 0 \quad \text{εάν} \quad d \leq 10 \cdot (h_S + h_R)$$

$$C_{met} = C_0 \cdot (1 - 10 \cdot (h_S + h_R / d)) \quad \text{εάν} \quad d > 10 \cdot (h_S + h_R)$$

Όπου  $C_0$  (σε dB) εξαρτάται από τα στατιστικά της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του αέρα συν την θερμοκρασία :

$$C_0(a, g) = -10 \cdot \log \left( \sum_{i=1}^{I-1} Q_i \cdot ((W_i \cdot \theta_i) / 2) \cdot [1 + g - (1 - g) \cdot \cos(\theta_{rec} - \theta_i)] + 1 - Q \right) \text{ dB}$$

Όπου  $\theta_{rec}$  → γωνία μεταξύ βορρά και της γραμμής πηγή-δέκτη

$g$  → παράμετρος μεταξύ 0,01 και 0,1 για την εξασθένιση

$\theta_i$  → γωνία μεταξύ βορρά και  $i$ th της κατεύθυνσης του αέρα

$W_i$  → πιθανότητα για  $i$ th κατεύθυνση του αέρα

$I$  → αριθμός των κατευθύνσεων του αέρα

$1 - Q$  → πιθανότητα για καθόλου αέρα

Και για τιμές του  $g = 0,1$  και  $g = 0,01$  υπάρχει μέγιστη μείωση 10 και 20 dB αντίστοιχα.

Εν κατακλείδι υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα για την ηχητική εξασθένιση στην τροχιά μιας ηχητικής ακτίνας, διότι υπάρχουν πολλοί παράγοντες όπως η γεωμετρία ενός χώρου, οι επιδράσεις του εδάφους, τα ηχοπετάσματα, οι ανακλάσεις και η ατμοσφαιρική απορρόφηση. Βέβαια η αβεβαιότητα μπορεί να υπολογιστεί, όμως θα υπάρχουν πάντα αποκλίσεις από την πραγματικότητα, και ειδικότερα όταν η απόσταση μεταξύ του δέκτη και της πηγής μεγαλώνει πάρα πολύ.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον εκπεμπόμενο ήχο από εργοτάξια και διαφόρων τύπων μηχανημάτων (πίνακας 3) και παρατίθεται σχεδιάγραμμα (σχήμα 12), όσον αφορά την διαδικασία πρόβλεψης του θορύβου.

### 3.1 Θόρυβος από εργοτάξια

Συνήθως οι κάτοικοι που ζουν κοντά σε ένα εργοτάξιο επηρεάζονται αρκετά από τον θόρυβο στην καθημερινότητα τους. Σχεδόν πάντα αν όχι πάντα έρχονται σε ρήξη με τους υπεύθυνους του έργου για λόγους συντόμευσής του και γενικότερα για τη χρήση καλύτερου εξοπλισμού που αποσκοπεί σε ελαχιστοποίηση του παραγόμενου/εκπεμπόμενου θορύβου. Γενικότερα θα πρέπει να γίνονται κάποιες ενέργειες για την καλύτερη συνεργασία μεταξύ των δυο ενδιαφερόμενων :

- Προετοιμασία για την πρόβλεψη του θορύβου
- Εκτίμηση των τιμών του ατμοσφαιρικού θορύβου
- Συμβιβασμός μεταξύ των εργαζομένων/ιδιοκτητών με τους κατοίκους της περιοχής.

Παρακάτω βλέπουμε κάποιους από τους πιο γνωστούς και συχνούς τύπους εργοταξίων :

- Καταστροφή κτιρίων
- Νέες κατασκευές (κύρια έργα, ολοκληρωτικά έργα, άνοιγμα περιοχών, προσόψεις κτιρίων/βιομηχανιών, εργοστασιακά έργα)
- Δρόμοι / Σιδηρόδρομοι
- Αποχετευτικές κατασκευές (Άνοιγμα , μετροπόντικας)

Ο παρακάτω πίνακας μας παρέχει μια λίστα των πιο κοινών χρησιμοποιούμενων κατασκευαστικών μηχανημάτων, καθώς και την ένταση της ηχητικής ισχύος του σε κανονικά επίπεδα λειτουργίας. Συνήθως η ηχητική ισχύς που

εκπέμπεται από μια κατασκευαστική μηχανή κατά την διάρκεια της λειτουργίας της είναι λιγότερη από ότι είναι δηλωμένη από τον κατασκευαστή της, αλλά πάρα πολλές φορές αυτή ξεπερνάει τα όρια που έχουν δηλωθεί ακόμα και αυτά των διεθνών ή κρατικών στάνταρ.

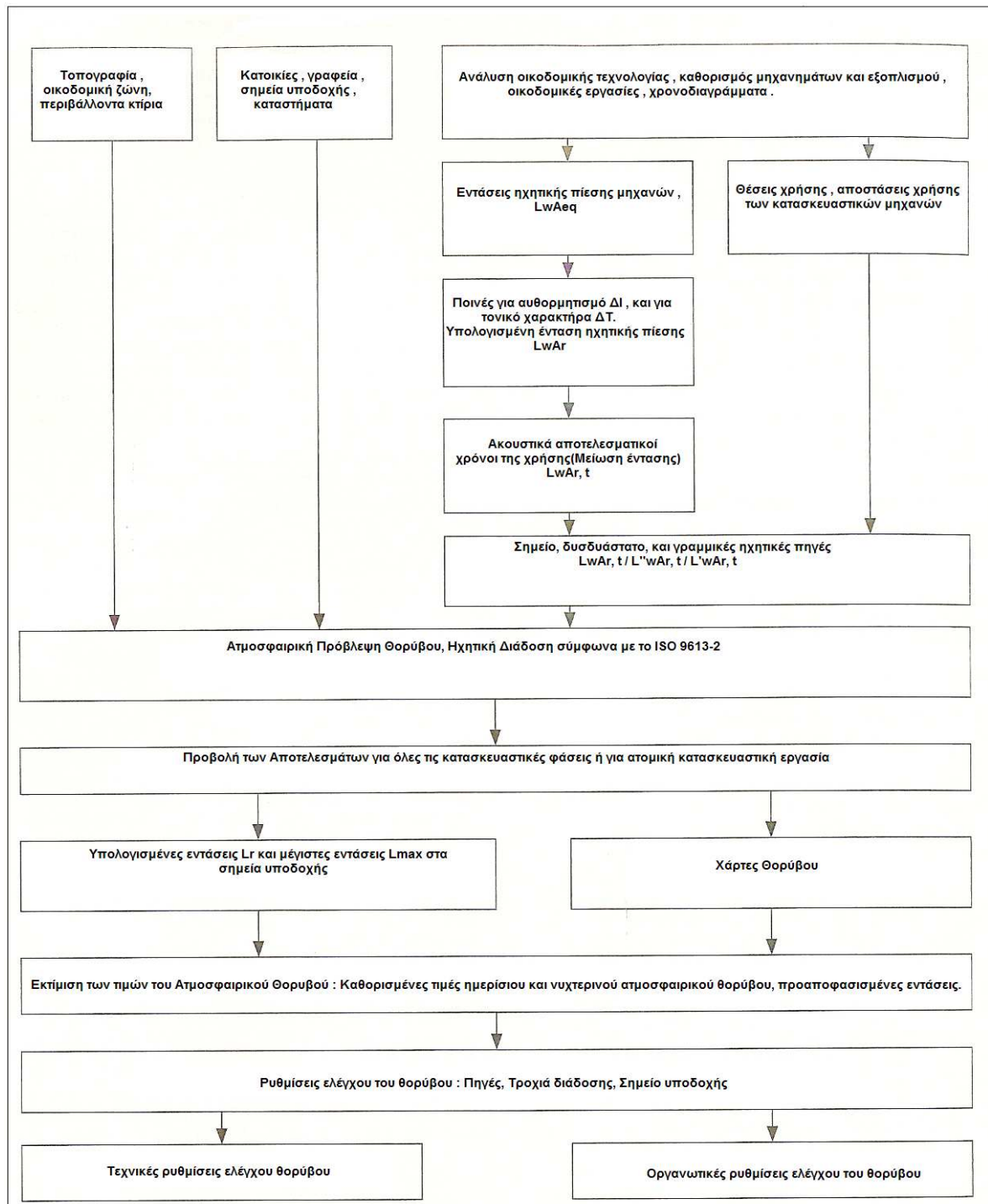
Construction Equipment, Technology	$L_{WAeq}$ (dB)	p (%)
<b>Material Processing Equipment</b>		
Crushers	113–119	80
Power screens	112–116	80
<b>Equipment for Concrete Producing, Transport, and Distribution</b>		
Concrete mixers	96–108	70
Truck mixers	98–101	40
Concrete pumps, truck mounted	104–107	40
Screed mixers/pumps	98–104	40
Electric concrete vibrators	100–108	60
Concrete grinders (combustion engine)	110–115	40
<b>Lifting Equipment</b>		
Tower cranes	95–103	20
Mobile cranes	101–106	20
Crawler cranes	102–108	20
Material lifts	94–103	5
Working platforms	80–85	5
Fork lift trucks (combustion engine)	103–109	20
Reach fork lift trucks (combustion engine)	102–106	20
<b>Equipment for Earthmoving and Soil Compacting</b>		
Rope-operated crawler excavators earth moving/lifting	108–113	70/10
Hydraulic crawler excavators earth moving/lifting	93–110	50/10
Hydraulic excavators (wheeled), earth moving/lifting	93–102	50/10
Excavator loaders (wheeled)	98–105	50
Loaders (crawler tracked)	108–115	60
Loaders (wheeled) earthmoving/auxiliary device	97–110	60/10
Dozer	107–115	60
Dumper	105–114	30
Grader	104–109	40
Vibratory rollers	106–112	50
Vibratory plates	106–109	40
Vibratory rammers	103–107	40
<b>Road Construction Equipment</b>		
Paver	104–112	50
Flat saws	112–116	30
Road headers	101–112	50
Road sweepers	99–108	10
<b>Railway Construction Equipment</b>		
High-performance ballast screener	113–118	60
Tamping machine	112–116	60
Railway crane	108–112	10
Screwing machines	100–103	20
<b>Tunneling Equipment</b>		
Tunnel ventilator units	90–95	100
<b>Pile Drivers, Pile Pullers, Slurry Wall Equipment and Soil Injection Equipment</b>		
Pile drivers	120–128	60
Sheet piling presses	91–98	20
Vibratory pile drivers	100–111	20
Hydraulic hammers	110–126	30
Mixing and grouting equipment	96–99	40

Construction Equipment, Technology	$L_{WAeq}$ (dB)	p (%)
<b>Drilling Equipment</b>		
Drilling rigs (anchorage, injection)	110–115	30
Hydraulic rotary drilling rigs	112–117	40
<b>Road Transportation Vehicles</b>		
Pickup trucks (up to 3.5 tons)	75–80	20
Dump trucks	98–106	20
<b>Air Compressors and Pneumatic Tools</b>		
Compressors (combustion eng., wheeled)	88–102	50
Pneumatic hammers	106–111	30
<b>Equipment for Power Generation and Distribution</b>		
Power generators	87–99	60
Lighting equipment (power generator)	91–95	80
<b>Equipment For Pumping and Distribution of Fluids</b>		
Water pump units (combustion engine)	96–106	50
<b>Workshop Equipment</b>		
Hand-held motor hammers (electrically)	106–109	20
Hand-held motor hammers (combust. eng.)	110–115	20
Hand-held circular saws	102–113	15
Circular saw benches	104–110	20
Chain saws	103–105	10
Brick saws	105–109	15
Cut-off grinders	110–117	15

**Πίνακας 3. Κατασκευαστικά μηχανήματα και ηχητικές εντάσεις .**

## 3.2 Πρόβλεψη ατμοσφαιρικού θορύβου

Το παρακάτω σχήμα δείχνει την γενική διαδικασία της πρόβλεψης του θορύβου σε ένα εργοτάξιο.



Σχήμα 12 . Διαδικασία πρόβλεψης θορύβου .

Όταν στο εργοτάξιο είναι ώρα αιχμής και όλο το έργο είναι σε ταυτόχρονη λειτουργία οι εντάσεις ηχητικών πιέσεων αθροίζονται. Αν η ηχητική ισχύς των μηχανών ξεπερνάει τα όρια που καθορίζονται από το κράτος, τότε επιβάλλονται ποινές από την πολιτεία, ανάλογα την τιμή που ξεπερνάει αυτά τα όρια.

Σε γενικές γραμμές ισχύει ότι :

$$LwA_r = LwA_{eq} + \Delta I + \Delta T \quad \text{i}$$

Όπου  $LwA_r \rightarrow$  Ένταση ηχητικής ισχύος για συνεχή λειτουργία κατασκευαστικών μηχανών.

$LwA_{eq} \rightarrow$  Ισοδύναμη συνεχής ένταση ηχητικής ισχύς μιας κατασκευαστικής μηχανής.

$\Delta I, \Delta T \rightarrow$  Ποινές για αυθορμητικότητα και τονικό χαρακτήρα συνήθως από 0 dB έως 6dB.

Όμως καμία από τις μηχανές την ώρα της εκτίμησής τους δεν αποφέρει διακοπτόμενη ακουστική λειτουργία. Στην ουσία η περιοδική λειτουργία των μηχανών ελαχιστοποιεί την ηχητική ισχύ τους.

Επομένως :

$$LwA_{r,t} = LwA_r + 10 \cdot \log(t/T) \quad \text{dB} \quad \text{ii}$$

$$LwA_{r,t} = LwA_r + 10 \cdot \log(p/100) \quad \text{dB} \quad \text{iii}$$

Όπου  $LwA_{r,t} \rightarrow$  Υπολογιζόμενη ένταση ηχητικής ισχύος σύμφωνα με το πραγματικό χρόνο λειτουργίας.

$t \rightarrow$  Ακουστικά αποτελεσματικός χρόνος λειτουργίας της μηχανής.

Διάρκεια του υπολογισμού μέτρησης.

$T \rightarrow$  Χρόνος μέτρησης

$p \rightarrow$  Ποσοστό χρησιμοποιούμενου υπολογισμού μηχανής

$p \rightarrow (t, T) 100\%$

Επιπλέον , ο προσδιορισμός της θέσης λειτουργίας δεν είναι σημαντικός αν η υποθετική απόσταση λειτουργίας την ώρα της μέτρησης είναι μικρότερη των δυο φορών από την κοντινότερη απόσταση του δέκτη.

Σε σταθερές πηγές – σημεία ισχύει :

$$L'wA_{r,t} = LwA_{r,t} - 10 \cdot \log(S) \text{ dB} \quad \text{iv}$$

$$L'wA_{r,t} = LwA_{r,t} - 10 \cdot \log(l) \text{ dB} \quad \text{v}$$

Όπου  $L'wA_{r,t}$  → Ένταση ηχητικής ισχύος ανά μονάδα περιοχής μιας μηχανής που έχει  $LwA_{r,t}$

$L'wA_{r,t}$  → Ένταση ηχητικής ισχύος ανά μονάδα μήκους μιας μηχανής που έχει  $LwA_{r,t}$

$S$  → Επιφάνεια σε  $m^2$  του έργου

$L$  → Μήκος τροχιάς σε  $m$

Αθροιστικά μπορούν να συνδυαστούν αρκετές κατασκευαστικές μηχανές για να δώσουν μια πηγή δυο διαστάσεων. Το **ISO 9613-2** καθορίζει τους κανόνες επηρεασμού των κατασκευαστικών μηχανών στην υπολογιζόμενη ένταση.

Αυτό συμβαίνει με την χρησιμοποίηση του  $LwA_{r,t}$  και της απόστασης  $d$  μεταξύ της πηγής και του δέκτη. Για αποστάσεις μικρότερες ή ίσες των 100 m, η ένταση της ηχητικής πίεσης είναι :

$$L_{r,i} = LwA_{r,t,i} - 20 \cdot \log(d) - 8 \text{ dB} \quad \text{vi}$$

$$L_r = 10 \cdot \log \left( \sum_i^n 10^{L_{r,i} / 10} \right) \text{ dB} \quad \text{vii}$$

Όπου  $LwA_{r,t,i}$  → Υπολογισμένη ένταση ηχητικής ισχύος της κατασκευαστικής μηχανής no.i

$L_{r,i}$  → Συμβολή υπολογισμένης στάθμης ηχητικής πίεσης της μηχανής no.i στο σημείο του δέκτη

$L_r$  → Συνολική υπολογιζόμενη στάθμη ηχητικής πίεσης στο σημείο του δέκτη

$d$  → Απόσταση μεταξύ κατασκευαστικής μηχανής και του σημείου του δέκτη σε  $m$

$n$  → Πλήθος κατασκευαστικών μηχανών

Βέβαια λαμβάνονται υπόψιν οι αντανακλάσεις και οι απορροφήσεις, γενικότερα όμως ο θόρυβος υπολογίζεται στα εργοτάξια σχεδόν πάντα με μια απόκλιση των  $\pm 3$  dB. Στις μετρήσεις του θορύβου στα εργοτάξια γίνονται συνεχόμενες μετρήσεις, διότι η συνεχόμενη μέτρηση της έντασης της ηχητικής πίεσης έχει ως αποτέλεσμα τον καλό έλεγχο του εργοταξίου και την συμμόρφωση με τους εργατικούς περιορισμούς (ωράριο/διαλείμματα, περιοριστικά μέτρα στη χρήση των μηχανών). Σε μερικές χώρες είναι επιτρεπτό, για μικρής χρονικής διάρκειας εργοτάξια, οι θόρυβοι να υπερβαίνουν τα 5 η 10 dB από τα όρια συνεχούς θορύβου. Τα βασικότερα μέτρα που συνήθως λαμβάνονται για τον περιορισμό της όχλησης από το θόρυβο εργοταξίων είναι:

- Η χρήση μηχανών να περιορίζεται ανάλογα με τον τύπο τους και ανάλογα με τους νομικούς περιορισμούς
- Οι αρχές θα πρέπει να επιβάλουν στους ιδιοκτήτες των έργων το δικαίωμα των κατοίκων για ησυχία εφόσον το εργοτάξιο βρίσκεται σε κατοικημένη περιοχή.
- Να προσεχθεί το ακουστικό άθροισμα με άλλες εξωτερικές πηγές.
- Να γίνουν μειώσεις στα ωράρια ανάλογα τις περιστάσεις.
- Βοήθεια στην βελτίωση της ποιότητας ζωής κατά την διάρκεια της κατασκευής του έργου.
- Να τηρηθούν τα δικαιώματα των εργαζομένων στην υγεία και την ασφάλεια

Επίσης είναι αναγκαίες και άλλες ενέργειες από τους ιδιοκτήτες για :

- ◆ Την μείωση των ηχητικών εκπομπών
- ◆ Την χρήση χαμηλής ηχητικής εκπομπής μηχανών
- ◆ Τον συντονισμό στο ωράριο εργασίας
- ◆ Την συντήρηση των κατασκευαστικών μηχανών
- ◆ Την ελαχιστοποίηση του θορύβου
- ◆ Την χρησιμοποίηση αν και εφόσον χρειάζεται ηχοπετασμάτων γύρω από το εργοτάξιο και κυρίως κοντά στις κατοικημένες περιοχές .

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ**

### **4.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΚΑΙ ΤΗΝ ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ**

Στην ενότητα αυτή θα προσπαθήσουμε να εμβαθύνουμε στο πρόβλημα της ηχορύπανσης , εξετάζοντας τον τρόπο δημιουργίας και διάδοσης των θορύβων και αναλύοντας το τι σημαίνει ο όρος "θόρυβος" και πώς η συχνοτική κατανομή του και η έντασή του επηρεάζουν την υγεία των εργαζόμενων και των περίοικων .

Θα προταθούν τρόποι αντιμετώπισης και μείωσης της ηχορύπανσης είτε επεμβαίνοντας επί του μηχανήματος που παράγει τον θόρυβο, είτε επεμβαίνοντας στην διαδρομή διάδοσης των θορύβων. Τέλος θα αναφερθούμε στην φυσιολογία του αυτιού ως όργανο ακοής και στα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται για την προστασία του από υπερβολική ηχοέκθεση.

Ακόμη και σήμερα η αντιμετώπιση του θορύβου θεωρείται ως πολυτέλεια στη χώρα μας , η οποία αρχίζει να εξετάζεται όταν λυθούν όλα τα άλλα "σοβαρότερα" προβλήματα της βιομηχανικής - βιοτεχνικής μονάδας. Η ηχορύπανση εντός των εργοταξιακών μονάδων απαιτεί πολύ σοβαρή αντιμετώπιση απ' όλα τα εμπλεκόμενα μέρη διότι η απώλεια ακοής είναι ασθένεια για την οποία δεν υπάρχει φάρμακο ή αντίδοτο. Η μόνη προφύλαξη από την μερική ή ολική απώλεια ακοής, είναι η πρόληψη.

### **4.2 ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ**

Για να διαπιστωθεί εάν μια παραγωγική μονάδα έχει ηχοστάθμες εντός του χώρου παραγωγής, μεγαλύτερες από τις επιτρεπτές, πρέπει να διεξαχθούν μετρήσεις με κατάλληλα ηχόμετρα. Η επιλογή ενός ηχομέτρου εξαρτάται άμεσα από την σχετική ένταση, κατευθυντικότητα, συχνοτική κατανομή, περιοδικότητα των παραγόμενων θορύβων καθώς και από άλλους δευτερεύοντες παράγοντες. Ακολουθώντας το γράμμα του νόμου, η μέτρηση με ηχόμετρο τύπου B (TYPE B) ή



καλύτερο (TYPE A), από ειδικευμένο άτομο, καλύπτει τις απαιτήσεις διαπίστωσης του προβλήματος.

Ο σκοπός των ηχομετρήσεων και των λεπτομερειακών αναλύσεων είναι η βελτίωση της κατασκευαστικής λύσης η οποία συνήθως εξασφαλίζει την μέγιστη ηχομείωση με το ελάχιστο κεφάλαιο. Το ζητούμενο είναι η ηχοπροστασία των εργαζομένων και των περίοικων. Όταν λαμβάνονται μέτρα περιορισμού των ηχοδιαφυγών προς το ύπαιθρο, διότι ενοχλείται κάποιος από τους περίοικους, σπανίως ωφελείται ηχητικά ο εργαζόμενος ή ακόμα χειρότερα επιδεινώνονται οι συνθήκες εντός του χώρου παραγωγής. Οι λύσεις που πρέπει να εξετάζονται για την ηχητική καταστολή είναι οι παρακάτω:

- I. Μηχανολογικές μετατροπές των μηχανημάτων που προκαλούν υπερβολικό θόρυβο .
- II. Περιορισμός των μηχανημάτων εντός κατάλληλου ηχομονωτικού ηχοπετάσματος.
- III. Περιορισμό της απευθείας ηχοδιάδοσης προς τους εργαζόμενους.
- IV. Εφαρμογή ωτασπίδων ή ωτοπωμάτων.

#### **4.2.1 ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ**

Όπου είναι δυνατόν πρέπει να εξετάζονται τεχνικές αντικατάστασης ορισμένων εξαρτημάτων των μηχανημάτων με άλλα "αθόρυβης" λειτουργίας.

Τυπικό πρόβλημα σε πολλές παραγωγικές μονάδες είναι η χρήση πεπιεσμένου αέρα για την κίνηση μηχανικών μερών όπου η έξοδος του αέρα γίνεται είτε από μπέκ είτε χωρίς μπέκ απ' ευθείας από την σωλήνα παροχέτευσης του αέρα. Ο θόρυβος που παράγεται κατά την έξοδο του πεπιεσμένου αέρα, παράγει υψηλής έντασης θορύβους οι οποίοι ευρίσκονται κυρίως στο φάσμα των υψηλών συχνοτήτων (όπου το αυτί είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο). Προφανώς η κατάργηση ή η μετασκευή αυτής της παραγωγικής διαδικασίας είναι πολύ δύσκολη αν όχι ακατόρθωτη. Η ηχητική βελτίωση όμως είναι εφικτή με την χρήση κατάλληλων ακροφυσίων ειδικού σχεδιασμού τα οποία παρέχουν μείωση των θορύβων και ταυτόχρονα επιτυγχάνουν μεγάλη οικονομία στην κατανάλωση του πεπιεσμένου αέρα, το οποίο έχει ως πρόσθετο πλεονέκτημα την λειτουργία των αεροσυμπιεστών μικρότερο χρονικό διάστημα άρα πρόσθετη μείωση

της ηχορύπανσης. Επίσης η απόρριψη του αέρα, μετά από την ολοκλήρωση του κύκλου της μηχανής, πρέπει να γίνεται μέσω σιγαστήρων. Η χρήση τυπικών σιγαστήρων εμπορίου βελτιώνει την ηχορύπανση αλλά εάν δεν επαρκεί (διότι ο εργαζόμενος είναι πολύ κοντά στην πηγή θορύβου) είναι δυνατόν να υπάρξει πρόσθετη ηχομείωση με την χρήση σιγαστήρων ειδικού σχεδιασμού.

Οι σύνθετες μηχανολογικές μετασκευές μηχανημάτων πρέπει να είναι αντικείμενο συνεργασίας του ακουστικού μηχανικού, του μηχανολόγου της εταιρείας, του συντηρητή των μηχανημάτων αλλά και του χειριστή της μηχανής.

## **4.2.2 ΕΓΚΛΕΙΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ**

Ο εγκλεισμός των μηχανημάτων που παράγουν θόρυβο μεγάλης έντασης, είναι αρκετές φορές η λύση όταν η μηχανολογική επέμβαση δεν είναι εφικτή ή κρίνεται ως μειωμένης απόδοσης.

Η κατασκευή ενός ηχοκαλύμματος και η επιλογή των υλικών από τα οποία θα κατασκευαστεί εξαρτώνται από την υφή των θορύβων (συνεχόμενοι, κρουστικοί, χαμηλών συχνοτήτων, υψηλών συχνοτήτων) καθώς και από θέματα πυροπροστασίας, μακροζωίας κλπ. Είναι σύνηθες φαινόμενο η τυχαία επιλογή ηχοκαλύμματος (χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψη τα ως άνω) να έχει μέτρια ή απαράδεκτα χαμηλά αποτελέσματα. Ένα ηχοκάλυμμα θα πρέπει να εξασφαλίζει τον σωστό αερισμό και ψύξη της εγκλεισμένης μηχανής. Τα ηχοκαλύμματα εκτός από τον πλήρη εγκλεισμό του μηχανήματος είναι δυνατόν να κατασκευαστούν για μερικό εγκλεισμό (του πλέον θορυβώδους μέρους του μηχανήματος) αφήνοντας το υπόλοιπο μηχάνημα χωρίς άλλη επέμβαση.

## **4.2.3 ΕΓΚΛΕΙΣΜΟΣ ΧΕΙΡΙΣΤΩΝ**

Όπου υπάρχει διάσπαρτος θόρυβος εντός του εργοταξίου αλλά ταυτόχρονα υπάρχουν συγκεκριμένες θέσεις εργασίας, είναι πιθανόν αποδοτικότερο και οικονομικότερο να κατασκευαστούν ηχοκαλύμματα για τους εργαζομένους.

Τα ηχοκαλύμματα εργαζομένων πρέπει να επιτρέπουν την απροβλημάτιστη επίβλεψη του μηχανήματος, να εξασφαλίζουν σωστό αερισμό και φωτισμό για τους χειριστές, να κατασκευάζονται από υπό αλλεργικά υλικά, να μην έχουν εύφλεκτες

εσωτερικές επενδύσεις, να μην συγκρατούν οσμές, να αντέχουν σε κακομεταχείριση, και γενικά να προσφέρουν άνετες εργασιακές συνθήκες. Ειδικά οι υπεύθυνοι παραγωγής οι οποίοι εκτός της σωματικής κόπωσης υποβάλλονται και σε πνευματική κόπωση και οι οποίοι λόγω της φύσεως της εργασίας των, πρέπει να εργάζονται σε κατάλληλα ηχομονωμένα μηχανήματα με μεγάλο δείκτη ηχομονωτικής αξίας.

### **4.3 ΜΕΣΑ ΚΑΤΑΣΤΟΛΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ (ΩΤΟΑΣΠΙΔΕΣ)**

Οι ωτασπίδες και τα ωτοπόματα αποτελούν ένα μέσο ηχοπροστασίας για τους εργαζόμενους, ωστόσο, δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται ως μόνιμο μέτρο ηχοπροστασίας. Η χρήση τους είναι εξαιρετικά δυσβάσταχτη για τους εργαζόμενους και μπορούν να δημιουργήσουν ιατρικά προβλήματα όπως ωτίτιδες, ψύξεις, αλλεργίες, δερματοπάθειες, ημικρανίες κλπ. Η χρήση των ωτασπίδων και ωτοπωμάτων μπορεί να γίνεται όπου όλα τα άλλα μέτρα μείωσης της ηχορύπανσης είναι τεχνικά ανέφικτα και συνιστάται να γίνεται μόνον όταν ο εργαζόμενος πρόκειται να υποβληθεί για μικρό χρονικό διάστημα, σε έντονο θόρυβο.

Επίσης συνιστάται η χρήση τους σε περιπτώσεις όπου ο ίδιος ο εργαζόμενος παράγει υπερβολικό θόρυβο έχοντας την πηγή θορύβου πολύ κοντά του (π.χ. δόνηση με κομπρεσέρ, χρήση υδραυλικής σφύρας). Σ' αυτές τις περιπτώσεις συνιστώνται ειδικές ωτασπίδες μεγάλης ηχομονωτικής αξίας. Η επιλογή των κατάλληλων ωτασπίδων και ωτοπωμάτων πρέπει να γίνεται με καθαρά τεχνικά κριτήρια, ανάλογα με την υφή και ένταση των θορύβων και τις εργασιακές συνθήκες και σε καμία περίπτωση μόνον με οικονομικά κριτήρια.

Όπου υπάρχει η ανάγκη άμεσης επικοινωνίας μεταξύ των εργαζομένων σε περιβάλλον με υψηλό θόρυβο, τότε είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ωτασπίδες με ενσωματωμένο σύστημα επικοινωνίας. Έχει παρατηρηθεί ότι όταν το σύστημα ενδοεπικοινωνίας είναι χαμηλής ποιότητας και απαιτεί ενσύρματη τροφοδοσία ή σήμα από κεντρική κονσόλα, να δημιουργούνται ηλεκτρομαγνητικά παράσιτα είτε στην επικοινωνία είτε στην κονσόλα και μέσω αυτής να δημιουργούνται προβλήματα σε ευαίσθητα κυκλώματα των μηχανημάτων παραγωγής. Ως εκ' τούτου η υψηλή ποιότητα τέτοιων συστημάτων επικοινωνίας είναι επιβεβλημένη

## 4.4 ΔΙΑΔΟΣΗ ΘΟΡΥΒΩΝ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΟ ΧΩΡΟ

Για να διαδοθεί ο θόρυβος πρέπει να ταξιδεύσει μέσα από κάποιο υλικό είτε αυτό είναι στερεό, υγρό είτε αέριο. Κατά την διάδοση του ηχητικού κύματος μέσω του αέρα σε ανοιχτό χώρο, υφίσταται ηχομείωση που οφείλεται κυρίως στους κάτωθι παράγοντες :

**A)** Ηχομείωση λόγω ανακλάσεων εξαιτίας διαφόρων σωμάτων που βρίσκονται στην διαδρομή διάδοσης.

**B)** Ηχομείωση λόγω ύπαρξης ηχοπετάσματος (φράγμα) ενδιάμεσα στην διαδρομή μεταξύ πηγής και δέκτη.

**Γ)** Ηχομείωση λόγω ύπαρξης του αέρα σαν μέσο μεταφοράς και της τριβής που δημιουργείται μεταξύ των μορίων του.

**Δ)** Ηχομείωση λόγω της διαδρομής του ηχητικού κύματος υπεράνω εδάφους το οποίο ανάλογα της επιφανείας του (μπετό ή χωράφι με βλάστηση) απορροφά ελάχιστα έως πολύ την ηχητική ενέργεια.

**Ε)** Ηχομείωση λόγω ύπαρξης χαμηλών ποσοστών σχετικής υγρασίας στην ατμόσφαιρα.

**ΣΤ)** Ηχομείωση λόγω θερμοκρασίας με την δημιουργία ή μη θερμοκρασιακής αναστροφής

**Z)** Ηχομείωση λόγω της σφαιρικής διάδοσης των ηχητικών κυμάτων που έχει σαν αποτέλεσμα τον υποδιπλασιασμό της ηχητικής ενέργειας με κάθε διπλασιασμό της απόστασης μεταξύ σημείου εκπομπής και λήψης. Στον μοναδικό από τους ως άνω λόγους ηχομείωσης που μπορεί ο άνθρωπος να επέμβει με σχετική ευκολία είναι η περίπτωση B δηλαδή τα ηχοπετάσματα. Ηχοπέτασμα είναι οποιοδήποτε είτε τεχνητό είτε φυσικό εμπόδιο στην ευθεία μεταξύ σημείων εκπομπής και σημείου λήψης.

Οι μόνες απαιτήσεις που υπάρχουν για να θεωρηθεί ένα πέτασμα ως ηχοπέτασμα είναι να είναι ομοιογενές και ενιαίο και οι γεωμετρικές του διαστάσεις να είναι ταυτόσημες ή μεγαλύτερες από το μήκος κύματος που καλείται να ηχομονώσει. Είναι προφανές ότι ένα βαρύ πέτασμα χωρίς τρύπες, αρμούς κ.λ.π. και με μεγάλες διαστάσεις μπορεί να λειτουργήσει ως ικανοποιητικό ηχομονωτικό μέσο.

Μειονεκτήματα των Ηχοπετασμάτων είναι ότι η ηχητική ενέργεια που περνάει από πάνω τους περιθλάται (κάμπτεται) προς τα κάτω με αποτέλεσμα στο σημείο λήψης να φθάνουν θόρυβοι που άλλως δεν θα έφθαναν. Το φαινόμενο της περίθλασης

και λόγω των νόμων που την διέπουν δεν επιτρέπουν τον ακριβή υπολογισμό ηχομείωσης που είναι δυνατόν να μας προσφέρει ένα ηχοπέτασμα. Μία πάρα πολύ καλή προσέγγιση της προσφερόμενης ηχομείωσης δίδεται από υπολογιστικούς τύπους που λαμβάνουν υπ' όψη στοιχεία όπως ύψος πετάσματος, απόσταση πετάσματος από το σημείο εκπομπής και από το σημείο λήψης καθώς και από την συχνοτική μορφή του εκπεμπόμενου θορύβου.

Γενικά πρέπει να ληφθεί υπ' όψη ότι ένα πέτασμα όσο πιο βαρύ και μεγάλων διαστάσεων είναι τόσο μεγαλύτερη ηχομείωση προσφέρει. Πριν γίνει οποιαδήποτε ενέργεια ανέγερσης ηχοπετάσματος είναι σκόπιμο να ερωτάται ο ακουστικός μηχανικός σας διότι οι εξαρτώμενοι παράγοντες που μπορούν να μετατρέψουν ένα ηχοπέτασμα από ουσιαστικό παράγοντα ηχητικής άνεσης σε έναν απλώς άχαρο τοίχο, είναι πολλοί.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

Το συγκεκριμένο κεφάλαιο αναφέρεται στα σημαντικότερα νομοθετικά άρθρα που σχετίζονται με τη διάδοση ήχου και εκπομπή θορύβου σε εξωτερικό περιβάλλον. Τα πλήρη άρθρα και παραρτήματα της νομοθεσίας παρατίθενται στο τέλος της εργασίας στο Παράρτημα Ι. Ειδικότερα τα αποσπάσματα που παρατίθενται αναφέρονται στην μέθοδο προσδιορισμού της εκπομπής θορύβου από μηχανήματα στην ύπαιθρο, στην σωστή μέτρηση του και στα μέτρα ηχοπροστασίας που πρέπει να λαμβάνονται για τους εργαζόμενους και τους περίοικους. Επιπλέον παρατίθενται τα άρθρα που αφορούν τις κυρώσεις που επιβάλλει η πολιτεία στους παραβάτες, και την πρόληψη για τη προστασία των εργαζομένων, καθώς και τα επιτρεπτά όρια εκπεμπόμενης ηχητικής στάθμης διάφορων τύπων κατασκευαστικών μηχανημάτων.

Τα συγκεκριμένα άρθρα προτείνουν διάφορους μαθηματικούς τύπους και θεωρητικούς ορισμούς για τον υπολογισμό των ηχητικών εντάσεων του θορύβου. Συγκεκριμένα στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι εξής μέθοδοι :

ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΑΕΡΟΦΕΡΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΠΟΥ ΕΚΠΕΜΠΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΥΠΑΙΘΡΟ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ.

### ➤ ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Κατά το οποίο προσδιορίστηκε ο Τύπος του θορύβου, και οι διαστάσεις της ηχητικής πηγής.

### ➤ ΟΡΙΣΜΟΙ

Εξ αυτών ορίστηκε η επιφάνεια μέτρησης, και ο θόρυβος βάθους.

### ➤ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Ακουστικά κριτήρια για το περιβάλλον που χρησιμοποιήθηκαν για την έκβαση των αποτελεσμάτων, και τα όργανα μέτρησης όπου και από αυτά χρησιμοποιήθηκε ηχόμετρο που πληρεί τους όρους της Δημοσίευσης της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής **CEI 651**, πρώτη έκδοση 1979 για τον τύπο των οργάνων της κατηγορίας 1.

### ➤ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Μετρήθηκε το αντικείμενο της μέτρησης και ελέγχθηκε η λειτουργία της κάθε ηχητικής πηγής κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Ακόμα πραγματοποιήθηκε

δοκιμή της ηχητικής πηγής άνευ φορτίου της οποίας ο κινητήρας λειτουργεί με την ονομαστική του ταχύτητα αλλά χωρίς να λειτουργούν τα εξαρτήματα εργασίας ή μετακινήσεως. Εν τέλει πραγματοποιήθηκαν δοκιμές με φορτίο. Η θέση μετρήσεων έγινε από συγκεκριμένη απόσταση για όλες τις πηγές σαν τιμή αναφοράς. Παρατηρήθηκαν αρκετές ακουστικές ανακλάσεις πάνω σε εμπόδια που υπήρχαν στην θέση μέτρησης και που ήταν ικανές να τροποποιήσουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Γενικότερα και συνοψίζοντας η ισχύουσα νομοθεσία θεωρεί απαραίτητο να γίνονται μετρήσεις του εκπεμπόμενου θορύβου σε εργοτάξια, με τη βοήθεια ηχομέτρων, για να ελέγχεται αν τα επίπεδα θορύβου βρίσκονται μέσα στα αποδεκτά όρια. Οι κυριότεροι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν είναι η επιφάνεια μέτρησης, η απόσταση, το πλήθος των πηγών, οι ξένοι θόρυβοι, ο θόρυβος βάθους στα εργοτάξια (φανταστικές πηγές), η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ταχύτητα του αέρα, η διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου. Οι αναγκαίες ενέργειες, σύμφωνα με την Νομοθεσία του περιβάλλοντος για την προστασία των εργαζομένων είναι η εκτίμηση του θορύβου, η ενημέρωση εργαζομένων σχετικά με τα παραγόμενα επίπεδα του θορύβου και τις επιπτώσεις της έκθεσής τους σε υψηλά επίπεδα ηχητικών πιέσεων. Επίσης η μείωση του θορύβου σε υποφερτά όρια, η χρήση ατομικών ηχοπροστατευτικών μέσων και εν τέλει Ιατρική παρακολούθηση. Επιπλέον σε περίπτωση που η μείωση του θορύβου δεν είναι ικανοποιητική προτείνεται η δημιουργία νέων εγκαταστάσεων και η αντικατάσταση των μηχανημάτων. Σε περιπτώσεις που εντοπίζονται παραβάσεις η πολιτεία επιβάλλει τις αντίστοιχες κυρώσεις.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Το κεφάλαιο αυτό αφορά τα δεδομένα των μετρήσεων που έγιναν για τις ανάγκες της πτυχιακής εργασίας. Οι μετρήσεις θα αναλυθούν όσον αφορά τις συνθήκες και την μέθοδο της ηχομέτρησης. Σχετικό φωτογραφικό υλικό με διάφορους τύπους μηχανημάτων παρατίθεται στο τέλος της εργασίας Παράρτημα II.

### 6.1 Συνθήκες μετρήσεων

Οι μετρήσεις ελάβαν χώρα σε εργοτάξιο δομικών έργων του νομού Αττικής. Χρησιμοποιήθηκε το ηχόμετρο της σχολής Extech Instruments, model 407740 Type 2 το οποίο ήταν βαθμονομημένο (calibrated) στα **94 dB** στα **1000 Hz**. Η απεικόνιση στο παρακάτω σχήμα (Σχ.13) δείχνει το χώρο του εργοταξίου που έλαβαν χώρα οι μετρήσεις. Όπως παρατηρούμε η εκπομπή του θορύβου κοντά σε κάθε πηγή είναι μέγιστη και όσο απομακρύνονται τα ηχητικά κύματα από την πηγή επέρχεται εξασθένιση. Ωστόσο παρά την σταδιακή μείωση του θορύβου όσο αυξάνεται η απόσταση από την πηγή και λόγω της απορρόφησης του εδάφους παρατηρούμε ότι ο θόρυβος δεν μειώνεται επαρκώς, λόγω του μεγέθους του έργου, με αποτέλεσμα στην είσοδο του εργοταξίου να είναι αρκετά υψηλός. Αυτό γίνεται ιδιαίτερα εμφανές όταν γίνεται η μέτρηση στην κατοικημένη περιοχή και συγκριθούν τα αποτελέσματα με τις αποφάσεις της πολιτείας περί των επιτρεπτών ορίων σε κατοικημένες περιοχές.

Σχετικά αναφέρεται ότι :

- Το **LpA** πρέπει να κυμαίνεται κάτω από **67 dBA**. Για κάποιες περιπτώσεις ειδικής ακουστικής προστασίας αυτό το ποσοστό πέφτει **5-10 dBA**. (Υ.Α **17252/20.9.92**, ΦΕΚ **395/β/19.6.92**)
- Αντίθετα οι Ευρωπαϊκοί στόχοι είναι να πέσουν αυτά τα ποσά κάτω από **65 dBA**, με περαιτέρω μείωση που θα κυμαίνεται μεταξύ των **55** και **65 dBA** και τη σταθεροποίησή τους τελικά σε κάτω από **55 dBA**.

Επίσης ένα ακόμα στοιχείο που λαμβάνει κανείς υπόψιν όταν μελετάει τη διάδοση του ήχου σε εξωτερικό περιβάλλον είναι η μορφή του εδάφους. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα πρέπει να αναφερθεί ότι το έδαφος του εργοταξίου ήταν



σκληρό , μη πορώδες και διάσπαρτο από πέτρες. Όσον αφορά το μετεωρολογικό παράγοντα η θερμοκρασία δεν υπερέβαινε τους  $30^{\circ}\text{C}$ .

## 6.2 Ανάλυση μετρήσεων

Σχετικά με τις ηχομετρήσεις, αυτές πραγματοποιήθηκαν για το καθένα από τα κατασκευαστικά μηχανήματα από δυο διαφορετικές αποστάσεις. Οι τιμές των μετρήσεων φαίνονται στους παρακάτω πίνακες. Ακόμα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και σε δυο μπροστινά σημεία στην είσοδο του εργοταξίου, μια μέτρηση στο δεξί πλαϊνό μέρος του και μια ηχομέτρηση μπροστά στη κατοικημένη περιοχή. Οι αποστάσεις που μετρήθηκαν στις τελευταίες μετρήσεις (είσοδος εργοταξίου, πλαϊνό δεξί, και είσοδος του εργοταξίου ) είχαν τις εξής τιμές :

- Μήκος εργοταξίου (σε m)  $\rightarrow$  **60 m**
- Πλάτος εργοταξίου (σε m)  $\rightarrow$  **115m**
- Απόσταση κατοικημένης περιοχής – είσοδος εργοταξίου  $\rightarrow$  **30 m**
- Απόσταση κατοικημένης περιοχής – Τέλος εργοταξίου  $\rightarrow$  **90 m**

Όσον αφορά τις ηχομετρήσεις των πηγών, κάθε πηγή μετρήθηκε χωριστά σε μια μικρή και μια πιο μακρινή απόσταση (1-1,5 m και σε 3-4 m) για να μελετηθεί πιο σωστά η εκπομπή των θορύβων.

Οι μετρήσεις που συλλέχθηκαν από το ηχώμετρο παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα ( πίνακας 5 ) στο μέγιστο που μετρήθηκε κάθε φορά, και στο ελάχιστο και έγινε μια μικρή προσπάθεια την ώρα της ηχομέτρησης της κάθε πηγής να βρίσκεται σε λειτουργία μόνο η συγκεκριμένη ακουστική πηγή. Ωστόσο αυτό δεν κατέστη δυνατό για όλες τις μετρήσεις και έτσι δεν ήταν εφικτό να μετρηθούν οι πραγματικές στάθμες του εκπεμπόμενου θορύβου, με αποτέλεσμα όπως φαίνεται και στους πίνακες παρακάτω, οι εντάσεις του ήχου να είναι ιδιαίτερα υψηλές.

### 6.3 Μετρήσεις

Είδος Μηχανήματος	Τύπος Μηχανήματος	Απόσταση Δέκτη – Πηγής (σε m)	Διάρκεια μέτρησης (σε min)	Στάθμη ηχητικής Πίεσης (LpA σε dB A)		Leq (dBA)
				Max	Min	
Ερπυστριοφόρο με υδραυλική σφύρα Πηγή 1 <sup>η</sup>	Komatsu 400LC/PC / Rammer 4200	1.5	5	100.6	80.3	95.1
Φορτηγό εκφόρτωσης Πηγή 2 <sup>η</sup>	Mercedes 3535	1	5	86.2	76.2	82.5
Ερπυστριοφόρος εκσκαφέας Πηγή 3 <sup>η</sup>	Liebherr Litronic 912	1	5	105.7	83	100.1
Ερπυστριοφόρο με υδραυλική σφύρα Πηγή 4 <sup>η</sup>	Hitachi ex300 Landi / Furukawa F35	1.5	4	115.5	93.9	110
Ερπυστριοφόρος εκσκαφέας Πηγή 5 <sup>η</sup>	Liebherr Litronic 934	1	3	102.2	86.2	97.8
Ερπυστριοφόρο με υδραυλική σφύρα Πηγή 6 <sup>η</sup>	Hitachi ex400 KHS 4055 / Promove xp 4500	1	4	107.8	89.8	101.1
Ερπυστριοφόρο με υδραυλική σφύρα Πηγή 7 <sup>η</sup>	Caterpillar 330BL / Atlas Copco 3000	1	3	110.9	90.6	106.3
Ερπυστριοφόρο με υδραυλική σφύρα Πηγή 8 <sup>η</sup>	Hitachi ex450H / Rammer 4300	1	3	115.1	93.2	104.3
Φορτηγό εκφόρτωσης Πηγή 9 <sup>η</sup>	Volvo610	1	5	98.1	84.1	92.2

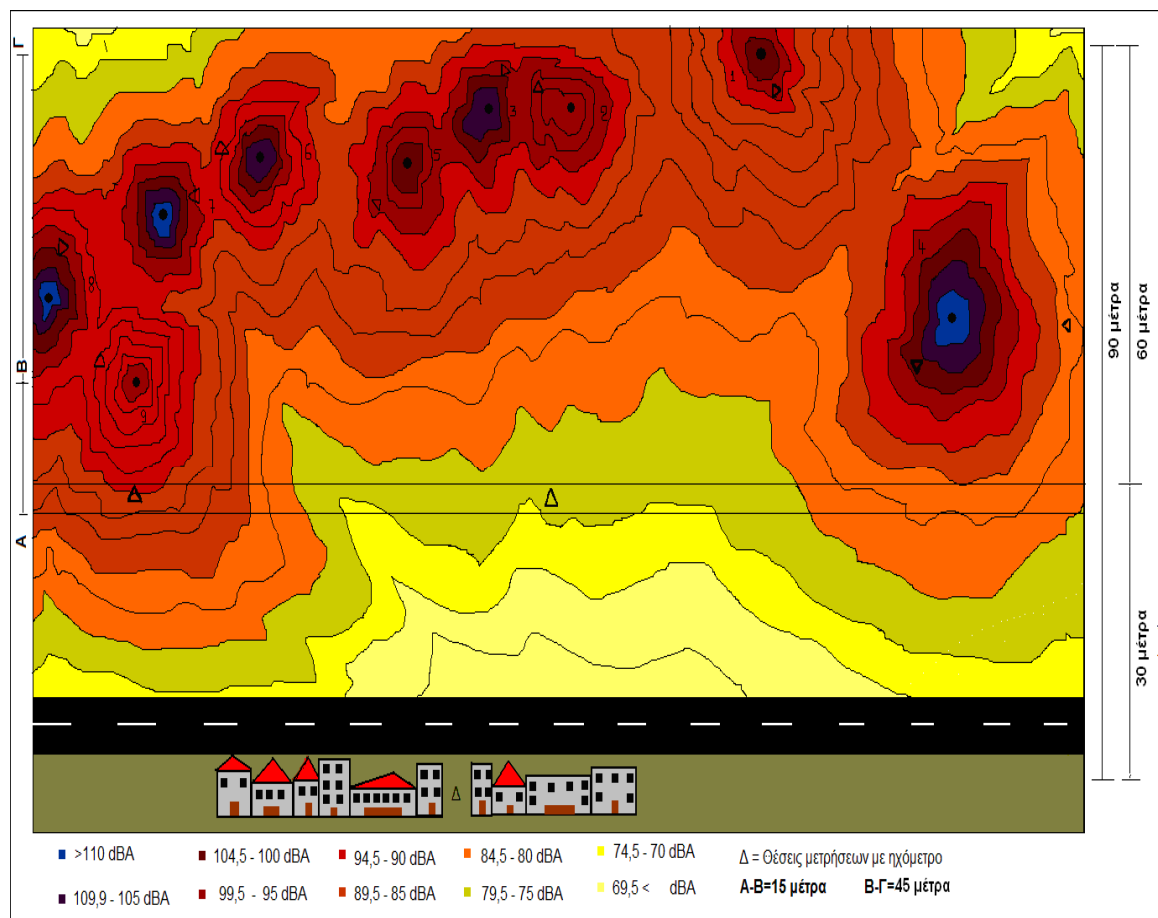
Πίνακας 4. Μετρήσεις σε μικρή απόσταση ( 1-1.5m)

Είδος Μηχανήματος	Τύπος Μηχανήματος	Απόσταση Δέκτη – Πηγής ( σε m )	Διάρκεια μέτρησης ( σε min )	Στάθμη		Leq (dBA)
				ηχητικής πίεσης ( LpA σε dB A ) Max	Min	
Ερπυστριοφόρο με υδραυλική σφύρα Πηγή 1 <sup>η</sup>	Komatsu 400LC/PC / Rammer 4200	3	6	96.7	77.6	90.8
Φορτηγό εκφόρτωσης Πηγή 2 <sup>η</sup>	Mercedes 3535	3	5	82	74	76.7
Ερπυστριοφόρος εκσκαφέας Πηγή 3 <sup>η</sup>	Liebherr Litronic 912	3	4	100.5	80.8	94.9
Ερπυστριοφόρο με υδραυλική σφύρα Πηγή 4 <sup>η</sup>	Hitachi ex300 Landi / Furukawa F35	3.5	5	110.9	90.3	104.1
Ερπυστριοφόρος εκσκαφέας Πηγή 5 <sup>η</sup>	Liebherr Litronic 934	3	3	97.2	81.6	92.6
Ερπυστριοφόρο με υδραυλική σφύρα Πηγή 6 <sup>η</sup>	Hitachi ex400 KHS 4055 / Promove xp 4500	3.5	3	99.9	86.7	95.6
Ερπυστριοφόρο με υδραυλική σφύρα Πηγή 7 <sup>η</sup>	Caterpillar 330BL / Atlas Copco 3000	3	2	102	86	96.6
Ερπυστριοφόρο με υδραυλική σφύρα Πηγή 8 <sup>η</sup>	Hitachi ex450H / Rammer 4300	4	5	109	89.1	100.6
Φορτηγό εκφόρτωσης Πηγή 9 <sup>η</sup>	Volvo610	3	4	89.1	76	83.3

Πίνακας 5. Μετρήσεις σε μεγαλύτερη απόσταση ( 3-4m)

Σημείο	Διάρκεια μέτρησης (min)	Απόσταση Πηγής-δέκτη (m)	Στάθμη ηχητικής πίεσης (LpA σε dBA)		Leq (dBA)
			Max	Min	
Είσοδος εργοταξίου (έμπροσθεν)	7	39	93.8	79.7	89.7
Είσοδος εργοταξίου (πλάγια)	10	15	100.6	86.9	96.1
Πλάγια δεξιά του εργοταξίου	6	25	96.7	78.4	88.1
Έμπροσθεν κατοικημένης περιοχής	12	65	90.9	77.2	86.3

Πίνακας 6. Γενικές μετρήσεις



Σχήμα 13. Γεωγραφική αναπαράσταση του χώρου του εργοταξίου και απεικόνιση της στάθμης ηχητικής πίεσης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται λεπτομερώς και αναλύεται το υπολογιστικό μοντέλο που δημιουργήθηκε. Στη συνέχεια γίνεται εισαγωγή των πειραματικών μετρήσεων και γεωμετρικών στοιχείων του εργοταξίου και από τα αποτελέσματα των υπολογισμών συνάγονται συμπεράσματα.

### 7.1 Περιγραφή μοντέλου

Το μοντέλο υπολογισμού δημιουργήθηκε με το πρόγραμμα Microsoft Excel 2003. Αποτελείται από τρία υπολογιστικά φύλλα που το καθένα επιτελεί συγκεκριμένους υπολογισμούς. Συγκεκριμένα :

Στο λογιστικό φύλλο 1 που απεικονίζεται παρακάτω (εικόνα 13) χρησιμοποιήθηκαν θεωρητικοί τύποι (θα αναφερθούν παρακάτω στις παραγράφους ανάλυσης του υπολογιστικού μοντέλου), που αποσκοπούν στον υπολογισμό της επιφάνειας σε συνάρτηση με τα γεωμετρικά δεδομένα του χώρου και την ένταση ηχητικής πίεσης, από την δοσμένη ένταση ηχητικής ισχύος καθώς και το αντίστροφο. Επιπλέον οι παραπάνω υπολογισμοί εμφανίζονται σε γράφημα (Εικόνα 14) που αφορά τη σχέση μεταξύ της ηχητικής πίεσης και της έντασης της ηχητικής ισχύος.

Στο δεύτερο λογιστικό φύλλο του υπολογιστικού μοντέλου αναλύεται ο παράγοντας έδαφος. Σε αυτό υπολογίζεται η απορρόφηση του εδάφους και η τελική εξασθένιση της έντασης της ηχητικής πίεσης (Εικόνα 15). Η σχέση της αρχικής έντασης της πίεσης ( $LpA$ ) με την τελική ένταση που προκύπτει από την απορρόφηση του εδάφους απεικονίζεται σε γράφημα (Εικόνα 16).

Στο τρίτο λογιστικό φύλλο του προγραμματιστικού μοντέλου γίνεται ο υπολογισμός της ηχομείωσης των ηχοπετασμάτων για τις κεντρικές συχνότητες οκτάβας σε σχέση με την ένταση της ηχητικής πίεσης και την επίδραση του εδάφους. Ακόμα υπολογίζεται η συνολική ένταση ηχητικής πίεσης ( $LpA_{total}$ ) εφόσον θα υπάρχουν παραπάνω από μια ηχητικές πηγές (Εικόνα 17-18). Τέλος και σε αυτό το λογιστικό φύλλο απεικονίζονται οι σχέσεις σε γράφημα (Εικόνα 19).

## 7.2 Ανάλυση υπολογιστικού μοντέλου

Το υπολογιστικό μοντέλο κατασκευάστηκε ως βοηθητικό εργαλείο για να υπολογίζει και να προσδιορίζει τα επίπεδα θορύβου. Θα μπορούσε, για παράδειγμα, να χρησιμοποιηθεί στις εξής περιπτώσεις :

- Κατασκευαστικά εργοτάξια
- Έργα Οδοποιίας
- Συναυλίες σε εξωτερικούς χώρους
- Βιομηχανικές ή βιοτεχνικές μονάδες

Ειδικότερα στο πρώτο υπολογιστικό φύλλο του μοντέλου μπορεί κανείς να υπολογίσει την ένταση ηχητικής πίεσης κάθε πηγής από τα δοσμένα γεωμετρικά δεδομένα και τη δοσμένη ένταση ηχητικής ισχύος, καθώς και το αντίστροφο(την ένταση ηχητικής ισχύος από τα δοσμένα γεωμετρικά δεδομένα και την ένταση ηχητικής πίεσης), και να δει σε γράφημα όπως φαίνεται παρακάτω την σχέση μεταξύ τους. Παρακάτω απεικονίζεται το πρώτο φύλλο υπολογισμού του μοντέλου με το γράφημά του, στο οποίο οι μαθηματικές σχέσεις που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς :

- Της ηχητικής πίεσης σε συνάρτηση με τα γεωμετρικά δεδομένα είναι :

$$L_pA(dB)=L_wA(dB)-10*\log S ,$$

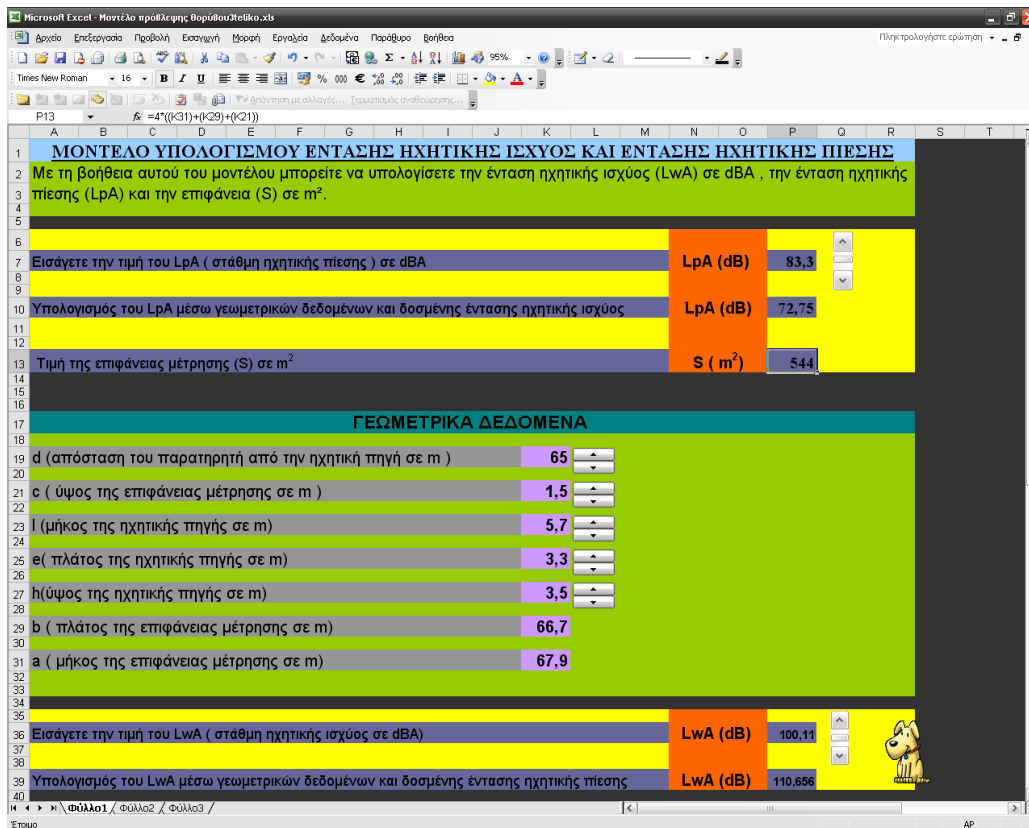
Όπου :  $L_wA \rightarrow$  Ηχητική Ισχύς

$S \rightarrow$  Επιφάνεια μέτρησης

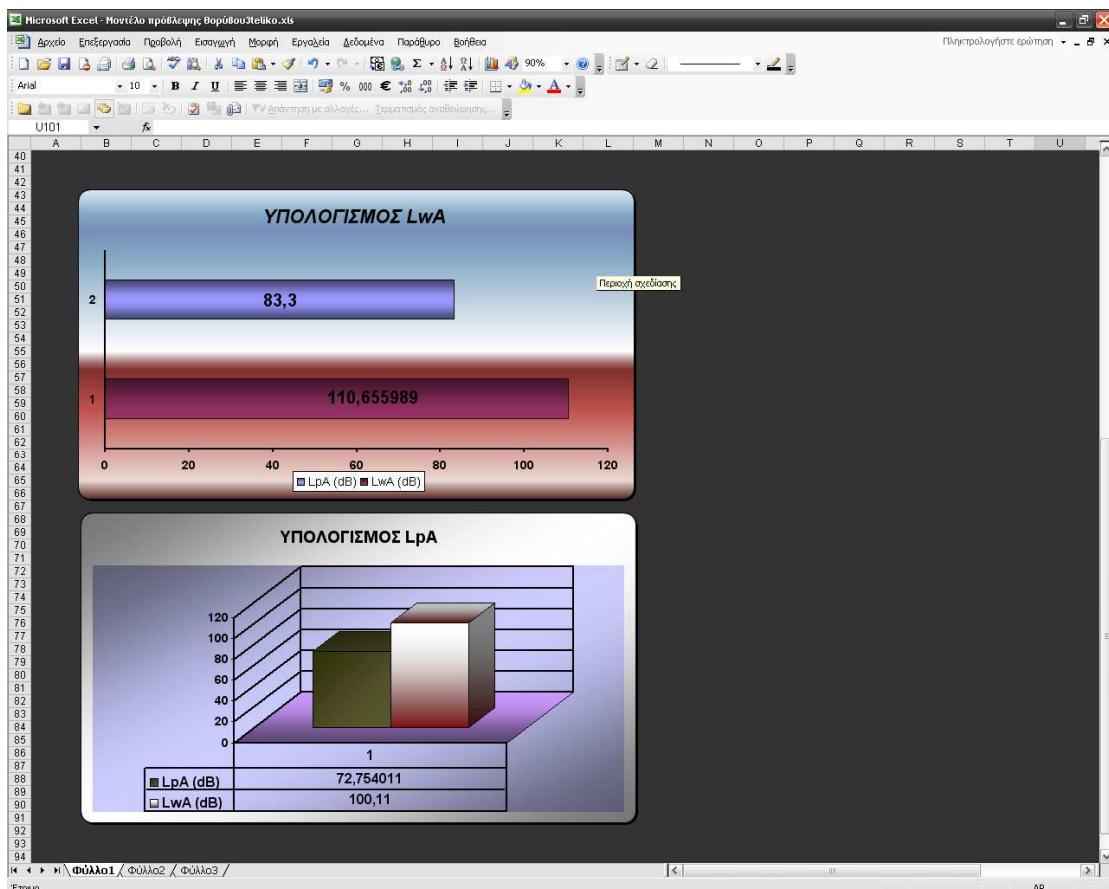
$L_pA \rightarrow$  Ηχητική πίεση

- Για τον υπολογισμό της ηχητικής ισχύος :

$$L_wA(dB)= L_pA(dB)+10*\log S$$



Εικόνα 2. Υπολογισμός του LpA και LwA σύμφωνα με τα γεωμετρικά δεδομένα.



Εικόνα 3. Γραφήματα σχέσης LwA και LpA .

Στο δεύτερο υπολογιστικό φύλλο του κατασκευασμένου μοντέλου υπολογίζεται η απορρόφηση του εδάφους στην τροχιά της διάδοσης του ήχου. Ειδικότερα θα υπολογίζεται ο συντελεστής απορρόφησης του εδάφους **G** και ύστερα σύμφωνα με αυτόν θα υπολογίζεται η εξασθένηση του ήχου από την επίδραση του εδάφους **A<sub>gr</sub>**. Εν τέλει θα υπολογίζεται η στάθμη ηχητικής πίεσης εν συναρτήσει με την απορρόφηση του εδάφους, και θα απεικονίζεται σε γράφημα η σχέση του αρχικού **LpA** (στάθμη ηχητικής πίεσης) και του τελικού **LpA** μετά τον υπολογισμό της απορρόφησης του εδάφους. Σε αυτό το υπολογιστικό φύλλο οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την επίτευξη των αποτελεσμάτων όσον αφορά την απορρόφηση από το έδαφος είναι:

$$H_{av}=1/2*(H_r+H_s) \quad ,$$

Όπου **H<sub>av</sub>** → Τιμή του μέσου ύψους της ηχητικής ακτίνας(m)

**H<sub>s</sub>** → Τιμή του ύψους της πηγής(m)

**H<sub>r</sub>** → Τιμή του ύψους του δέκτη(m)

$$G=0,75*(1-(H_{av}/d)) \quad ,$$

Όπου **G** → Συντελεστής της απορρόφησης του εδάφους

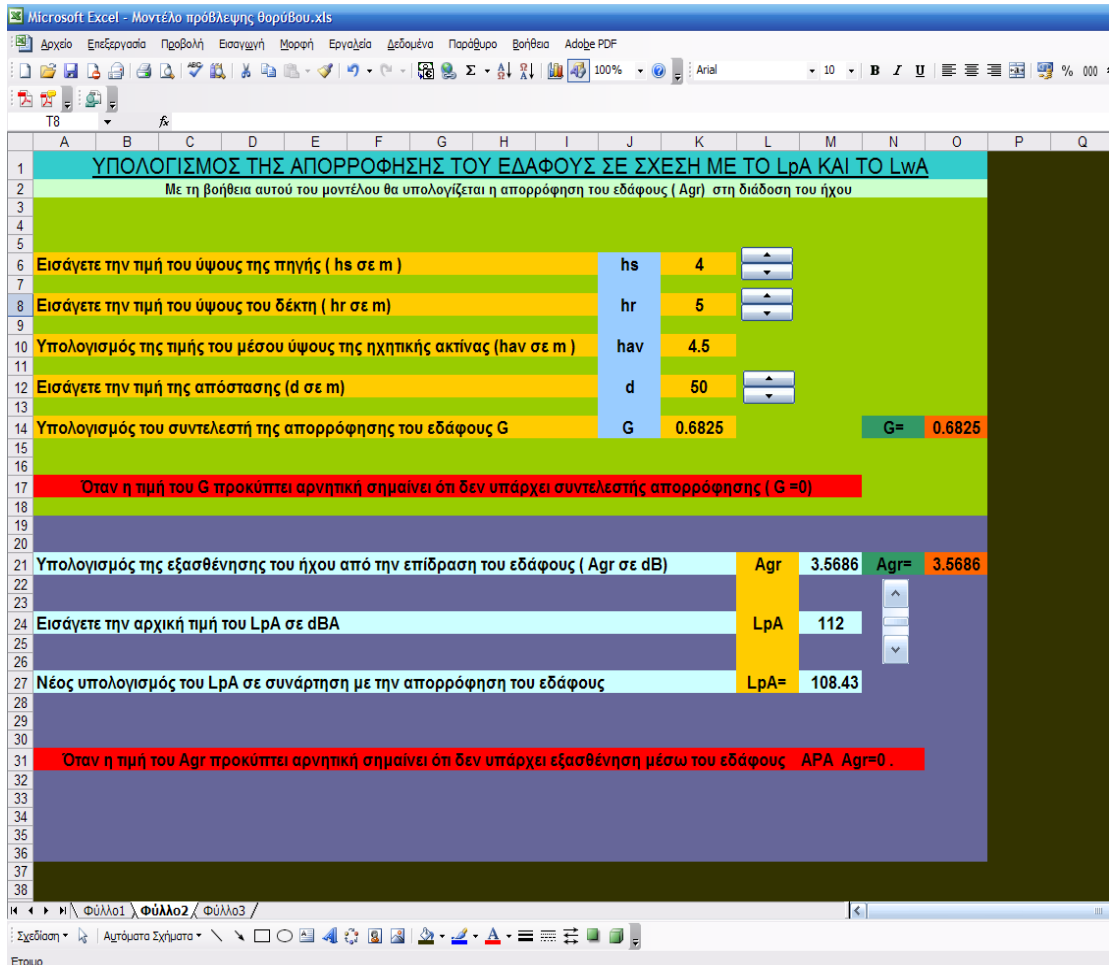
**d** → Τιμή της απόστασης(m)

$$A_{gr}=10*G*\log(d/15) \quad ,$$

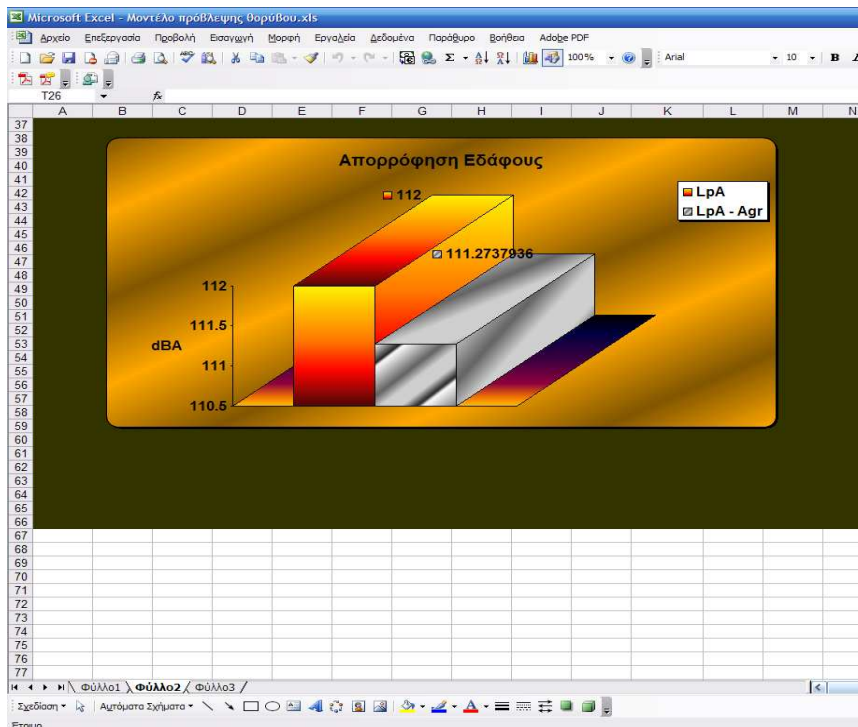
Όπου **A<sub>gr</sub>** → Εξασθένηση του ήχου από την επίδραση του εδάφους(dB)

$$LpA_{\text{τελικό}}=LpA-A_{gr}$$





Εικόνα 4. Υπολογισμός του  $L_{pA}$  σε σχέση με την απορρόφηση του εδάφους.



Εικόνα 5. Γράφημα Σχέσης Αρχικού και Τελικού  $L_{pA}$  μετά την απορρόφηση

Στο τρίτο υπολογιστικό φύλλο μπορεί να υπολογίσει κάποιος την ηχομείωση των ηχοπετασμάτων με σκοπό την κατάλληλη επιλογή ηχοφράγματος για κάθε περίπτωση, επιπλέον θα μπορεί να υπολογίσει την συνολική ένταση ηχητικής πίεσης για τις περιπτώσεις που θα υπάρχουν παραπάνω από μια ηχητικές πηγές.

Γενικότερα θα μπορεί να υπολογίσει για κάθε συχνότητα το μήκος κύματος και τον αριθμό **Fresnel** όπου σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα γίνεται ο υπολογισμός της ηχομείωσης του ηχοφράγματος. Θα έχει την επιλογή να ορίσει το ύψος, το μήκος και τις αποστάσεις μεταξύ του πετάσματος και της πηγής ή του δέκτη, ώστε να βρει μέσω του μοντέλου το πιο κατάλληλο ηχοπέτασμα για την περίπτωση που ενδιαφέρεται. Ακόμα δίνεται η επιλογή να υπολογιστούν όλα τα προαναφερόμενα και για διπλό ηχοπέτασμα για περεταίρω ηχομείωση, και επιπλέον όπως φαίνεται πιο κάτω δίνεται και γράφημα που δείχνει τη σχέση της συνολικής ηχητικής πίεσης **LpA<sub>total</sub>** και της ηχομείωσης του πετάσματος **Dz**. Τέλος οι μαθηματικές σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν στο τρίτο υπολογιστικό φύλλο είναι:

- Υπολογισμός της τιμής του μήκους κύματος για κάθε συχνότητα:

$$\lambda = C/f$$

Όπου  $\lambda \rightarrow$  Μήκος κύματος

$C \rightarrow$  Ταχύτητα του αέρα ( m/s<sup>2</sup>)

$f \rightarrow$  Συχνότητα (Hz)

- Για υπολογισμό του αριθμού Fresnel για γεωμετρικούς όρους:

$$N = (2/\lambda) * (A + B - d)$$

Όπου  $N \rightarrow$  Αριθμός Fresnel

$A \rightarrow$  Απόσταση s-bar

$B \rightarrow$  απόσταση r-bar

$d \rightarrow$  Απευθείας απόσταση

- Για την απώλεια του πετάσματος  $A_{bar}$  :

$$A_{bar} = Dz - A_{gr} > 0 \quad \text{για πάνω από τις άκρες}$$

$$A_{bar} = Dz > 0 \quad \text{για γύρω από τις άκρες}$$

Όπου  $A_{bar} \rightarrow$  Απώλειες του ηχοπετάσματος (dB)

$Dz \rightarrow$  Ηχομείωση του ηχοπετάσματος (dB)

$A_{gr} \rightarrow$  Απορρόφηση του εδάφους (dB)

- Για την Ηχομείωση του ηχοπετάσματος:

$$Dz=10*\log(3+2*N*C_2*C_3*K_{met})dB$$

Όπου  $C_2 \rightarrow$  Συντελεστής σε περίπτωση που περιλαμβάνονται ανακλάσεις του εδάφους ή φανταστικές πηγές

$C_3 \rightarrow$  Συντελεστής για περιθλαση στις άκρες  $C_3=1$  αν περιθλώνται σε μία άκρη, και αυξάνεται μέχρι το 3 αν περιθλώνονται σε 2 ή παραπάνω άκρες σύμφωνα με την σχέση :

$$C_3=(1+(5*\lambda/e)^2)/(1/3+(5*\lambda/e)^2)$$

Όπου  $e \rightarrow$  Το πάχος του ηχοπετάσματος

- Για τον υπολογισμό της απόστασης που προκύπτει από τη διαφορά μεταξύ περιθλώμενου και απευθείας σήματος (z )

$$Z=(N*\lambda)/2$$

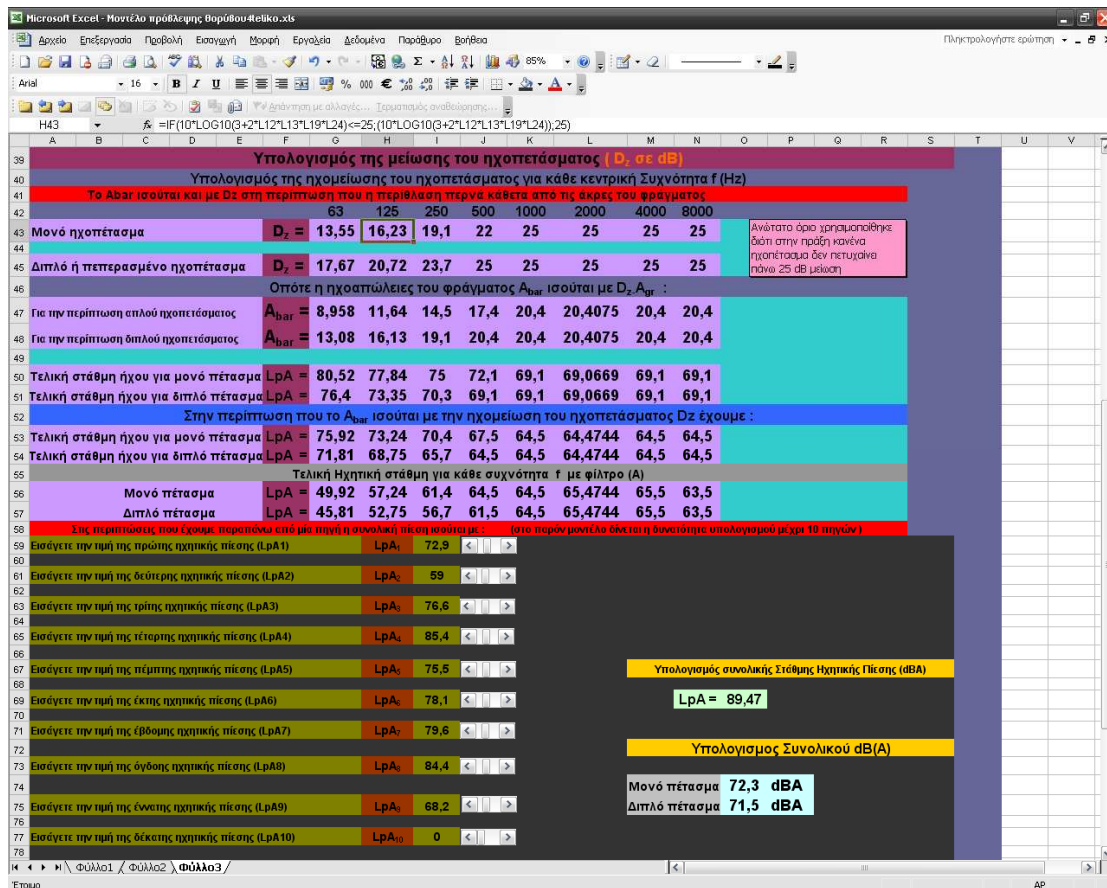
- Για τον υπολογισμό της ολικής ηχητικής Στάθμης  $Lp_{tot}(dB)$

$$Lp_{tot}=10*\log(10^{LpA1}+10^{LpA2}+10^{LpA3}+10^{LpAv})$$

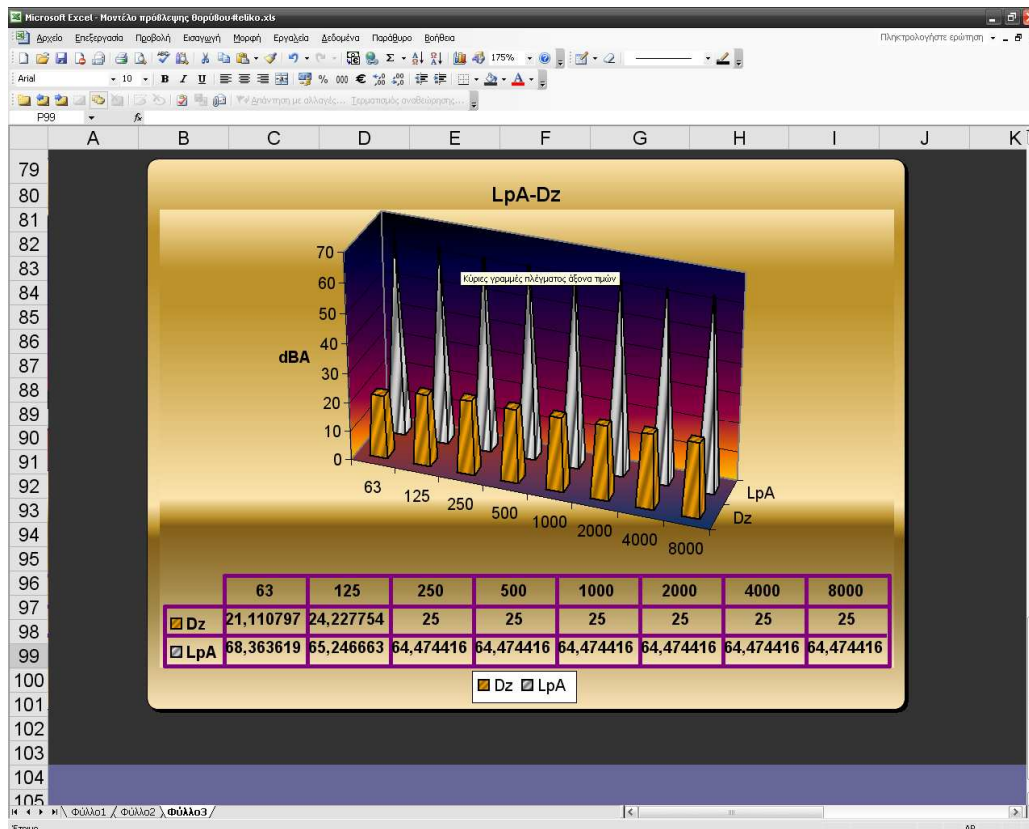
The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data points:

ΔΕΔΟΜΕΝΑ	f (Hz)	C (m/s)	λ (m)	N	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	e (cm)	K <sub>met</sub>	h (m)	d <sub>se</sub> (m)	d <sub>sr</sub> (m)	d (m)	h <sub>s</sub> (m)	h <sub>r</sub> (m)	Y (m)	z
Οι κεντρικές πηγές συχνοτήτων μιας Οκτάβας είναι :	63	340	5,3968	0,416	40	1	150	0,96922431	4	63	2	65	3,5	1,5	25	1,123

Εικόνα 6. Υπολογισμός της ηχομείωσης των ηχοπετασμάτων (Α' Μέρος) .



Εικόνα 7. Υπολογισμός της ηχομείωσης των ηχοπετασμάτων ( Β' Μέρος ) .



Εικόνα 8. Γράφημα σχέσης LpA και Dz

### 7.3 Εφαρμογή του υπολογιστικού μοντέλου στις συνθήκες του εργοταξίου όπου πραγματοποιηθήκαν οι μετρήσεις και σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις μετρήσεις.

Συγκρίναμε τις μετρήσεις με τα αποτελέσματα της εφαρμογής του υπολογιστικού μοντέλου για να δούμε αν αυτό είναι αξιόπιστο στο να υπολογίσει με την μικρότερη απόκλιση τις μετρήσεις που του δώσαμε ως δεδομένα.

Εισήγαμε τις μετρήσεις στα 3μέτρα και τις χρησιμοποιήσαμε ως τιμές αναφοράς (τιμές έντασης που εκπέμπει το κάθε κατασκευαστικό μηχάνημα). Οι μετρήσεις έγιναν σε τέσσερα σημεία του χώρου(Πλαϊνή είσοδος εργοταξίου, Μπροστινή είσοδος εργοταξίου, Πλάγια δεξιά του εργοταξίου και Μπροστά στην κατοικημένη περιοχή) όπως φαίνεται και το σχ. 13. Οι υπολογισμοί στο μοντέλο έγιναν για κάθε πηγή ξεχωριστά με τις υπόλοιπες να βρίσκονται εκτός λειτουργίας, σε αντίθεση με τις πρακτικές μετρήσεις που έγιναν στο εργοτάξιο όπου δεν κατέστη δυνατόν κάτι τέτοιο. Στην συνέχεια υπολογίστηκε και η απορρόφηση του εδάφους για την κάθε τιμή ώστε να βρεθεί η πραγματική στάθμη τις καθεμίας τιμής στο σημείο που μετρήθηκε. Τέλος αυτές οι τιμές προστέθηκαν(λογαριθμικά) για να υπολογιστεί η συνολική ένταση όλων των πηγών μαζί σε κάθε σημείο ώστε να μπορούν να συγκριθούν με αυτές του εργοταξίου. Όλες αυτές οι αναλύσεις φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

<i>Πλαϊνή Είσοδος Εργοταξίου</i>				
Θέση Πηγής	Leq κάθε πηγής σε απόσταση αναφοράς 3 m (dBA)	Απόσταση πηγής-δέκτη (σε m)	Τιμή του Μοντέλου (dBA)	LpA Με την Απορρόφηση (dBA)
1	90,8	80	79,4	74,2
2	76,7	63	66,3	61,8
3	94,9	56	85	80,9

4	104,1	96	91,9	86
5	92,6	45	83,6	80,2
6	95,6	38	87,3	84,4
7	96,6	32	89	86,7
8	100,6	22	94,4	93,3
9	83,3	15	78,6	78,5
<b>LpA<sub>total</sub>=95,6 dBA με απορρόφηση εδάφους</b>				

Πίνακας 7. Υπολογισμός συνολικής στάθμης ηχητικής πίεσης στη πλαϊνή είσοδο.

<i>Μπροστινή Είσοδος Εργοταξίου</i>				
Θέση Πηγής	Leq κάθε πηγής σε απόσταση αναφοράς 3 m (dBA)	Απόσταση πηγής-δέκτη (σε m)	Τιμή του Μοντέλου (dBA)	LpA Με την Απορρόφηση (dBA)
1	90,8	50	81,4	77,6
2	76,7	41	68,1	65
3	94,9	42	86,2	83,1
4	104,1	52	94,5	90,7
5	92,6	39	84,2	81,3
6	95,6	40	87,1	84,1
7	96,6	48	87,3	83,7
8	100,6	57	90,6	86,4
9	83,3	47	74,1	70,6
<b>LpA<sub>total</sub>=94 dBA με απορρόφηση εδάφους</b>				

Πίνακας 8. Υπολογισμός συνολικής στάθμης ηχητικής πίεσης στην μπροστινή είσοδο.

### Πλάγια Δεξιά Εργοταξίου

Θέση Πηγής	Leq κάθε πηγής σε απόσταση αναφοράς 3 m (dBA)	Απόσταση πηγής-δέκτη (σε m)	Τιμή του Μοντέλου (dBA)	LpA Με την Απορρόφηση (dBA)
1	90,8	42	82,1	80
2	76,7	62	66,4	61,9
3	94,9	70	84,1	79,3
4	104,1	25	97,4	95,9
5	92,6	78	81,3	76,1
6	95,6	90	83,7	78,1
7	96,6	98	84,3	78,3
8	100,6	108	87,9	81,6
9	83,3	101	70,9	64,8

**LpA<sub>total</sub>=96,4 dBA με απορρόφηση εδάφους**

Πίνακας 9. Υπολογισμός συνολικής στάθμης ηχητικής πίεσης στα πλάγια του εργοταξίου.

### Έμπροσθεν Κατοικημένης Περιοχής

Θέση Πηγής	Leq κάθε πηγής σε απόσταση αναφοράς 3 m (dBA)	Απόσταση πηγής-δέκτη (σε m)	Τιμή του Μοντέλου (dBA)	LpA Με την Απορρόφηση (dBA)
1	90,8	95	78,7	72,9
2	76,7	92	64,7	59
3	94,9	91	82,3	76,6
4	104,1	102	91,7	85,6
5	92,6	86	81	75,5
6	95,6	89	83,7	78,1

7	96,6	83	85	79,6
8	100,6	75	89,5	84,4
9	83,3	65	72,3	68,2
<b><math>LpA_{total}=89,5</math> dBA με απορρόφηση εδάφους</b>				

**Πίνακας 10. Υπολογισμός συνολικής στάθμης ηχητικής πίεσης μπροστά στη κατοικημένη περιοχή.**

Σύμφωνα με όσα βλέπουμε στους παραπάνω πίνακες και στους πίνακες των μετρήσεων από το εργοτάξιο, παρατηρούμε ότι οι αποκλίσεις στα συγκεκριμένα σημεία είναι μικρές. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω πίνακα στα τέσσερα απομακρυσμένα σημεία των μετρήσεων το υπολογιστικό μοντέλο δεν έχει μεγάλες αποκλίσεις :

<i>Θέση</i>	<i><math>Leq(dB)</math> Μετρήσεων</i>	<i><math>LpA_{total}(dB)</math> Μοντέλου</i>
<i>Πλαϊνή είσοδος Εργ.</i>	<i>96,1</i>	<i>95,6</i>
<i>Μπροστινή είσοδος Εργ.</i>	<i>89,7</i>	<i>94</i>
<i>Πλάγια Δεξιά Εργ.</i>	<i>88,1</i>	<i>96,4</i>
<i>Έμπροσθεν Κατοικημένης Περιοχής</i>	<i>86,3</i>	<i>89,5</i>

**Πίνακας 11. Σύγκριση μετρήσεων εργοταξίου σε σχέση με τους υπολογισμούς του μοντέλου.**

Οι παρατηρούμενες αποκλίσεις οφείλονται κατά τη γνώμη μας κυρίως σε τρεις παράγοντες:

1. Κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων στο εργοτάξιο δε στάθηκε δυνατό ο διαχωρισμός και η μέτρηση κάθε πηγής ξεχωριστά (καθότι το εργοτάξιο λειτουργούσε κανονικά κατά τη διάρκεια των μετρήσεων). Ως αποτέλεσμα οι μετρήσεις που αφορούν κάθε πηγή επηρεάζονταν και από τη στάθμη θορύβου των γειτονικών τους.



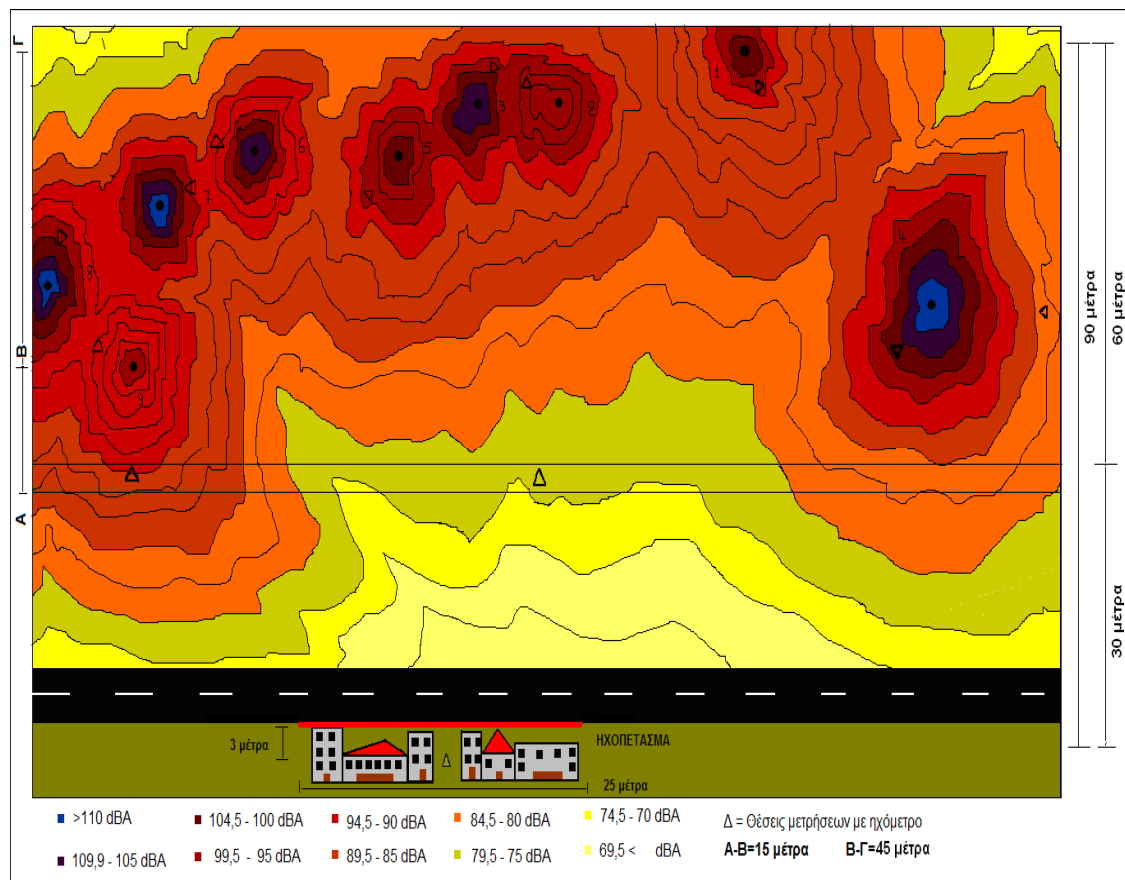
2. Το υπολογιστικό μας μοντέλο δε λαμβάνει υπόψιν αναλυτικά την κατευθυντικότητα των ηχητικών πηγών (η οποία δε είναι γνωστή και εκτιμήθηκε μόνο κατά προσέγγιση).
3. Το υπολογιστικό μας μοντέλο δε μπορεί να λάβει υπόψιν πολλαπλές ανακλάσεις από παραπάνω της μιας ηχητικές πηγές.

Όσον αφορά την συνολική στάθμη στη κατοικημένη περιοχή, εφόσον τα επιτρεπτά όρια είναι κάτω από **67 dBA**, θα υπολογιστεί από το μοντέλο το πιο κατάλληλο ηχοπέτασμα για την συγκεκριμένη περίπτωση σύμφωνα με το ύψος, το μήκος και τις αποστάσεις των πηγών και του δέκτη, και θα προταθεί για ηχομείωση της ηχητικής στάθμης μέσα στην κατοικημένη περιοχή. Επομένως εφόσον οι πηγές έχουν ένα μέσο όρο ύψους **3,5** μέτρα και η πιο κοντινή από αυτές βρίσκεται **65** μέτρα από την κατοικημένη περιοχή τότε σύμφωνα με το μοντέλο υπολογισμού που κατασκευάστηκε, υπάρχουν δυο περιπτώσεις που μπορεί να επέμβει δραστικά ένα ηχοπέτασμα και να μειώσει την στάθμη του ήχου κάτω από **67 dBA** που είναι και το επιτρεπτό όριο από την πολιτεία. Αυτές οι περιπτώσεις είναι οι εξής :

**A)** Το ηχοπέτασμα που θα τοποθετηθεί θα πρέπει να είναι **5** μέτρα σε ύψος, **25** μέτρα σε μήκος καθώς θα πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση **2** μέτρων από την πηγή και **63** μέτρων από τον δέκτη, όπου σε αυτή την περίπτωση λόγω και των περιοχών σκίασης οι υψηλές συχνότητες θα μειωθούν πιο πολύ από τις χαμηλές. Έτσι υπολογίστηκε μια ηχομείωση με την τελική στάθμη του ήχου να είναι στα **71,4 dBA**. Είναι σημαντικό να ειπωθεί ξανά ότι καλό θα είναι να υπολογίζεται κάποιο ηχοπέτασμα με **5 dB** περισσότερη από την επιθυμητή μείωση ώστε να υπάρχει κάποιο περιθώριο, για κάποιες εντάσεις από κρουστικούς ή παλμικούς ήχους οι οποίοι μπορούν να ξεπεράσουν τα ήδη υπολογισμένα όρια. Επίσης το υλικό από το οποίο θα κατασκευασθεί το ηχοπέτασμα θα πρέπει να έχει σε κάθε συχνότητα ηχομονωτική ικανότητα μεγαλύτερη κατά τουλάχιστον **5dB** από την επιθυμητή ηχομείωση του ηχοπετάσματος.

**B)** Το ηχοπέτασμα που θα τοποθετηθεί θα πρέπει να είναι **6,5** μέτρα σε ύψος, **100** μέτρα σε μήκος, και **70** εκατοστά σε πάχος. Θα πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση **1,5** μέτρων από τον δέκτη και **63,5** μέτρων από την πηγή. Όπως και στην A περίπτωση λόγω περιοχών σκίασης υπολογίστηκε ότι η τελική στάθμη ηχητικής πίεσης που φτάνει στην κατοικημένη περιοχή θα κυμαίνεται στα **71,4 dBA**. Εξαιτίας των πολλών πηγών στο χώρο και το αυξημένο κόστος που είναι απαραίτητο για την

υλοποίηση της 2<sup>ης</sup> περίπτωσης, θα προτιμηθεί η Α περίπτωση ηχοπετάσματος η οποία φαίνεται και στο σχήμα 13 (σελ.52)



**Σχήμα 13.Γεωγραφική αναπαράσταση του χώρου του εργοταξίου και απεικόνιση της στάθμης ηχητικής πίεσης.**

Σε πολλές περιπτώσεις τα ηχοπετάσματα δεν παρέχουν την επιθυμητή ηχομείωση εξαιτίας του μεγάλου δείκτη του εκπεμπόμενου θορύβου. Αυτό συμβαίνει διότι κανένα ηχοπέτασμα δεν μπορεί να πετύχει πάνω από 25dB ηχομείωσης στην πράξη. Παρατηρήθηκε ότι στο προκείμενο εργοτάξιο δεν είναι δυνατό η τελική εκπεμπόμενη στάθμη του ήχου να μειωθεί στα 67 dBA που ορίζουν οι κανονισμοί. Στην συγκεκριμένη περίπτωση περαιτέρω άδειες χρειάζονται από την πολιτεία, ώστε να μπορέσει να προχωρήσει ένα εργοτάξιο. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι εργολάβοι πετυχαίνουν αύξηση του ορίου σε κατοικημένη περιοχή κατά 5 dB η οποία συνήθως είναι ικανοποιητική. Όταν η στάθμη του θορύβου σε μια κατοικήσιμη περιοχή υπερβαίνει ακόμα και αυτή την αύξηση που προσφέρει η πολιτεία, τότε διαφορετικές ενέργειες και αποφάσεις πρέπει να ληφθούν, όπως ο εγκλεισμός μηχανών η χρήση σιγαστήρων, ακόμα και η αλλαγή παλαιότερων μηχανημάτων με καινούργια τα οποία θα πληρούν όλες τις προδιαγραφές.

Στη προκειμένη περίπτωση όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η ηχομείωση έχει την βέλτιστη τιμή που μπορεί να επιτευχθεί από ηχοπέτασμα. Επομένως υπάρχουν δύο λύσεις του προβλήματος. Η πρώτη είναι να τοποθετηθούν επιπλέον ηχοπετάσματα στις θέσεις των πηγών για τον εγκλεισμό των μηχανημάτων που εκπέμπουν τις μεγαλύτερες στάθμες θορύβου. Είναι σαφές ότι κάτι τέτοιο αυξάνει το συνολικό κόστος που χρειάζεται για την ηχομείωση, όμως είναι ιδιαίτερα αναγκαίο για την μείωση της στάθμης κάτω από τα επιθυμητά όρια. Η δεύτερη λύση είναι η χρησιμοποίηση διαφορετικού τύπου εξοπλισμού ώστε να μειωθεί ο θόρυβος στην πηγή του. Αυτή είναι και η πιο ασύμφορη λύση διότι η απόκτηση νέων τύπων μηχανημάτων κοστίζει πολύ και μερικές φορές έχει μικρό αποτέλεσμα καθώς ακόμα και σε τέτοιες περιπτώσεις η μείωση της στάθμης είναι ελάχιστη.

Ο πιο ικανοποιητικός τρόπος για την υλοποίηση του πρώτου τρόπου είναι ο εγκλεισμός του μηχανήματος-πηγής από ένα συνηθισμένο ηχοπέτασμα (Παράρτημα Π-εικόνα 23). Μια γαλβανισμένη λαμαρίνα είναι ένα καλά ηχομονωτικό και φθινό υλικό, σε σχέση πάντα με το κόστος των υπολοίπων υλικών. Οι πηγές με την υψηλότερη στάθμη θορύβου είναι η 4<sup>η</sup> πηγή (Ερπυστριοφόρο με υδραυλική σφύρα Hitachi ex300 Landi/Furukawa F35) και η 8<sup>η</sup> πηγή (Ερπυστριοφόρο με υδραυλική σφύρα Hitachi ex450H/ Rammer 4300). Προαιρετικά για τον εργολάβο αν επιθυμεί την περαιτέρω μείωση της στάθμης προτείνεται ο εγκλεισμός και μιας τρίτης πηγής (7<sup>η</sup> Ερπυστριοφόρο με υδραυλική σφύρα Caterpillar 330 B1/Atlas Copco 3000).

Αρα όπως βλέπουμε και στον παρακάτω πίνακα με ένα ηχοπέτασμα φτιαγμένο από γαλβανισμένη λαμαρίνα 7 χιλ., 4 μέτρων ύψος και 5 μέτρων μήκος όπου θα περικλείει το μηχάνημα, πετυχαίνουμε μείωση στάθμης των συγκεκριμένων πηγών και επομένως τη **μείωση της συνολικής στάθμης έμπροσθεν της κατοικημένης περιοχής, από τα 89,5 dBA που είχε υπολογίσει αρχικά το μοντέλο σε 84,4 dBA** και 82,7 αν συμπεριληφθεί και η 3<sup>η</sup> πηγή. Το αρχικό ηχοπέτασμα που θα τοποθετηθεί **1,5 μέτρο** από δέκτη και **63,5 μέτρων** από τον πηγή και **6,5 μέτρα** σε ύψος και **100 μέτρα** σε μήκος περικλείοντας την κατοικημένη περιοχή επιτυγχάνει την επιθυμητή ηχομείωση που πληροί τους κανονισμούς της πολιτείας και είναι 66,6 dBA και 64,9 dBA συμπεριλαμβανομένου και του εγκλεισμού της 3<sup>ης</sup> πηγής. Ο εγκλεισμός της 3<sup>ης</sup> πηγής είναι προαιρετικός λόγω του αυξανόμενου κόστους. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις διαφορές της στάθμης του εκπεμπόμενου θορύβου πριν και μετά την τοποθέτηση ηχοπετάσματος μπροστά στις πηγές.

ΠΗΓΗΣ	Αρχική Στάθμη (Leq) dBA	Στάθμη μετά τον Εγκλεισμό(Leq) dBA
Hitachi ex300 Landi/Furukawa F35	<b>104,1</b>	86,4
Hitachi ex450H/ Rammer 4300	<b>100,6</b>	82,9
(Προαιρετικά για τον εργολάβο) Caterpillar 330 Bl/Atlas Copco 3000	96.6	78.9

**Πίνακας 12. Διαφορές στάθμης μετά το ηχοπέτασμα.**

Κάποιες προτάσεις για υλικά ηχοπετασμάτων με την ενδεδειγμένη ηχομείωση :

- Πάνελ από μπετό 8 εκατοστών
- Πάνελ από συνθετικό υλικό 6 εκατοστών με γαλβανισμένη λαμαρίνα 7 χιλιοστών περικλειόμενη
- Πάνελ από Plexiglass 20 χιλιοστών
- Πάνελ από τζάμι 0,6 εκατοστών
- Ξύλινα πάνελ 10 εκατοστών με προσθήκη ειδικού ηχομονοτικού υαλοβάμβακα για την καλύτερη εικόνα του περιβάλλοντος.

Σχεδόν όλες ή οι περισσότερες από τις παραπάνω περιπτώσεις είναι ασύμφορες λόγω του μεγάλου τους κόστους.

Έπειτα από έρευνα αγοράς που ακολούθησε δίνεται ένας πίνακας με το κόστος των παραπάνω περιπτώσεων ηχοπετασμάτων χωρίς να συμπεριλαμβάνεται το κόστος τοποθέτησης και μεταφοράς από την εκάστοτε εταιρία.

ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑ	ΚΟΣΤΟΣ (ΕΥΡΩ / m <sup>2</sup> )
Πάνελ Μπετόν 8 εκ	<b>30-40</b>
Πάνελ 6 εκ Γαλβανισμένης λαμαρίνας 7 χιλ	<b>40-55</b>
Πάνελ Plexiglass 20 χιλ	<b>100-120</b>
Πάνελ Τζάμι 0,6 εκατοστών	<b>110-130</b>
Πάνελ Ξύλου	<b>120&lt;</b>

**Πίνακας 13. Τιμές ηχοπετασμάτων.**

Όπως φαίνεται στον πίνακα 13 η περίπτωση που ενδιαφέρει πιο πολύ ένα εργολάβο είναι του πάνελ από μπετό όμως στη προκειμένη περίπτωση του εργοταξίου πρέπει να ληφθεί υπόψιν η δυσκολία και το κόστος κατασκευής ακόμα και ο παράγοντας απομάκρυνσης του ηχοφράγματος μετά την αποπεράτωση του δομικού έργου. Επομένως θα επιλεχθεί η περίπτωση της γαλβανισμένης λαμαρίνας, πάντα λόγω κόστους ,αλλά και επειδή καλύπτει και τις ανάγκες για την παρούσα ηχομείωση. Σε αυτή τη φάση πρέπει να προστεθεί ότι καμία εταιρεία δεν αναλαμβάνει να ενοικιάσει ηχοπετάσματα καθώς επικαλούνται τυχόν καταστροφές, και φυσική φθορά των προϊόντων τους. (Το κόστος του κάθε υλικού μπορεί να αλλάξει οποιαδήποτε στιγμή μετά την περαίωση αυτής της πτυχιακής εργασίας)

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται μερικά υλικά και η ηχομείωση τους.

Επιφάνεια	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
Μπετό 8 εκ.	35	40	44	52	59	64
Πέτρα 60 εκ.	50	53	52	58	61	69
Τζάμι 0,3 εκ.	24	26	29	33	36	21
Τζάμι 0,6 εκ.	25	28	30	34	23	36
Plexiglass 0,3 εκ.	16	17	22	28	33	35
Plexiglass 0,6 εκ	21	23	26	32	32	37
Αλουμίνιο 1 χιλ	11	10	10	18	23	25
Αλουμίνιο 6 χιλ.	20	18	13	18	23	27
Φύλλο μολύβδου 1,5 χιλ	28	32	33	32	32	33
Φύλλο μολύβδου 3 χιλ	30	31	27	38	44	33
Γαλβανισμένη Λαμαρίνα 7 χιλ	24	25	20	29	35	30

**Πίνακας 14. Ηχομείωση Υλικών Ηχοπετασμάτων.**

Άρα στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η ηχομείωση του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο το ηχοπέτασμα σε σχέση με την απαιτούμενη ηχομείωση από αυτό :

<b>Συχνότητα (Hz)</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>
<b>Απαιτούμενη ηχομείωση(dB)</b>	<b>17.4</b>	<b>17.4</b>	<b>17.4</b>	<b>17.4</b>	<b>17.4</b>	<b>17.4</b>
<b>Ηχομείωση Υλικού(dB)</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>29</b>	<b>35</b>	<b>30</b>

**Πίνακας 15. Σχέση της ηχομείωσης του υλικού με την απαιτούμενη ηχομείωση**

Όπως παρατηρείται στον πάνω πίνακα (15) σε όλες τις συχνότητες εκτός της περιοχής των 500 Hz το υλικό έχει 5 dB μεγαλύτερη ηχομείωση από την απαιτούμενη. Όμως αυτή η διαφορά των 2,6 dB δεν είναι μικρή και εφόσον το υλικό είναι και πιο συμφέρον σε κόστος και ευκολία κατασκευής και απομάκρυνσης από άλλα υλικά, θα επιλεγθεί για χρήση στον παρών εργοτάξιο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΩΟ

### Συμπεράσματα Πτυχιακής Εργασίας-Προτάσεις μελλοντικής έρευνας

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία έγινε μια προσπάθεια να διερευνηθούν οι τρόποι διάδοσης του θορύβου σε εξωτερικό περιβάλλον. Μελετήθηκαν οι βασικές αρχές ηχητικής διάδοσης σε ανοικτό χώρο, εξετάστηκε η σχετική νομοθεσία και, έγιναν μετρήσεις σε εργοτάξιο στην Αττική, ώστε να μελετηθεί στη πράξη ο τρόπος διάδοσης του ήχου από πολλές πηγές και να εξετασθεί η επίδραση της κάθε μίας καθώς επίσης και του περιβάλλοντος χώρου. Επίσης κατασκευάστηκε ένα μοντέλο υπολογισμού της διάδοσης θορύβου σε ανοικτό χώρο με βάση τις σχέσεις υπολογισμού που εντοπίστηκαν στη σχετική βιβλιογραφία και κανονισμούς. Εφαρμόστηκε στις συνθήκες του εργοταξίου που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τις μετρήσεις προκειμένου να ελεγχθεί η ακρίβεια του και να πραγματοποιηθούν βελτιώσεις. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό υπολογίστηκαν όλοι οι παράγοντες που επιδρούν στην διάδοση του ήχου, ώστε να προβλέπεται από αυτό το πιο κατάλληλο ηχοπέτασμα για να εμπίπτουν οι μετρημένες εντάσεις στην ήδη υπάρχουσα νομοθεσία από την πολιτεία.

Από τη σύγκριση διαπιστώθηκε ότι οι στάθμες θορύβου που υπολογίστηκαν με το μοντέλο πρόβλεψης έχουν σχετικά μικρές αποκλίσεις από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με το ηχόμετρο σε πραγματικό χρόνο. Αυτές οι αποκλίσεις ήταν αναμενόμενες λόγω τόσο των περιορισμών του μοντέλου υπολογισμού (μη δυνατότητα υπολογισμού πολλαπλών ανακλάσεων, συχνοτικά εξαρτώμενης κατευθυντικότητας, διάθλαση κατά τη διάδοση στην ατμόσφαιρα) αλλά και των μετρήσεων (κατέστη αδύνατο να μετρηθεί η στάθμη της ηχητικής πίεσης της κάθε ηχητικής πηγής μεμονωμένα καθότι όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας του εργοταξίου).

Το υπολογιστικό μοντέλο που αναπτύχθηκε σε Excel 2003 στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας κρίθηκε καταρχήν ικανοποιητικό και αρκετά εύχρηστο για βασικούς υπολογισμούς. Για καλύτερη γραφική απεικόνιση των υπολογισμών προτείνεται η εξαγωγή των αποτελεσμάτων και η δημιουργία εφαρμογής απεικόνισης

σε περιβάλλον τύπου Cad, Matlab ή αντίστοιχου. Επιπλέον θα μπορούσε μελλοντικά να κατασκευαστεί κάποιο περαιτέρω μοντέλο στο Excel ή στο Matlab ή οπουδήποτε αλλού το οποίο να εστιάζει αποκλειστικά στην προστασία των εργαζομένων και να προτείνει τα κατάλληλα μέτρα ηχοπροστασίας για αυτούς σε σχέση με χωροτοποθέτηση των πηγών γύρω τους. Ακόμα στις περιπτώσεις που το ζητούμενο εκτός από την προστασία είναι και η αισθητική ομορφιά θα μπορούσε να κατασκευαστεί ένα μοντέλο το οποίο να προτείνει μεθόδους ηχομείωσης με φυσικά μέσα και τους τρόπους χρησιμοποίησής τους.

Τέλος για μεγαλύτερη ακρίβεια θα πρέπει μελλοντικά να αναπτυχθεί λογισμικό βασισμένο και στη μέθοδο των εικόνων (image source methods) και των ηχητικών ακτινών (ray tracing) σε περιβάλλον προγραμματισμού (λ.χ. matlab, mathematica, C++) ούτως ώστε να είναι δυνατόν να ληφθεί υπόψιν η αναλυτική χωρική και συχνотική κατευθυντικότητα των ηχητικών πηγών, οι πολλαπλές ανακλάσεις και η διάθλαση κατά τη διάδοση στη ατμόσφαιρα.



# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

**ΥΠΟΥΡΓΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ: Αριθ. Οικ. 56206/1613/86 (ΦΕΚ 570/Β/9-9-86)**

Προσδιορισμός της ηχητικής εκπομπής των μηχανημάτων και συσκευών εργοταξίου σε συμμόρφωση προς τις οδηγίες 79/113/ΕΟΚ, 81/1051/ΕΟΚ και 85/405/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 19<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου 1978, της 7<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου 1981 και της 11<sup>ης</sup> Ιουλίου 1985.

## Άρθρο 4

### **1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΑΕΡΟΦΕΡΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΠΟΥ ΕΚΠΕΜΠΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΥΠΑΙΘΡΟ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ.**

#### **I. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ**

Η παρούσα μέθοδος αφορά το προσδιορισμό του θορύβου που εκπέμπεται από κάθε τύπο μηχανήματος, τμήματος μηχανήματος ή εγκατάστασης που χρησιμοποιείται στο ύπαιθρο. Τα μηχανήματα, τμήματα μηχανημάτων ή εγκαταστάσεις ονομάζονται στην παρούσα μέθοδο «ηχητικές πηγές».

Η μέθοδος αυτή ορίζει τα διάφορα ακουστικά κριτήρια, που χρησιμοποιούνται για το χαρακτηρισμό μιας ηχητικής πηγής και τον τρόπο προσδιορισμού των.

Οι τιμές που λαμβάνονται με τη μέθοδο αυτή, αποτελούν τα βασικά δεδομένα για τον έλεγχο της συμφωνίας της εκπομπής θορύβου των μηχανημάτων προς τις προδιαγραφές και για την οργάνωση των εργοταξίων με σκοπό την προστασία από το θόρυβο. Εκτός εάν καθορίζεται διαφορετικά, οι τιμές αυτές νοούνται ότι περιέχουν όλες τις ανοχές.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται όπως έχει, εκτός εάν ειδικές διατάξεις καθορίζουν διαφορετικές ή συμπληρωματικές διαδικασίες που λαμβάνουν υπόψη τις ιδιομορφίες ορισμένων τύπων μηχανημάτων.

## II. ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

- Τύπος θορύβου

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε κάθε τύπο θορύβου που εκπέμπεται από μια ηχητική πηγή που χρησιμοποιείται στο ύπαιθρο.

- Διαστάσεις της ηχητικής πηγής.

Η μέθοδος αυτή αφορά ηχητικές πηγές όλων των διαστάσεων εκτός εάν ειδικές διατάξεις καθορίζουν διαφορετικές διαστάσεις.

## III. ΟΡΙΣΜΟΙ

- **Στάθμη ηχητικής πίεσης  $L_pA$ .**

Η στάθμη ηχητικής πίεσης  $L_pA$  προσδιορίζεται με τη χρήση σταθμιστικού κυκλώματος A στη στάθμη ηχητικής πίεσης  $L_p$  σε **dB**.

$$L_p = 20 \cdot \log(P/P_0)$$

όπου  $\rightarrow p$  είναι η ενεργός τιμή της ηχητικής πίεσης μετρούμενη σε καθοριζόμενο σημείο και εκφράζεται σε Pa,

$\rightarrow P_0$  είναι η ενεργός ηχητική πίεση αναφοράς, ίση προς 20μPa.

- **Επιφάνεια μέτρησης**

Η επιφάνεια μέτρησης εμβαδού S είναι μία υποθετική επιφάνεια που περιβάλλει την ηχητική πηγή και πάνω στην οποία βρίσκονται τα σημεία μέτρησης.

- **Στάθμη επιφανειακής ηχητικής πίεσης  $L_{pAm}$ .**

Η στάθμη επιφανειακής ηχητικής πίεσης  $L_{pAm}$  είναι η μέση τετραγωνική ρίζα των πιέσεων ήχου που καταγράφονται στην επιφάνεια μέτρησης.

- **Στάθμη ηχητικής ισχύος  $L_{wA}$ .**

Η στάθμη ηχητικής ισχύος  $L_{wA}$  λαμβάνεται με τη χρησιμοποίηση του σταθμιστικού κυκλώματος A στη στάθμη ηχητικής ισχύος  $L_w$  σε **dB**.

$$L_w = 10 \cdot \log(W/W_0)$$

όπου  $\rightarrow W$  είναι η ολική ηχητική ισχύς που εκπέμπεται από την πηγή σε **Watt**.

$\rightarrow W_0$  είναι η ηχητική ισχύς αναφοράς, ίση προς  $10^{-12}w$ .

- **Οριακή τιμή της στάθμης ηχητικής ισχύος  $L_{WA1}$ .**

Η οριακή τιμή της στάθμης ηχητικής ισχύος,  $L_{WA1}$ , σε **dB (A)**, καθορίζεται από ειδικές διατάξεις.

- **Δείκτης κατευθυντικότητας (DI).**

Ο δείκτης κατευθυντικότητας (**DI**) εκφράζεται σε **dB**, χρησιμοποιείται για την εφαρμογή της παρούσας μεθόδου και ορίζεται από τον τύπο:

$$DI=LpA_{max}-LpA_m+3$$

Όπου  $\rightarrow LpA_{max}$  είναι η μεγαλύτερη από τις στάθμες ηχητικής πίεσης που καταγράφονται στα σημεία μέτρησης.

$\rightarrow LpA_m$  είναι η στάθμη επιφανειακής ηχητικής πίεσης

$\rightarrow$  Το **3** είναι ένας συμβατικός προσθετικός όρος.

Για τον προσδιορισμό των τιμών του  $LpA_{max}$  και του  $LpA_m$  λαμβάνονται υπόψη μόνο τα προδιαγραφόμενα σημεία μέτρησης.

- **Ξένοι θόρυβοι**

Με την έκφραση «ξένος θόρυβος» νοείται ο θόρυβος που προκύπτει από το θόρυβο βάθους και από τον παρασιτικό θόρυβο.

- **Θόρυβος βάθους.**

Με την έκφραση «θόρυβος βάθους» νοείται κάθε παρατηρούμενος στα σημεία μέτρησης θόρυβος που δεν παράγεται από την ηχητική πηγή.

- **Παρασιτικός θόρυβος.**

Με την έκφραση «παρασιτικός θόρυβος» νοείται κάθε παρατηρούμενος στα σημεία μέτρησης θόρυβος, που παράγεται από την ηχητική πηγή αλλά που δεν εκπέμπεται κατευθείαν από αυτή.

#### **IV. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΦΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.**

##### **1) Ακουστικά κριτήρια για το περιβάλλον.**

Το ακουστικό κριτήριο για το περιβάλλον μιας ηχητικής πηγής εκφράζεται:

- Είτε από τη στάθμη ηχητικής ισχύος της ηχητικής πηγής  $L_{WA}$ .
- Είτε από τη στάθμη ηχητικής ισχύος της ηχητικής πηγής  $L_{WA}$  συμπληρωμένης από το δείκτη κατευθυντικότητας (DI).

## **2) Ακουστικό κριτήριο στη θέση εργασίας.**

Το ακουστικό κριτήριο στη θέση εργασίας εκφράζεται, καταρχήν, σε στάθμη ακουστικής πίεσης  $L_{pA}$ .

## **3) ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΣ**

Ο εξοπλισμός σχεδιάζεται για τη μέτρηση της A ηχοστάθμης της τετραγωνικής μέσης ηχητικής πίεσης.

## **4) Όργανα μέτρησης**

Χρησιμοποιούνται τα πιο κάτω αναφερόμενα όργανα.

*α)* Ένα ηχώμετρο που πληροί τουλάχιστον τους όρους της Δημοσίευσης της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής **CEI 651**, πρώτη έκδοση 1979 για τον τύπο των οργάνων της κατηγορίας 1.

*β)* Ένας ολοκληρωτής που πραγματοποιεί μία αναλογική ή ψηφιακή ολοκλήρωση του τετραγώνου του σήματος μέσα σ' ένα δεδομένο χρονικό διάστημα.

*γ)* Ακόμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μικρόφωνο με καλώδιο που συμφωνεί με τις απαιτήσεις **CEI 651**, 1<sup>η</sup> έκδοση 1979 και έχει βαθμονομηθεί για μετρήσεις σε ελεύθερο πεδίο.

*δ)* Και επιπλέον χρησιμοποιείται και ένα σταθμιστικό κύκλωμα A που πληροί τις προδιαγραφές του **CEI 651**, 1<sup>η</sup> έκδοση 1979.

Πρέπει να γίνεται τακτικός έλεγχος των συσκευών μέτρησης πριν από τις δοκιμές.

## **5) ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

Όλες οι λεπτομέρειες που αφορούν την εγκατάσταση, λειτουργία και χρησιμοποίηση κάθε ηχητικής πηγής καθορίζονται με ειδικές διατάξεις.

## **6) Αντικείμενο της μέτρησης.**

Η προς έλεγχο ηχητική πηγή πρέπει να ορίζεται επακριβώς με τους εξοπλισμούς, όπως για παράδειγμα οι βοηθητικοί εξοπλισμοί, γεννήτρια ισχύος, κ.λπ. που αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα της. Οι ηχητικές πηγές που διαθέτουν εναλλάξιμα εξαρτήματα, όπως οι διάφοροι εξοπλισμοί που εκπληρούν μια ειδική λειτουργία, πρέπει να μετρούνται τουλάχιστον με το βασικό εξοπλισμό. Το αποτέλεσμα της μέτρησης δεν ισχύει παρά μόνο για τον συνδυασμό που ελέγχεται. Εάν είναι απαραίτητο, οι ειδικές διατάξεις καθορίζουν πώς να λαμβάνεται υπόψη, κατά τη διάρκεια της μέτρησης, η ύπαρξη τμημάτων που δεν είναι τμήματα του μηχανήματος (απομονωμένα εργαλεία, κλπ.) αλλά τα οποία είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του.

## **7) Λειτουργία της ηχητικής πηγής κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.**

Για να δημιουργηθούν αναπαραγωγικές συνθήκες και για να είναι δυνατός ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών τιμών ηχητικής εκπομπής της ηχητικής πηγής, καθορίζονται με ακρίβεια, σε ειδικές διατάξεις, οι συνθήκες λειτουργίας της ηχητικής πηγής που πρέπει να τηρούνται κατά τη διάρκεια της μέτρησης.

Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν:

**A)** Δοκιμή της ηχητικής πηγής άνευ φορτίου της οποίας ο κινητήρας λειτουργεί με την ονομαστική του ταχύτητα αλλά χωρίς να λειτουργούν τα εξαρτήματα εργασίας ή μετακινήσεως.

**B)** Δοκιμές πραγματοποιούμενες με φορτίο.

Στην περίπτωση αυτή, οι προδιαγραφόμενες συνθήκες λειτουργίας αντιστοιχούν είτε στον πραγματικό τρόπο εργασίας του μηχανήματος είτε στο συμβατικό τρόπο εργασίας. Για κάθε ηχητική πηγή, οι συνθήκες λειτουργίας καθορίζονται με αντίστοιχες ειδικές διατάξεις.

Είδος εξοπλισμού	Καθαρή εγκαταστημένη ισχύς P σε kW Ηλεκτρική ισχύς Pel <sup>(1)</sup> σε kW Μάζα συσκευής m σε kg Πλάτος κοπής L σε cm	Επιτρεπόμενη στάθμη ακουστικής ισχύος LwA σε dB/1 pW	
		Κατά τη φάση I από 3 Ιανουαρίου 2002	Κατά τη φάση II από 3 Ιανουαρίου 2006
Συμπιεστές (δονούμενοι οδοστρωτήρες και δονούμενες πλάκες και δονούμενοι κριοί)	P≤8	108	105
	8<P≤70	109	106
	P>70	89+11 lgP	86+11 lgP
Ερπυστριοφόροι προωθητές, ερπυστριοφόροι φορτωτές, ερπυστριοφόροι εκσκαφείς - φορτωτές	P≤55	106	103
	P>55	87+11 lgP	84+11 lgP
Τροχοφόροι προωθητές, τροχοφόροι εκσκαφείς - φορτωτές, ανατρεπόμενα οχήματα, ισοπεδωτές, συμπτυκνωτές για χώρους ταφής απορριμμάτων τύπου φορτωτή, αντισταθμιζόμενα ανυψωτικά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης, κινητοί γερανοί, συμπιεστές (μη δονούμενοι οδοστρωτήρες), διαστρωτήρες οδοποιίας, συγκροτήματα υδραυλικής ισχύος	P≤55	104	101
	P>55	85+11 lgP	82+11 lgP
Εκσκαφείς αναβατώρια για δομικά υλικά	P≤15	96	93
Βαρούλκα δομικών κατασκευών, μοτοσκαπτικές φρέζες	P≥15	83+11 lgP	80+11 lgP
Χειροκατευθυνόμενες συσκευές θραύσης σκυροδέματος και αεροσφύρες	m≤15	107	105
	15<m<30	94+11 lgP	92+11 lgP
	m>30	96+11 lgP	94+11 lgP
Πυργογερανοί		98+11 lgP	96+ lgP
Ηλεκτροπαραγωγή Ζεύγη συγκόλλησης και ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη ισχύος	Pel≤2	97+ lg Pel	95+ lg Pel
	2<Pel≤10	98+ lg Pel	96+ lg Pel
	10>Pel	97+ lg Pel	95+ lg Pel
Αεροσυμπιεστές	P≤15	99	97
	P>15	97+2 lgP	95+2 lgP
Χλοοκοπτικές μηχανές, μηχανές ξακρίσματος χλοοτάπητα, μηχανές ξακρίσματος παρυφών χλοοτάπητα	L≤50	96	94 <sup>(2)</sup>
	50<L≤70	100	98
	70<L≤120	100	98 <sup>(2)</sup>
	L>120	105	103 <sup>(2)</sup>

**Πίνακας 16 . Συνθήκες λειτουργίας κατασκευαστικών μηχανημάτων .**

## 8) Θέση μέτρησης.

Η ηχητική πηγή εγκαθίσταται υπό συνθήκες ελεύθερου πεδίου και εκτός αντιθέτου προδιαγραφής, επί ανακλώντος επιπέδου που αντιστοιχεί στον πραγματικό τρόπο λειτουργίας της και σε μια θέση στην οποία οι ξένοι θόρυβοι είναι αρκούτως ασθενείς. Όταν η προβλεπόμενη δοκιμή σε μια ειδική διάταξη απαιτεί την χρήση ενός μη ανακλώντος εδάφους (π.χ. ένα χορταριασμένο έδαφος) οι ακουστικές ιδιότητες του εδάφους καθορίζονται επακριβώς. Η θέση μέτρησης δεν περιέχει κανένα ανακλαστικό εμπόδιο ικανό να επηρεάσει τα αποτελέσματα της μέτρησης.

Εάν χρησιμοποιείται μια ηχητική πηγή αναφοράς, πρέπει να έχει τα ελάχιστα χαρακτηριστικά που καθορίζονται στο πρότυπο **ISO 3741**, παράρτημα **B** έκδοση της 15<sup>ης</sup> Ιουλίου 1975.

## 9) Επιφάνεια μέτρησης, απόσταση μέτρησης, εντοπισμός και αριθμός σημείων μέτρησης.

Η επιφάνεια μέτρησης είναι η υποθετική επιφάνεια που περιβάλλει την ηχητική πηγή και οριοθετείται από το εμβαδόν της περιοχής δοκιμής στην οποία είναι τοποθετημένο το μηχάνημα. Είναι δυνατόν επίσης να οριοθετείται από πολλά επίπεδα. Πρέπει να είναι απλού γεωμετρικού σχήματος κατά προτίμηση μια επιφάνεια οριοθετούσα ένα ημισφαίριο ή ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο. Η ηχητική πηγή τοποθετείται στο κέντρο της περιοχής δοκιμής. Στην περίπτωση του ημισφαιρίου, ο όρος αυτός εκπληρώνεται όταν η απόσταση μεταξύ του ημισφαιρίου και της εξωτερικής επιφάνειας του μηχανήματος δεν είναι μικρότερη του διπλάσιου της μεγαλύτερης διάστασης (μήκους, πλάτους, ύψους) της ηχητικής πηγής. Αν ουδεμία διάσταση της προς έλεγχο ηχητικής πηγής δεν υπερβαίνει τα 4m, η επιφάνεια μέτρησης ορίζεται κατά προτίμηση από ένα ημισφαίριο ακτίνας 10m. Αν καμιά διάσταση δεν υπερβαίνει το 1,5m η επιφάνεια μέτρησης ορίζεται κατά προτίμηση από ένα ημισφαίριο ακτίνας 4m. Στην περίπτωση πολύ μεγάλων ηχητικών πηγών που αντιμετωπίζονται δυσκολίες πρακτικής φύσης για την εκτέλεση των δοκιμών, επιλέγεται τότε παραλληλεπίπεδη επιφάνεια. Όταν σε ειδικές διατάξεις ορίζονται ειδικές επιφάνειες μέτρησης, λαμβάνονται μόνον αυτές.

### **Σημειώσεις**

i) Τα προεξέχοντα τμήματα της ηχητικής πηγής που δεν συμβάλλουν αισθητά στην ακουστική εκπομπή, δεν λαμβάνονται υπόψη για τον προσδιορισμό των διαστάσεων της ηχητικής πηγής.

ii) Για τις ηχητικές πηγές των οποίων η μεγαλύτερη των τριών διαστάσεων (μήκος, πλάτος, ύψος) είναι ανώτερη της μισής απόστασης μέτρησης, υπάρχει αυξημένη αβεβαιότητα για τα αποτελέσματα της μέτρησης. Η αβεβαιότητα αυτή είναι δυνατόν να μειωθεί με την αύξηση του αριθμού των σημείων μέτρησης. Αν η απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών σημείων μέτρησης είναι μικρότερη της απόστασης μέτρησης, η ακρίβεια της μέτρησης είναι συγκρίσιμη προς αυτή που λαμβάνεται με το ημισφαίριο.

#### **α) Εντοπισμός και αριθμός σημείων μέτρησης.**

Αν λόγω του γεωμετρικού της σχήματος ή του τρόπου λειτουργίας της, (παραδείγματος χάρη μετατόπιση), η ηχητική πηγή χρειάζεται ειδικό προσανατολισμό, τα σημεία μέτρησης κατανομούνται με βάση ένα σύστημα συντεταγμένων που καθορίζεται ανάλογα με την περίπτωση. Η αρχή του συστήματος συντεταγμένων πρέπει, εάν είναι δυνατόν να συμπίπτει με την προβολή του γεωμετρικού κέντρου της ηχητικής πηγής στην περιοχή δοκιμών.

### **β)Θέση των σημείων μέτρησης με παραλληλεπίπεδο.**

Ο αριθμός των σημείων μέτρησης και η διάταξή τους εξαρτώνται από το μέγεθος της πηγής. Πρέπει πάντως να προβλέπεται ένα τουλάχιστον σημείο μέτρησης στο κέντρο κάθε πλευράς (κατά γενικό κανόνα οι 4 πλευρικές έδρες και η επάνω έδρα) και στις 4 γωνίες της επάνω έδρας του παραλληλεπιπέδου. Οι ειδικές διατάξεις είναι δυνατόν να καθορίζουν διαφορετική διάταξη και αριθμό για τα σημεία μέτρησης.

## **10) Μετρήσεις στη θέση εργασίας.**

Αν η λειτουργία του μηχανήματος απαιτεί την παρουσία προσωπικού (π.χ. χειριστής) πρέπει να γίνονται συμπληρωματικές μετρήσεις στη θέση εργασίας.

Λεπτομερείς καθοριστικοί όροι αναγράφονται σε ειδικές διατάξεις.

## **11) ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

Πρέπει να ελέγχονται οι συνθήκες περιβάλλοντος της θέσης των μετρήσεων πριν από την πραγματοποίηση της μέτρησης. Οι συντελεστές επίδρασης που πρέπει να ελέγχονται είναι οι ακόλουθοι:

**α) Ξένοι θόρυβοι.**

**β) Επίδραση του ανέμου.**

**γ) Συνθήκες λειτουργίας: παραδείγματος χάρη κραδασμοί, θερμοκρασία, υγρομετρικός βαθμός, βαρομετρική πίεση.**

**δ) Ακουστική ποιότητα της περιοχής δοκιμής.**

**ε) Ακουστικές ανακλάσεις πάνω σε εμπόδια που υπάρχουν στην θέση μέτρησης και που είναι ικανές να τροποποιήσουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων.**

Οι ξένοι θόρυβοι που πρέπει να ληφθούν υπόψη προσδιορίζονται σύμφωνα με:

**i) Μέτρηση του θορύβου βάθους.**

Ο θόρυβος βάθους καταγράφεται στα σημεία μέτρησης όταν η ηχητική πηγή δεν βρίσκεται σε λειτουργία

**ii) Μέτρηση του παρασιτικού θορύβου.**

Ο παρασιτικός θόρυβος καταγράφεται στα σημεία μέτρησης, ενδεχομένως μετά από μόνωση με ηχοπετάσματα της προς εξέταση ηχητικής πηγής.

Σημείωση:



Για αυτά τα ηχοπετάσματα μία επιφανειακή μάζα  $25\text{kg/m}^2$  είναι εν γένει αρκετή. Η προς την ηχητική πηγή πλευρά του ηχοαπετάσματος κατά προτίμηση είναι απορροφητική.

**- Ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου.**

Η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου προσδιορίζονται σε ένα σημείο πάνω από την επιφάνεια των δοκιμών.

**- Μέτρηση θερμοκρασίας της υγρασίας της βαρομετρικής πίεσεως και των άλλων μεγεθών επίδρασης.**

Πραγματοποιούνται μόνον οι μετρήσεις των μεγεθών επίδρασης που είναι ικανά να μεταβάλλουν τις ακουστικές μετρήσεις.

**- Μέτρηση ακουστικής ποιότητας της επιφάνειας δοκιμών.**

Η ακουστική ποιότητα της περιοχής χαρακτηρίζεται από τη σταθερά περιβάλλοντος C. Θα δίδεται επίσης η ακολουθητέα διαδικασία, για το προσδιορισμό της τιμής C. Η σταθερά αυτή επιτρέπεται επίσης να προσδιορίζεται εάν το μερικώς ανακλών έδαφος δύναται να χρησιμοποιείται εγκύρως σαν επιφάνεια δοκιμών.

**- Παρουσία εμποδίων.**

Ένας οπτικός έλεγχος είναι εν γένει επαρκής για να εξασφαλισθεί η τήρηση των διατάξεων. Η προς έλεγχο ζώνη καθορίζεται από άλλες ειδικές διατάξεις.

**-Μέτρηση στάθμης της ηχητικής πίεσεως  $L_{pA}$ .**

Για τη μέτρηση της στάθμης ηχητικής πίεσης  $L_{pA}$  χρησιμοποιείται ένα όργανο οριζόμενο. Η στάθμη ηχητικής πίεσης  $L_{pA}$ , σε ένα δεδομένο σημείο μέτρησης, αντιστοιχεί στην χρονική μέση τετραγωνική τιμή των ηχητικών πίεσεων. Αν χρησιμοποιείται ένα ηχόμετρο, πραγματοποιείται, στο σημείο αυτό, ένας ορισμένος αριθμός αναγνώσεων των οποίων λαμβάνεται η χρονική μέση τιμή.

Η διάρκεια μέτρησης είναι 15 δευτερόλεπτα σε κάθε σημείο μέτρησης. Στην περίπτωση κύκλων εργασίας με περιοδικές μεταβολές στάθμης, η διάρκεια μέτρησης είναι τουλάχιστον τρεις πλήρεις κύκλοι εργασίας. Εάν χρησιμοποιείται ένα ηχόμετρο ολοκληρωτής, ο χρόνος ολοκλήρωσης είναι ίσος προς τον χρόνο μέτρησης.

**12) Επισήμανση της φύσης του θορύβου που παράγεται από την ηχητική πηγή.**

Για λόγους προστασίας του περιβάλλοντος, πρέπει να είναι γνωστή η φύση του εκπεμπόμενου θορύβου για να εκτιμάται η ενόχληση. Κατά συνέπεια, ενδείκνυται να

προσδιορισθεί μια μέθοδος για τη διάκριση ενός θορύβου με παλμικό χαρακτήρα και ενός θορύβου με διακεκριμένους τόνους.

### **Επισημάνση ενός θορύβου με παλμικό χαρακτήρα.**

Η σύγκριση των ενδείξεων ενός ηχομέτρου ακριβείας «βραδείας» απόκρισης και ενός ηχομέτρου ακριβείας σε θέσει λειτουργίας «παλμοί» (δημοσίευση **CEI 651 A/1979**) επιτρέπεται να προσδιορισθεί αν ο θόρυβος είναι παλμικού χαρακτήρα. Ως ένδειξη του παλμικού χαρακτήρα του θορύβου, λαμβάνεται κατά την παρούσα μέθοδο η χρονική τετραγωνική μέση τιμή της διαφοράς μεταξύ της στάθμης ηχητικών πιέσεων που μετρήθηκαν με το ηχώμετρο, αφ' ενός, στην «βραδεία» θέση λειτουργίας και αφ' ετέρου, στην θέση λειτουργίας «παλμοί». Η στάθμη ηχητικής πίεσης που μετρείται στη θέση λειτουργίας «παλμοί» ονομάζεται «παλμική στάθμη ηχητικής πίεσης». Οι προσδιορισμοί αυτοί πραγματοποιούνται σε ένα εκ των προδιαγραφόμενων σημείων μέτρησης. Ένας θόρυβος χαρακτηρίζεται σαν παλμικού χαρακτήρα αν η διαφορά μεταξύ των δύο ανωτέρω κατονομαζόμενων σταθμών είναι μεγαλύτερη ή ίση με **4 dB**.

## **13) ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

### **A. Υπολογισμός των επιπέδων της μέσης στάθμης.**

#### **- Επίπεδο μέσης στάθμης σε ένα σημείο μέτρησης.**

Οι τιμές που προκύπτουν από τις μετρήσεις, είναι χρονικές τετραγωνικές μέσες τιμές.

#### **- Επίπεδο μέσης στάθμης στην επιφάνεια μέτρησης.**

Από τις τιμές που λαμβάνονται υπολογίζεται η στάθμη που αντιστοιχεί στην χωρική τετραγωνική μέση στάθμη των ηχητικών πιέσεων του συνόλου των σημείων μέτρησης.

### **B. Υπολογισμός της μέσης στάθμης των ξένων θορύβων.**

Η μέση στάθμη των ξένων θορύβων στην επιφάνεια μέτρησης λαμβάνεται στις προσδιοριζόμενες στα διάφορα σημεία μέτρησης στάθμης των ξένων θορύβων.

Η στάθμη των ξένων θορύβων σ' ένα σημείο μέτρησης είναι ίση προς τη θέση του τετραγωνικού αθροίσματος των ηχητικών πιέσεων που οφείλονται αντιστοίχως στο θόρυβο βάθους και στους παρασιτικούς θορύβους στο σημείο αυτό.

### C. Υπολογισμός του **S** της επιφανείας μέτρησης.

Στην περίπτωση ενός ημισφαιρίου το εμβαδόν **S** εκφραζόμενο σε **m<sup>2</sup>** της επιφάνειας μέτρησης είναι ίσο με **S = 2π r<sup>2</sup>** όπου **r** – ακτίνα του ημισφαιρίου μέτρησης σε **m**.

Στην περίπτωση ενός παραλληλεπιπέδου, το εμβαδόν **S** εκφραζόμενο σε **m<sup>2</sup>** της επιφάνειας μέτρησης είναι ίσο προς:

$$S = 4 (ad + bc + ca)$$

όπου →**2a = 2d + l** μήκος της επιφάνειας μέτρησης σε **m**

→**2b = 2d + e** πλάτος της επιφάνειας μέτρησης σε **m**

→**e = d + h** ύψος της επιφάνειας μέτρησης σε **m**.

→**d** απόσταση μεταξύ της επιφάνειας μέτρησης και ηχητικής πηγής σε **m**

→**l** μήκος της ηχητικής πηγής σε **m**

→**e** πλάτος της ηχητικής πηγής σε **m**

→**h** ύψος της ηχητικής πηγής σε **m**

Το εμβαδόν της επιφάνειας μέτρησης δύναται να υπολογισθεί κατά προσέγγιση. Πρέπει να σημειωθεί ότι σφάλμα **±20%** στον υπολογισμό του εμβαδού αυτού οδηγεί σε μια απόκλιση **±1 dB** υπό του όρου.

$$10 \log_{10} S/S_0 \text{ (επιφανειακή στάθμη)}$$

### D. Υπολογισμός της στάθμης ηχητικής ισχύος **L<sub>WA</sub>**.

Η στάθμη ηχητικής ισχύος **L<sub>WA</sub>** της ηχητικής πηγής υπολογίζεται με τη βοήθεια της ακόλουθης σχέσεως:

$$L_{WA} = L_{pAm} + \log_{10} S/S_0 + K^2$$

Όπου →**L<sub>WA</sub>** στάθμη ηχητικής ισχύος της δοκιμαζόμενης ηχητικής πηγής εκφραζόμενης σε **dB**

→**L<sub>pAm</sub>** στάθμη επιφανειακής ηχητικής πίεσης, εκφραζόμενης σε **dB**

→**S** εμβαδόν της επιφάνειας μέτρησης εις **m<sup>2</sup>**

→So εμβαδόν αναφοράς  $1\text{m}^2$ .

→ $K_2$  διορθωτικός όρος σχετικός προς το εμβαδόν δοκιμών σε **dB**. Είναι ίσος προς μηδέν εκτός εάν, λαμβανομένων υπόψη των ειδικών διατάξεων πρέπει να είναι ίσος προς C.

## **ΠΡΟΕΔΡΙΚΟ ΔΙΑΤΑΓΜΑ: 85/91 (ΦΕΚ 38/A/18-3-1991)**

### **1. Προστασία των εργαζομένων από τους κινδύνους που διατρέχουν λόγω της έκθεσής τους στο θόρυβο κατά την εργασία, σε συμμόρφωση προς την οδηγία 86/188/ΕΟΚ.**

#### **Άρθρο 1**

Με το παρόν Προεδρικό Διάταγμα λαμβάνονται μέτρα για την προστασία των εργαζομένων από τους κινδύνους που διατρέχουν λόγω της έκθεσής τους στο θόρυβο κατά την εργασία σε συμμόρφωση προς την Οδηγία **86/188/ΕΟΚ** του Συμβουλίου (**ΕΕ L 137/24.5.86, σελ. 28**).

#### **Άρθρο 2**

##### **➤ Εννοιολογικοί προσδιορισμοί**

Οι τεχνικοί όροι που αναφέρονται νοούνται ως εξής:

1. Ημερήσια ατομική ηχοέκθεση ενός εργαζομένου  $L_{EP, d}$ .

Η ημερήσια ατομική ηχοέκθεση ενός εργαζόμενου εκφράζεται σε **dB(A)** με την εξίσωση:

$$L_{EP, d} = L_{Aeq, T_e} + 10 \cdot \log (T_e / T_0)$$

**Και**

$$L_{Aeq, T_e} = 10 \cdot \log \left\{ \frac{1}{T_e} \int_0^{T_e} [P_A(t) / P_0]^2 dt \right\}$$

όπου → $T_e$ : η ημερήσια διάρκεια της ατομικής ηχοέκθεσης ενός εργαζομένου

→ $T_0$ : 8 ώρες = 28.800 δευτερόλεπτα

→ $P_0$ : 20  $\mu$  Pa

→ $P_A$ : η τιμή σε **PASCAL** της στιγμιαίας A- σταθμισμένης ηχητικής πίεσης στην οποία εκτίθεται, στον αέρα από ατμοσφαιρική πίεση, ένα άτομο ανεξάρτητα από

τις μετακινήσεις του κατά την εργασία. Προσδιορίζεται με μετρήσεις που διενεργούνται στις θέσεις όπου βρίσκονται τα αυτιά του ατόμου κατά την εργασία, κατά προτίμηση την στιγμή της απουσίας του, χρησιμοποιώντας τεχνική που να ελαχιστοποιεί την επίδραση στο ηχητικό πεδίο. Στην ημερήσια ατομική ηχοέκθεση δεν λαμβάνεται υπόψη η επίδραση οποιουδήποτε ατομικού ηχοπροστατευτικού μέσου, που θα μπορούσε να έχει χρησιμοποιηθεί.

2. Εβδομαδιαίος μέσος όρος των ημερήσιων τιμών  $L_{EP,W}$ .

Ο εβδομαδιαίος μέσος όρος των ημερήσιων τιμών υπολογίζεται με την εξής εξίσωση:

$$L_{EP,W} = 10 \cdot \log \left[ \frac{1}{5} \cdot \sum_{k=2}^m 10^{0,1(L_{EP,d})^k} \right]$$

όπου  $\rightarrow (L_{EP,d})^k$  είναι οι τιμές της  $L_{EP,d}$  για κάθε μία από τις m ημέρες εργασίας της υπόψη εβδομάδας.

### Άρθρο 3

#### ➤ Εκτίμηση του θορύβου

1. Ο θόρυβος κατά την εργασία εκτιμάται και εφόσον υπάρχει ανάγκη και μετριέται.

2. Η εκτίμηση και η μέτρηση του θορύβου προγραμματίζονται και πραγματοποιούνται κατά τον ενδεδειγμένο τρόπο σε κατάλληλα χρονικά διαστήματα υπό την ευθύνη του εργοδότη. Κάθε δειγματοληψία πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική της ημερήσιας ατομικής ηχοέκθεσης του εργαζόμενου. Πρέπει να διαπιστώνεται αν, στη συγκεκριμένη περίπτωση, γίνεται υπέρβαση των τιμών που καθορίζονται στο παρόν Π.Δ/γμα.

3. Είναι δυνατόν αντί της ατομικής ηχοέκθεσης να μετράται ο θόρυβος στη θέση εργασίας.

Στην περίπτωση αυτή, το κριτήριο της ατομικής ηχοέκθεσης αντικαθίσταται από την ηχοέκθεση στις θέσεις εργασίας στην καθημερινή διάρκεια εργασίας τουλάχιστον οκτώ ωρών. Η εκτίμηση και το πρόγραμμα μετρήσεων γίνονται από τον εργοδότη σε συνεργασία με την Επιτροπή Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας (Ε.Υ.Α.Ε.) ή τον αντιπρόσωπο των εργαζομένων σύμφωνα με τις διατάξεις του ν. 1568/85. Όπου δεν υπάρχει τέτοια επιτροπή ή αντιπρόσωπος των εργαζομένων η διαβούλευση γίνεται με τους ίδιους τους εργαζόμενους. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων θορύβου φυλάσσονται στην επιχείρηση τουλάχιστον για 10 χρόνια και είναι στη διάθεση των

εργαζομένων που εκτίθενται από θόρυβο, του τεχνικού Ασφαλείας, του Γιατρού Εργασίας, των μελών της Ε.Υ.Α.Ε. ή αν δεν υπάρχει, του αντιπροσώπου των εργαζομένων καθώς επίσης και της Επιθεώρησης Εργασίας.

#### Άρθρο 4

##### ➤ Ενημέρωση εργαζομένων

Όταν η ημερήσια ατομική ηχοέκθεση ενός εργαζομένου ή η μέγιστη τιμή στιγμιαίας μη σταθμισμένης ηχητικής πίεσης είναι πιθανό να υπερβούν τα **85 dB(A)** και τα **200 Pa** αντίστοιχα λαμβάνονται μέτρα για να εξασφαλιστεί ότι:

i) στους εργαζομένους και/ή στους εκπροσώπους τους στην επιχείρηση παρέχεται κατάλληλη ενημέρωση και ενδεχομένως, εκπαίδευση για:

α) τους πιθανούς κινδύνους που διατρέχει η ακοή τους από την ηχοέκθεση, λαμβανομένων υπόψη και των διατάξεων του άρθρου 6,

β) τα μέτρα που λαμβάνονται κατ' εφαρμογή του παρόντος νόμου,

γ) την υποχρέωσή τους να συμμορφώνονται με τα προστατευτικά και προληπτικά μέτρα που λαμβάνονται βάσει του άρθρου 5,

τη χρησιμοποίηση ατομικών ηχοπροστατευτικών μέσων και το ρόλο της παρακολούθησης της λειτουργίας της ακοής σύμφωνα με το άρθρο 7.

ii) Οι εργαζόμενοι και/ή οι εκπρόσωποί τους στην επιχείρηση ή στην εγκατάσταση έχουν πρόσβαση στα αποτελέσματα της εκτίμησης και μέτρησης του θορύβου που έχουν διενεργηθεί και μπορούν να λάβουν διευκρινίσεις για τη σημασία τους από τον Τεχνικό Ασφάλειας ή τον Γιατρό Εργασίας ή όπου δεν υπάρχουν από τον εργοδότη.

Στις θέσεις εργασίας όπου η ημερήσια ατομική ηχοέκθεση του εργαζόμενου είναι δυνατό να υπερβαίνει τα **85 dB(A)**, οι εργαζόμενοι πρέπει να ενημερώνονται κατάλληλα για το πού και πότε εφαρμόζονται οι διατάξεις του άρθρου 6. Οι θέσεις εργασίας στις οποίες η ημερήσια ατομική ηχοέκθεση του εργαζόμενου είναι δυνατόν να υπερβαίνει τα **90 dB(A)** ή όπου η μέγιστη τιμή της στιγμιαίας μη σταθμισμένης ηχητικής πίεσης τα **200 Pa**, πρέπει να έχουν την κατάλληλη σήμανση, να οριοθετούνται, και αν είναι εύλογα εφικτό, η προσπέλαση σ' αυτές να υπόκειται σε περιορισμούς.

#### Άρθρο 5

### ➤ Μείωση θορύβου

1. Οι κίνδυνοι που δημιουργούνται από την ηχοέκθεση πρέπει να μειώνονται στο κατώτατο επίπεδο λαμβάνοντας υπόψη την τεχνική πρόοδο και τα διαθέσιμα μέτρα ελέγχου του θορύβου ιδίως στην πηγή.

2. Όταν η ημερήσια ατομική ηχοέκθεση ενός εργαζομένου ή η μέγιστη τιμή της στιγμιαίας μη σταθμισμένης ηχητικής πίεσης υπερβούν τα **90 dB(A)** και τα **200 Pa** αντίστοιχα:

α) Προσδιορίζονται οι λόγοι αυτών των υπερβάσεων και ο εργοδότης, με την βοήθεια και του Τεχνικού Ασφαλείας και του Γιατρού Εργασίας της Επιχείρησης, καταρτίζει και εφαρμόζει ένα πρόγραμμα τεχνικών μέτρων και/ή μέτρων οργάνωσης της εργασίας για να μειωθεί εφόσον αυτό είναι εύλογα εφικτό, η ηχοέκθεση των εργαζομένων.

β) Οι εργαζόμενοι και η Ε.Υ.Α.Ε. ή οι αντιπρόσωποί τους στην επιχείρηση ή στην εγκατάσταση ενημερώνονται επαρκώς για τις υπερβάσεις αυτές.

### Άρθρο 6

### ➤ Χρήση ατομικών ηχοπροστατευτικών μέσων

1. Με την επιφύλαξη του άρθρου 5, όταν η ημερήσια ατομική ηχοέκθεση ενός εργαζομένου ή η μέγιστη τιμή της στιγμιαίας μη σταθμισμένης ηχητικής πίεσης υπερβαίνουν τα **90 dB(A)** και τα **200 Pa** αντίστοιχα, πρέπει να χρησιμοποιούνται ατομικά ηχοπροστατευτικά μέσα.

2. Τα ατομικά ηχοπροστατευτικά μέσα πρέπει να παρέχονται σε επαρκή αριθμό από τον εργοδότη, η δε επιλογή του τύπου αυτών των μέσων γίνεται σε συνεργασία με τους ενδιαφερόμενους εργαζόμενους, τον Γιατρό Εργασίας και τον Τεχνικό Ασφαλείας. Τα ηχοπροστατευτικά μέσα πρέπει να είναι προσαρμοσμένα στον κάθε εργαζόμενο και στις συνθήκες εργασίας του λαμβάνοντας υπόψη την ασφάλεια και την υγεία του. Θεωρούνται κατάλληλα και επαρκή αν, εφόσον χρησιμοποιούνται σωστά.

3. Αν η εφαρμογή του παρόντος άρθρου δημιουργεί κίνδυνο ατυχήματος, ο κίνδυνος αυτός πρέπει να μειώνεται, στο μέτρο που αυτό είναι εύλογα εφικτό, με τα κατάλληλα μέτρα.

### Άρθρο 7

### ➤ Ιατρική παρακολούθηση

1. Όταν δεν είναι εύλογα εφικτή η μείωση της ημερήσιας ατομικής ηχοέκθεσης ενός εργαζόμενου σε λιγότερο από **85 dB(A)**, ο εν λόγω εργαζόμενος δικαιούται παρακολούθηση της λειτουργίας της ακοής του από γιατρό.

2. Στόχος είναι η διάγνωση οποιασδήποτε μείωσης της ακοής που οφείλεται στον θόρυβο και η διατήρηση της λειτουργίας της ακοής.

3. Τα αποτελέσματα της παρακολούθησης της λειτουργίας της ακοής των εργαζομένων φυλάσσονται στην επιχείρηση με ευθύνη του εργοδότη. Ο κάθε εργαζόμενος έχει πρόσβαση στα αποτελέσματα που τον αφορούν.

## Άρθρο 8

### ➤ Νέες εγκαταστάσεις

α) Όταν σχεδιάζεται, κατασκευάζεται ή πραγματοποιείται μία νέα εγκατάσταση (νέα εργοστάσια, επεκτάσεις ή τροποποιήσεις υφισταμένων εγκαταστάσεων, εγκατάσταση ή αντικατάσταση μηχανημάτων), ο εργοδότης έχει την ευθύνη της τήρησης των διατάξεων του άρθρου 5 παράγραφος 1. Στη συνέχεια η αρχή που εξέδωσε την άδεια, θα ενημερώνει με κοινοποίηση της, την τοπική Επιθεώρηση Εργασίας του Υπουργείου Εργασίας ώστε οι τεχνικοί υπάλληλοί της να μπορούν να ελέγχουν την ηχοέκθεση των εργαζομένων και γενικώς την τήρηση των διατάξεων κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της εγκατάστασης.

β) Όταν μία νέα διάταξη (εργαλείο, μηχάνημα, συσκευή κλπ.) που προορίζεται να χρησιμοποιηθεί κατά την εργασία, ενδέχεται να προκαλέσει στον εργαζόμενο που την χρησιμοποιεί με τον ενδεδειγμένο τρόπο κατά το συμβατικό οκτάωρο εργασίας, ημερήσια ατομική ηχοέκθεση ίση ή ανώτερη από **85 dB(A)** ή μία στιγμιαία μη σταθμισμένη ηχητική πίεση ίση ή ανώτερη από **200 Pa** πρέπει να υπάρχει διαθέσιμη επαρκής πληροφόρηση από τον εργοδότη για τον προκαλούμενο θόρυβο σε συγκεκριμένες συνθήκες χρησιμοποίησης.

## Άρθρο 9

### ➤ Παρεκκλίσεις

1. Στην περίπτωση που σε μία θέση εργασίας η ημερήσια ατομική ηχοέκθεση του εργαζόμενου κυμαίνεται σημαντικά από την μία μέρα εργασίας στην άλλη, επιτρέπονται παρεκκλίσεις από το άρθρα και τις διατάξεις, αλλά μόνο με την προϋπόθεση ότι ο εβδομαδιαίος μέσος όρος ηχοέκθεσης του εργαζόμενου, όπως



προκύπτει από κατάλληλο έλεγχο, δεν υπερβαίνει την οριακή τιμή που καθορίζεται στις εν λόγω διατάξεις.

2. Σε καταστάσεις που δεν είναι εφικτό να μειωθεί η ημερήσια ατομική ηχοέκθεση σε τιμές κάτω από **90 dB(A)** και να εξασφαλισθεί ότι τα ατομικά ηχοπροστατευτικά μέσα είναι επαρκή και κατάλληλα, οι Επιθεωρήσεις Εργασίας μπορούν να επιτρέψουν παρεκκλίσεις από τη διάταξη αυτή για περιορισμένα χρονικά διαστήματα, που μπορούν όμως να ανανεώνονται. Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή πρέπει να χρησιμοποιούνται ατομικά ηχοπροστατευτικά μέσα που παρέχουν τον υψηλότερο βαθμό προστασίας που είναι εύλογα εφικτός.

Αυτές οι παρεκκλίσεις επανεξετάζονται περιοδικά και ανακαλούνται μόλις αυτό είναι εύλογα εφικτό.

## **Άρθρο 11**

### **➤ Κυρώσεις**

1. Στους παραβάτες επιβάλλονται, ανεξάρτητα από τις ποινικές κυρώσεις του άρθρου 35, οι διοικητικές κυρώσεις του άρθρου 33 του ν. 1568/85 «Υγιεινή και Ασφάλεια των Εργαζομένων», όπως τροποποιήθηκαν με την παρ. 5 του άρθρου 22 του ν. 1682/87 «Μέσα και όργανα αναπτυξιακής πολιτικής-Προγραμματικές Συμφωνίες και αναπτυξιακές συμβάσεις, ένταξη επενδύσεων στα μεσογειακά Ολοκληρωμένα Προγράμματα, τροποποίηση του ν. 1262/1982 και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 14Α/16.2.87).

2. Για τη διοικητική κύρωση του προστίμου όσον αφορά το Δημόσιο, τα Ν.Π.Δ.Δ. και τους Ο.Τ.Α. ισχύει το άρθρο 6 της απόφασης αρ. 88.555/88 που κυρώθηκε με το άρθρο 39 του ν. 1836/89.

3. Ο έλεγχος εφαρμογής του Διατάγματος αυτού ανατίθεται στα αρμόδια όργανα του Υπουργείου Εργασίας.

## **I. ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ**

### **1. Γενικά**

Τα μεγέθη που αναφέρονται στο άρθρο 2:

α) Είτε μετρούνται απευθείας με ηχόμετρα.

β) Είτε υπολογίζονται με βάση τ' αποτελέσματα των μετρήσεων της ηχητικής πίεσης και της διάρκειας της ηχοέκθεσης.

Οι μετρήσεις μπορούν να γίνονται στις θέσεις εργασίας των εργαζομένων ή με τη βοήθεια οργάνων που προσαρτώνται πάνω στο άτομο.

## 2. Τεχνικός εξοπλισμός

α) Αν χρησιμοποιείται ολοκληρωτικό ηχόμετρο μέσου όρου, θα πρέπει να τηρούνται οι προδιαγραφές του «Πρότυπου ΕΛΟΤ 1106» ή ισοδύναμου. Αν χρησιμοποιούνται ηχόμετρα, θα πρέπει να τηρούνται οι προδιαγραφές ΕΛΟΤ 869/86, ή ισοδύναμες. Αν η μέθοδος μέτρησης περιλαμβάνει την εγγραφή δεδομένων σε μαγνητοταινία, τότε κατά την ανάλυσή τους θα λαμβάνονται υπόψη τα ενδεχόμενα σφάλματα που οφείλονται στις διαδικασίες εγγραφής και αναπαραγωγής.

β) Το όργανο που χρησιμοποιείται για την απευθείας μέτρηση της μέγιστης τιμής (κορυφοτιμής) της στιγμιαίας μη σταθμισμένης ηχητικής πίεσης θα έχει σταθερά χρόνου ανόδου όχι μεγαλύτερη από τα 100 μs.

γ) Όλα τα όργανα θα βαθμονομούνται σε εργαστήριο κατά τα ενδεδειγμένα χρονικά διαστήματα.

## 3. Μετρήσεις

α) Διεξάγεται επί τόπου έλεγχος στην αρχή και στο τέλος κάθε ημέρας μετρήσεων.

β) Η μέτρηση της ηχητικής πίεσης θα πρέπει να γίνεται κατά προτίμηση σε αδιατάρακτο ηχητικό πεδίο στη θέση εργασίας και το μικρόφωνο πρέπει να είναι τοποθετημένο στο σημείο όπου βρίσκεται κανονικά το πιο εκτεθειμένο αυτί. Αν η παρουσία του ενδιαφερομένου ατόμου είναι απαραίτητη:

β.1) Το μικρόφωνο θα πρέπει να τοποθετείται σε μία απόσταση από το κεφάλι του που να μειώνει, κατά το δυνατόν την επίδραση της περίθλασης και της απόστασης στη μετρούμενη τιμή (0,1 m είναι μία καλή απόσταση).

β.2) αν το μικρόφωνο πρέπει να τοποθετηθεί πολύ κοντά στο σώμα.

γ) Εν γένει, τα χαρακτηριστικά χρονικής στάθμισης «S» και «F» είναι αξιόπιστα εφόσον το χρονικό διάστημα της μέτρησης είναι μεγάλο σε σχέση με τη σταθερά χρόνου της στάθμισης που έχει επιλεγεί αλλά δεν ενδείκνυται για τον προσδιορισμό του  $L_{Aeq,Te}$  όταν η στάθμη του θορύβου παρουσιάζει ιδιαίτερα γρήγορες διακυμάνσεις.

δ) Έμμεση μέτρηση της ηχοέκθεσης:

Το αποτέλεσμα της απευθείας μέτρησης του  $L_{Aeq,Te}$  μπορεί να υπολογισθεί κατά προσέγγιση εφόσον είναι γνωστή η διάρκεια της ηχοέκθεσης και μετρηθούν οι περιοχές τιμών της ηχοστάθμης που μπορούν να προσδιοριστούν σαφώς. Δειγματοληπτική μέθοδος και στατιστική κατανομή μπορούν να αποδειχθούν χρήσιμες.

#### **4. Ακρίβεια της μέτρησης του θορύβου και του προσδιορισμού της ηχοέκθεσης.**

Ο τύπος των οργάνων και η τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων επηρεάζουν την ακρίβεια της μέτρησης. Κατά τη σύγκριση με μία οριακή τιμή θορύβου, η ακρίβεια της μέτρησης είναι εκείνη που καθορίζει την περιοχή των τιμών των ενδείξεων όταν δεν μπορεί να ληφθεί απόφαση για το αν έχουν ξεπεραστεί οι οριακές τιμές. Αν δεν είναι δυνατό να ληφθεί απόφαση, η μέτρηση πρέπει να επαναληφθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια. Οι μικρής διάρκειας μετρήσεις με απλά ηχόμετρα είναι απόλυτα ικανοποιητικές στην περίπτωση εργαζομένων που επιδίδονται χωρίς να αλλάζουν θέση σε επαναλαμβανόμενες δραστηριότητες που παράγουν. Όταν όμως η ηχητική πίεση στην οποία εκτίθεται ένας εργαζόμενος παρουσιάζει διακυμάνσεις που εκτείνονται σε μεγάλη περιοχή σταθμών και έχουν ακανόνιστα χρονικά χαρακτηριστικά, ο προσδιορισμός της ημερήσιας ατομικής ηχοέκθεσης ενός εργαζόμενου γίνεται πιο περίπλοκος. Στην περίπτωση αυτή η ορθότερη μέθοδος είναι με ολοκληρωτικό ηχόμετρο.

## **II. ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΚΟΗΣ ΤΩΝ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ**

Για την παρακολούθηση της λειτουργίας της ακοής των εργαζομένων λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα:

1. Η παρακολούθηση θα πρέπει να γίνεται σύμφωνα με την πρακτική της ιατρικής της εργασίας και να περιλαμβάνει:

Μία αρχική εξέταση που θα πραγματοποιείται πριν από την έκθεση στο θόρυβο. Περιοδικές εξετάσεις κατά διαστήματα που θα ποικίλουν ανάλογα με τη σοβαρότητα του κινδύνου και θα ορίζονται από το γιατρό.

2. Κάθε εξέταση θα πρέπει να συνίσταται τουλάχιστον σε ωτοσκόπηση σε συνδυασμό με ηχομετρικό έλεγχο, που θα περιλαμβάνει ακοομέτρηση κατωφλίου αερόφερτου καθαρού τόνου σύμφωνα με το σημείο 5.

3. Η αρχική εξέταση θα πρέπει να περιλαμβάνει και το ιατρικό ιστορικό. η αρχική ωτοσκόπηση και ο ηχομετρικός έλεγχος πρέπει να επαναλαμβάνονται εντός 12 μηνών.

4. Η περιοδική εξέταση θα πρέπει να πραγματοποιείται τουλάχιστον κάθε πέντε χρόνια εφόσον η ημερήσια ατομική ηχοέκθεση του εργαζόμενου παραμένει μικρότερη από 90 DB(A).

5. Ο ηχομετρικός έλεγχος θα πρέπει να τηρεί τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ 976/88 ή ισοδυνάμου, που συμπληρώνονται ως εξής:

Η ακοομέτρηση καλύπτει επίσης τη συχνότητα 8000Hz η στάθμη του θορύβου του περιβάλλοντος επιτρέπει τη μέτρηση της στάθμης κατωφλίου ακοής ίσης προς 0 dB σε σχέση με το πρότυπο ΕΛΟΤ 285/80 ή ισοδύναμο. Ωστόσο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες μέθοδοι, αρκεί να δίνουν συγκρίσιμα αποτελέσματα.

## Παράρτημα II

### Φωτογραφικό υλικό

Στις παρακάτω φωτογραφίες απεικονίζονται κάποια από τα μηχανήματα του εργοταξίου από τα οποία μετρήθηκαν οι εκπομπές θορύβου ώστε να αποτελέσουν μέσο πληροφοριών για την εργασία και έλεγχο για το μοντέλο πρόβλεψης θορύβου :



Εικόνα 9 . Ερπυστριοφόρο όχημα Komatsu 400LC με υδραυλική σφύρα.



Εικόνα 10.  
Εσωτερική και εξωτερική εικόνα υδραυλικής σφύρας Rammer 4200 .



Εικόνα 11. Mercedes 3535 σε στάση.



Εικόνα 12. Ερπυστριοφόρο όχημα Liebherr 912 Litronic .



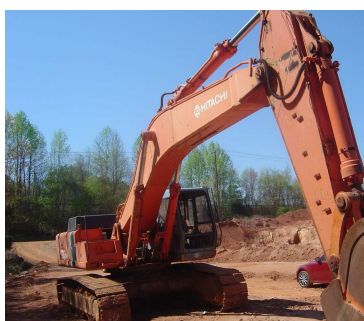
**Εικόνα 13. Ερπυστριοφόρο όχημα Hitachi ex300 Landy**



**Εικόνα 14. Υδραυλική σφύρα Furukawa F35**



**Εικόνα 15 . Ερπυστριοφόρο όχημα Liebherr 934 Litronic**



**Εικόνα 16 . Ερπυστριοφόρο όχημα Hitachi ex400 KHS 4055**



**Εικόνα 17 . Υδραυλική σφύρα Promone .**



**Εικόνα 18 . Ερπυστριοφόρο όχημα Caterpillar 330BL.**



**Εικόνα 19 . Ερπυστριοφόρο όχημα Hitachi ex450H.**



**Εικόνα 20. Ηχοπέτασμα από λαμαρίνα**



**Εικόνα 21. Ηχοπέτασμα από Μπετόν**



**Εικόνα 22. Ηχοπέτασμα από Plexiglass**



**Εικόνα 23. Ηχοπέτασμα από λαμαρίνα στην πηγή**



**Εικόνα 24. Ηχοπέτασμα από αλουμίνιο**



## Παράρτημα III

### Πίνακας Συμβολισμών

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ
W	Ισχύς
Leq	Ισοδύναμη Στάθμη Ηχητικής Πίεσης
LpA	Ηχητική Πίεση
Lw	Ηχητική Ισχύς
LI	Ηχητική Ένταση
Lp	Στάθμη Ηχητικής Πίεσης
Agr	Απορρόφηση Εδάφους
$\lambda$	Μήκος Κύματος
S	Επιφάνεια Μέτρησης
Hav	Μέσο Ύψος Ηχητικής Ακτίνας
Hs	Ύψος Πηγής
Hr	Ύψος Δέκτη
G	Συντελεστής Απορρόφησης Εδάφους
C	Ταχύτητα Αέρα
f	Συχνότητα
N	Αριθμός Fresnel
Abar	Απώλειες Ηχοπετάσματος
Dz	Ηχομείωση Ηχοπετάσματος

Πίνακας 17. Συμβολισμοί

## Βιβλιογραφία

- C. E. Wilson, *Noise Control(Revised Edition)*, Krieger Publishing Company, Malabar, FL 2006
- Δ. Σκαρλάτος, *Εφαρμοσμένη Ακουστική*, Φιλομάθεια , Πάτρα 2003
- David A Bies & Colin H Hansen, *Engineering Noise Control*, Unwin : Hyman, London : Boston 1988
- Leo L Beranek & Istvan L. Ver, *Noise and Vibration Control Engineering*, John Wiley and Sons Inc, New York 1992
- Malcolm J. Crocker, *Handbook Of Noise And Vibration Control*, John Wiley and Sons Inc, New Jersey 2007
- M. David Egan, *Architecture Acoustics*, McGraw-Hill, New York 1988
- R. F. Baron, *Industrial Noise Control and Acoustics*, Marcel Dekker Inc, New York 2003
- X. Μιχαλακοπούλου, *Νομοθεσία για το Περιβάλλον*, Ζήτη, Αθήνα 2004

## Διαδίκτυο

- David G Albert, *Acoustic Surface Waves*,  
[http://snow.usace.army.mil/Snow\\_acoustics/pubs/Jasa2003DAAlbertObservationsSurfaceWaves.pdf](http://snow.usace.army.mil/Snow_acoustics/pubs/Jasa2003DAAlbertObservationsSurfaceWaves.pdf)
- Nord 2000, *Comprehensive Outdoor Sound Propagation*,  
[http://www.madebydelta.com/imported/images/DELTA\\_Web/documents.TC/acoustics/av185100rev.pdf](http://www.madebydelta.com/imported/images/DELTA_Web/documents.TC/acoustics/av185100rev.pdf)
- J. S. Lamancusa, *Outdoor Sound Propagation*,  
[http://www.me.psu.edu/lamancusa/me458/10\\_osp.pdf](http://www.me.psu.edu/lamancusa/me458/10_osp.pdf)