



Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
στις Σύγχρονες Ηλεκτρονικές Τεχνολογίες

Τμήμα Φυσικής
Σχολή Θετικών Επιστημών
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ (Μ.Δ.Ε)

Σύστημα ανάλυσης και αξιολόγησης περιβαλλοντικής ηχορύπανσης

Γρηγόριος Γιώτης

Αριθμός μητρώου: 836

Επιβλέπων καθηγητής: Βασίλειος Χριστοφιλάκης

Ιωάννινα, Ιούλιος 2024

Στη Λούλα και την Αντιγόνη (Άνι)

Για την πολύτιμη βοήθειά τους και γιατί ήταν πάντα δίπλα μου

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του μεταπτυχιακού μου για την ηθική συμπαράσταση και τις ουσιαστικές γνώσεις που μου έδωσαν σε αυτή την ενδιαφέρουσα διαδρομή του μεταπτυχιακού μου.

Ιδιαίτερα θέλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Βασίλη Χριστοφιλάκη για την υποστήριξη και καθοδήγηση στην μεταπτυχιακή μου εργασία, η οποία προσπαθεί να αναδείξει και να παρέχει δεδομένα για το σύγχρονο πρόβλημα του θορύβου μέσα από νέες εφαρμογές .

Περίληψη

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία έχει ως στόχο τη διαμόρφωση ενός «εργαλείου», για την ανάλυση και αξιολόγηση της περιβαλλοντικής ηχορύπανσης, με σκοπό να είναι διαθέσιμες ποιοτικές λεπτομέρειες από μετρήσεις περιβαλλοντικού θορύβου έτσι ώστε να μπορούν να γίνονται παρεμβάσεις και επιπρόσθετες μελέτες, για την αντιμετώπιση αυτού του πολύ σημαντικού προβλήματος της σύγχρονης κοινωνίας.

Προκειμένου να επιτευχθεί με ολοκληρωμένο τρόπο ο σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας κρίθηκε απαραίτητο να αναπτυχθεί στις παρακάτω ενότητες :

Αρχικώς γίνεται μία εισαγωγή για τον ήχο, τον θόρυβο και τα χαρακτηριστικά τους. Αναφέρονται οι στάθμες, οι οριακές τιμές και οι δείκτες μέτρησης του περιβαλλοντικού θορύβου σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα.

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στην Ευρωπαϊκή και την Ελληνική νομοθεσία σε σχέση με τον περιβαλλοντικό θόρυβο και τα όριά του.

Στο κύριο μέρος της εργασίας αφού αναφέρονται τα όργανα με τα χαρακτηριστικά τους, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις της εργασίας, γίνεται λεπτομερής περιγραφή του προγράμματος που δημιουργήθηκε με τη χρήση του λογισμικού LabVIEW και τις δυνατότητές του στην ανάλυση των μετρήσεων και την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής ηχορύπανσης.

Στη συνέχεια, επίσης βασικό μέρος της εργασίας αποτελούν οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στον Νομό Ιωαννίνων, η επεξεργασία τους με το πρόγραμμα και τα παραγόμενα αποτελέσματα για όλους τους βασικούς δείκτες του θορύβου. Οι περιοχές μετρήσεων χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες : τις αστικές (Α) , σημεία ιδιαίτερου ενδιαφέροντος (Β: σχολεία, χώροι ψυχαγωγίας κλπ.) και σε φυσικές περιοχές (Γ: βουνό-ανεμογεννήτριες, ποτάμι).

Λόγω ότι το πρόβλημα του περιβαλλοντικού θορύβου κατατάσσεται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας στους άμεσους κινδύνους που επηρεάζουν την υγεία του ανθρώπου και την ποιότητα ζωής του, κρίθηκε απαραίτητο να γίνει ιδιαίτερη αναφορά στις επιπτώσεις που καταγράφονται και οφείλονται στο ανωτέρω πρόβλημα σύμφωνα με μελέτες .

Στο τελευταίο μέρος της εργασίας αναφέρονται τα συμπεράσματα από την εργασία και κάποιες προτάσεις για την αξιοποίησή της .

Abstract

The objective of this Master's Thesis is to develop a "tool" for the analysis and evaluation of environmental noise pollution. This will provide qualitative details from environmental noise measurements, allowing for interventions and additional studies to address this very significant problem of modern society.

To achieve the purpose of the Thesis in a comprehensive manner, it was deemed necessary to develop the following sections:

Initially, an introduction is provided on sound, noise, and their characteristics. The levels, limit values, and measurement indices of environmental noise are mentioned according to international standards.

Next, European and Greek legislation regarding environmental noise and its limits are discussed.

In the main part of the Thesis, after listing the instruments with their characteristics used for the measurements in the study, there is a detailed description of the program created using LabVIEW software and its capabilities in analyzing the measurements and evaluating environmental noise pollution.

Following this, another fundamental part of the study includes the measurements conducted in the Prefecture of Ioannina, their processing with the program, and the resulting outcomes for all key noise indices. The measurement areas were categorized into three groups: urban areas (A), points of particular interest (B: schools, recreational areas, etc.), and natural areas (C: mountains-wind turbines, rivers).

Since the problem of environmental noise is classified by the World Health Organization as an immediate risk affecting human health and quality of life, it was deemed necessary to specifically address the documented impacts attributed to this issue according to studies.

In the final part of the Thesis, conclusions from the study are presented along with some proposals for its utilization.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή στον Ήχο και τον Περιβαλλοντικό Θόρυβο.....	1
1.1	Ήχος – Θόρυβος	2-4
1.1.1	Ιδιότητες και χαρακτηριστικά του ήχου.....	4-5
1.1.2	Μονάδες μέτρησης ήχου.....	5-6
1.1.3	Συνέπειες περιβαλλοντικού θορύβου.....	6-7
1.2	Στάθμες - Δείκτες– Οριακές τιμές περιβαλλοντικού θορύβου.....	8
1.2.1	Στάθμες περιβαλλοντικού θορύβου.....	8-9
1.2.2	Δείκτες περιβαλλοντικού θορύβου.....	9-10
1.2.3	Οριακές τιμές περιβαλλοντικού θορύβου.....	10-11
Κεφάλαιο 2	Ευρωπαϊκή νομοθεσία - Νομοθεσία στην Ελλάδα - Μετρήσεις και πληροφορίες για τον περιβαλλοντικό θόρυβο	12
2.1	Ευρωπαϊκή νομοθεσία - Νομοθεσία στην Ελλάδα	13
2.1.1	Το Ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο.....	13
2.1.2	Η οδηγία 2002/49/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου.....	13-15
2.1.3	Νομοθεσία στην Ελλάδα.....	15-16
2.2	Μετρήσεις και πληροφορίες για τον περιβαλλοντικό θόρυβο στην Ευρώπη και στην Ελλάδα.....	16
2.2.1	Ευρωπαϊκή Υπηρεσία NOISE.....	16-18
2.2.2	Πληροφορίες για τον περιβαλλοντικό θόρυβο στην Ελλάδα.....	19-21
Κεφάλαιο 3	Όργανα μέτρησης περιβαλλοντικού θορύβου - Μεθοδολογία - Προγράμματα ανάλυσης και επεξεργασίας μετρήσεων	22
3.1	Όργανα μέτρησης - Προγράμματα (λογισμικά)	23
3.1.1	Όργανα μέτρησης	23-24
3.1.2	Πρόγραμμα (λογισμικό) decibelX.....	24-25
3.2	Μεθοδολογία.....	25

3.2.1 Δείκτες και ανάλυση μετρήσεων.....	25
3.2.2 Χρονική περίοδος καταγραφής.....	26
3.2.3 Θέσεις μέτρησης.....	26-27
3.2.4 Στάθμιση χρόνου ,συχνότητας - Βαθμονόμηση οργάνων.....	27
3.2.5 Χρονική διάρκεια μετρήσεων - Στοιχεία μετρήσεων	27-28
3.2.6 Συνθήκες μέτρησης.....	28
Κεφάλαιο 4 Το πρόγραμμα LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) - Το VI (virtual instruments) για την ανάλυσης και αξιολόγησης των μετρήσεων περιβαλλοντικής ηχορύπανσης.....	29
4.1 Το πρόγραμμα LabVIEW.....	30
4.1.1 Γενικές πληροφορίες για το LabVIEW.....	30-31
4.1.2 Το περιβάλλον του LabVIEW.....	31-35
4.1.3 Palettes στο LabVIEW.....	35-36
4.2 Το πρόγραμμα (Vi) της εργασίας για την ανάλυσης και αξιολόγησης των μετρήσεων περιβαλλοντικής ηχορύπανσης.....	37
4.2.1 Το βασικό πρόγραμμα (VI), block diagram, στο LabVIEW.....	37
4.2.2 Τα βασικά δομικά στοιχεία του προγράμματος.....	37-43
4.2.3 Το front panel του προγράμματος.....	43
4.3 Το πρόγραμμα (VI) της εργασίας για ταυτόχρονη εμφάνιση και σύγκριση δυο και τριών μετρήσεων περιβαλλοντικής ηχορύπανσης.....	44
4.3.1 Το πρόγραμμα (Vi) για δύο αρχεία (περιοχές) μετρήσεων.....	44-45
4.3.2 Το πρόγραμμα (Vi) για τρία αρχεία (περιοχές) μετρήσεων.....	45-46
Κεφάλαιο 5 Περιοχές Μετρήσεις - Μετρήσεις - Ανάλυση - Αξιολόγηση - Στατιστικά αποτελέσματα.....	47
5.1 Περιοχές μέτρησης περιβαλλοντικού θορύβου στον Νομό Ιωαννίνων – Ωρες και δείκτες μέτρησης....	48
5.1.1 Τα κριτήρια επιλογής των περιοχών μέτρησης.....	48

5.1.2 Περιγραφή των σημείων μέτρησης σε περιοχές και οδικές αρτηρίες της πόλης των Ιωαννίνων (Α κατηγορία).....	48-49
5.1.3 Ώρες και Δείκτες μέτρησης της Α κατηγορίας.....	49
5.1.4 Περιγραφή των σημείων μέτρησης σε συγκεκριμένα σημεία καθημερινότητας με ενδιαφέρον όπως: σχολική τάξη σε ώρα μαθήματος , αυλή σχολείου σε διάλειμμα , μαγαζιά διασκέδασης (Β κατηγορία)	49-50
5.1.5 Ώρες και Δείκτες μέτρησης της Β κατηγορίας	50
5.1.6 Περιγραφή των σημείων μέτρησης στην φύση με πηγές θορύβου συγκεκριμένων χαρακτηριστικών : ι) Η ροή ποταμού (θόρυβος από φυσικά αίτια) ιι) Πάρκο ανεμογεννητριών σε βουνό (θόρυβος μετά από ανθρώπινες παρεμβάσεις) (Γ κατηγορία)	50-51
5.1.7 Ώρες και Δείκτες μέτρησης της Γ κατηγορίας	51
5.2 Αποτελέσματα Μετρήσεων – Ανάλυση και Αξιολόγηση με το Vi του LabVIEW.....	52
5.2.1 Αποτελέσματα μετρήσεων για τον δείκτη L_{den} και L_{night} στην πόλη των Ιωαννίνων (Α κατηγορία).....	52-54
5.2.2 Αποτελέσματα από την ανάλυση των μετρήσεων του δείκτη L_{eq} σε σημεία με συγκεκριμένο ενδιαφέρον (Β κατηγορία).....	55
5.2.3 Αποτελέσματα από την ανάλυση των μετρήσεων του δείκτη L_{eq} σε σημεία στην φύση (Γ κατηγορία).....	56
5.2.4 Αποτελέσματα από την ανάλυση των μετρήσεων , του δείκτη L_{eq} , στο πάρκο ανεμογεννητριών. (Γ κατηγορία)	56-58
Κεφάλαιο 6 ^ο Περιβαλλοντικός Θόρυβος και Υγεία	59
6.1 Επιπτώσεις του θορύβου στην υγεία.....	60-61
6.2 Ο δείκτης DALYs.....	61-62
6.3 Ο θόρυβος κατά τη διάρκεια της νύχτας.....	62-63
6.4 Παράδειγμα σύγκρισης εκτίμηση κινδύνου υγείας για χρόνια έκθεση στον θόρυβο που σχετίζεται με τις μεταφορές και την ατμοσφαιρική ρύπανση.....	63-64

Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα - Προτάσεις.....	65
7.1 Συμπεράσματα	66-67
7.2 Προτάσεις	67-68
Βιβλιογραφία.....	69-70
Παραρτήματα.....	71
Παραρτήματα I Φωτογραφίες από τα σημεία μετρήσεων.....	71-73
Παράρτημα II Αποτελέσματα από ανάλυση μετρήσεων (front panel). Πίνακες μετρ. – Γραφήματα	74-80

Κατάλογος Σχημάτων

1.1 Σχήμα 1.1: Το ύψος του περιβαλλοντικού θορύβου σε σχέση με τη συχνότητα, από τις μετρήσεις της εργασίας.....	2
1.2 Οι καμπύλες ευαισθησίας ακοής κατά Fletcher-Munson.....	3
1.3 Η μουσική και ο λόγος στην περιοχή ακουστότητας του ανθρώπου	4
1.4 Χαρακτηριστικά παραδείγματα πηγών ήχου	6
1.5 Καμπύλες στάθμισης των φίλτρων A και C.....	8
2.1 Εύρος επιπέδων θορύβου ανά δείκτη /Πηγή: Environmental noise in Europe -2020	18
2.2 Χάρτης της Ευρώπη με τις ποιο ήσυχες ,πιθανές ,γεωγραφικά περιοχές (European Environment Agency	18
2.3 Χάρτης της Ελλάδας με τις ποιο ήσυχες, πιθανές, περιοχές (Euror. Environ. Agency 2016).....	19
2.4 Στρατηγικός χάρτης περιβαλλοντικού θορύβου, για τον δείκτη Lden, του Διεθνούς Αεροδρομίου Αθηνών «Ελ. Βενιζέλος».....	20
3.1 Περιβάλλοντα του decibelX κατά την διάρκεια μετρήσεων.....	24
3.2 Το περιβάλλον με τις ρυθμίσεις του προγράμματος decibelX	25
3.3 Μετρήσεις σε οδούς της πόλης των Ιωαννίνων	26
3.4 Μετρήσεις στο πάρκο ανεμογεννητριών Κασιδιάρη.....	27
3.5 Χάρτης με τις θέσεις μέτρησης στο νομό Ιωαννίνων.....	28
4.1 Εικόνα από το εικονίδιο έναρξης του LabVIEW, έκδοση 8.5.....	30
4.2 Το Front Pane και το Block Diagram του LabVIEW όπως το βλέπουμε στον Η/Υ.....	31
4.3 Η Control Palette του Front panel	35
4.4 Η Functions Palette του block diagram.....	36
4.5 Η Tools Palette του LabVIEW.....	36
4.6 Το Block Diagram του Βασικού προγράμματος της εργασίας (VI).....	37
4.7 Τμήμα του προγράμματος με την σύνδεση του στοιχείου (double) που διαβάζει τα αρχεία(file path) και τον δείκτη-πίνακα (all rows) με τις τιμές του αρχείου db/sec	38

4.8 Το μπλοκ Index Array του προγράμματος με το όργανο απεικόνισης της κυματομορφής, Waveform Graph, του προγράμματος.....	39
4.9 Cluster- Mixed Signal Graph.....	39
4.10 Τμήμα του προγράμματος με το Amplitude and level Measurements και τους indicators.....	40
4.11 Το Statistics με τους δείκτες που επιλέξαμε να παρακολουθούμε.....	40
4.12 Οι συγκριτές με τα όριά τους και τους δείκτες	41
4.13 Τα Lenel Warning στο front panel	42
4.14 Το Histogram και ο Graph indicator στο block diagram.....	42
4.15 Το ιστόγραμμα όπως το βλέπουμε στο front panel.....	43
4.16 Το front panel του προγράμματος στο οποίο φαίνεται το γράφημα του περιβαλλοντικού θορύβου (db/t), το ιστόγραμμά του, αρκετές πληροφορίες (Average ,Max,min,κλπ.) και δείκτες ειδοποίησης από ένα αρχείο μετρήσεων που εισάγαμε.....	43
4.17 Το πρόγραμμα (Vi) της εργασίας για ταυτόχρονη εμφάνιση και σύγκριση δυο μετρήσεων.....	44
4.18 Το Front Panel για δύο αρχεία μετρήσεων (παράδειγμα).....	45
4.19 Το πρόγραμμα (Vi) όπως διαμορφώθηκε για ταυτόχρονη ανάλυση και σύγκριση τριών μετρήσεων	46
4.20 Το Front Panel του προγράμματος για τρεις περιοχές μέτρησης: Οδός Δόμπολη (A) , Κεντρική Πλατεία (ρολόι) (B), Εθνική οδό (πρώην πολυκλαδικό) (C).....	46
5.1 Χάρτης με τα σημεία μέτρησης στη πόλη των Ιωαννίνων.....	50
5.2 Το Front Panel του Vi για τον δείκτη Lden στην οδό Δόμπολη.....	52
5.3 Το Front Panel του Vi με τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον δείκτη Lden στην κεντρική πλατεία Ιωαννίνων, στο Ρολόι.....	53
5.4 Το front panel του Vi για τον δείκτη Leq από τις μετρήσεις σε cafe-bar στην οδό Ανεξαρτησίας	55

5.5 Αποτελέσματα από μετρήσεις στην όχθη του ποταμού Λούρου σε απόσταση 1m(A), 20m(B) και 40m(C) από την κοίτη του.....	56
5.6 Αποτελέσματα από μετρήσεις στο πάρκο ανεμογεννητριών για απόσταση 35m(A) και 70 m(B) από την ανεμογεννήτρια.....	57
5.7 Αποτελέσματα από μετρήσεις θορύβου με το όργανο μέτρησης PHONICPAA3 καταγράφοντας το επίπεδο θορύβου ανά συχνότητα.....	57
6.1 Καμπύλη θορύβου οδικής κυκλοφορίας και αναλογία πιθανοτήτων του εμφράγματος του μυοκαρδίου.....	60
7.1: Ηχομετρητές σε δίκτυο για μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο.....	67
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι : Φωτογραφίες από τα σημεία μετρήσεων.....	71-73
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ : Αποτελέσματα από ανάλυση μετρήσεων (Front Panel)-Πίνακες-Γραφήματα.....	74-80

Κατάλογος Πινάκων

1.1 Οδηγός Μέγιστων Επιτρεπτών Τιμών για την Ηχορύπανση σε Συγκεκριμένα Περιβάλλοντα του Αστικού Χώρου	11
2.1 Επίπεδο κυκλοφοριακού θορύβου (db)ανά αριθμό και ποσοστό κατοίκων στη Ε.Ε.....	17

Κατάλογος Γραφημάτων

2.1 Ο πληθυσμός της πόλη Ιωαννίνων ανά ζώνη Περιβαλλοντικού Θορύβου τον Δεκέμβριο του 2014....	21
5.1 Ο δείκτης Lden για τις μετρήσεις στα επιλεγέντα σημεία της πόλης των Ιωαννίνων.....	54
5.2 Ο δείκτης Lnight για τις μετρήσεις στα επιλεγέντα σημεία της πόλης των Ιωαννίνων	54
5.3 Ο δείκτης Leq της κατηγορία Β (σημεία με συγκεκριμένο ενδιαφέρον).....	55
5.4 Ο δείκτης Leq της κατηγορία Γ (Πάρκο ανεμογεννητριών).....	58
6.1 Γράφημα με τον αριθμό των παιδιών ηλικίας 7-17 ετών που έχουν δυσκολία στην ανάγνωση και κατανόηση λόγω θορύβου αεροσκαφών.....	61
6.2 Εκτιμώμενο ποσοστό ατόμων που εκτίθενται σε θόρυβο οδικής κυκλοφορίας Lden \geq 55 dB και Lnight \geq 50 dB στις Ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες το 2017.....	63

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή στον Ήχο και τον Περιβαλλοντικό Θόρυβο

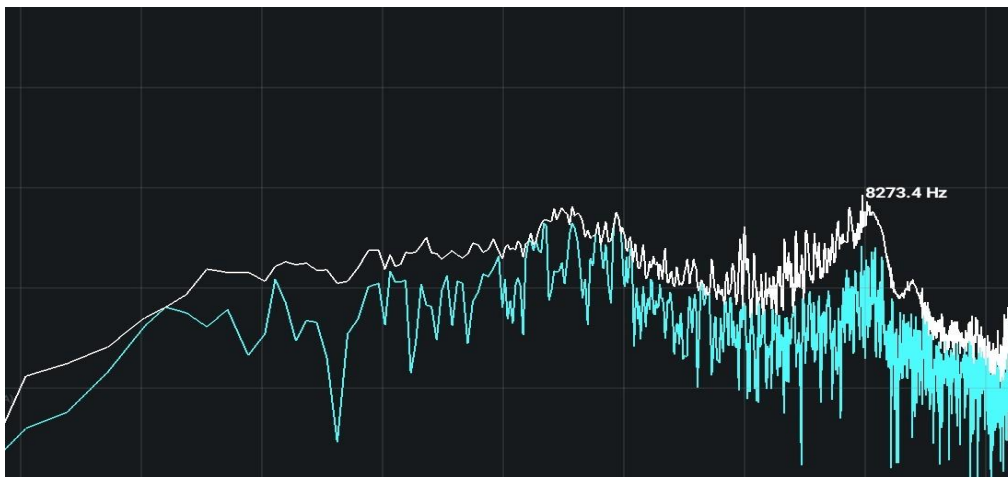
1.1 Ήχος – Θόρυβος

Οι πληροφορίες που διαδίδονται μέσω των ήχων είναι κυματικό φαινόμενο. Τα ηχητικά κύματα είναι μηχανικά κύματα που προέρχονται από τις ταλαντώσεις διαφόρων σωμάτων εντός ελαστικού μέσου και μπορούν να διαδίδονται μέσα από τις μάζες των αερίων, των υγρών ή στερεών. Εάν έχουν την κατάλληλη συχνότητα με το απαιτούμενο πλάτος γίνονται αντιληπτά από τον άνθρωπο διαμέσου του αυτιού το οποίο έχει την ικανότητα να τα μετατρέπει σε ηχητικό άκουσμα

Η διάδοση στον αέρα είναι η πιο συνήθης περίπτωση. Ο αέρας του περιβάλλοντος χώρου έχει μια δεδομένη πίεση γνωστή ως ατμοσφαιρική πίεση, η τιμή της οποίας μεταβάλλεται καθημερινά ανάλογα με τις μετεωρολογικές συνθήκες. Η ηχητική ή ακουστική πίεση είναι μια μεταβολή στην ατμοσφαιρική πίεση η οποία διαδίδεται μέσω του αέρα ως κύμα, περιοχές υψηλής και χαμηλής πυκνότητας, που μπορεί να διεγείρει το αισθητήριο της ακοής και να προκαλέσει ακουστικό αίσθημα.

Στα υγρά και στα αέρια, τα ηχητικά κύματα διαδίδονται με την μορφή διαμηκών κυμάτων, ενώ στα στερεά ως διαμήκη αλλά και ως εγκάρσια. Ως εκ τούτου δεν μπορεί να μεταφερθεί ηχητικό κύμα στο απόλυτο κενό. Η ταχύτητα διάδοσής τους και η εξασθένηση εξαρτάται από τη φύση του υλικού που διέρχεται και τις φυσικές συνθήκες που επικρατούν τη συγκεκριμένη στιγμή, όπως τη θερμοκρασία και την ατμοσφαιρική πίεση, όμως είναι ανεξάρτητη της συχνότητας. Υπό κανονικές συνθήκες υπολογίζετε σε 331,5 m/sec.

Οι ήχοι (μουσική, ανθρώπινη φωνή κ.α.) για την ανθρώπινη ύπαρξη, αλλά και γενικότερα για τους ζωντανούς οργανισμούς, είναι σημαντικοί τόσο για την επιβίωσή τους όσο και για την κοινωνική τους συνύπαρξη και αλληλεπίδραση. Περιλαμβάνουν συχνότητες μεμονωμένες ή συνδυασμό αυτών με κάποια σχετική αρμονία μεταξύ τους. Ο θόρυβος από την άλλη μεριά είναι τυχαίες συχνότητες σε όλα τα μεγέθη, χωρίς ουσιαστική σχέση μεταξύ τους, οι οποίες τις περισσότερες φορές μπορεί να προκαλέσουν ενόχληση, ακουστική κόπωση ή και βλάβη της ακοής.



Σχήμα 1.1: Το ύψος του περιβαλλοντικού θορύβου σε σχέση με τη συχνότητα, από τις μετρήσεις της εργασίας

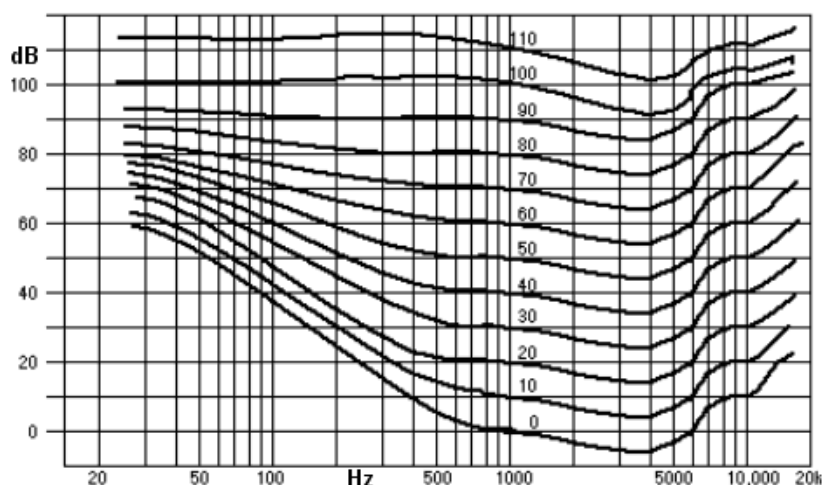
Επειδή όμως η λέξη θόρυβος έχει έννοιες, παραμέτρους και ευρύτερες διαστάσεις π.χ. υπάρχει ο ηλεκτρονικός θόρυβος, ο ηλεκτρομαγνητικός, ο οπτικός, οι οποίοι αναφέρεται σε παρεμβολές και αλλοιώσεις κάποιων σημάτων χωρίς να είναι άμεσα ακουστές από τον άνθρωπο, η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στον θόρυβο των ακουστικών συχνοτήτων που τον κάνουν ανεπιθύμητο από τον ακροατή, και είναι αυτός που ονομάζουμε «περιβαλλοντικός θόρυβος».

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (W.H.O.) από το 1972 έχει ορίσει τον θόρυβο ως «κάθε είδος ήχου ο οποίος είτε αποτελεί ενόχληση για τον άνθρωπο ή του προκαλεί κάποιο πρόβλημα ή επηρεάζει με οποιονδήποτε τρόπο την υγεία του». Έτσι μπορούμε να πούμε ότι υπάρχει και κάποια υποκειμενικότητα στην καθημερινή μας αντίληψη για αυτόν, ως προς τον βαθμό ενόχλησης ή επικινδυνότητας, αφού διαχωρίζεται από τον επιθυμητό ήχο από την ανθρώπινη αντίδραση.

Ο περιβαλλοντικός θόρυβος (ανεπιθύμητος ή επιβλαβής) είναι σχεδόν πάντα γύρω μας και είτε προκαλείτε από ανθρώπινες δραστηριότητες π.χ. κυκλοφοριακή κίνηση, αεροπορικές μεταφορές, βιομηχανία, ανεμογεννήτριες, οικιακές συσκευές κ.α. είτε σε μικρότερο βαθμό από φυσικές αιτίες όπως καταιγίδα, ροή ποταμού, αέρας, κ.α.

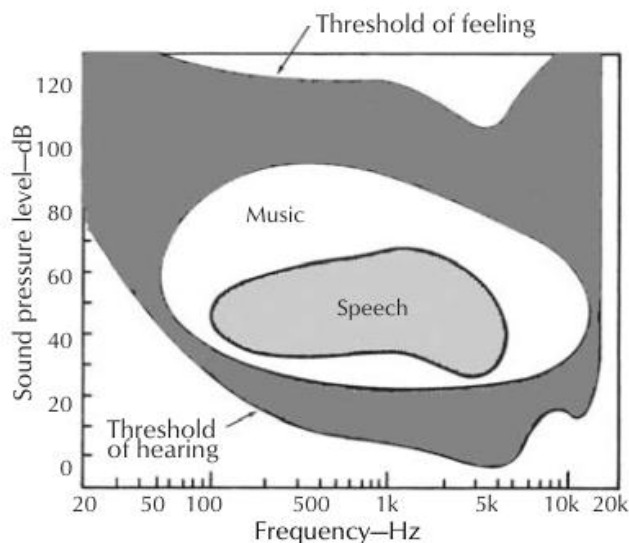
Οι συχνότητες των ήχων που μπορεί ιδανικά να αντιληφθεί ο άνθρωπος είναι από 20Hz έως 20kHz όμως στην πραγματικότητα οι περισσότεροι αντιλαμβανόμεστε πολύ μικρότερο εύρος συχνοτήτων, ενδεικτικά από 200Hz έως 12000 Hz. Το εύρος της ανθρώπινης ακοής δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλο για παράδειγμα οι σκύλοι μπορούν να ακούσουν μέχρι και 45 kHz, ενώ οι γάτες μέχρι και 64 kHz .

Οι ήχοι στη ζώνη συχνοτήτων κάτω των 20Hz ονομάζονται υπόηχοι, ενώ οι ήχοι στη ζώνη συχνοτήτων άνω των 20.000 Hz ονομάζονται υπέρηχοι. Οι καμπύλες ευαισθησίας ακοής κατά Fletcher-Munson, που ονομάζονται επίσης περιγράμματα ίσης έντασης, δείχνουν ότι αντιλαμβανόμεστε τους ήχους σε άλλα επίπεδα ισχύος (dB) στις χαμηλές ή υψηλές συχνότητες (περίπου από 40 dB και πάνω) από ότι σε μέτριες και μεσαίες συχνότητες (από 0 dB).



Σχήμα 1.2: Οι καμπύλες ευαισθησίας ακοής κατά Fletcher-Munson[1]

Η μουσική και ο λόγος συνήθως δεν αξιοποιούν ολόκληρη το ακουστική διαθέσιμη περιοχή, όμως η μουσική έχει μεγαλύτερο δυναμικό εύρος και απαιτήσεις συχνότητας από την ομιλία .



Σχήμα 1.3: Η μουσική και ο λόγος στην περιοχή ακουστότητας του ανθρώπου [16]

1.1.1 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά του ήχου

Τα ηχητικά κύματα έχουν τις παρακάτω ιδιότητες :

α) Ανάκλαση. Όταν τα ηχητικά κύματα κατά τη διάδοσή τους συναντήσουν κάποιο εμπόδιο, συνήθως επιφάνεια μεγάλη, σκληρή και λεία, αλλάζουν κατεύθυνση, ανακλώνται. Αν το εμπόδιο βρίσκεται σε απόσταση τουλάχιστον 17 μέτρων ο ήχος “επιστρέφει” και επαναλαμβάνεται. Το ανθρώπινο αυτί ακούει και τον απευθείας ήχο και τον ήχο της ανάκλασης. Το ακουστικό αυτό φαινόμενο ονομάζεται ηχώ.

Ο εγκέφαλός μας χρειάζεται χρόνο τουλάχιστον 1/10 του δευτερολέπτου (sec) για να ξεχωρίσει δύο ήχους. Σε 1/10 του δευτερολέπτου (sec) ο ήχος ταξιδεύει 34 μέτρα (17+17). Κατά συνέπεια αν το εμπόδιο βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 17 μέτρων έχουμε επιστροφή των ηχητικών κυμάτων χωρίς να γίνονται αντιληπτά σαν διαφορετικό άκουσμα, έτσι έχουμε απλά αύξηση της έντασης του ήχου. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αντήχηση. Σε κλειστούς χώρους οι ανακλάσεις είναι από τα κυρίαρχα χαρακτηριστικά.[3]

β)Περίθλαση. Το φαινόμενο της διάχυσης των κυμάτων προς όλες τις κατευθύνσεις όταν αυτά συναντάνε ένα εμπόδιο ή μία σπή.

γ) Διάθλαση. Το φυσικό φαινόμενο της εκτροπής της ευθύγραμμης τροχιάς διάδοσης που υφίσταται το ηχητικό κύμα όταν διέρχεται από ένα διαπερατό από αυτά μέσο σε ένα άλλο.

δ)Παρεμβολή. Προκύπτει όταν δύο διαφορετικά κύματα διαδίδονται στο ίδιο μέσο και «συγκρούονται», τότε διαταράσσονται και μπορεί να αλλοιωθούν ή να καταστραφούν.

Τα χαρακτηριστικά του ήχου χωρίζονται σε φυσικά και υποκειμενικά:

A) Τα *φυσικά χαρακτηριστικά* του ήχου έχουν να κάνουν με τα πραγματικά μετρήσιμα μεγέθη ενός ηχητικού κύματος και είναι :

i) Η Συχνότητα του ηχητικού κύματος (Hr).

ii) Το πλάτος του ηχητικού κύματος (mV).

B) Τα *υποκειμενικά χαρακτηριστικά* του ήχου είναι εκείνα που συνδέονται με τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε τον ήχο και είναι τα εξής:

i) Το ύψος. Ύψος του ήχου ονομάζεται το υποκειμενικό χαρακτηριστικό σύμφωνα με το οποίο διακρίνουμε έναν οξύ (μεγάλης συχνότητας) ήχο από έναν βαρύ (μικρής συχνότητας) ήχο.

ii) Η ακουστότητα. Ακουστότητα του ήχου ονομάζεται το υποκειμενικό χαρακτηριστικό με το οποίο χωρίζουμε τους ήχους σε ισχυρούς και ασθενείς και εξαρτάται κυρίως από το πλάτος του ηχητικού κύματος.

iii) Η χροιά. Χροιά του ήχου ονομάζεται το υποκειμενικό χαρακτηριστικό που μας επιτρέπει να ξεχωρίσουμε δύο ήχους που προέρχονται από δύο διαφορετικές πηγές π.χ. μουσικά όργανα, ακόμη και αν οι ήχοι έχουν το ίδιο ύψος (συχνότητα) και την ίδια ακουστότητα.

1.1.2 Μονάδες μέτρησης ήχου

Κάθε μικρή μεταβολή στην πίεση του αέρα, η οποία προκαλείται από τη διάδοση του ήχου ονομάζεται ηχητική πίεση και υποδηλώνεται με το σύμβολο "p". Η μονάδα μέτρησης της ακουστικής πίεσης είναι το Pascal [Pa]. Το ανθρώπινο αυτί αντιδρά στην ηχητική πίεση και γι' αυτό ακούμε ήχους.

Η στάθμη ηχητικής πίεσης (SPL) είναι ένα λογαριθμικό μέγεθος μέτρησης της ηχητικής πίεσης ενός δεδομένου ήχου ως προς μια ηχητική πίεση αναφοράς. Υποδηλώνεται με το σύμβολο "Lp" και εκφράζεται σε ντεσιμπέλ [dB]. Η ηχητική πίεση αναφοράς ισούται με 20μPa (μικροπασκάλ). Σε συχνότητα 1000 Hz, ο χαμηλότερος ήχος που μπορεί να γίνει αντιληπτός από έναν άνθρωπο με καλή ακοή έχει πίεση 20μPa, δηλαδή 0,00002 Pa (0dB). Αντιστρόφως, ο δυνατότερος ήχος που μπορεί να ανεχτεί ένα ανθρώπινο αυτί έχει πίεση 20 Pa (περίπου 120 dB). Συνεπώς, οι τιμές της ηχητικής πίεσης των δυνατότερων ήχων που μπορούν να γίνουν αντιληπτοί από το ανθρώπινο αυτί είναι ένα εκατομμύριο φορές μεγαλύτερες από αυτές των ασθενέστερων ακουστών ήχων. Εκφρασμένο σε ντεσιμπέλ [dB], το λογαριθμικό αυτό μέγεθος ονομάζεται Στάθμη Ηχητικής Πίεσης (SPL) και υποδηλώνει το κατά πόσες φορές η ηχητική πίεση υπερβαίνει την τιμή αναφοράς των 20 μPa. Για ηχητική πίεση 20μPa, η στάθμη ηχητικής πίεσης είναι

0dB. Η στάθμη ηχητικής πίεσης σε db δίνεται από τη σχέση: $\text{dB (SPL)} = 10 \log_{10}(p/p_0)^2 = 20 \log_{10}(p/p_0)$, όπου $p_0=20\mu\text{Pa}$ (η ακουστική ισχύ είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ακουστικής πίεσης)

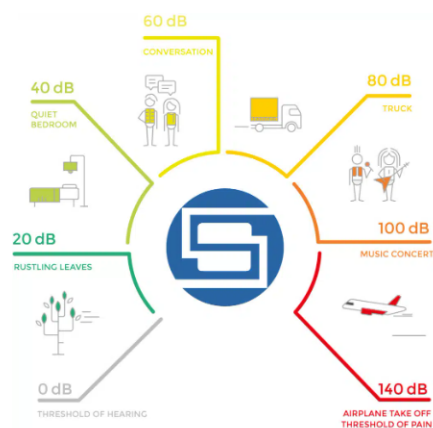
Ένα άτομο με καλή ακοή μπορεί να αναγνωρίσει μεταβολές στη στάθμη ηχητική πίεσης της τάξης των 1 έως 3dB περίπου (ανάλογα με τη συχνότητα του ήχου και τη στάθμη πίεσης). Η ηχητική ισχύς (P) είναι η ποσότητα της ενέργειας που εκπέμπεται από μια ηχητική πηγή σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα (δηλαδή σε ένα δευτερόλεπτο). Η ηχητική ισχύς εκφράζεται σε Watt (W) και αποτελεί μια από τις βασικές παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή μιας ηχητικής πηγής διότι παραμένει αμετάβλητη ανεξαρτήτως του περιβάλλοντος της ηχητικής πηγής. Λόγω του μεγάλου εύρους τιμών της ηχητικής ισχύος που εκπέμπεται από ηχητικές πηγές, η στάθμη ηχητικής ισχύος (L_w) εκφράζεται σε ντεσιμπέλ (όπως η στάθμη ηχητικής πίεσης). Η τιμή αναφοράς της στάθμης ηχητικής ισχύος είναι $P_0=10^{-12}\text{W}=0,000000000001\text{W}$ [15]

Η στάθμη ηχητικής ισχύος σε dB δίνεται από τη σχέση: $\text{dB (PWL)} = 10 \log_{10}(P/P_0)$, όπου $P_0=10^{-12}\text{W}$ (ισχύς αναφοράς). Με τον ίδιο τρόπο ορίζεται και η ένταση του ήχου (IL) ως το ποσό της ηχητικής ενέργειας που διέρχεται από μία επιφάνεια, κάθετη στην ακτίνα μετάδοσης του ηχητικού κύματος, στη μονάδα του χρόνου. Εκφράζεται σε Watt/m^2 και δίνεται σε dB από τη σχέση: $\text{dB(IL)} = 10 \log_{10}(I/I_0)$ όπου $I_0=10^{-12}\text{W/m}^2$ [2]

Sound Pressure Level (SPL) Examples

The sound pressure level for some sources may vary depending on the distance between the source and the listener. The values in this table are provided as a general guide:

Source	Sound Pressure Level (dB)
Threshold of Hearing	0
Rustling leaves	20
Quiet whisper (1 m)	30
Quiet office	40
Normal conversation at 1 m	60
Inside a car	65-80
Loud singing	70
Vacuum cleaner (3 m)	75
Buses, diesel trucks, motorcycles (15 m)	80
Jackhammer (15 m)	90
Subway (inside)	94
Lawn mower (1 m)	107
Deafening, human pain limit	120
Jet plane (30 m)	130
Threshold of pain	140
Military Jet Take-off (30 m)	150
Large military weapons	180



Σχήμα 1.4: Χαρακτηριστικά παραδείγματα πηγών ήχου [3]

1.1.3 Συνέπειες περιβαλλοντικού θορύβου

Ο περιβαλλοντικός θόρυβος επιδρά δυσμενώς στην ψυχική και σωματική υγεία των ανθρώπων. Όταν

υπερβαίνει συστηματικά κάποια όρια πλάτους (>65dB) για μεγάλη χρονική διάρκεια, π.χ. θόρυβος στην καθημερινή εργασία, μπορεί να προκαλέσει λειτουργικές αλλοιώσεις προσωρινού ή μόνιμου χαρακτήρα όπως ακουστική κόπωση ή μόνιμη απώλεια ακοής. Τα τύμπανα του αυτιού καταστρέφονται σε εντάσεις ήχου 190dB με 198dB. Η έκθεση κατά τις νυχτερινές ώρες προκαλεί διατάραξη του νυχτερινού ύπνου επηρεάζοντας έτσι τη δυνατότητα ξεκούρασης προκαλώντας προβλήματα κόπωσης, νευρικότητας και συγκέντρωσης. Είναι βασικός παράγοντας στην δημιουργία άγχους (stress).

Επίσης, επιδρά αρνητικά στο καρδιαγγειακό σύστημα, προκαλεί σύσπαση των μικρών αγγείων με αποτέλεσμα την ελάττωση της ροής του αίματος σε ορισμένα όργανα και ιστούς, αύξηση της καρδιακής συχνότητας, προκαλεί ελάττωση της ροής του αίματος στον πλακούντα και κατά συνέπεια ενοχοποιείται για τους πρόωρους τοκετούς και τις αποβολές εμβρύων που έχουν παρατηρηθεί σε έγκυες γυναίκες, εργαζόμενες, εκτιθέμενες σε θόρυβο. Προκαλεί επίσης διαταραχές στο κεντρικό νευρικό σύστημα, όπως επιβράδυνση του χρόνου αντίδρασης, περιορίζοντας σημαντικά την ικανότητα σωστής αντίδρασης στα εξωτερικά ερεθίσματα ή την παρακολούθηση σύνθετων διαδικασιών. Ακόμη και οι υπόηχοι και οι υπέρηχοι ενώ δεν γίνονται αντιληπτοί από το ανθρώπινο αυτί μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς τον ανθρώπινο οργανισμό προκαλώντας πονοκεφάλους και κόπωση.

Ορισμένες ομάδες του πληθυσμού είναι περισσότερο ευπαθής στον θόρυβο, παραδείγματος χάρη αυτοί που πάσχουν από υπέρταση ή έχουν ψυχολογικά προβλήματα.

Τέλος, τα επίπεδα του θορύβου ενδέχεται να επιδρούν αρνητικά και στην ασφάλεια αφού μπορούν να παρεμβάλλονται και να καλύπτουν σήματα προειδοποίησης ή να δυσκολεύουν την αντίληψη και την αναγνώριση κινδύνων ή να εμποδίζουν την κατανόηση πληροφοριών που προέρχονται από μεγάφωνα.

Γενικότερα μπορούμε να πούμε ότι η ποιότητα ζωής, κυρίως σε αστικά περιβάλλοντα, επηρεάζεται αρκετά από τον περιβαλλοντικό θόρυβο, ιδιαίτερα τη νύχτα.

Σημειώνεται ότι, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (W.H.O.), "υγεία" δεν θεωρείται μόνο η απουσία αρρώστιας αλλά γενικότερα η φυσική και ψυχολογική ευεξία. Σε πρόσφατη έρευνα, («Burden of disease from environmental noise : Quantification of healthy life years lost in Europe», WHO),[22] η ηχορύπανση έρχεται δεύτερη (μετά την ατμοσφαιρική ρύπανση) στην κατάταξη των περιβαλλοντικών κινδύνων για την υγεία. Σύμφωνα με την έρευνα, η έκθεση στον θόρυβο έχει άμεσες και μακροπρόθεσμες συνέπειες οι οποίες εκδηλώνονται σε προχωρημένο στάδιο, δεν είναι ορατές και αναγνωρίσιμες ωστόσο υποσκάπτουν συστηματικά την υγεία.

1.2 Στάθμες - Δείκτες– Οριακές τιμές περιβαλλοντικού θορύβου

1.2.1 Στάθμες περιβαλλοντικού θορύβου

Σε μετρήσεις θορύβου οι στάθμες που συνήθως μας ενδιαφέρουν είναι:

$L(t)$ η SPL ή LPH στιγμιαία στάθμη θορύβου (ηχητικής πίεσης)

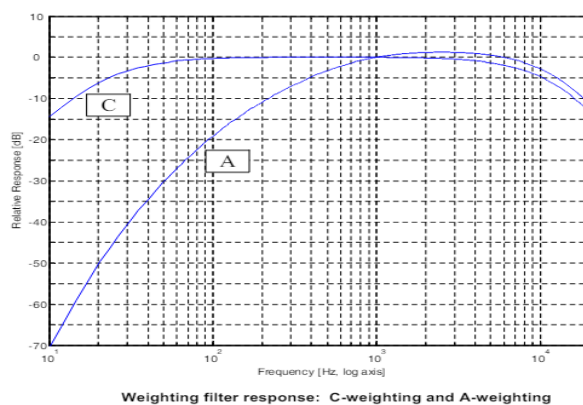
L_p (peak) Η μέγιστη αιχμή κατά τη διάρκεια της μέτρησης

L_{max} Η μέγιστη στάθμη κατά τη διάρκεια της μέτρησης

L_{min} Η ελάχιστη στάθμη κατά τη διάρκεια της μέτρησης

L_{eq} (Avg) Η ισοδύναμη συνεχής στάθμη: ο μέσος όρος (ολοκλήρωμα) της στάθμης ηχητικής πίεσης κατά τη διάρκεια της περιόδου μέτρησης και αντιπροσωπεύει τη στάθμη ενός σταθερού επιπέδου θορύβου που θα απέδιδε το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο θορύβου για την χρονική περίοδο που γίνεται η μέτρηση.

Όπως αναφέραμε ο άνθρωπος ιδανικά μπορεί να ακούσει τους ήχους από 20Hz έως 20KHz γι αυτό στα όργανα μέτρησης θορύβου μπορούμε να εισάγουμε ένα φίλτρο που συμβολίζετε με το “A”, το οποίο προσομοιώνει την ακουστική καμπύλη του ανθρώπινου αυτιού. Τότε η μέτρηση του θορύβου λέμε ότι είναι σταθμισμένη κατά “A” και συμβολίζετε dB(A). Τα όργανα μέτρησης ήχου έχουν και άλλες επιλογές εκτός της “A”στάθμισης συχνότητας όπως: την C-στάθμιση (που εκφράζει καλύτερα την υποκειμενική αντίληψη ήχων σε υψηλές στάθμες ηχητικής πίεσης), τη Z (γραμμική απόκριση συχνότητας) η άλλα επιπλέον φίλτρα B και D για ειδικότερες περιπτώσεις [18].



Σχήμα 1.5 Καμπύλες στάθμισης των φίλτρων A και C [4]

Την ταχύτητα απόκρισης της απεικονιζόμενης στάθμης ηχητικής πίεσης καθορίζουν οι σταθερές χρόνου και μπορούν να περιλαμβάνουν τις ακόλουθες πρότυπες αποκρίσεις: F (fast), S (slow) και I (impulse), οι οποίες διέπουν τον υπολογισμό του μέσου όρου της απεικονιζόμενης ενεργού τιμής (RMS) της στάθμης ηχητικής πίεσης. Η F επιτρέπει στην απεικονιζόμενη τιμή να παρουσιάζει κατά προσέγγιση διακυμάνσεις όταν καταγράφονται αλλαγές στη στάθμη του ήχου. Η S αντιπροσωπεύει μακρύτερο χρόνο υπολογισμού του μέσου όρου αμβλύνοντας τις ταχύτερες αλλαγές της στάθμης. Η σταθερά I επιτρέπει στο όργανο να δείξει ταχείες ανόδους στο επίπεδο θορύβου, ενώ για την κάθοδο έχει μια πολύ πιο αργή εξασθένιση και είναι κατάλληλη για μέτρηση των αιχμών του θορύβου.

Τα όργανα μέτρησης περιλαμβάνουν κατά κανόνα διάφορες επιλογές μέτρησης για τον χρήστη. Οι επιλογές αυτές καθορίζονται μέσω του μενού της οθόνης ή μέσω του χειρισμού διακοπών στην εμπρόσθια όψη τους. Επίσης ορισμένες συσκευές μέτρησης διαθέτουν εργοστασιακές ρυθμίσεις για μετρήσεις ημερήσιας έκθεσης και αιχμής έκθεσης (peak).

1.2.2 Δείκτες περιβαλλοντικού θορύβου

Η Οδηγία 2002/49/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 25ης Ιουνίου 2002 σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου ενσωματώθηκε στο Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο με την ΚΥΑ 13586/724/ΦΕΚ/384/Β/28-3-2006 «Καθορισμός μέτρων, όρων και μεθόδων για την αξιολόγησης και διαχείρισης του θορύβου στο περιβάλλον» και στην Ελληνική Νομοθεσία. Με στόχο την πρόληψη και τον περιορισμό του περιβαλλοντικού θορύβου και κυρίως όπου τα επίπεδα έκθεσης μπορούν να έχουν επιβλαβείς επιδράσεις στην υγεία των ανθρώπων, ορίζονται δείκτες για την αξιολόγηση και τη διαχείρισή του, όπως ο δείκτης L_{den} (day-evening-night) σε dB(A). Ο L_{den} είναι ο νέος εναρμονισμένος δείκτης στάθμης θορύβου για το 24ωρο με κατηγοριοποίηση κατά την ημέρα, το απόγευμα και τη νύχτα (σύμφωνα με το πρότυπο: ISO 1996-2: 1987). Ο L_{night} είναι ο δείκτης για νυχτερινές μετρήσεις. Οι ανωτέρω δείκτες θορύβου χρησιμοποιούνται: για να καταρτιστούν οι χάρτες θορύβου, να εκπονηθούν και να αναθεωρηθούν οι κανονιστικές διατάξεις σχετικά με τη στρατηγική χαρτογράφηση του θορύβου, τον σχεδιασμό μέτρων και την οριοθέτηση θορύβου.

Ο δείκτης L_{den} έχει αποδεδειγμένη σχέση με τον βαθμό κοινής όχλησης θορύβου και ειδικότερα με το ποσοστό αντιδράσεων ισχυρής όχλησης και προσδιορίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right) [8]$$

όπου:

- ✓ L_{day} : είναι η στάθμη περιβαλλοντικού θορύβου ημέρας, σταθμισμένη ως προς A μέση στάθμη θορύβου κατά ISO 1996-2: 1987, προσδιορισμένη για όλες τις ημερήσιες περιόδους ενός έτους,
- ✓ $L_{evening}$: είναι η στάθμη περιβαλλοντικού θορύβου απογεύματος, σταθμισμένη ως προς A μέση στάθμη θορύβου κατά ISO 1996-2: 1987, προσδιορισμένη για όλες τις απογευματινές περιόδους ενός έτους,
- ✓ L_{night} : είναι η στάθμη περιβαλλοντικού θορύβου νύκτας, σταθμισμένη ως προς A μέση στάθμη θορύβου κατά ISO 1996-2: 1987, προσδιορισμένη για όλες τις νυκτερινές περιόδους ενός έτους.

Έτσι σε κάθε 24ωρο υπάρχει ημέρα 12 ωρών, απόγευμα 4 ωρών και νύκτα 8 ωρών. Οι βασικές ώρες εκκίνησης και λήξης των τριών (3) χρονικών περιόδων αξιολόγησης είναι:

- ✓ 07:00 – 19:00 για την ημέρα (12 ώρες, L_{day} (12ωρος σταθμισμένος δείκτης αξιολόγησης θορύβου ημέρας)
- ✓ 19:00 – 23:00 για το απόγευμα (4 ώρες, $L_{evening}$ σταθμισμένος δείκτης αξιολόγησης απογευματινού θορύβου)
- ✓ 23:00 – 07:00 για τη νύκτα (8 ώρες L_{night} σταθμισμένος δείκτης αξιολόγησης νυκτερινού θορύβου)

L_{den} ($L_{day-evening-night}$) (σταθμισμένος δείκτης αξιολόγησης θορύβου 24ωρου) [23]

1.2.3 Οριακές τιμές περιβαλλοντικού θορύβου

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας διαχωρίζει τις επιδιωκόμενες στάθμες ως εξής:

A)Ελάχιστες απαιτήσεις: Για την αποφυγή σοβαρών συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία πρέπει ο περιβαλλοντικός θόρυβος να μην υπερβαίνει τα 65 dB ο δείκτης L_{day} και τα 55 dB ο δείκτης L_{night}

Β) Μεσαίες απαιτήσεις: Για την αποφυγή σημαντικής ενόχλησης στην ανθρώπινη ηρεμία πρέπει ο περιβαλλοντικός θόρυβος να μην υπερβαίνει τα 55 dB ο δείκτης L_{day} και τα 45 dB ο δείκτης L_{night}

Γ) Αυστηρές απαιτήσεις: Για ιδανική προστασία πρέπει ο περιβαλλοντικός θόρυβος να μην υπερβαίνει τα 50 dB ο δείκτης L_{day} και τα 40 dB ο δείκτης L_{night} .

Στον πίνακα 1.2 βλέπουμε τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές για την ηχορύπανση σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα του αστικού χώρου

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ	ΕΝΤΑΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ (dB)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ ΩΡΕΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ - ΣΤΙΓΜΙΑΙΑ dB
Εξωτερικοί χώροι	Σοβαρή ενόχληση ημέρα και νύχτα	55	16	-
Εξωτερικοί χώροι	Μικρή ενόχληση ημέρα και νύχτα	50	16	-
Κατοικίες Εσωτερικοί χώροι	Κατανόηση ομιλίας, μικρή ενόχληση ημέρα και νύχτα	35	16	45
Δωμάτια ύπνου	Διαταραχή ύπνου νύχτα	45	8	60
Σχολικές αίθουσες	Ενόχληση στην κατανόηση ομιλίας	35	Διάρκεια μαθήματος	
Δωμάτια ύπνου για προσχολική ηλικία	Διαταραχή ύπνου	30	Διάρκεια ύπνου	45
Σχολικές αυλές	Ενόχληση	55	Διάρκεια ημέρας	-
Νοσοκομεία- θάλαμοι	Διαταραχή ύπνου	30	8	40
Νοσοκομεία- Ιατρεία		30	16	
Βιομηχανία, εμπορικές επιχειρήσεις, μαγαζιά, συγκοινωνίες	Επίδραση στην ακοή	70	24	110
Τελετές, φεστιβάλ, συναυλίες κλπ.		100	4	110
Συγκεντρώσεις σε κλειστό χώρο		85	1	110

Πίνακας 1.1: Οδηγός Μέγιστων Επιτρεπτών Τιμών για την Ηχορύπανση σε Συγκεκριμένα Περιβάλλοντα του Αστικού Χώρου (Πηγή: Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας) [5]

Κεφάλαιο 2

-Ευρωπαϊκή Νομοθεσία

- Νομοθεσία στην Ελλάδα

-Μετρήσεις και πληροφορίες για τον περιβαλλοντικό θόρυβο

2.1 Ευρωπαϊκή Νομοθεσία - Νομοθεσία στην Ελλάδα

2.1.1 Το Ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο

Η αξιολόγηση και διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου περιγράφεται στην οδηγία 2002/49/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 25ης Ιουνίου 2002 όπως προαναφέρθηκε. Μέχρι τότε υπήρχαν οι επί μέρους κρατικές νομοθεσίες και μερικές Ευρωπαϊκές οδηγίες που αφορούσαν κυρίως τον θόρυβο οχημάτων και τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών θορύβου (οδηγίες: 70/157/ΕΟΚ το 1970, 76/252/ΕΟΚ, 77/212/ΕΟΚ, 78/1015/ΕΟΚ, 79/113/ΕΟΚ, 80/51/ΕΟΚ). Από το 1980 και μετά ακολούθησαν και άλλες οδηγίες (81/334/ΕΟΚ, 84/424/ΕΟΚ κλπ) που αφορούσαν τα επιτρεπόμενα όρια θορύβου και τροποποιήσεις των προηγούμενων οδηγιών σε: εξαμίσεις οχημάτων, ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, χορτοκοπτικά μηχανήματα. Η οδηγία 89/629/ΕΟΚ στις 4 Δεκεμβρίου 1989 και η 1999/28/ΕΚ (21 Απριλίου 1999) αφορούσε τον περιορισμό του θορύβου και της χρήσης των πολιτικών αεροπλάνων.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκδίδει στις 04/11/1996 το Πράσινο Βιβλίο στο οποίο γίνεται ανάλυση και προτάσεις για την αντιμετώπιση του περιβαλλοντικού θορύβου και ειδικότερα του κυκλοφοριακού. Εκτιμήθηκε τότε ότι το 20% των κατοίκων της Ευρωπαϊκής Ένωσης (περίπου 80 εκατομμύρια) ήταν εκτεθειμένοι σε απαράδεκτα υψηλές στάθμες θορύβου ενώ έθετε και το κόστος του περιβαλλοντικού θορύβου, εκτιμώμενο από 0.2 έως 2% του Α.Ε.Π.

Η οδηγία 2000/41/ΕΚ υπερισχύει έναντι των προηγούμενων και έχει ως στόχο να προσεγγίσει την νομοθεσία των κρατών – μελών, με την υποχρέωση να την μεταφέρουν στην εθνική νομοθεσία τους. Αφορά τα πρότυπα και όρια εκπομπής θορύβου για τον τεχνικό εξοπλισμό, τη σήμανση CE και την ένδειξη της ηχητικής στάθμης LWA σε dB(A)/1_{rw} .

2.1.2 Η οδηγία 2002/49/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου

Έτσι ερχόμαστε στην ποιο ολοκληρωμένη οδηγία 2002/49/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 25ης Ιουνίου 2002. Η οδηγία αυτή για τον καθορισμό μιας κοινής προσέγγισης για την πρόληψη και τον περιορισμό των επιπτώσεων και της ενόχλησης από τον περιβαλλοντικό θόρυβο, επιβάλλει στα κράτη-μέλη την εφαρμογή των παρακάτω δράσεων:

1) Προσδιορισμό της έκθεσης στον περιβαλλοντικό θόρυβο μέσω χαρτογράφησης θορύβου

- ii) Θέσπιση σχεδίων δράσης βασισμένων στα αποτελέσματα της χαρτογράφησης του θορύβου και
- iii) Οι πληροφορίες για τον περιβαλλοντικό θόρυβο να είναι διαθέσιμες στο κοινό.

Αυτή η οδηγία είναι που ορίζει τους δείκτες L_{den} και τον τύπο υπολογισμού του από το L_{night} , L_{day} και $L_{evening}$, που αναφέραμε και αναπτύξαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Βάση της οδηγίας αυτής τα κράτη μέλη διαβιβάζουν στην Επιτροπή Ε.Κ. πληροφορίες για τις τυχόν ισχύουσες στην επικράτειά τους ή υπό εκπόνηση οριακές τιμές, εκφρασμένες με τη βοήθεια των L_{den} και L_{night} και, κατά περίπτωση, των L_{day} και $L_{evening}$, για θορύβους οδικής κυκλοφορίας, θορύβους σιδηροδρομικής κυκλοφορίας, θορύβους αεροπορικής κυκλοφορίας κοντά σε αεροδρόμια και θορύβους σε βιομηχανικούς χώρους, μαζί με τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης, την επισήμανση προβλημάτων, τα μέτρα και δράσεις που σχεδιάζονται.

Τα κράτη μέλη μεριμνούν ώστε να έχουν εκπονηθεί από τις αρμόδιες αρχές σχέδια δράσης για τη διαχείριση, εντός των επικρατειών τους, των προβλημάτων και των επιδράσεων του θορύβου, συμπεριλαμβανόμενου εν ανάγκη του περιορισμού του θορύβου: α) σε σημεία κοντά σε μεγάλους οδικούς άξονες, όπου καταγράφεται κυκλοφορία άνω των έξι εκατομμυρίων οχημάτων ετησίως, μεγάλους σιδηροδρομικούς άξονες όπου διακινούνται άνω των 60.000 συρμών ετησίως και μεγάλα αεροδρόμια, β) σε πολεοδομικά συγκροτήματα άνω των 250.000 κατοίκων. Τα σχέδια αυτά αποβλέπουν επίσης στην προστασία των ήσυχων περιοχών από την αύξηση του θορύβου.

Επίσης σε μερικές περιπτώσεις εκτός των δεικτών L_{den} και L_{night} και, κατά περίπτωση, των δεικτών L_{day} και $L_{evening}$, μπορεί να αποδειχθεί αποτελεσματική η χρησιμοποίηση ειδικών δεικτών θορύβου και αντίστοιχων οριακών τιμών. Δίνονται τα παρακάτω παραδείγματα:

- Η εξεταζόμενη πηγή θορύβου λειτουργεί μόνο για μικρό χρονικό διάστημα (για παράδειγμα λιγότερο από το 20 % του χρόνου των ολικών ημερήσιων, βραδινών ή νυχτερινών περιόδων ενός έτους)
- Ο μέσος αριθμός ηχητικών γεγονότων σε μια ή περισσότερες περιόδους είναι πολύ μικρός (π.χ. λιγότερο από ένα ηχητικό γεγονός ανά ώρα·, ως ηχητικό γεγονός θα μπορούσε να ορισθεί ο θόρυβος που διαρκεί λιγότερο από πέντε λεπτά, π.χ. ο θόρυβος από διερχόμενο τρένο ή αεροπλάνο)
- Η εμπειροχόμενη συνιστώσα χαμηλών συχνοτήτων είναι ισχυρή

- Lamax ή SEL (επίπεδο έκθεσης στο θόρυβο) για προστασία κατά τη διάρκεια της νυχτερινής περιόδου στην περίπτωση αιχμών θορύβου
- Επιπρόσθετη προστασία κατά τα Σαββατοκύριακα ή σε ορισμένες χρονικές στιγμές του έτους
- Επιπρόσθετη προστασία της ημερήσιας η βραδινής περιόδου
- Συνδυασμός θορύβων από διάφορες πηγές
- Ήσυχες περιοχές στην ύπαιθρο
- Θόρυβος με έντονα τονικά συστατικά
- Θόρυβος με απότομο (ωθητικό) χαρακτήρα

2.1.3 Νομοθεσία στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα η ενσωμάτωση των ευρωπαϊκών οδηγιών έγινε με σημαντικές καθυστερήσεις. Παλαιότερα νομοθετικά πλαίσια: Υ.Α 1220/13/1979, ΥΑ 32764/734/80 καθορίζουν τα επιτρεπόμενα όρια σε οχήματα κυρίως για τον κυκλοφοριακό θόρυβο. Αργότερα ο νόμος 1650/86 θεσπίζει κανόνες και αναφέρεται στην προστασία από τον θόρυβο δίνει στο Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε. την δυνατότητα να καθορίσει οριακές τιμές θορύβου σε χώρους: κατοικιών, παραγωγής και εμπορίου, διασκέδασης, αεροδρόμια κλπ. Ακολουθούν διατάξεις που εναρμονίζουν κάποιες ευρωπαϊκές οδηγίες (ΥΑ2908/2285/1997, 330/90, ΠΔ 80/02.03.2004) και επίσης η 13586/724/ΦΕΚ/384/Β/28-3-2006 κοινής υπουργικής απόφασης με την οποία έγινε η εναρμόνιση της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2002/49/ΕΚ στην ελληνική νομοθεσία .

Το ΦΕΚ με ΑΡ. 1367 στις 27 Απριλίου 2012 καθορίζει τους δείκτες αξιολόγησης και τα ανώτατα περιβαλλοντικά όρια περιβαλλοντικού θορύβου. Ως ανώτατα επιτρεπόμενα όρια δεικτών οδικού, σιδηροδρομικού και αεροπορικού θορύβου καθορίζονται τα ακόλουθα:

- α. Για τον δείκτη $L_{den}(24\text{-ωρος})$: τα 70dB(A)
- β. Για τον δείκτη $L_{night}(8\text{-ωρος νυκτερινός})$: τα 60dB(A)

Το Άρθρο 5 αναφέρεται στις περιπτώσεις όπου απαιτείται ειδική ακουστική προστασία. Παρέχεται η δυνατότητα για περαιτέρω μειώσεις των δεικτών έως και πέντε (5)dB(A), μέσω σχετικής υπουργικής απόφασης του Υ.Π.Ε.Κ.Α. που θα εκδίδεται κατά περίπτωση για το συγκεκριμένο ελεγχόμενο συγκοινωνιακό έργο και τους αντίστοιχους ευαίσθητους δέκτες με βάση τεκμηριωμένη Ειδική Ακουστική

Μελέτη Υπολογισμού και Εφαρμογής αντιθορυβικών πετασμάτων, η οποία θα εγκρίνεται από την αρμόδια υπηρεσία.

Ως αρμόδια υπηρεσία για την εφαρμογή του νόμου ορίζεται η Δ/ση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (Ε.Α.Ρ.Θ.) του Υ.Π.Ε.Κ.Α. η οποία οφείλει να εποπτεύει και να ελέγχει την εφαρμογή των διατάξεων και να εγκρίνει τις προβλεπόμενες ειδικές μελέτες. Παράλληλα θα συλλέγει, κωδικοποιεί και επεξεργάζεται όλα τα στοιχεία (π.χ. προγραμμάτων παρακολούθησης, εξειδικευμένα σχέδια δράσης αντιθορυβικής προστασίας κλπ. μέτρα) που θεωρούνται απαραίτητα για την αντιμετώπιση θορύβου.

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στον προσδιορισμό των μετρήσεων, ειδικότερα για τον κυκλοφοριακό – περιβαλλοντικό θόρυβο, κυρίως σε συνθήκες ελεύθερου πεδίου που μπορούν να ακυρώσουν τα αποτελέσματα. Σε ότι αφορά τους ατμοσφαιρικούς παράγοντες, επισημαίνεται ότι οι κατάλληλες ατμοσφαιρικές συνθήκες για μετρήσεις ορίζονται ως οι περίοδοι όπου δεν υπάρχει καθόλου βροχή ή χιόνι και όταν η ταχύτητα του ανέμου δεν υπερβαίνει τα 3m/s στη θέση μέτρησης. Στο πλαίσιο αυτό, δεν θα διεξάγονται μετρήσεις κατά την διάρκεια δυνατών ανέμων, βροχής, χιονόπτωσης και ομίχλης όπως επίσης και κατά τη διάρκεια καταστάσεων που δεν αντιπροσωπεύουν τη συνήθη οδική κυκλοφοριακή εικόνα (παράδειγμα κατά τη διάρκεια ενός οδικού ατυχήματος ή παρουσίας εργοταξίου κ.λπ.) ή μη αντιπροσωπευτικής χρονικής περιόδου (π.χ. Σάββατο, Κυριακή, αργίες κ.λπ.)

2.2 Μετρήσεις και πληροφορίες για τον περιβαλλοντικό θόρυβο στην Ευρώπη και στην Ελλάδα

2.2.1.Ευρωπαϊκή Υπηρεσία NOISE

Η NOISE (Noise Observation and Information Service for Europe) είναι η νέα Υπηρεσία Παρατηρήσεων και Πληροφοριών Περιβαλλοντικού Θορύβου για την Ευρώπη που δημιουργήθηκε και λειτουργεί υπό την ευθύνη του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος για λογαριασμό της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. [6] Πρόκειται για την μεγαλύτερη βάση δεδομένων θορύβου που έχει υπάρξει ποτέ για την Ευρώπη όπου θα παρουσιάζονται στοιχεία σχετικά με τα αποτελέσματα των στρατηγικών χαρτών θορύβου που υποβάλλονται σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/49/EK σχετικά με την αξιολόγηση και διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου.

Η Οδηγία 2002/49/ΕΚ καθορίζει εναρμονισμένους δείκτες, μεθοδολογίες, πρότυπα υπολογισμών και εκτιμήσεων θορύβου από περιβαλλοντικό θόρυβο ώστε να παρουσιάζεται με τρόπο ομοιόμορφο η χαρτογράφηση του θορύβου και οι εκτιμήσεις της έκθεσης του πληθυσμού για όλη την Ευρώπη. Η NOISE έχει ως στόχο να συλλέξει και δημοσιοποιήσει πληροφορίες που θα καλύψουν όλες τις γεωγραφικές περιοχές της Ευρώπης που έχουν πληγεί περισσότερο από τα δίκτυα μεταφορών και τις βιομηχανικές πηγές θορύβου. Αυτή η βάση δεδομένων περιέχει στοιχεία και πληροφορίες που κοινοποιούνται από κράτη μέλη της Ε.Ε. και της χώρες του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου μετά από σχετικές μελέτες που έχουν εκπονηθεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Οδηγίας 2002/49/ΕΚ. Τα στοιχεία αυτά είναι διαθέσιμα από την ειδική ιστοσελίδα του NOISE στον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος. Επισημαίνεται ότι πολλές χώρες συνεχίζουν να συλλέγουν πληροφορίες για στρατηγικούς χάρτες θορύβου και να υποβάλλουν στοιχεία στον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος ο οποίος με την σειρά του μετά από έλεγχο θα τα παρουσιάζει στο NOISE. Στον παρακάτω πίνακα (2.1) φαίνονται δεδομένα για την ποσοστιαία έκθεση των Ευρωπαίων πολιτών στον συγκοινωνιακό περιβαλλοντικό θόρυβο.

Box 3. How big a problem is noise pollution in Europe?

Environmental noise is a prominent issue across all EU countries, and road traffic noise is the biggest culprit. Based on data collected under the END, the EEA estimates that more than 20% of the total EU population live in areas where road noise levels are considered harmful to health (Table 1).

Table 1. Estimated exposure to unhealthy noise levels in the 27 EU Member States, 2017*

Noise level	Road		Railway		Aircraft	
	Total (n)	Population (%)	Total (n)	Population (%)	Total (n)	Population (%)
$L_{den} \geq 55 \text{ dB}$	95 100 000	21	19 000 000	4	3 400 000	0.8
$L_{night} \geq 50 \text{ dB}$	66 000 000	15	15 500 000	3	1 000 000	0.2

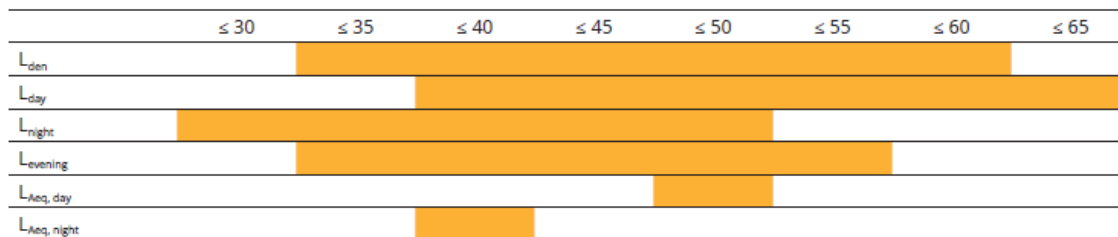
*Based on data collected under the END. Source: EEA (2021). Reproduced under the CC BY 4.0 licence (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

In many cities across the EU, over 50% of the population is exposed to road noise levels of above 55 dB L_{den} which is above WHO recommendations (EEA, 2021). Railway and aircraft noise affects a lower proportion of the population, but both are significant sources of local noise pollution.

Based on the exposure–response functions outlined in the Guidelines and data collected under the END, the EEA also estimated the number of people with specific health outcomes (Fig. 2).

Πίνακας 2.1: Επίπεδο κυκλοφοριακού θορύβου (db)ανά αριθμό και ποσοστό κατοίκων στη Ε.Ε.(Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, WHO European Centre for Environment and Health)[6]

Η Ε.Ε για τον προσδιορισμό ήσυχων περιοχών ,σε οικισμούς, χρησιμοποιεί συγκεκριμένους δείκτες και εύρος επιπέδων θορύβου .

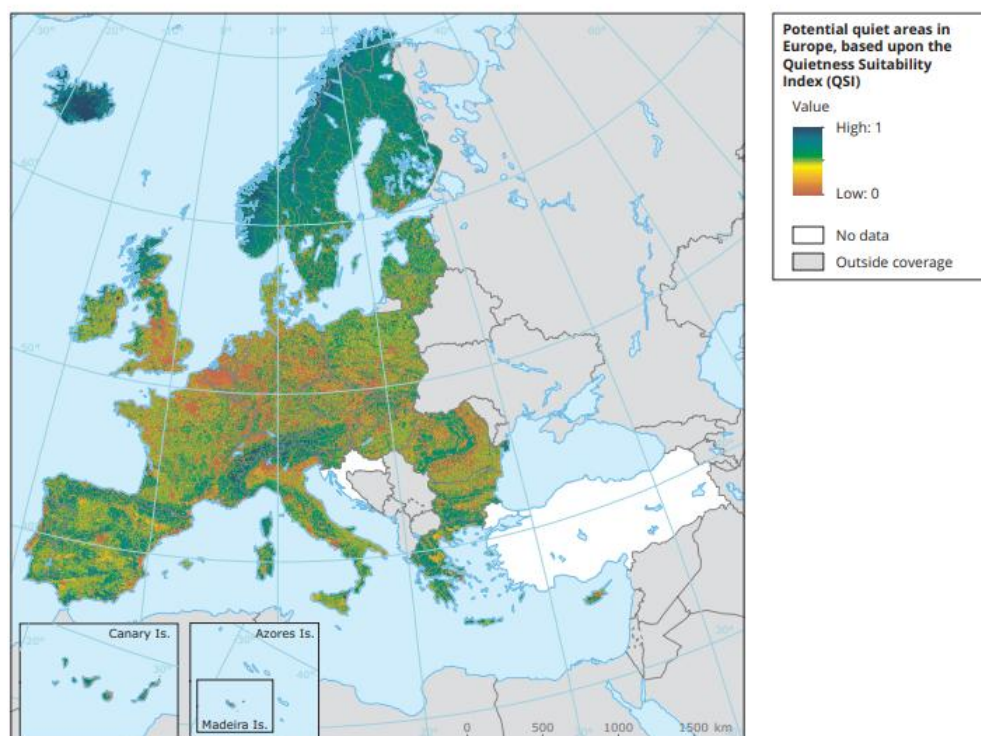


Source: ETC/ATNI (2019c).

Σχήμα 2.1: Εύρος επιπέδων θορύβου ανά δείκτη /Πηγή: Environmental noise in Europe -2020 [6]

Η υπηρεσία NOISE έχει συλλέξει και δημοσιοποιήσει πληροφορίες για τις πιο ήσυχες (πιθανές) γεωγραφικά περιοχές της Ευρώπης.

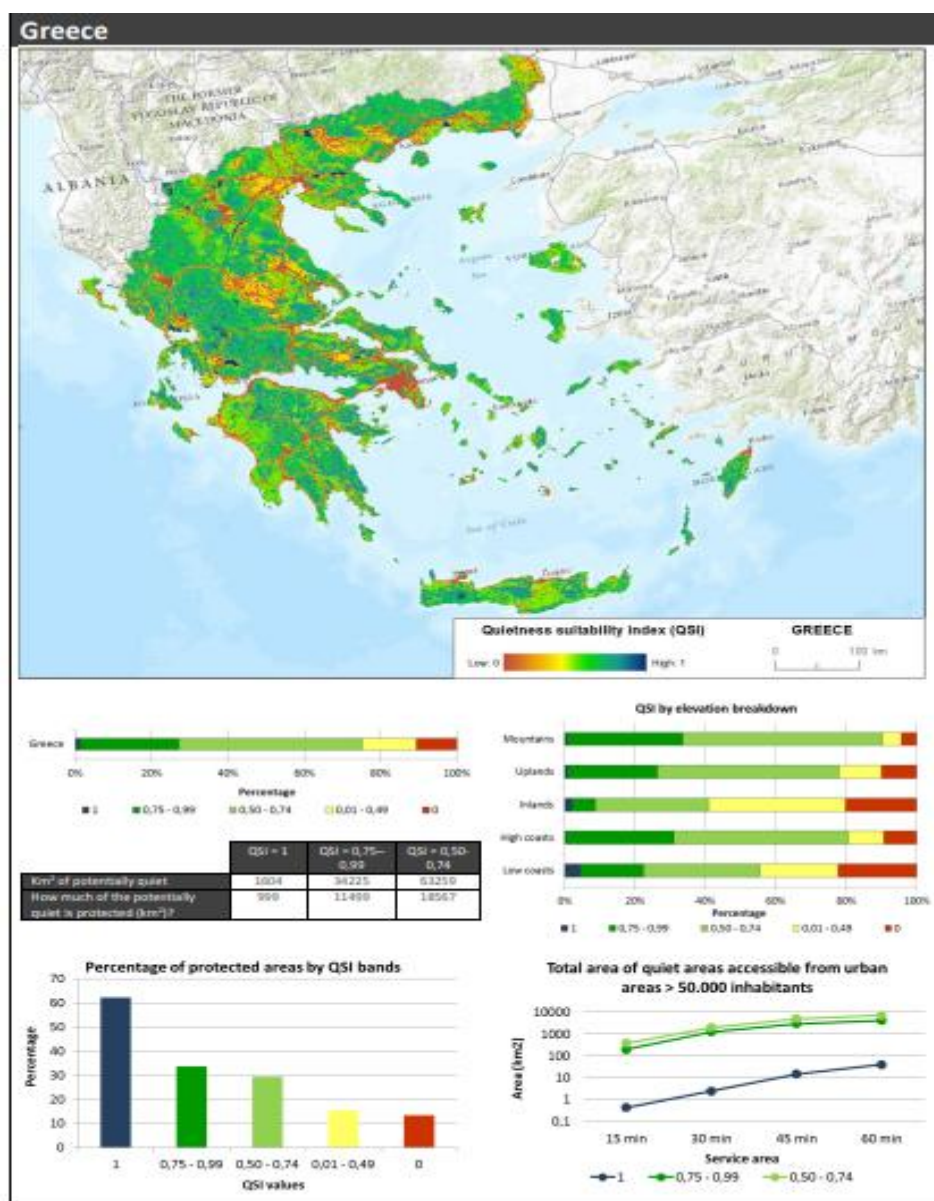
Map 3.1 Potential quiet areas in Europe based upon the Quietness Suitability Index (QSI)



Σχήμα 2.2: Χάρτης της Ευρώπης με τις πιο ήσυχες ,πιθανές ,γεωγραφικά περιοχές (European Environment Agency 2016) [6]

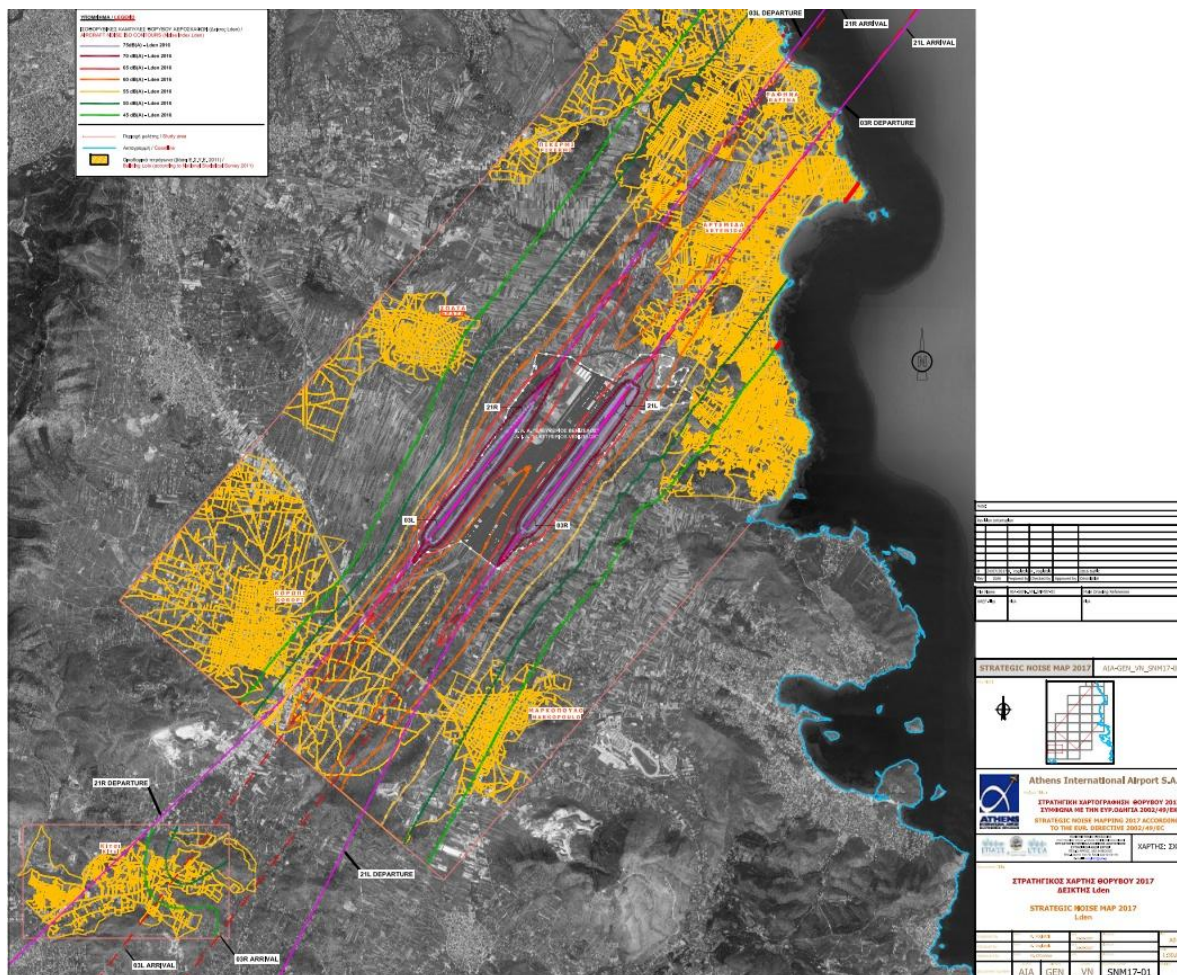
2.2.2 Πληροφορίες για τον περιβαλλοντικό θόρυβο στην Ελλάδα

Η NOISE επίσης έχει συλλέξει στοιχεία και έχει δημοσιοποιήσει τον χάρτη της Ελλάδας με τις ποιο ήσυχες, πιθανές , περιοχές .



Σχήμα 2.3: Χάρτης της Ελλάδας με τις ποιο ήσυχες, πιθανές, περιοχές (European Environment Agency 2016) [7]

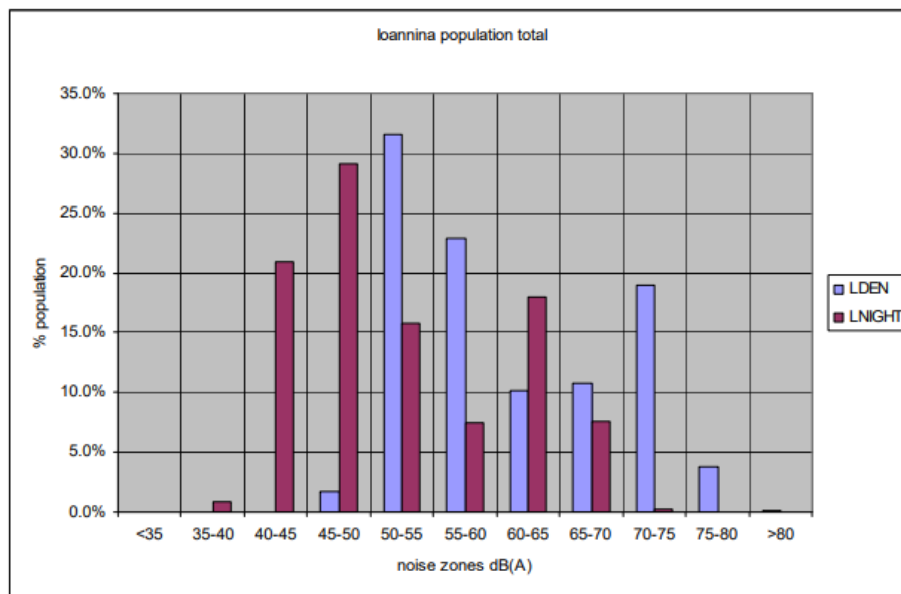
Στοιχεία έκθεσης πληθυσμού από τον περιβαλλοντικό θόρυβο ,για τον δείκτη Lden, που προέρχεται από τις λειτουργικές δραστηριότητες του Διεθνούς Αεροδρομίου Αθηνών «Ελ. Βενιζέλος» παρουσιάζονται στο NOISE .



Σχήμα 2.4: Στρατηγικός χάρτης περιβαλλοντικού θορύβου, για τον δείκτη Lden, του Διεθνούς Αεροδρομίου Αθηνών «Ελ. Βενιζέλος» (NOISE 2017) [17]

Το Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (Υ.Π.Ε.Κ.Α.) έχει σχεδιάσει πρόγραμμα υλοποίησης στρατηγικών χαρτών θορύβου βάση της Οδηγίας 2002/49/ΕΚ- για όλες τις μεγάλες πόλεις της Ελλάδος οι οποίοι θα υποβάλλονται και αυτοί στο NOISE. Πληροφορίες για τον περιβαλλοντικό θόρυβο και στοιχεία έκθεσης πληθυσμού σε αυτόν, όπως και κάποιους χάρτες

περιβαλλοντικού θορύβου πολεοδομικών συγκροτημάτων, μπορούμε να βρούμε στην ιστοσελίδα του Υπουργείου (Υ.Π.Ε.Κ.Α., <https://ypen.gov.gr/perivallon/thoryvos-aktinovolies/>).



Γράφημα 2.1: Ο πληθυσμός της πόλη Ιωαννίνων ανά ζώνη Περιβαλλοντικού Θορύβου τον Δεκέμβριο του 2014 (Ερατοσθένης Σ.Μ, ΕΠΕ Μελ.ΑΕ-ΗΡC-Paseco ΜΕΛ.ΕΠΕ για το τμήμα αξιολόγησης και καταπολέμησης περιβαλλοντικού θορύβου του Υ.Π.Ε.Κ.Α.) [7]

Κεφάλαιο 3

- Όργανα μέτρησης Περιβαλλοντικού θορύβου
- Μεθοδολογία
- Προγράμματα ανάλυσης και επεξεργασίας μετρήσεων

3.1 Όργανα μέτρησης – Προγράμματα (λογισμικά)

3.1.1 Όργανα μέτρησης

Για την διαδικασία των μετρήσεων στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν :

α) Μικρός φορητός υπολογιστής τύπου tablet της μάρκας Samsung (galaxy10.5 A8SM-X200) με τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

-CPU: Octa-core (2x2.0GHz Cortex-A75 και 6x2.0GHz Cortex-A55

-GPU : Mali G52 MP2 , Μνήμη : 64 GB ,4GB RAM

-Ηχεία : 4 stereo speakers (Dolby Atmos) , Λειτουργικό σύστημα : Adroid13,One UI5

-Μικρόφωνο : Ενσωματωμένο μικρόφωνο της εταιρείας Samsung (SM-A530F 3003-001232)

-Δίκτυο : Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac , Chipset : Unisoc Tiger T618(12nm)

-Οθόνη: TFT 10.5 inches 200x1920 pixels 16:10 (216ppi density)

β) Αναλυτής φάσματος ήχου υψηλής ακρίβειας 31 ζωνών (bands) μάρκας PHONIC PAA3 ο οποίος διαθέτει:

-Αποσπώμενο βαθμονομημένο μικρόφωνο μέτρησης

-Μετρητή SPL και μετρητή στάθμης με επιλογές εύρους τριών επιπέδων

-Μετρητή στάθμης ηχητικής πίεσης από 30 dB έως 130 dB

-Ένδειξη μέτρησης σήματος γραμμής σε dBu, dBV ή Volts (AC)

-Κουμπί στιγμιότυπου για στιγμιαίες λήψεις οθόνης που αποθηκεύονται στην κάρτα SD

-A, B, C και επίπεδα στάθμιση όλα διαθέσιμα για μετρήσεις

-Ένδειξη μέγιστης στάθμης και κράτησης αιχμής.Ισορροπημένες υποδοχές εισόδου και εξόδου XLR.

Οι μετρήσεις σχεδόν στο σύνολό τους θα πραγματοποιηθούν με τη χρήση του tablet Samsung για την καλύτερη συνεργασία και μεταφορά των μετρητικών δεδομένων στον Ηλεκτρονικό Υπολογιστή

προκειμένου να γίνει αξιολόγηση και ανάλυση με το πρόγραμμα που φτιάχτηκε για το σκοπό αυτό . Ο αναλυτής φάσματος Phonic PAA3 θα χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά και παράλληλα με το tablet , μόνο σε μετρήσεις με συγκεκριμένα τονικά χαρακτηριστικά π.χ. ανεμογεννήτριες.

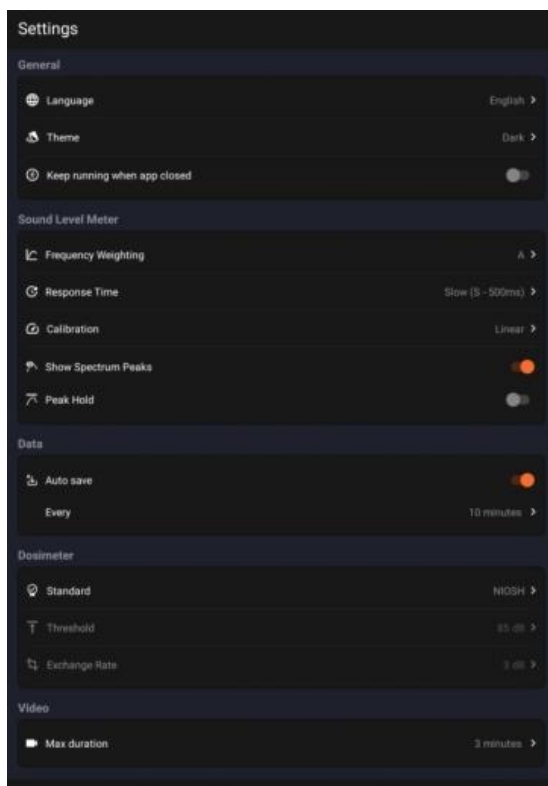
3.1.2 Πρόγραμμα (λογισμικό) decibelX

Οι μετρήσεις με το tablet Samsung θα γίνουν χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα (λογισμικό) decibelX. Αυτή η εφαρμογή «μετατρέπει» τη συσκευή σε έναν σχεδόν επαγγελματικό ηχομετρητή. Ανιχνεύει και καταγράφει αξιόπιστα περιβαλλοντικούς θορύβους. Υποστηρίζει την στάθμιση dBA, με την οποία θα πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις. Μετρά με αρκετά καλή ακρίβεια τη στάθμη ηχητικής πίεσης (SPL) ενώ διαθέτει επίσης τις παρακάτω δυνατότητες :

- Έχει φίλτρα στάθμισης συχνότητας: A, B, C, Z και ITU-R 468. Γραφήματα FFT και BAR σε πραγματικό χρόνο
- Τα δεδομένα εγγραφής μπορούν να αποθηκευτούν αυτόματα (κάθε 3,5,10,15,20,30 min η 1,2,3 hours)
- Κάθε εγγραφή μπορεί να εξαχθεί ως γράφημα ή κείμενο CSV
- Μέτρηση και εμφάνιση τιμών Leq, μέσου όρου και μέγιστων.
- Τυπικές σταθμίσεις χρόνου (response time): slow (500 ms), fast (200 ms) και impulse (50 ms). Τα πρόγραμμα decibelX μας δίνει την δυνατότητα να επιλέξουμε τις ρυθμίσεις που επιθυμούμε και το περιβάλλον εμφάνισης ανάλογα με της μετρήσεις μας .



Σχήμα 3.1: Περιβάλλοντα του decibelX κατά την διάρκεια μετρήσεων



Σχήμα 3.2: Το περιβάλλον με τις ρυθμίσεις του προγράμματος decibelX

3.2 Μεθοδολογία

3.2.1 Δείκτες και ανάλυση μετρήσεων

Για να είμαστε σε θέση να κάνουμε αξιολόγηση της ακουστικής επιβάρυνσης του περιβαλλοντικού θορύβου θα πρέπει να έχουμε στοιχεία και να υπολογίσουμε (μέσω του προγράμματος LabVIEW) όλες τις παρακάτω αναφερόμενες ηχοστάθμες σε dB(A).

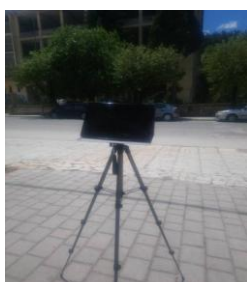
- Μέγιστες στάθμες (L_{max}) και ελάχιστες τιμές (L_{min}) στη διάρκεια της καταγραφής,
- Δείκτες L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} και L_{den}
- Ενεργειακά ισοδύναμη μέση ηχοστάθμη L_{Aeq}
- Την ενεργειακά ισοδύναμη συνεχή στάθμη θορύβου (L_{eq}) που εκφράζει την σταθερή εκείνη στάθμη του θορύβου, η οποία για κάποια ορισμένη χρονική περίοδο έχει το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο με αυτό του πραγματικού θορύβου, σταθερού ή μεταβαλλόμενου

3.2.2 Χρονική περίοδος καταγραφής

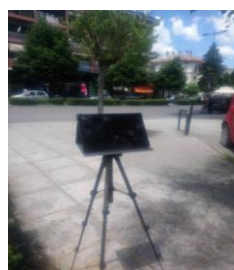
Δεδομένου ότι ο περιβαλλοντικός θόρυβος έχει άμεση σχέση με την ημέρα (Καθημερινή, Κυριακή κλπ.) αλλά και την ώρα κατά την διάρκεια του 24ώρου κατά την οποία έγιναν οι μετρήσεις, πρέπει όλες οι ακουστικές μετρήσεις που αφορούν την αστική περιοχή της πόλης (Ιωάννινα) να γίνονται σε ίδιες χρονικές περιόδους - ανά θέση μέτρησης - για να διασφαλίζετε η ανάλυση και σύγκριση των ανωτέρω δεικτών του ακουστικού περιβάλλοντος. Στην παρούσα εργασία οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από τον Δεκέμβριο του 2023 έως τον Απρίλιο του 2024 και σε όσο το δυνατόν ίδιες συνθήκες (ημέρες, ώρες, καιρικές συνθήκες) ανά περιοχή, στα όρια της πόλης των Ιωαννίνων. Στις μετρήσεις εκτός πόλης (Β και Γ κατηγορία) π.χ. ροές ποταμών, ανεμογεννήτριες ή σε ειδικές κατηγορίες π.χ. σχολικό περιβάλλον, δεν μπορεί να υπάρχει ο δείκτης L_{den} αφού δεν διαφοροποιούνται οι τιμές μέτρησης κατά τη διάρκεια του 24ώρου (ανεμογεννήτριες) ή δεν υπάρχει λειτουργία όλες τις ώρες της ημέρας (σχολεία, καφέ κλπ.), έτσι έχουμε μέτρηση μόνο του δείκτη L_{eq} . Σε αυτές τις περιπτώσεις έγιναν μετρήσεις σε ώρες «κανονικής» λειτουργίας. Για παράδειγμα σε σχολείο σε καθημερινές ώρες λειτουργίας, ενώ σε ροή ποταμού ή στις ανεμογεννήτριες σε καλές αν όχι ιδανικές καιρικές συνθήκες (άνεμος ταχύτητας 2,5m/sec έως 5,6 m/sec η 2,5 έως 3 μποφόρ).

3.2.3 Θέσεις μέτρησης

Οι μετρήσεις στην πόλη πραγματοποιήθηκαν σε επιλεγμένες θέσεις έτσι ώστε να έχουμε εικόνα και σύγκριση για επιβαρημένες και ήσυχες περιοχές, ειδικότερα από τον κυκλοφοριακό περιβαλλοντικό θόρυβο. Το όργανο μέτρησης τοποθετήθηκε περίπου 2m πάνω από το έδαφος και σε απόσταση 2m από τα όρια οδών με χρήση τρίποδα. Επίσης αποφεύχθηκαν οι ανακλαστικές επιφάνειες για να μην επιβαρύνουν την μετρούμενη στάθμη τυχόν ανακλάσεις. Στο ποτάμι έγιναν μετρήσεις σε αποστάσεις: 1m, 20m και 40m από την κοίτη του και σε ύψος 1m περίπου.



(i) Οδός Δομπόλη



(ii) Κεντρική πλατεία

Σχήμα 3.3: Μετρήσεις σε οδούς της πόλης των Ιωαννίνων

Στο πάρκο ανεμογεννητριών του Κασσιδιάρη, έγιναν μετρήσεις σε απόσταση 40m, 70m, 100m, 160m και 250m από τις ανεμογεννήτριες με άνεμο 2,5 έως 3,5 μποφόρ .



(i) Μετρήσεις με tablet και phonic raa3



(ii) Μέτρηση με το Phonic RAA3

Σχήμα 3.4: Μετρήσεις στο πάρκο ανεμογεννητριών Κασσιδιάρη

3.2.4 Στάθμιση χρόνου ,συχνότητας - Βαθμονόμηση οργάνων

Ως προς τη στάθμιση συχνότητας επιλέχθηκε η “A” στάθμιση που προσομοιώνει την ακουστική καμπύλη του ανθρώπινου αυτιού. Επιλέχθηκε ως ταχύτητα απόκρισης της απεικονιζόμενης στάθμης ηχητικής πίεσης (responce time) η επιλογή S (slow), η οποία αντιπροσωπεύει μακρύτερο χρόνο υπολογισμού του μέσου όρου (500 msec) αμβλύνοντας τις ταχύτερες αλλαγές της στάθμης. Οι άλλες επιλογές F (fast 200ms) και I (impulse 50ms) επιτρέπουν στο όργανο να δείξει ταχείες μεταβολές θορύβου και είναι κατάλληλες για μέτρηση των αιχμών του θορύβου. Επίσης πριν την έναρξη της διαδικασίας των δειγματοληψιών θορύβου ρυθμίστηκε η βαθμονόμηση (καλιμπράρισμα) του οργάνου για μετρήσεις στην περιοχή συχνοτήτων 0Hz έως 22050 Hz με αρχικό επίπεδο 0dB και μέγιστο 130 dB.

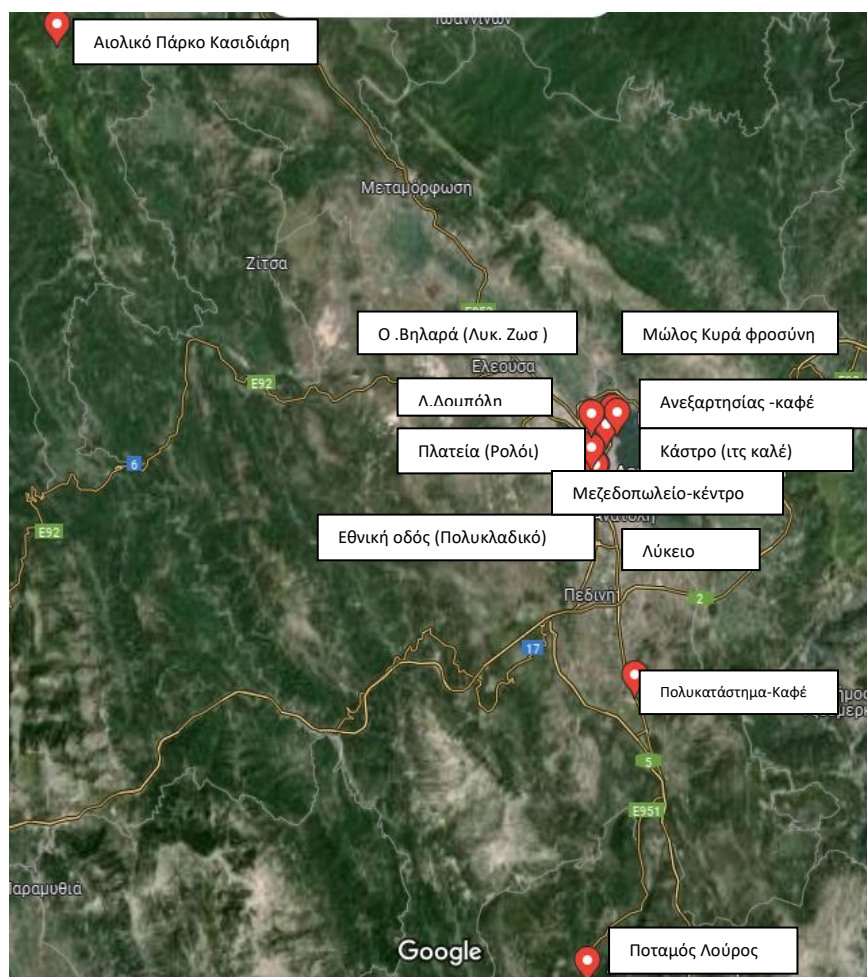
3.2.5 Χρονική διάρκεια μετρήσεων - Στοιχεία μετρήσεων

Οι μετρήσεις για κάθε χρονική περίοδο (πρωί, απόγευμα, νύχτα) έχουν διάρκεια 10 λεπτών με δείγμα μέτρησης ανά 0,5 sec ,δηλαδή 1200 δείγματα ανά δεκάλεπτη μέτρηση. Στη συνέχεια από τα δεδομένα των μετρήσεων Lday, Levening, Lnight υπολογίζουμε τον δείκτη Lden (από τον γνωστό τύπο που

προαναφέραμε) .Έτσι μπορούμε να εισάγουμε αρχείο δεδομένων για όποιο δείκτη επιθυμούμε στο πρόγραμμα LabVIEW για περαιτέρω ανάλυση και αξιολόγηση .

3.2.6 Συνθήκες μέτρησης

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν τις μετρήσεις, ιδιαίτερα σε συνθήκες ελεύθερου πεδίου. Σε ότι αφορά τους ατμοσφαιρικούς παράγοντες, επισημαίνεται ότι οι κατάλληλες ατμοσφαιρικές συνθήκες για μετρήσεις ορίζονται ως οι περίοδοι όπου δεν υπάρχει καθόλου βροχή ή χιόνι και όταν η ταχύτητα ανέμου δεν υπερβαίνει τα 3 m/s στη θέση μέτρησης. Για αυτό δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις κατά την διάρκεια δυνατών ανέμων, βροχής, χιονόπτωσης και ομίχλης. Επίσης δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και κατά την διάρκεια καταστάσεων που δεν αντιπροσωπεύουν την συνήθη εικόνα π.χ. κατά την διάρκεια ενός οδικού ατυχήματος ή παρουσίας εργοταξίου κ.λπ.



Σχήμα 3.5: Χάρτης με τις θέσεις μέτρησης στο νομό Ιωαννίνων

Κεφάλαιο 4

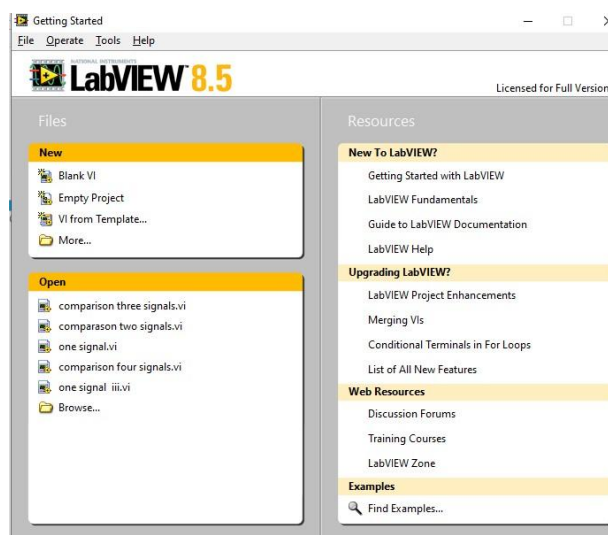
-Το πρόγραμμα LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)

- Το VI (virtual instruments) για την ανάλυσης και αξιολόγησης των μετρήσεων περιβαλλοντικής ηχορύπανσης

4.1 Το πρόγραμμα LabVIEW

4.1.1 Γενικές πληροφορίες για το LabVIEW

Το LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) είναι μια πλατφόρμα η οποία αναπτύχθηκε από την National Instruments η οποία πρόσφατα (Απρίλιος του 2023) εξαγοράστηκε από την Emerson Το LabVIEW έχει ένα πλήρες περιβάλλον ανάπτυξης συστημάτων μέτρησης και ελέγχου[20]. Χρησιμοποιείται κυρίως από επιστήμονες, μηχανικούς και εκπαιδευτικά ιδρύματα. Χρησιμοποιεί μια γραφική γλώσσα προγραμματισμού η οποία ονομάζεται G. Είναι μια οπτική γλώσσα που επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργήσουν οπτικά συστήματα. Έχει δυνατότητες ανάλυσης των επιστημονικών και μηχανικών στοιχείων. Περιέχει βιβλιοθήκες με πληθώρα έτοιμων εφαρμογών, έτσι πολλές φορές δεν υπάρχει καμία ανάγκη να αρχίσει η κατασκευή ενός συστήματος από το μηδέν. Η ορολογία, τα εικονίδια και η γενικότερη φιλοσοφία που χρησιμοποιεί το LabVIEW και η γλώσσα G δημιουργεί προγράμματα με μεγαλύτερη ευκολία χωρίς να χρειάζονται οι συντακτικές λεπτομέρειες μίας κλασικής γλώσσας προγραμματισμού π.χ. C. [19] Στην εργασία χρησιμοποιήθηκε η έκδοση LabVIEW 8.5



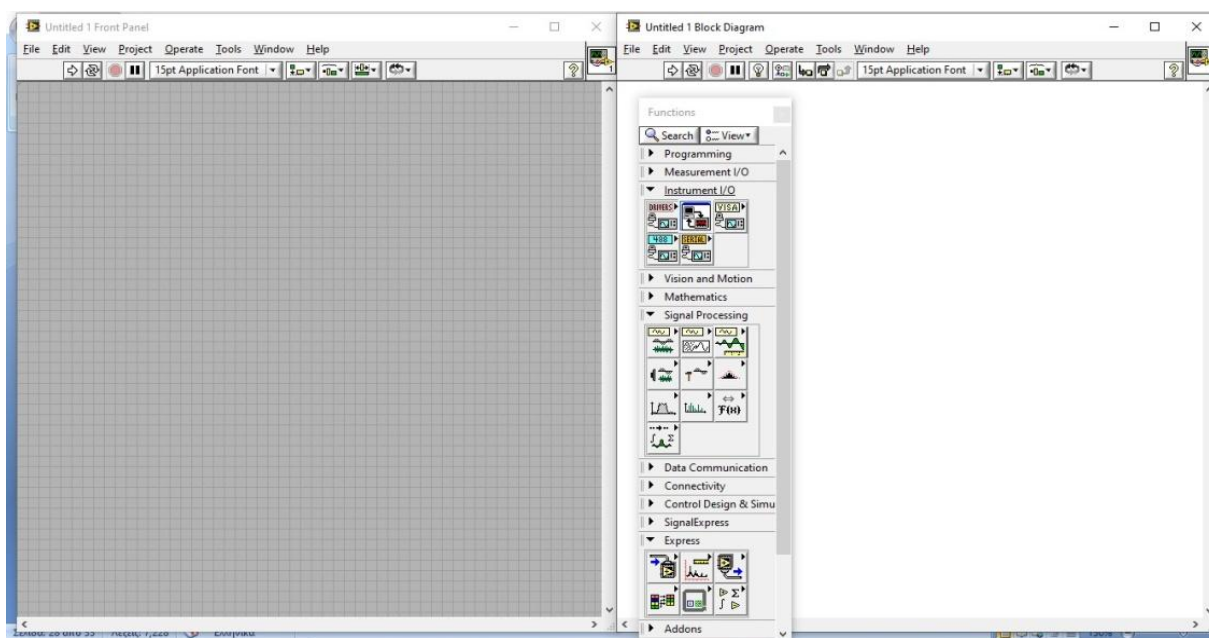
Σχήμα 4.1: Εικονίδιο έναρξης LabVIEW, έκδοση 8.5

Τα προγράμματα του LabVIEW ονομάζονται virtual instruments (για συντομία VI η VIs). Ένα VI αποτελείται από: το front panel και το block diagram.

Το front panel μπορεί να περιέχει διακόπτες, οθόνες που να παρουσιάζουν γραφικές παραστάσεις,

διάφορα όργανα επιλογής εισόδων και ένδειξης εξόδων. Είναι ουσιαστικά ένας συνδυασμός από controls και indicators. Ο χρήστης μπορεί να εισάγει δεδομένα χρησιμοποιώντας το πληκτρολόγιο ή το ποντίκι μέσω των controls και στη συνέχεια να δει τα αποτελέσματα που παράγονται από το πρόγραμμα στην οθόνη μέσω των indicators. Η εισαγωγή των controls και των indicators γίνεται μέσα από το Control Palette.

Το block diagram είναι ουσιαστικά ο πηγαίος κώδικας του VI, και το εκτελέσιμο πρόγραμμα. Τα στοιχεία που το αποτελούν είναι εικονίδια τα οποία αντιπροσωπεύουν χαμηλότερης στάθμης VIs, έτοιμες συναρτήσεις του LabVIEW και δομές ελέγχου του προγράμματος. Ο χρήστης πρέπει να συνδέσει καλώδια για να ενώσει τα εικονίδια υποδεικνύοντας έτσι τη ροή των δεδομένων. Το εικονίδιο και οι σύνδεσμοι του VI που του επιτρέπουν να ανταλλάσσει δεδομένα με άλλα VIs είναι τοποθετημένο στην πάνω-δεξιά γωνία του front panel και του block diagram .



Σχήμα 4.2: Το front panel και το block diagram του LabVIEW όπως το βλέπουμε στον Η/Υ

4.1.2 Το περιβάλλον του Lab VIEW

Στην γραμμή εργασιών μπορούμε να βρούμε τις παρακάτω επιλογές για τον σχεδιασμό του προγράμματός μας στο LabVIEW (block diagram) :

File Menu : Σε αυτό το μενού βρίσκουμε συνηθισμένες εντολές διαχείρισης αρχείων όπως οι παρακάτω:

- New VI δημιουργεί ένα νέο VI.
- New εμφανίζει ένα dialog box το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία διαφόρων στοιχείων του LabVIEW.
- Open εμφανίζει ένα dialog box από το οποίο μπορούμε να επιλέξουμε το αρχείο που θέλουμε να ανοίξουμε.
- Close κλείνει το τρέχον αρχείο .Close All κλείνει όλα τα ανοιχτά αρχεία.
- Save αποθηκεύει το τρέχον αρχείο. Save As, επιτρέπει στον χρήστη να αποθηκεύσει το τρέχον αρχείο με ένα διαφορετικό όνομα, προέκταση αρχείου .
- Save for Previous Version επιτρέπει στον χρήστη να αποθηκεύσει το τρέχον αρχείο με μια διαφορετική έκδοση του προγράμματος
- Revert επαναφέρει το αρχείο στην κατάσταση που βρισκόταν όταν είχε αποθηκευθεί για τελευταία φορά.
- New Project επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε το Vis σε ένα καινούριο project.
- Open Project ανοίγει ένα project.
- Page Set up εμφανίζει ένα dialog box το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για να αλλάξουμε τις ρυθμίσεις του εκτυπωτή είτε για να διαμορφώσουμε την εικόνα του αρχείου.
- Print εμφανίζει ένα dialog box το οποίο δίνει στο χρήστη διάφορες επιλογές που αφορούν την εκτύπωση ενός αρχείου.
- Print Window εμφανίζει ένα dialog box το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτύπωση του τρέχοντος front panel ή block diagram window.
- VI Properties εμφανίζει ένα dialog box που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιλεγούν κάποιες γενικές επιλογές .
- Recently Files επιτρέπει στο χρήστη να ανοίξει αρχεία τα οποία έχουν προσπελαστεί πρόσφατα.

Edit Menu : Περιέχει εντολές οι οποίες μας επιτρέπουν να ψάξουμε για LabVIEW αρχεία και να τροποποιήσουμε το περιεχόμενό τους. Οι εντολές που περιλαμβάνονται είναι οι παρακάτω:

- Undo ακυρώνει την τελευταία ενέργεια του χρήστη.

- Redo ακυρώνει την τελευταία Undo ενέργεια.
- Cut απομακρύνει το επιλεγμένο αντικείμενο και το αποθηκεύει στο clipboard.
- Copy αντιγράφει το επιλεγμένο αντικείμενο και το αποθηκεύει στο clipboard.
- Paste τοποθετεί τα αντικείμενα του clipboard στο ενεργό παράθυρο.
- Remove from project απομακρύνει το επιλεγμένο αντικείμενο χωρίς να το αποθηκεύει στο clipboard.
- Find, εμφανίζει το Find dialog box το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση VIs.
- Customize Control επιτρέπει στον χρήστη να τροποποιήσει το επιλεγμένο front panel control αντικείμενο και να αποθηκεύσει το αρχείο που προκύπτει με την .ctl επέκταση.
- Set Tabbing Order επιτρέπει στον χρήστη να επιλέξει την σειρά αρίθμησης των αντικειμένων του front panel.
- Import Picture from File εισάγει μια εικόνα στο VI του χρήστη.
- Remove Broken Wires διαγράφει όλα τα καλώδια που εμφανίζονται με μια διακεκομμένη γραμμή και συνεπώς είναι κακώς τοποθετημένα, από το ενεργό VI.
- Create Sub VI δημιουργεί ένα νέο subVI από τα επιλεγμένα αντικείμενα.
- Run-Time Menu εμφανίζει το Menu Editor dialog box το οποίο μπορεί να αξιοποιήσει ο χρήστης για να δημιουργήσει και να επεξεργαστεί run-time menu (RTM) αρχεία και να τα συσχετίσει με ένα VI.

Project: Περιέχει εντολές διαχείρισης project

- New Project επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε το Vis σε ένα καινούριο project.
- Open Project - Save Project - Add To Project

View : Περιέχει εντολές οι οποίες εμφανίζουν παλέτες με όργανα και εργαλεία

- Controls Palette
- Tools Palette

Operate Menu : Περιέχει εντολές οι οποίες χρησιμεύουν στον έλεγχο της λειτουργίας των VIs.:

- Run εκτελεί το VI. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί το κουμπί Run που βρίσκεται στο toolbar
- Stop σταματάει την εκτέλεση του VI πριν αυτή ολοκληρωθεί

- Suspend when Called έχει σαν συνέπεια να ανασταλεί η εκτέλεση του VI
- Print at Completion εκτυπώνει την εικόνα του front panel όταν ολοκληρωθεί η εκτέλεση του VI
- Connect to Remote Panel επιτρέπει στον χρήστη να συνδεθεί και να ελέγξει ένα front panel που βρίσκεται σε ένα απομακρυσμένο υπολογιστή

Tools Menu : Περιέχει εντολές οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση του LabVIEW, των Projects του χρήστη και των VIs.

- Measurement & Automation Explorer μπορεί να χρησιμοποιήσει ο χρήστης για να διαμορφώσει το instruments and data acquisition hardware που είναι συνδεδεμένο στο σύστημά του.
- Instrumentation δίνει πρόσβαση στις Instrument Driver Network, Import CVI Instrument Driver, Update VXI plug & play Drivers εντολές.
- Remote Panel Connection Manager επιτρέπει στο χρήστη να παρακολουθεί όλο το client traffic προς τον server.
- Web Publishing Tool δίνει πρόσβαση στο Web Publishing Tool VI.
- Options εμφανίζει ένα dialog box το οποίο μπορεί να χρησιμοποιήσει ο χρήστης για να customize την εμφάνιση και τη συμπεριφορά των εφαρμογών του LabVIEW.

Window Menu : Περιέχει εντολές οι οποίες επιτρέπουν στο χρήστη να διαμορφώσει την εμφάνιση των παραθύρων και των palettes όπως οι παρακάτω:

- Show Block Diagram
- Tile Left and Right χωρίζει την οθόνη καθέτως και ισομερώς τοποθετώντας το front panel στην αριστερή πλευρά της οθόνης και το block diagram στη δεξιά.
- Tile Up and Down χωρίζει την οθόνη οριζοντίως και ισομερώς τοποθετώντας το front panel στην πάνω πλευρά της οθόνης και το block diagram στο κάτω.
- Full Size το ενεργό παράθυρο (front panel ή block diagram) εξαπλώνεται έτσι ώστε να καταλάβει όλη την οθόνη του υπολογιστή.

Help Menu : Περιέχει τις παρακάτω εντολές:

- Show Context Help εμφανίζει το Context Help window το οποίο παρέχει βασικές πληροφορίες για οποιοδήποτε VI, function ή control.
- Lock Context Help κλειδώνει το τρέχον περιεχόμενο του Context Help window.

- Search the LabVIEW Bookshelf εμφανίζει την PDF (Portable Documentation Format) version του εγχειρίδιου του LabVIEW.
- Help for This VI δίνει την πλήρη βοήθεια για το συγκεκριμένο VI η οποία και προέρχεται από το *LabVIEW Help*.
- Find Examples επιτρέπει στο χρήστη να ψάξει και να επιλέξει εκατοντάδες παραδείγματα από VIs.
- Web Resources δίνει στο χρήστη πρόσβαση σε Internet links .
- Explain Error δίνει όλες τις πληροφορίες που αφορούν τα λάθη του τρέχοντος VI.
- A bout LabVIEW δίνει πρόσβαση σε γενικές πληροφορίες που αφορούν την εγκατεστημένη έκδοση του LabVIEW.

4.1.3 Palettes στο LabVIEW

Το LabVIEW περιέχει τρεις «παλέτες»: την control palette την functions palette και την tools palette. Από τις δύο πρώτες αντλούμε τα στοιχεία για να σχεδιάσουμε το front panel και το block diagram ενώ η tools palette περιέχει κάποια εργαλεία μορφοποίησης.

I) Control Palette : Για να ενεργοποιήσουμε την control palette πατάμε δεξί click στο χώρο του front panel, όταν αυτό είναι ενεργοποιημένο ή επιλέγουμε την εντολή View Control Palette από το Menu του front panel. Κατόπιν εμφανίζεται η παλέτα η οποία είναι πολύ εύχρηστη και βοηθάει να επιλέξουμε controls και indicators, όλων των μορφών, για το πρόγραμμα .



Σχήμα 4.3: Η Control Palette του Front panel

II) Functions Palette: Για να ενεργοποιήσουμε την functions palette πατάμε δεξί click στο χώρο του block

diagram, όταν αυτό είναι ενεργοποιημένο ή επιλέξουμε την εντολή Functions Palette από το View του block diagram. Από αυτήν την παλέτα μπορούμε να επιλέξουμε μια build-infunction του LabVIEW ή ένα VI και να χτίσουμε το block diagram του δικού μας VI.



Σχήμα 4.4: Η Functions Palette του block diagram

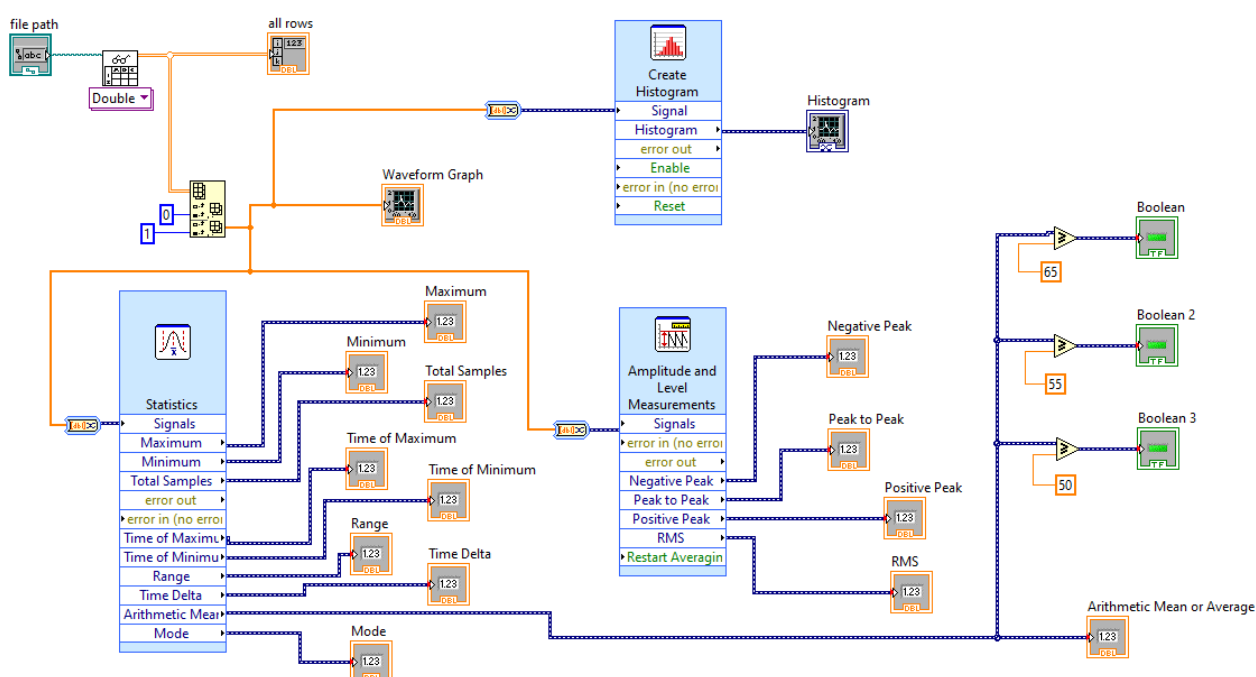
III) Tools Palette :Για να ενεργοποιήσουμε την tools palette επιλέγουμε την εντολή Tools Palette από το View Menu είτε του front panel είτε του block diagram.



Σχήμα 4.5: Η Tools Palette του LabVIEW

4.2 Το πρόγραμμα (VI) της εργασίας για την ανάλυση και αξιολόγηση των μετρήσεων περιβαλλοντικής ηχορύπανσης.

4.2.1 Το βασικό πρόγραμμα (VI - block diagram) που δημιουργήθηκε στο LabVIEW ,στα πλαίσια της εργασίας για την ανάλυση και αξιολόγηση των μετρήσεων περιβαλλοντικής ηχορύπανσης, μπορούμε να δούμε στο σχήμα 4.6



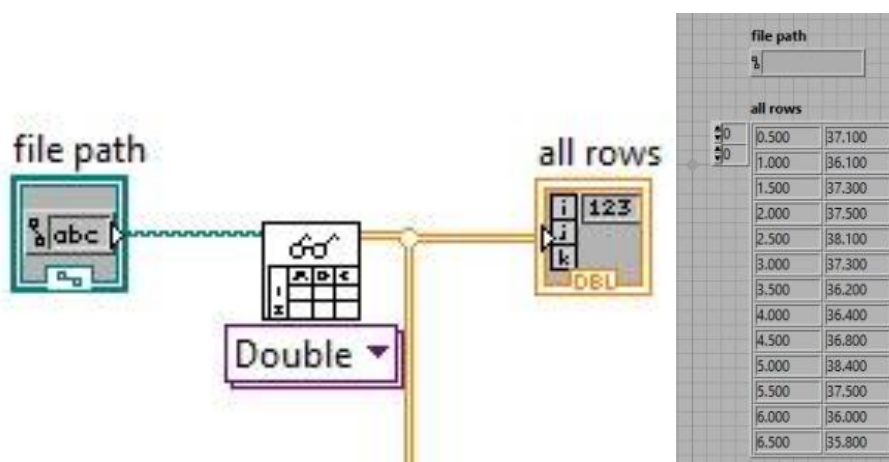
Σχήμα 4.6: Το Block Diagram του Βασικού προγράμματος (VI)

4.2.2 Τα βασικά δομικά στοιχεία του προγράμματος

Το παραπάνω πρόγραμμα υλοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τα παρακάτω δομικά στοιχεία:

- Από την παλέτα συναρτήσεων (Functions) επιλέγουμε : programming / file I/O / Read From Spreadsheet File.vi . Το στοιχείο αυτό διαβάζει έναν καθορισμένο αριθμό γραμμών ή σειρών από ένα

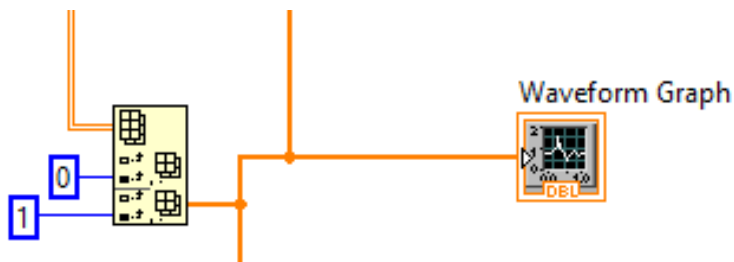
αριθμητικό αρχείο κειμένου που αρχίζει με μια καθορισμένη μετατόπιση χαρακτήρων και μετατρέπει τα δεδομένα σε έναν πίνακα 2D. Εκεί συνδέουμε τον ακροδέκτη file path. Κάθε φορά που θα ζητάμε να «τρέξει» το πρόγραμμά μας (με το λευκό βελάκι), θα μας ζητάει να υποδείξουμε ποιο αρχείο θέλουμε να «φορτώσουμε» για την περαιτέρω ανάλυση. Εμείς έχουμε ετοιμάσει από τις μετρήσεις μας τα αρχεία που περιλαμβάνουν τα δεδομένα (μέτρηση ήχου ανά μονάδα χρόνου) και επιλέγουμε ποιο θέλουμε να εκτελέσουμε. Επίσης δημιουργούμε και έναν δείκτη (indicator) έτσι ώστε να βλέπουμε τα αρχεία που διαβάζει το πρόγραμμά μας στο frond panel.



Σχήμα 4.7: Τμήμα του προγράμματος με την σύνδεση του στοιχείου (double) που διαβάζει τα αρχεία(file path) και τον δείκτη-πίνακα (all rows) με τις τιμές του αρχείου db/sec

- Στη συνέχεια επιλέγουμε από την Functions programming το στοιχείο : συνάρτηση Index Array στο οποίο μπορούμε να συνδέσουμε το προηγούμενο κομμάτι του προγράμματός μας δηλαδή έναν πίνακα με τιμές μέτρησης ήχου(db) ανά χρόνο (sec). Ρυθμίσουμε τις διαστάσεις αυτού ανάλογα με το μέγεθος του αρχείου ορίζοντας μεταβλητές (constant) ξεκινώντας από τον οριζόντιο άξονα (χρόνου) «0» και στη συνέχεια ανάλογα με τον αριθμό των εισόδων (άξονας Y) που θέλουμε ορίζουμε «1» για ένα αρχείο μέτρησης .Επεκτείνοντας το Index Array δημιουργούμε και άλλη στήλη και την ορίζουμε «2» για να εισάγουμε και δεύτερο αρχείο με μετρήσεις εάν θέλουμε να κάνουμε παράλληλη ανάλυση και σύγκριση .Έτσι μπορούμε να αυξήσουμε την δυνατότητα για εισαγωγή «3» , «4 » η και περισσότερα αρχεία ρυθμίζοντας το Index Array.

- Στην έξοδο του index array συνδέουμε ένα όργανο απεικόνισης της κυματομορφής, Waveform Graph, που παράγουν οι μετρήσεις μας (θόρυβος (dB) ανά χρόνος sec) από την παλέτα controls.



Σχήμα 4.8: Το μπλοκ Index Array του προγράμματος με το όργανο απεικόνισης της κυματομορφής, Waveform Graph, του προγράμματος

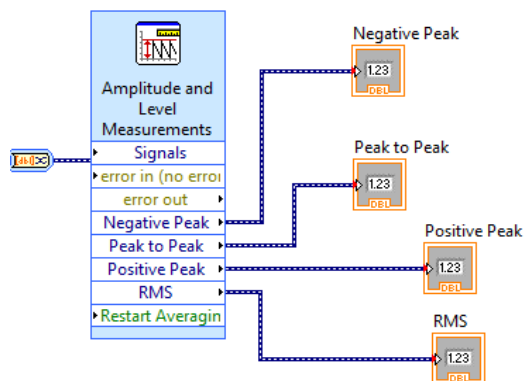
Στις επεκτάσεις του προγράμματος που θα δούμε παρακάτω, όταν θέλουμε να απεικονίσουμε και να συγκρίνουμε δύο, τρεις ή τέσσερις κυματομορφές διαφορετικών μετρήσεων χρησιμοποιούμε στη θέση του Waveform Graph το όργανο Mixed Signal Graph από την παλέτα controls / Modern /Mixed Signal Graph. Σε αυτή την περίπτωση βέβαια προσαρμόζουμε και ρυθμίζουμε το μέγεθος του Index Array ενώ χρησιμοποιούμε για την σύνδεσή του με το mixed Graph τον αντίστοιχο προσαρμογέα, cluster, τον οποίο επιλέγουμε από τη διαδρομή: function palette /programming /cluster/Bundle .



Σχήμα 4.9: Cluster- Mixed Signal Graph

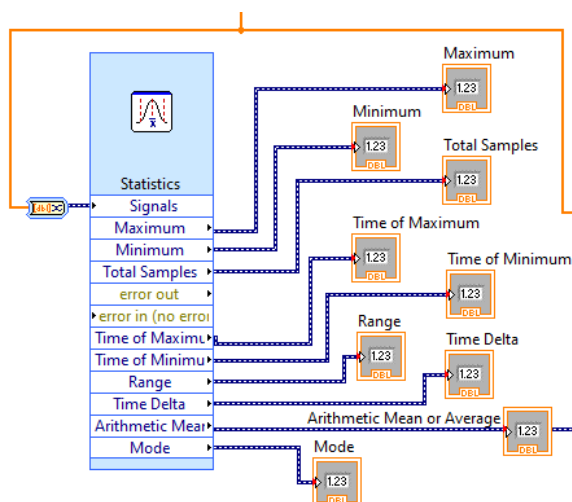
- Στη συνέχεια από την διαδρομή : Function/Signal Processing/ Waveform Measurements ,η από τα έτοιμα προγράμματα express Vi: signal Analysis-/ Amplitude and level Measurements, επιλέγουμε το στοιχείο: Amplitude and level Measurements,το συνδέουμε με το index Array μέσω ενός μετατροπέα που μας παρέχεται επίσης από το Express vi, ο οποίος μετατρέπει και προσαρμόζει κατάλληλα τα δεδομένα για να είναι επεξεργάσιμα από το όργανο που επιλέξαμε. Στην έξοδο του Amplitude and level Measurements επιλέγουμε όποιους δείκτες επιθυμούμε από τους διαθέσιμους και παρακολουθούμε τις αντίστοιχες τιμές για το σήμα που παράγετε από τις

μετρήσεις στο front panel τοποθετώντας έναν indicator σε κάθε επιλεγμένη ένδειξη π.χ. : RMS, Positive Peak, Negative Peak, Peak to Peak.



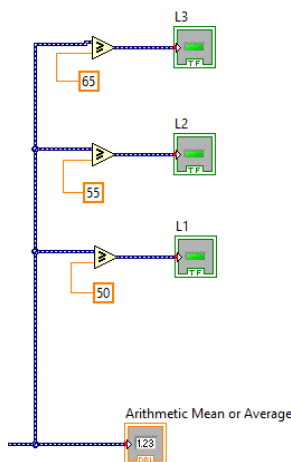
Σχήμα 4.10: Τμήμα του προγράμματος με το Amplitude and level Measurements και τους indicators

- Ένα άλλο «εργαλείο» του προγράμματός μας είναι το Statistics το οποίο επιλέγουμε από την διαδρομή: Function-Express/ Signal Analysis/Statistics. Με αυτό έχουμε τη δυνατότητα να παρακολουθούμε στο front panel μέσω δεικτών όποια μεγέθη μας ενδιαφέρουν από αυτά που είναι διαθέσιμα όπως : Maximum, Minimum, Time of Minimum, Time of Maximum , Total Samples, Time Delta (Time between samples), Range, Arithmetic Mean or Average, Mode (the value that occurs most often) κλπ. , αφού βέβαια συνδέσουμε και εδώ τον αντίστοιχο indicator (σχήμα 4.12)



Σχήμα 4.11: Το Statistics με τους δείκτες που επιλέξαμε να παρακολουθούμε

- Παράλληλα μπορούμε να παρακολουθούμε το μέσο όρο του επιπέδου του σήματος (Average) οδηγώντας το σε τρεις συγκριτές τους οποίους επιλέγουμε από τη διαδρομή :function/programming/Comparison. Ρυθμίζουμε το όριο των συγκριτών ανάλογα με τις επιλογές μας π.χ. 50 dB για αυστηρές απαιτήσεις ορίων ηχορύπανσης ο πρώτος, 55 dB ο δεύτερος για μεσαίες απαιτήσεις και 65 dB ο τρίτος για ελάχιστες απαιτήσεις, σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά επίπεδα του ημερήσιου περιβαλλοντικού θορύβου.



Σχήμα 4.12: Οι συγκριτές με τα όριά τους και τους δείκτες

Στην έξοδο των συγκριτών συνδέουμε φωτεινούς δείκτες, Led, οι οποίοι ενεργοποιούνται με την ένδειξη ON και φωτίζουν με τα εξής χρώματα: κίτρινο όταν ο μέσος όρος των τιμών της εισαγόμενης μέτρησης (Average) είναι μεγαλύτερος ή ίσος με τον όριο των 50 dB, πορτοκαλί όταν είναι μεγαλύτερος ή ίσος με το όριο των 55 dB και κόκκινο όταν είναι μεγαλύτερος ή ίσος με το όριο των 65 dB. Όταν ο μέσος όρος (Avg) δεν υπερβαίνει κάποια από τα προηγούμενα όρια το αντίστοιχο led είναι σβηστό με χρώμα γρι και με ένδειξη OFF. Στο Front Panel του προγράμματος μπορούμε να βλέπουμε και να παρακολουθούμε τις ενδείξεις αυτές.

- Επίσης εάν θέλουμε μπορούμε να προσθέσουμε παράλληλα και άλλους δείκτες ειδοποιήσεις για να παρακολουθούμε και άλλα όρια περιβαλλοντικού θορύβου ταυτόχρονα όπως του δείκτη Lnight, για το βράδυ με τα όριά του (55dB για ελάχιστες απαιτήσεις, 45 dB για μεσαίες και 40 dB για αυστηρές) .

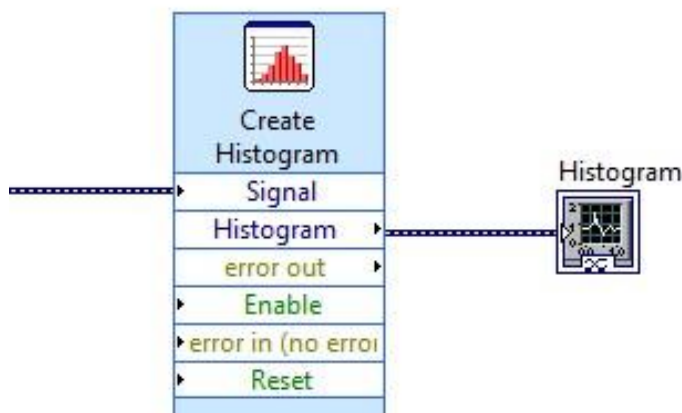


(i) Level Warning για L average

(ii) Level Warning για L average και για Lnight

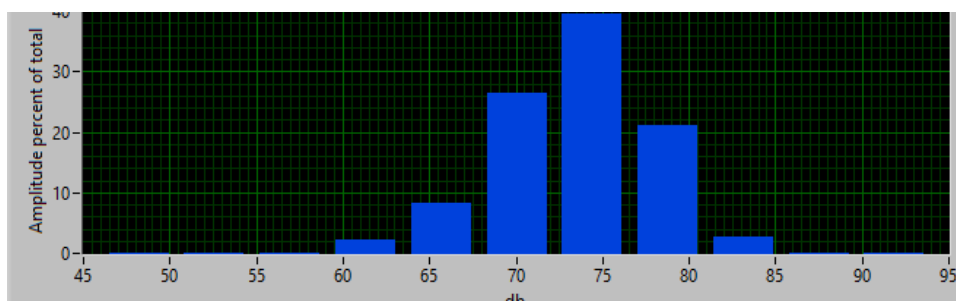
Σχήμα 4.13: Τα Level Warning στο front panel

- Τέλος δημιουργούμε το ιστόγραμμα* από την επιλογή : function/ Express/ Signal Analysis/Create Histogram για να έχουμε μία περαιτέρω ανάλυση και απεικόνιση σε ένα graph indicator των τιμών, των μετρήσεών μας.



Σχήμα 4.14: Το Histogram και ο Graph indicator στο block diagram

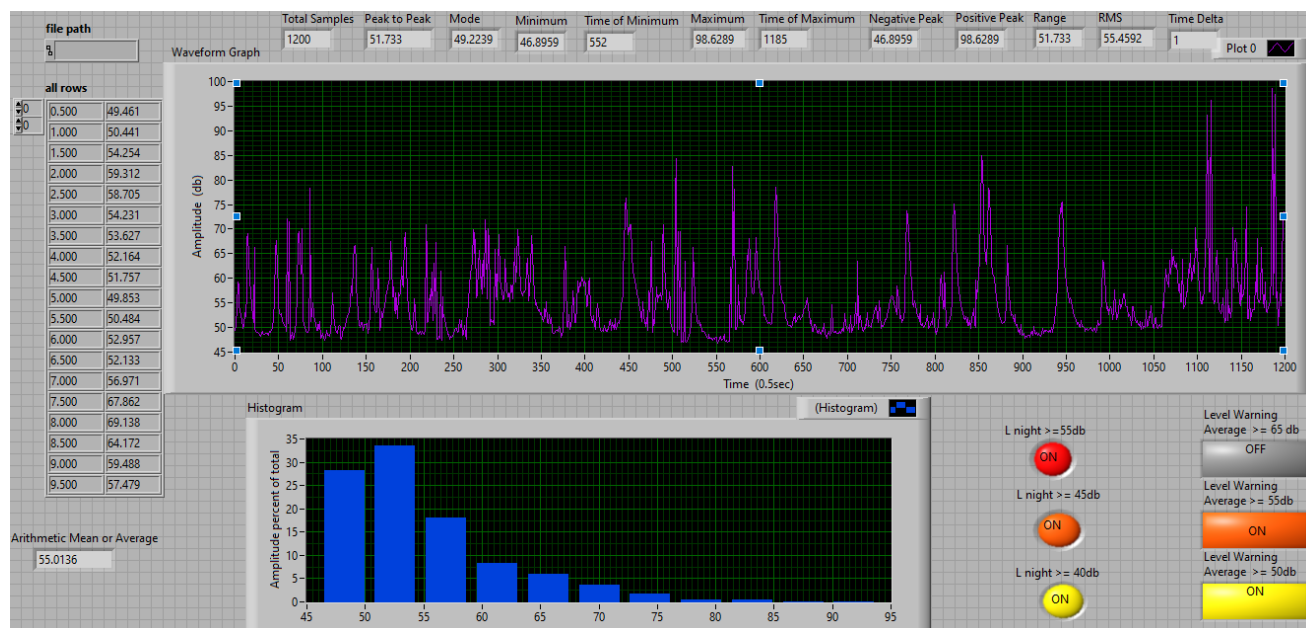
*Το ιστόγραμμα είναι μία γραφική απεικόνιση στατιστικών συχνότητων περιοχών τιμών ενός μεγέθους. Σχηματίζεται από παρακείμενα ορθογώνια. Η επιφάνεια κάθε ορθογωνίου είναι μέτρο της συχνότητας εμφάνισης της συγκεκριμένης περιοχής τιμών ενώ το ύψος του ισούται με το λόγο της συχνότητας προς το εύρος των τιμών που αντιπροσωπεύει το ορθογώνιο. Πρόκειται για τη συνηθέστερη επιλογή γραφικής παράστασης συνεχών μεταβλητών. Στα συνεχή δεδομένα οι τιμές της μεταβλητής ομαδοποιούνται και οι ομάδες διατάσσονται στον οριζόντιο άξονα κατά αύξουσα σειρά. Στη συνέχεια από κάθε ομάδα υψώνουμε ορθογώνια το ύψος των οποίων αντιστοιχεί στη συχνότητα κάθε ομάδας.



Σχήμα 4.15: Το ιστόγραμμα όπως το βλέπουμε στο front panel

4.2.3 Το front panel του προγράμματος

Στο πρόγραμμα μπορούμε να εισάγουμε τιμές μέτρησης από οποιοδήποτε αρχείο μετρήσεων περιβαλλοντικού θορύβου, για οποιονδήποτε δείκτη θέλουμε, όπως: Lday, Lden, Lnight κλπ. και να παρακολουθούμε μία ικανοποιητική επεξεργασία και ανάλυση αυτών στο front panel δίνοντάς μας πολλές πληροφορίες σύμφωνα με τον σχεδιασμό και την κατασκευή του προγράμματος που περιγράφηκε προηγουμένως (σχήμα 4.16).

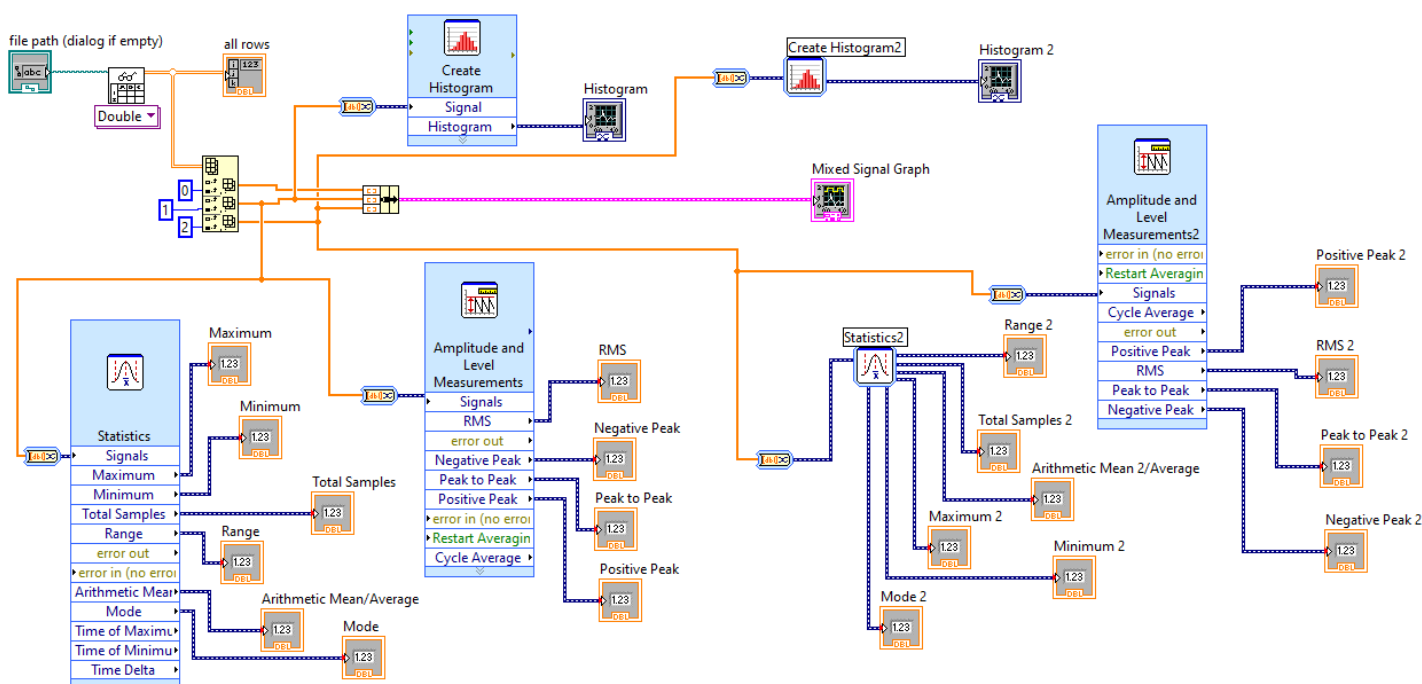


Σχήμα 4.16: Το front panel του προγράμματος στο οποίο φαίνεται το γράφημα του περιβαλλοντικού θορύβου (dB/t), το ιστόγραμά του, αρκετές πληροφορίες (Average, Max,min,κλπ.) και δείκτες ειδοποίησης από ένα αρχείο μετρήσεων που εισάγαμε

4.3 Το πρόγραμμα (VI) της εργασίας για ταυτόχρονη ανάλυση και σύγκριση δυο και τριών αρχείων μετρήσεων περιβαλλοντικής ηχορύπανσης.

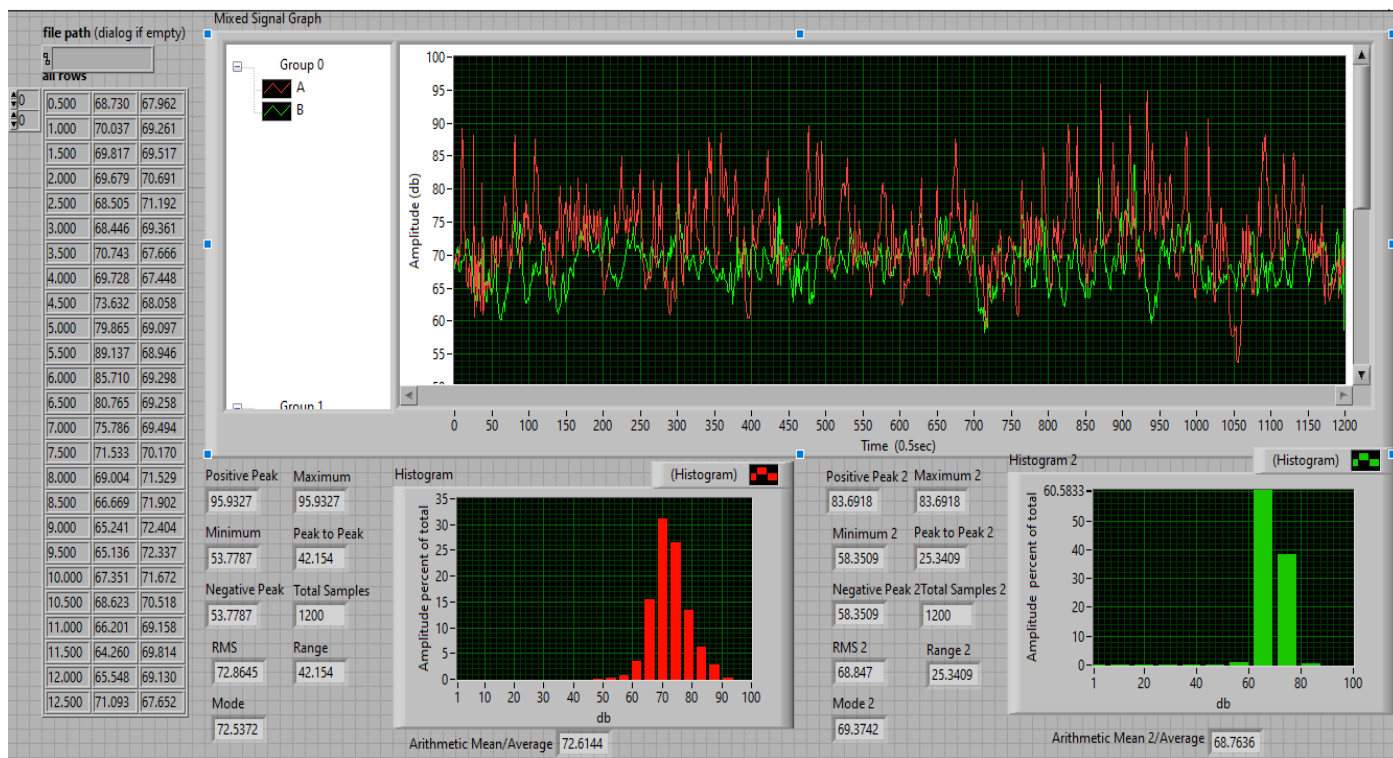
4.3.1 Το πρόγραμμα (VI) για δύο αρχεία (περιοχές) μετρήσεων

Το πρόγραμμα (VI) της εργασίας για ταυτόχρονη εμφάνιση και σύγκριση δυο μετρήσεων επαναλαμβάνει στην ουσία κάποια εργαλεία του βασικού προγράμματός μας, ενώ για την γραφική απεικόνιση χρησιμοποιούμε το Mixed Signal Graph με το cluster αντί του απλού Waveform Graph .



Σχήμα 4.17: Το πρόγραμμα (VI) της εργασίας για ταυτόχρονη εμφάνιση και σύγκριση δυο μετρήσεων

Ένα παράδειγμα από τα αποτελέσματα που έχουμε στο Front Panel του προηγούμενου προγράμματός μας για δυο αρχεία μετρήσεων ταυτόχρονα, έτσι ώστε να βλέπουμε και την σύγκρισή τους, μπορούμε να δούμε στο σχήμα 4.18

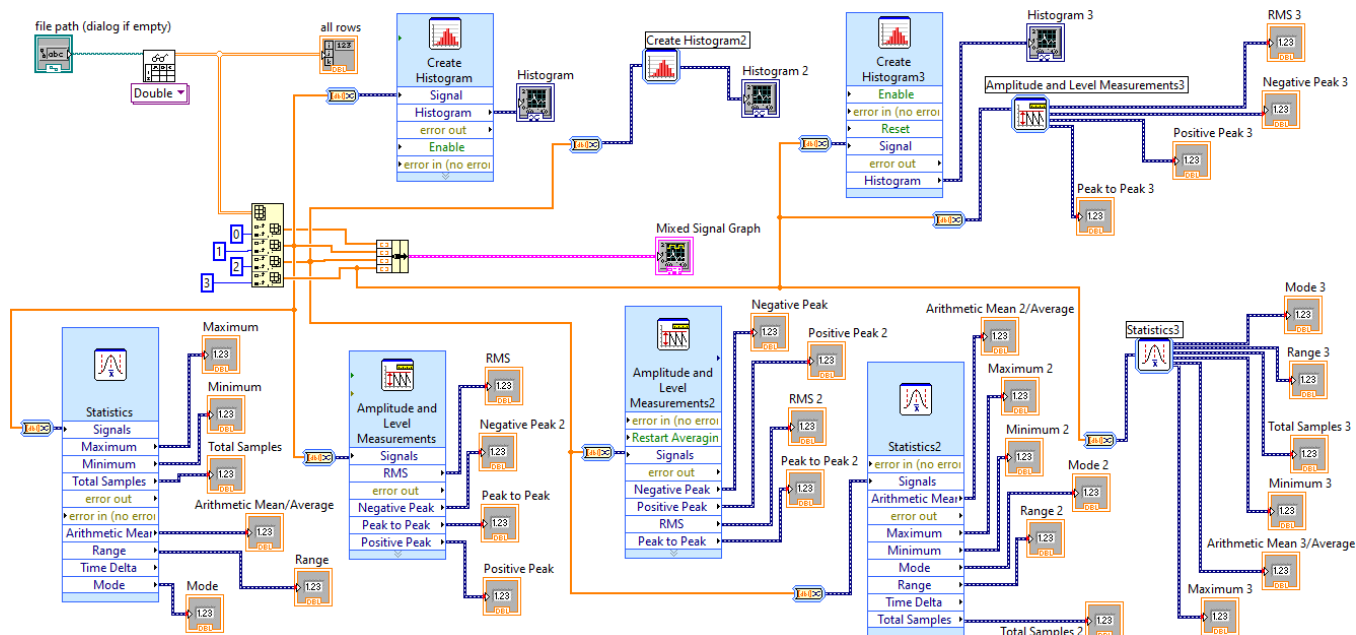


Σχήμα 4.18 Το Front Panel για δυο αρχεία (περιοχές) μετρήσεων (παράδειγμα)

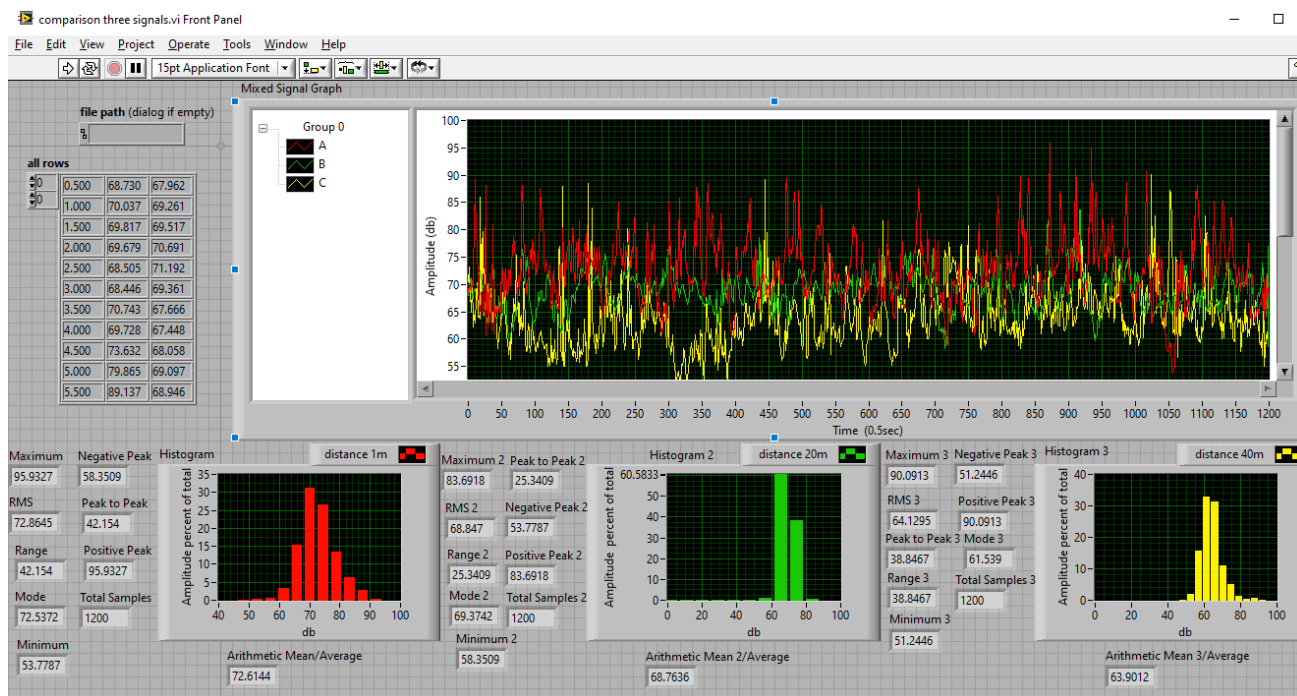
4.3.2 Το πρόγραμμα (VI) για τρία αρχεία (περιοχές) μετρήσεων

Το πρόγραμμα της εργασίας επίσης μπορεί να τροποποιηθεί έτσι ώστε να δέχεται και να αναλύει ταυτόχρονα μετρήσεις από τρεις διαφορετικές περιοχές (σχήμα 4.19).

Ένα παράδειγμα με το Front Panel και τα αποτελέσματα για τρεις περιοχές μέτρησης μπορούμε να δούμε στο σχήμα 4.20 και συγκεκριμένα τον δείκτη L_{den} για τη Λεωφόρο Ε. Ι. Δομπόλη (Α), την κεντρική Πλατεία (ρολόι) (Β) και στην Εθνική οδό (πρώην πολυκλαδικό) (C).



Σχήμα 4.19: Το πρόγραμμα (Vi) όπως διαμορφώθηκε για ταυτόχρονη ανάλυση και σύγκριση τριών μετρήσεων



Σχήμα 4.20: Το Front Panel του δείκτη L_{den} για τρεις περιοχές μέτρησης: Λεωφόρο Δομπόλη (A), Κεντρική Πλατεία (ρολόι) (B), Εθνική οδό (πρώην πολυκλαδικού λυκείου) (C)

Κεφάλαιο 5

-Περιοχές Μετρήσεις

- Μετρήσεις

-Ανάλυση - Αξιολόγηση

-Στατιστικά αποτελέσματα

5.1 Περιοχές μέτρησης περιβαλλοντικού θορύβου στον Νομό Ιωαννίνων – Ώρες και δείκτες μέτρησης

5.1.1 Τα κριτήρια επιλογής των περιοχών μέτρησης

Η επιλογή των περιοχών μέτρησης έγινε με τρόπο ώστε να έχουμε κάποια αντιπροσωπευτικά παραδείγματα από το αστικό και το φυσικό περιβάλλον. Μπορούμε να χωρίσουμε τις περιοχές σε τρεις κατηγορίες :

Α) Στην πόλη των Ιωαννίνων. Εντός της πόλης επιλέχθηκαν θορυβώδεις αρτηρίες, κεντρικές περιοχές και ήσυχες περιοχές . Θα λέγαμε ότι σε αυτή την κατηγορία επικρατεί κυρίως ο κυκλοφοριακός θόρυβος.

Β) Συγκεκριμένα σημεία καθημερινότητας με ενδιαφέρων όπως σχολική τάξη σε ώρα μαθήματος, αυλή σχολείου σε διάλειμμα, μαγαζιά διασκέδασης.

Γ) Περιοχές στην φύση με πηγές θορύβου. Συνήθως αυτοί οι περιβαλλοντικοί θόρυβοι έχουν συγκεκριμένα τονικά και χρονικά χαρακτηριστικά. Επιλέχθηκαν: ι) Η ροή ποταμού (θόρυβος από φυσικά αίτια) ιι) πάρκο ανεμογεννητριών σε βουνό (θόρυβος μετά από ανθρώπινες παρεμβάσεις).

Επισημαίνουμε ότι μπορούν να αξιολογηθούν και να αναλυθούν κάθε φορά ανάλογα με την στόχευσή μας περισσότερα, αλλά και διαφορετικά σημεία μέτρησης, τα οποία δεν μπορούν να καλυφθούν στα πλαίσια της εργασίας μιας και δεν είναι αυτός ο σκοπός της.

5.1.2 Περιγραφή των σημείων μέτρησης σε περιοχές και οδικές αρτηρίες της πόλης των Ιωαννίνων (Α κατηγορία).

Στα Ιωάννινα επιλέχθηκαν αντιπροσωπευτικά για μετρήσεις οι περιοχές :

A1) Ο κεντρικός εθνικός δρόμος στην είσοδο της πόλης, περιοχή του πρώην Πολυκλαδικού Λυκείου

A2) Η οδός Δομπόλη, κοντά στην είσοδο του Πρότυπου Γυμνασίου Ζωσιμαίας Σχολής και της Εφορίας

A3) Η οδός Βηλαρά, στο ύψος του Πρότυπου Λυκείου Ζωσιμαίας Σχολής

A4) Το κέντρο της πόλης, στο Ρολόι

A5) Στον παραλίμνιο δρόμο, κοντά στο καφέ-εστιατόριο Κυρά Φροσύνη

A6) Στο εσωτερικό του Κάστρου, κοντά στην είσοδο του Ιτς Καλέ

5.1.3 Ώρες και Δείκτες μέτρησης της A κατηγορίας

Οι μετρήσεις στα ανωτέρω σημεία αυτά πραγματοποιήθηκαν σε τρεις χρονικές περιόδους κατά την διάρκεια του 24ώρου : i) Μία δεκάλεπτη για την ημέρα μεταξύ των ωρών : 07.00 έως 19.00, για τον δείκτη L_{day} , ii) Μια δεκάλεπτη από 19.00 έως 23.00 για το βράδυ η απόγευμα , για τον δείκτη $L_{evening}$, και iii) μία δεκάλεπτη για την νύκτα από 23.00 έως 07.00, για τον δείκτη L_{night} .

Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο δείκτης L_{den} από τον τύπο που είδη αναφέραμε:

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right)$$

5.1.4 Περιγραφή των σημείων μέτρησης σε συγκεκριμένα σημεία καθημερινότητας με ενδιαφέρον όπως: σχολική τάξη σε ώρα μαθήματος , αυλή σχολείου σε διάλειμμα , μαγαζιά διασκέδασης (B κατηγορία)

Επιλέχθηκαν αντιπροσωπευτικά για μετρήσεις οι περιοχές :

B1) Η σχολική αυλή Λυκείου Ιωαννίνων με μαθητές σε ώρα διαλείμματος.

B2) Μία σχολική τάξη της Β Λυκείου κατά τη διάρκεια μαθήματος.

B3) Ένα καφέ μπαρ στην παλαιά αγορά, περιοχή Ανεξαρτησίας.

Στο σχήμα 5.1 μπορούμε να δούμε τον χάρτη με τα σημεία της A και B κατηγορίας στην πόλη των Ιωαννίνων, όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.



Σχήμα 5.1: Χάρτης με τα σημεία μέτρησης στην πόλη των Ιωαννίνων(Google)

5.1.5 Ώρες και Δείκτες μέτρησης της Β κατηγορίας

Οι μετρήσεις σε αυτή την κατηγορία (Β) ήταν δεκάλεπτες και υλοποιήθηκαν στο σχολείο τις πρωινές ώρες και στο καφέ – μπαρ βραδινές. Εδώ βέβαια έχουμε έναν μόνο δείκτη μέτρησης Leq .

5.1.6 Περιγραφή των σημείων μέτρησης στην φύση με πηγές θορύβου συγκεκριμένων χαρακτηριστικών :

ι) Η ροή ποταμού (θόρυβος από φυσικά αίτια) ιι) Πάρκο ανεμογεννητριών σε βουνό (θόρυβος μετά από ανθρώπινες παρεμβάσεις), Γ κατηγορία.

Οι περιοχές που επιλέχθηκαν για αυτή την κατηγορία είναι:

Γ1) Κοντά στην όχθη της ροής του ποταμού Λούρου ,στην περιοχή του Χάνι Τερόβου. Συγκεκριμένα οι μετρήσεις έγιναν σε απόσταση 20m(Γ1α) ,40m(Γ1β) και 60m (Γ1γ) από την όχθη .

Γ2) Στο αιολικό πάρκο του Κασιδιάρη

Στο αιολικό πάρκο υλοποιήθηκαν οι εξής μετρήσεις:

Γ2(α) Μέτρηση θορύβου μίας ανεμογεννήτριας με την εφαρμογή decibelX σε απόσταση 40 μέτρα περίπου από τη βάση της με άνεμο περίπου 2,5 μποφόρ (συνθήκες κανονικής λειτουργίας ανεμογεννητριών*)

Γ2(β) Μέτρηση θορύβου μίας ανεμογεννήτριας με την εφαρμογή decibelX σε απόσταση 70 μέτρα από τη βάση της με άνεμο περίπου 2,5 μποφόρ

Γ2(γ1) Μέτρηση θορύβου μίας ανεμογεννήτριας με την εφαρμογή decibelX σε απόσταση 160 μέτρα από τη βάση της με άνεμο περίπου 2,5 μποφόρ

Γ2(γ2) Μέτρηση θορύβου δύο έως τριών ανεμογεννητριών με την εφαρμογή decibelX σε απόσταση 250 μέτρων με άνεμο περίπου 2,5 έως 3,5 μποφόρ

Γ2(δ) Μέτρηση θορύβου μίας ανεμογεννήτριας με το όργανο Phonic PAA3 σε απόσταση 100 μέτρα περίπου από τη βάση της με άνεμο περίπου 2,5 έως 3,5 μποφόρ

5.1.7 Ώρες και Δείκτες μέτρησης της Γ κατηγορίας

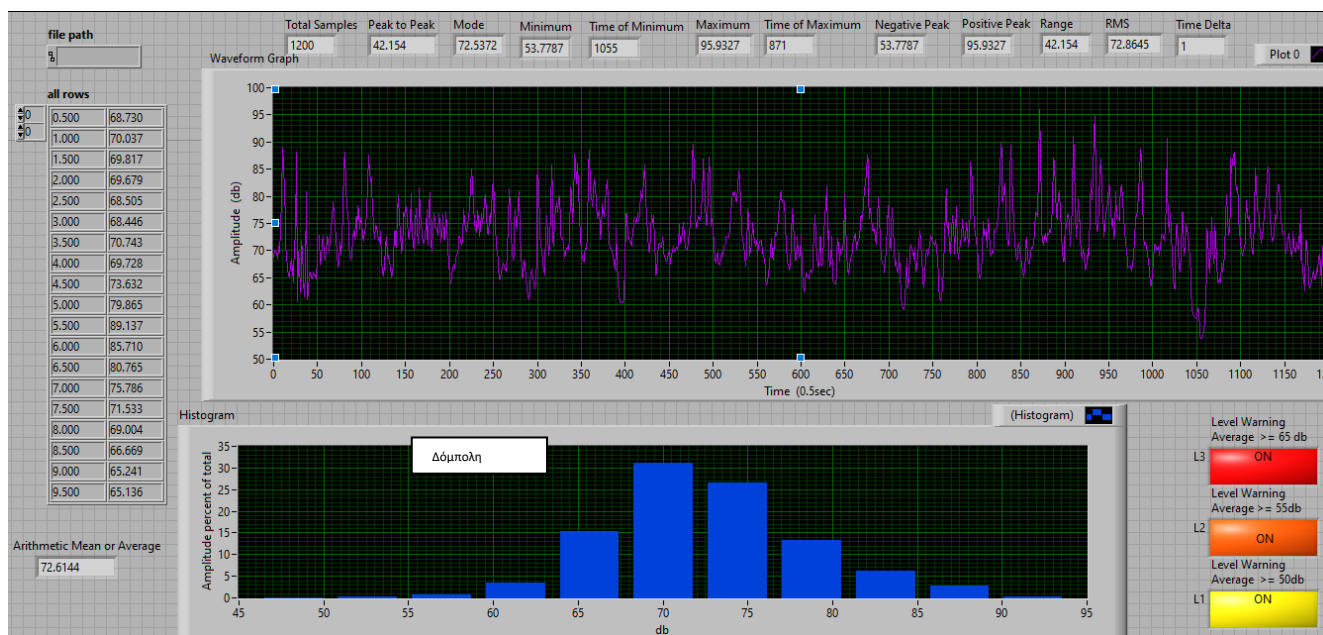
Οι μετρήσεις στην Γ κατηγορία ήταν δεκάλεπτες για τον δείκτη Leq . Όλες οι μετρήσεις υλοποιήθηκαν σε ώρες και ημέρες κατάλληλες έτσι ώστε να μην υπάρχουν επηρεασμοί από διάφορους άλλους παράγοντες όπως δυνατός άνεμος, θόρυβοι αγροτικών δραστηριοτήτων κλπ.

* η κανονική λειτουργία ανεμογεννήτριας χρειάζεται άνεμο 2,5 m/sec έως 5,6m/sec η 2,5 μποφόρ έως 3 μποφόρ. Σε πολύ ισχυρούς ανέμους ενεργοποιείτε σύστημα ελέγχου της ταχύτητας περιστροφής

5.2 Αποτελέσματα Μετρήσεων – Ανάλυση και Αξιολόγηση με το Vi του LabVIEW

5.2.1 Αποτελέσματα μετρήσεων για τον δείκτη Lden και Lnight στην πόλη των Ιωαννίνων (Α κατηγορία)

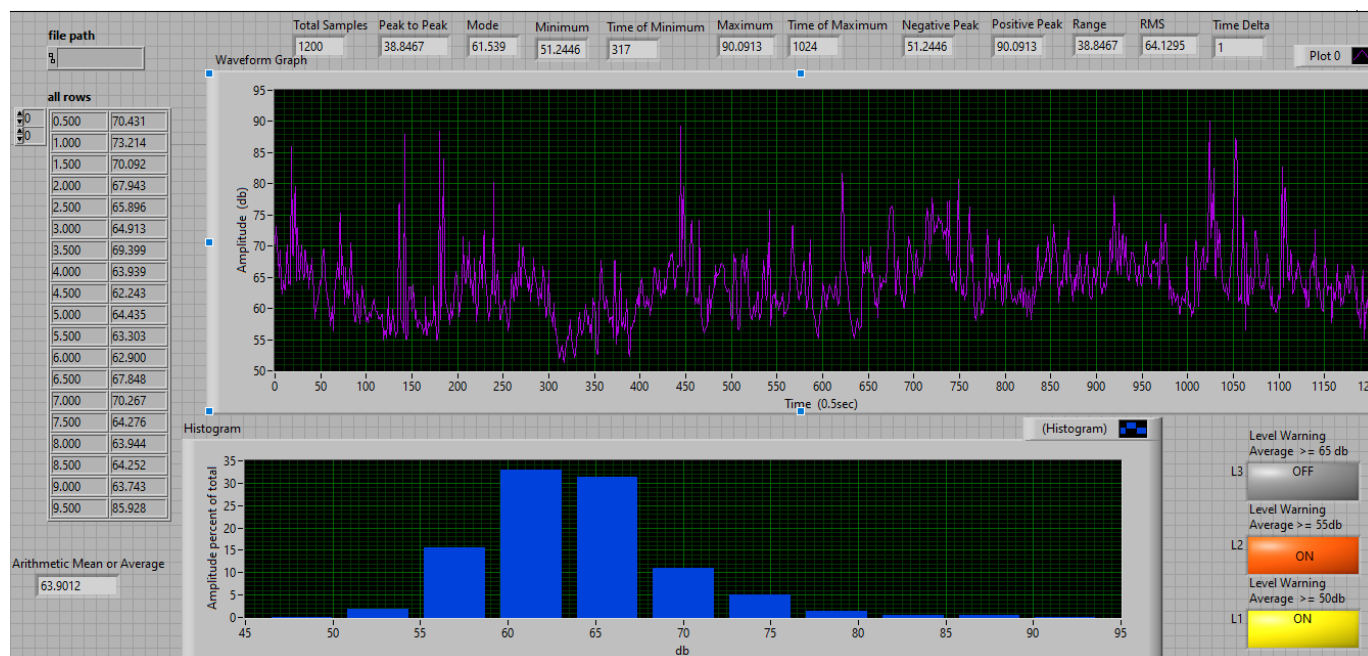
Μπορούμε να δούμε το Front Panel του Vi, με την ανάλυση και τα γραφήματα για τον δείκτη Lden στην οδό Δομπόλη από την κατηγορία Α (στην πόλη των Ιωαννίνων) .



Σχήμα 5.2: Το Front Panel του Vi για τον δείκτη Lden στην οδό Δομπόλη

Παρατηρούμε ότι η οδός Δομπόλη είναι πάρα πολύ επιβαρυσμένη από περιβαλλοντικό θόρυβο λόγω συνεχούς κυκλοφορίας οχημάτων με τιμές μέσου όρου του δείκτη Lden = 72.6dB, δηλαδή αρκετά πάνω από το όριο των 65 dB, έτσι ενεργοποιούνται τα σχετικά Led ειδοποίησης .

Παράλληλα ανάλογα με τον σχεδιασμό του προγράμματος μπορούμε να έχουμε διαθέσιμες και άλλες πληροφορίες από την ανάλυσή του όπως: RMS , Positive Peak, Negative Peak, Peak to Pea, Maximum, Minimum, Time of Minimum, Time of Maximum, Total Samples, Time Delta (Time between samples), Range, Arithmetic Mean or Average, Mode(the value that occurs most often)

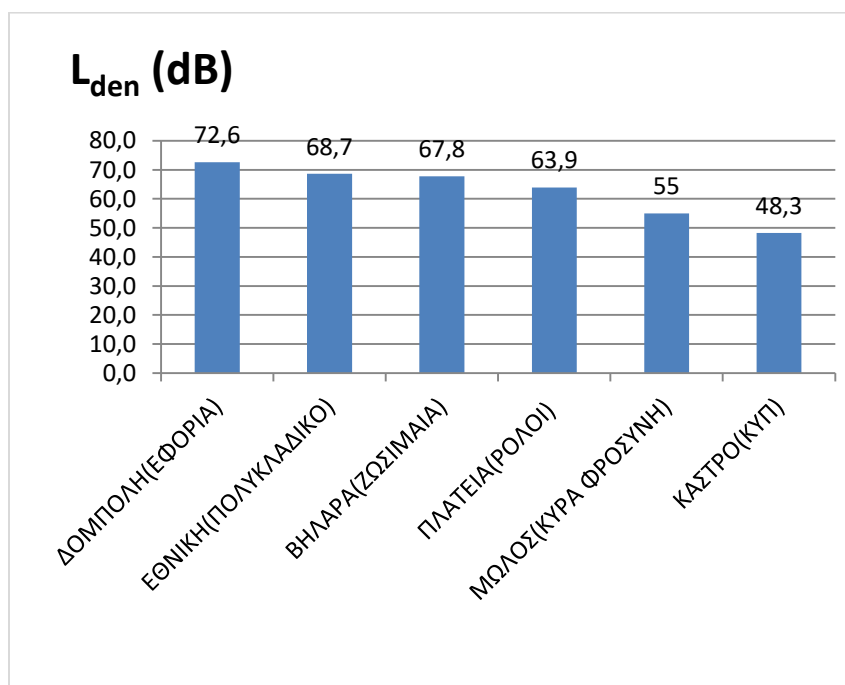


Σχήμα 5.3: Το Front Panel του VI με τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τον δείκτη Lden στην κεντρική πλατεία Ιωαννίνων, στο Ρολόι

Στη συνέχεια εισάγαμε στο πρόγραμμά μας τα αρχεία μετρήσεων για όλες τις περιοχές της Α κατηγορίας που επιλέξαμε:

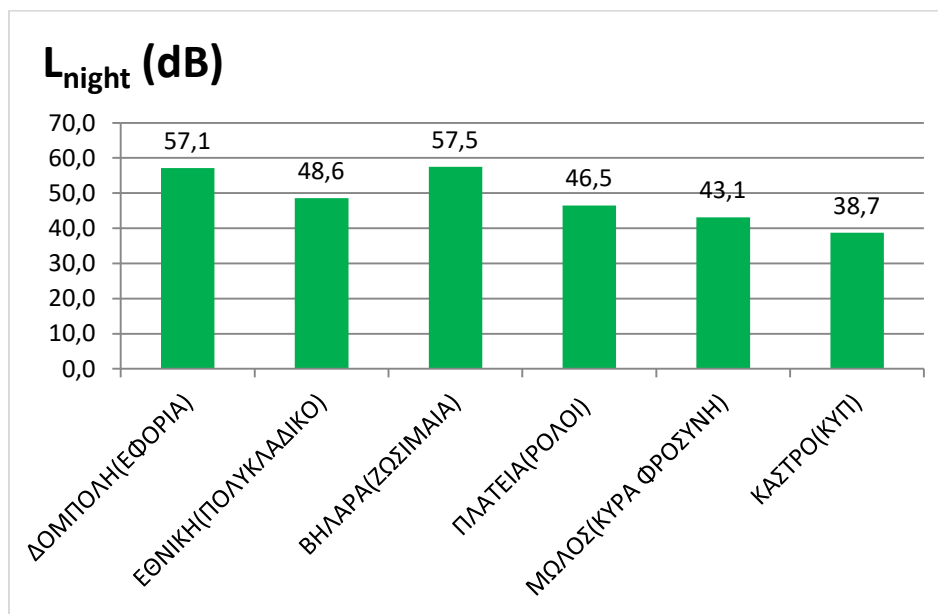
- Είσοδος της πόλης στην θέση του πρώην πολυκλαδικού λυκείου
- Στον παραλίμνιο δρόμο στη θέση της Κυρά Φροσύνης ,
- Στο εσωτερικό του Κάστρου στη θέση της εισόδου στο Ιτς Καλέ
- Στην οδό Βηλαρά στη θέση του Πρότυπου Λυκείου Ζωσιμαίας Σχολής
- Κεντρική Πλατεία στο ρολόι
- Οδός Δομπόλη στη Εφορία

Μπορούμε να δούμε στο γράφημα 5.1 τον δείκτη Lden για τα προηγούμενα επιλεγέντα σημεία της πόλης των Ιωαννίνων



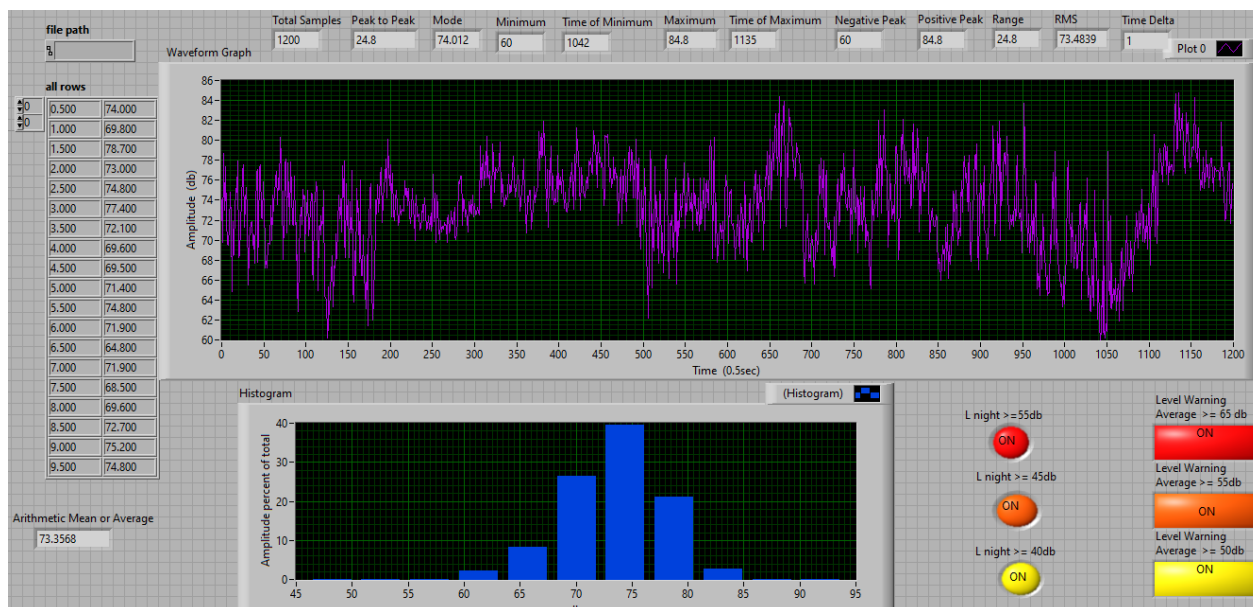
Γράφημα 5.1: Ο δείκτης L_{den} για τις μετρήσεις στα επιλεγέντα σημεία της πόλης των Ιωαννίνων (Α κατ.)

Επίσης στο γράφημα 5.2 μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα για τις μετρήσεις του πολύ ενδιαφέρων δείκτη L_{night}, για τις ίδιες περιοχές μέτρησης (κατηγορία Α στην πόλη των Ιωαννίνων).



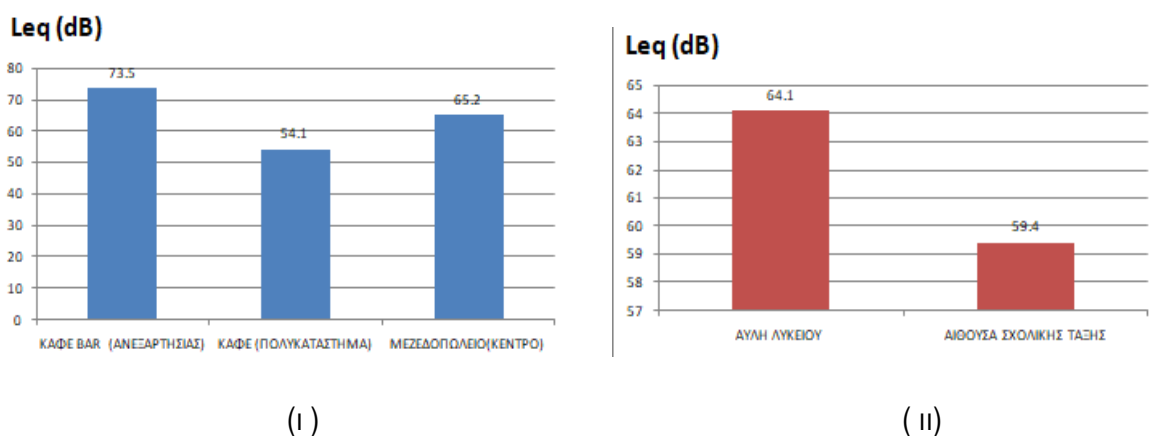
Γράφημα 5.2: Ο δείκτης L_{night} για τις μετρήσεις στα επιλεγέντα σημεία της πόλης των Ιωαννίνων

5.2.2 Αποτελέσματα από την ανάλυση των μετρήσεων του δείκτη L_{eq} σε σημεία με συγκεκριμένο ενδιαφέρον (Β κατηγορία).



Σχήμα 5.4: Το front panel του VI για τον δείκτη L_{eq} από τις μετρήσεις σε cafe-bar στην οδό Ανεξαρτησίας

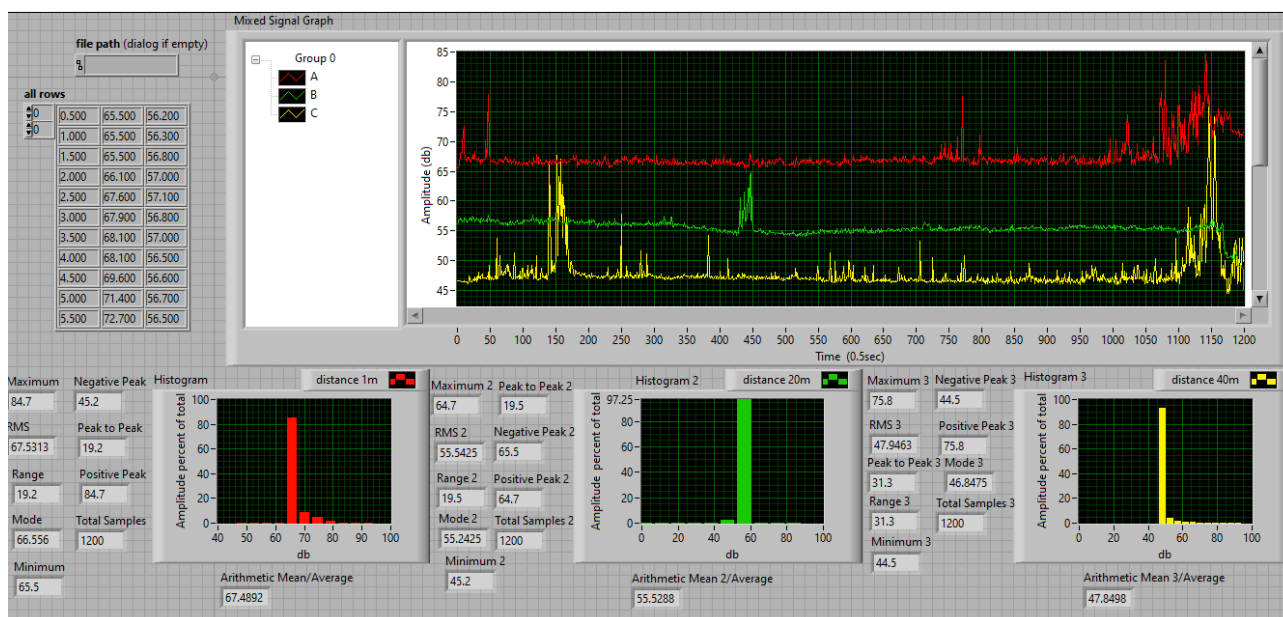
Στο γράφημα 5.3 μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα για τον δείκτη L_{eq} της κατηγορία Β (σημεία με συγκεκριμένο ενδιαφέρον) .



Γράφημα 5.3 : Ο δείκτης L_{eq} της κατηγορία Β (σημεία με συγκεκριμένο ενδιαφέρον)

5.2.3 Αποτελέσματα από την ανάλυση των μετρήσεων του δείκτη L_{eq} σε σημεία στην φύση (Γ κατηγορία)

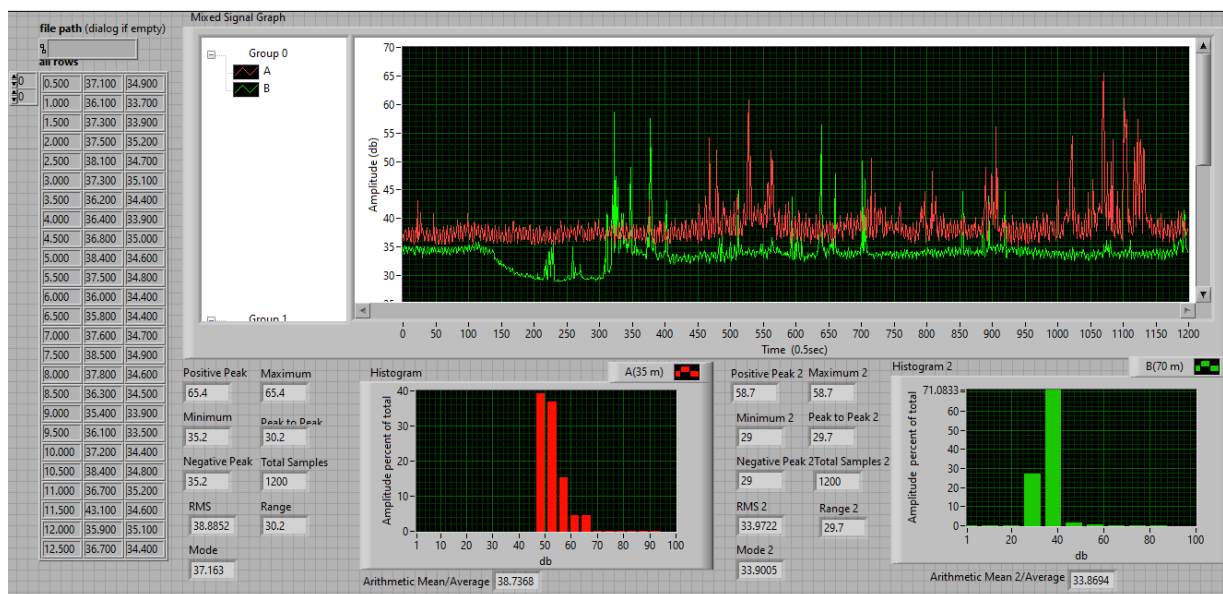
Από την Γ κατηγορία μπορούμε να παρατηρήσουμε στο front panel του VI συγκριτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων στην όχθη του ποταμού Λούρου σε απόσταση 1m(A), 20 m(B) και 40 m(C) από την κοίτη του. (σχήμα 5.5)



Σχήμα 5.5: Αποτελέσματα από μετρήσεις στην όχθη του ποταμού Λούρου σε απόσταση 1m(A), 20m(B) και 40m(C) από την κοίτη του.

5.2.4 Αποτελέσματα από την ανάλυση των μετρήσεων , του δείκτη L_{eq} , στο πάρκο ανεμογεννητριών (Γ κατηγορία).

A) Στο σχήμα 5.6 βλέπουμε το front panel του VI με συγκριτικά αποτελέσματα των μετρήσεων στο πάρκο ανεμογεννητριών του κασιδιάρη για απόσταση 35 m (A) και 70 m(B) μέτρων από τον πυλώνα της ανεμογεννήτριας (με άνεμο περίπου 2,5 μποφόρ)



Σχήμα 5.6: Αποτελέσματα από μετρήσεις στο πάρκο ανεμογεννητριών για απόσταση 35m(A) και 70 m(B)

Επίσης, στις ανεμογεννήτριες πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις θορύβου και με το όργανο μέτρησης PHONICPAA3 καταγράφοντας το επίπεδο θορύβου και ανά συχνότητα. Στις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το ενσωματωμένο μικρόφωνο του οργάνου PAA3 αλλά και ένα εξωτερικό μικρόφωνο, το Sennheiser e935.

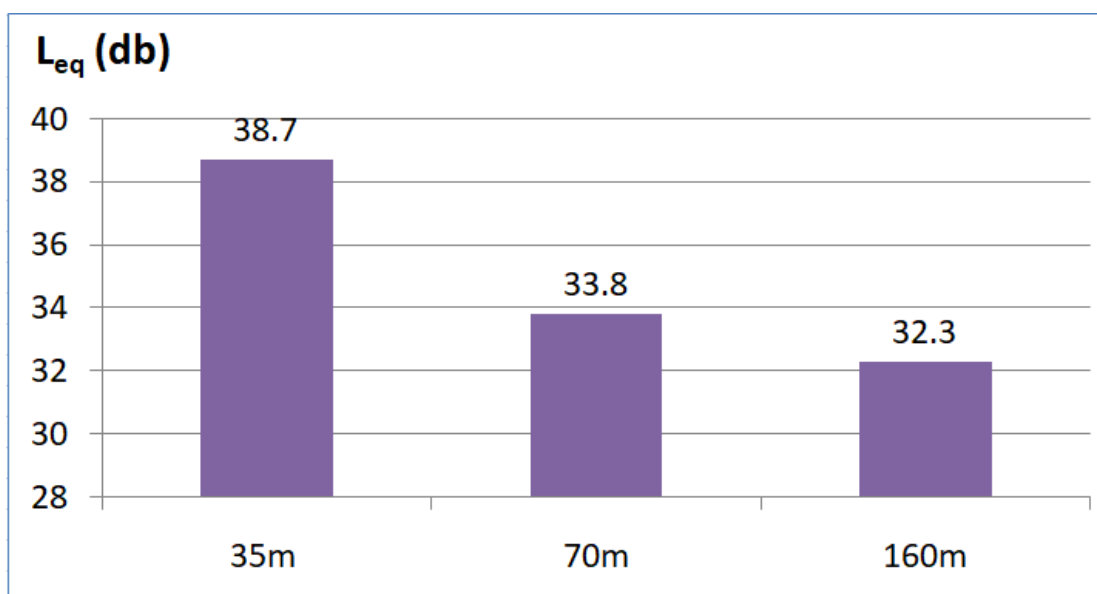


Σχήμα 5.7: Αποτελέσματα από μετρήσεις θορύβου με το όργανο μέτρησης Phonic PAA3 καταγράφοντας το επίπεδο θορύβου ανά συχνότητα($\Gamma_2(\gamma_2)$)

Στην προηγούμενη εικόνα βλέπουμε τέσσερις διαφορετικές μετρήσεις 1,2,3,4 και τον μέσο όρο τους A . Οι μετρήσεις αυτές μας δίνουν μέσο όρο θορύβου 61.1 dB Average , αρκετά μεγαλύτερο από τις μετρήσεις με το tablet Samsung. Αυτό δικαιολογείτε από : α) έγιναν με ποιο ισχυρό άνεμο, περίπου 3,5 μποφόρ, έτσι έχουμε τον επιπλέον θόρυβο του ίδιου του ανέμου β) την πιο γρήγορη κίνηση των φτερών των ανεμογεννητριών και γ) τη χρήση μικροφώνου με μεγαλύτερη ευαισθησία (Sennheiser e935).

Ενδιαφέρων επίσης παρουσιάζουν και οι συχνότητες θορύβου που επικρατούν στο πάρκο ανεμογεννητριών οι οποίες είναι χαμηλές ενώ απουσιάζουν οι πάνω από 2 KHz.

Στο γράφημα 5.3 μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα για τις μετρήσεις του δείκτη L_{eq} από το πάρκο των ανεμογεννητριών από την Γ κατηγορία (Περιοχές στην φύση με πηγές θορύβου)



Γράφημα 5.4: Δείκτης L_{eq} από το πάρκο των ανεμογεννητριών

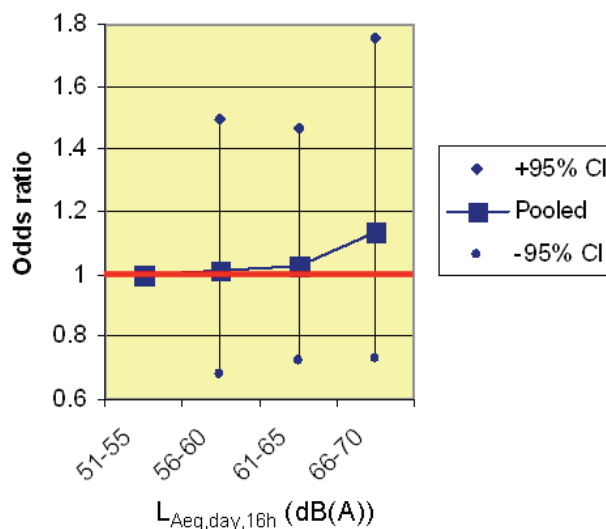
Κεφάλαιο 6^ο Περιβαλλοντικός θόρυβος και Υγεία

6.1 Επιπτώσεις του θορύβου στην υγεία

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Π.Ο.Υ.) ο θόρυβος της κυκλοφορίας έχει ταξινομηθεί ως ο δεύτερος χειρότερος περιβαλλοντικός παράγοντας που επηρεάζει την ανθρώπινη υγεία, μετά την ατμοσφαιρική ρύπανση. Η βραχυπρόθεσμη έκθεση σε δυνατό θόρυβο μπορεί να οδηγήσει σε προσωρινή βλάβη της ακοής. Ωστόσο, η επαναλαμβανόμενη έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου μπορεί να οδηγήσει σε μόνιμες εμβοές ή και απώλεια ακοής, μια κατάσταση η οποία είναι μη αναστρέψιμη. Ο θόρυβος όμως μπορεί να έχει δυσάρεστες συνέπειες, περισσότερες από την βλάβη της ακοής μας, όπως:

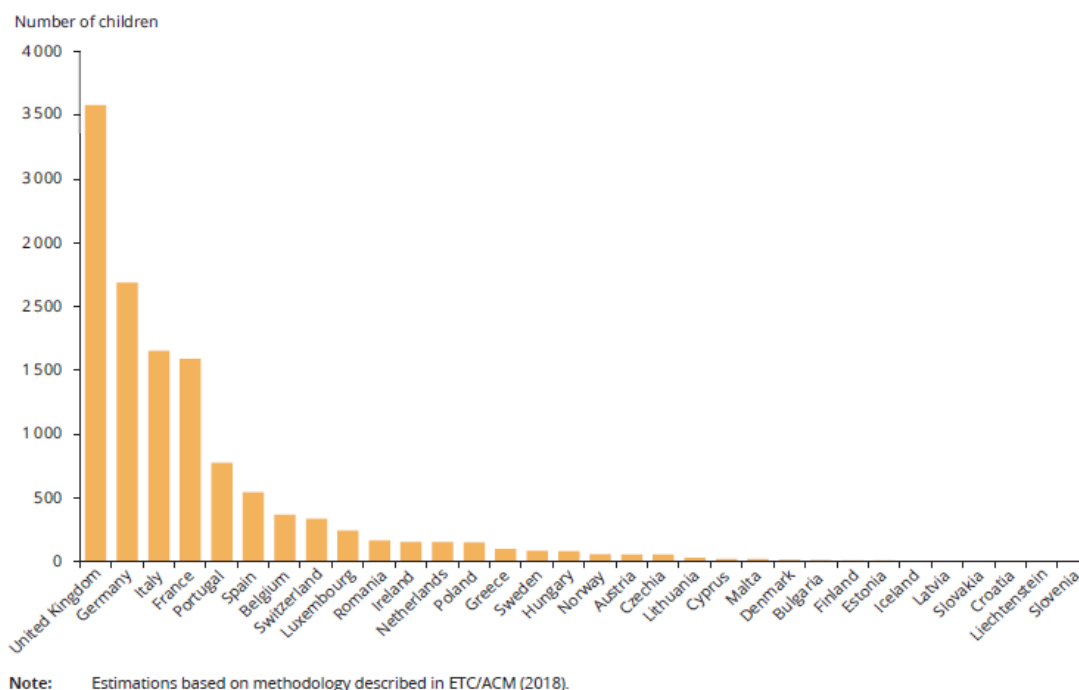
- Μειωμένη παραγωγικότητα
- Διαταραχή λειτουργικής επικοινωνία και μειωμένη συγκέντρωση
- Εργατικά ατυχήματα και τραυματισμούς
- Εργασιακό άγχος κλπ.

Σύμφωνα με μελέτες (Π.Ο.Υ.) ο θόρυβος της οδικής κυκλοφορίας αυξάνει τον κίνδυνο ισχαιμικής καρδιακής νόσου και ενδεχομένως άλλων καρδιομεταβολικών ασθενειών (CVD*), συμπεριλαμβανομένου του εγκεφαλικού επεισοδίου, της παχυσαρκίας και του διαβήτη. Μελέτες σε δυτικοευρωπαϊκές χώρες δείχνουν ότι το 1,8% όλων των εμφραγμάτων του μυοκαρδίου μπορεί να αποδοθεί στον θόρυβο της οδικής κυκλοφορίας



Σχήμα 6.1: Καμπύλη θορύβου (οδικής κυκλοφορίας) και αναλογία πιθανοτήτων του εμφράγματος του μυοκαρδίου /Source of the data: Babisch et al. 1993 (126) (W.H.O. Environmental Noise and Cardiovascular Disease page 29) [8]

Η έκθεση στον θόρυβο στα σχολεία επηρεάζει τη γνωστική λειτουργία των παιδιών. Σε σύγκριση με τους ενήλικες, τα παιδιά βρίσκονται σε μια σημαντική μαθησιακή και αναπτυξιακή φάση και μπορεί επομένως επηρεάζονται δυσανάλογα από τον θόρυβο.



Γράφημα 6.1: Αριθμός των παιδιών ηλικίας 7-17 ετών που έχουν δυσκολία στην ανάγνωση και κατανόηση λόγω θορύβου αεροσκαφών Πηγή: Environmental noise in Europe -2020 [6]

6.2 Ο δείκτης DALYs

Ο δείκτης DALYs, Disability adjusted life year, εκφράζεται ως ο αριθμός των ετών που χάνονται λόγω κακής υγείας, αναπηρίας ή πρόωρου θανάτου. Αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1990 ως ένας τρόπος σύγκρισης της συνολικής υγείας και του προσδόκιμου ζωής διαφορετικών χωρών.

*Τα καρδιαγγειακά νοσήματα (CVD) είναι μια ομάδα διαταραχών της καρδιάς και των αιμοφόρων αγγείων. Περιλαμβάνουν: Στεφανιαία νόσος. Εγκεφαλοαγγειακή νόσος. Ασθένεια των αιμοφόρων αγγείων που τροφοδοτούν τον εγκέφαλο. Περιφερική αρτηριακή νόσος. Ασθένεια των αιμοφόρων αγγείων που τροφοδοτούν τα χέρια και τα πόδια. Ρευματική καρδιοπάθεια. Συγγενείς καρδιοπάθειες. Γενετικές ανωμαλίες. Εν τω βάθει φλεβική θρόμβωση και πνευμονική εμβολή. Θρόμβοι αίματος στις φλέβες των ποδιών.

Τα DALYs για μία νόσο είναι το άθροισμα των απολεσθέντων ετών ζωής στον πληθυσμό λόγω πρόωρου θανάτου (YLL) και απολεσθέντων ετών ζωής λόγω αναπηρίας (YLD), $DALY = YLL + YLD$. Ένα DALY ισοδυναμεί με την απώλεια ενός έτους υγιούς ζωής (IHME). [8]

Οι συγκεκριμένοι δείκτες ποσοτικοποιούν την επιβάρυνση μίας νόσου στη ζωή του ατόμου και έχουν χρησιμοποιηθεί σαν δείκτες αποτελέσματος στην κοινωνικοοικονομική αξιολόγηση υγειονομικών παρεμβάσεων και κυρίως στην ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας (Fox- Rushby και Hanson, 2001). Το σημαντικό πλεονέκτημα των DALYs έναντι άλλων δεικτών αποτελέσματος είναι ότι δεν περιορίζονται στον υπολογισμό των διασωθέντων ετών ζωής που εξασφαλίζει μία παρέμβαση αλλά προχωρούν στην εκτίμηση της επιβάρυνσης που δημιουργεί για το άτομο η ζωή με μία συγκεκριμένη ασθένεια.

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας περισσότερα από 1 εκατομμύριο υγιή χρόνια ζωής χάνονται ετησίως στην ευρωπαϊκή περιοχή. Τα προσαρμοσμένα στην αναπηρία έτη ζωής (DALYs) που χάνονται από περιβαλλοντικό θόρυβο στη δυτική Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένων των κρατών μελών της ΕΕ, ανέρχονται συνολικά σε 61.000 χρόνια για ισχαιμική καρδιακή νόσο, 903.000 χρόνια για διαταραχή ύπνου, 45.000 χρόνια για γνωστικές δυσλειτουργία παιδιών, 22.000 χρόνια για εμβοές και 587.000 χρόνια για ενόχληση ..

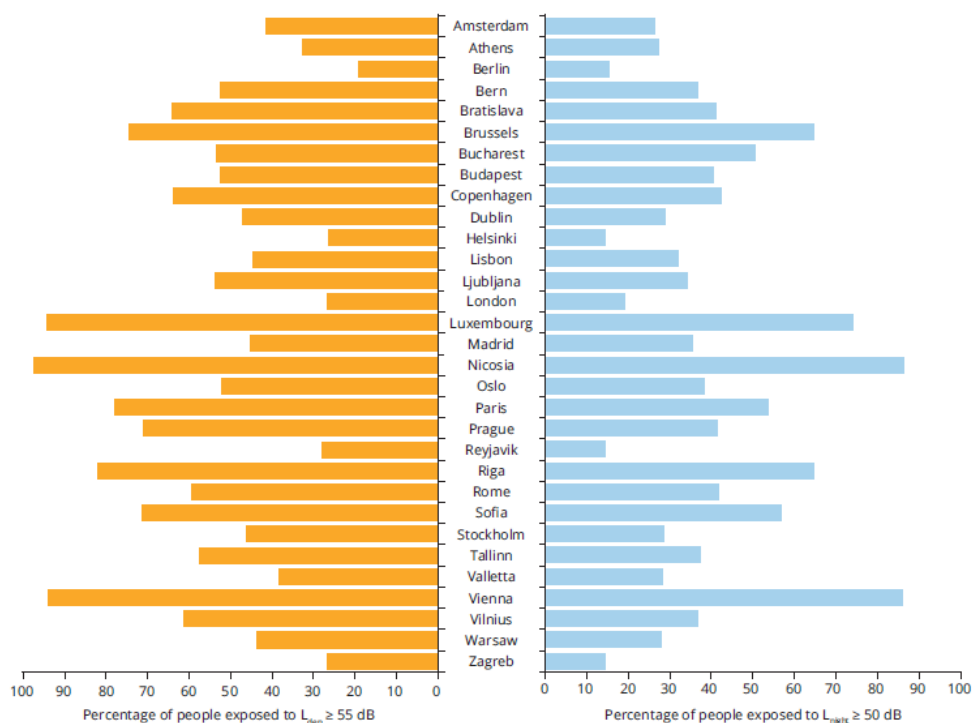
Επίσης λόγω και της ενόχλησης του περιβαλλοντικού θορύβου αυξήθηκε η κατάθλιψη και το άγχος [4]

6.3 Ο θόρυβος κατά τη διάρκεια της νύχτας

Η έκθεση στον θόρυβο κατά τη διάρκεια της νύχτας, ειδικότερα της κυκλοφορίας, συνδέεται με το άγχος και τις διαταραχές του ύπνου. Η διαταραχή του ύπνου, όπως μείωση της συνολικής διάρκειας, διακοπή του φυσιολογικού κύκλου, κατακερματισμός, είναι καθοριστικός παράγοντας που μπορεί να οδηγήσει σε οξεία και χρόνια προβλήματα υγείας. Επίσης επηρεάζει αρνητικά την καθημερινότητα των ανθρώπων προκαλώντας κόπωση, νευρικότητα, δυσφορία.

Η έκθεση στο θόρυβο προς το τέλος της περιόδου ύπνου μπορεί να είναι πιο κρίσιμη όσον αφορά τις επιπτώσεις του. Επίσης, ορισμένα στοιχεία δείχνουν ότι ο διαλείπων θόρυβος με κορυφές σαφώς πάνω από τα επίπεδα υποβάθρου κατά τη διάρκεια της νύχτας μπορεί να είναι ιδιαίτερα επιβλαβής.

Τα παιδιά επίσης λόγω ότι περνούν περισσότερο χρόνο στο κρεβάτι, μπορεί να εκτίθενται περισσότερο σε επίπεδα νυχτερινού θορύβου.[10]



Note: Liechtenstein does not have agglomerations under the terms of the END.

Source: EEA (2019d) and ETC/ATNI (2019b).

Γράφημα 6.2: Εκτιμώμενο ποσοστό ατόμων που εκτίθενται σε θόρυβο οδικής κυκλοφορίας $L_{den} \geq 55$ dB και $L_{night} \geq 50$ dB στις Ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες το 2017 Πηγή : Environmental noise in Europe -2020 [6]

6.4 Παράδειγμα σύγκρισης εκτίμηση κινδύνου υγείας για χρόνια έκθεση στον θόρυβο που σχετίζεται με τις μεταφορές και την ατμοσφαιρική ρύπανση

Μελέτη στην Ελβετία το 2010 [9] έδειξε ότι η μέση σταθμισμένη έκθεση του πληθυσμού πάνω από το όριο των 48dB(A) ήταν 8,74dB(A), 1,89dB(A) και 0,37dB(A) για το θόρυβο από μεταφορές οδικές, σιδηροδρομικές και αεροσκαφών. Οι αντίστοιχες μέσες τιμές έκθεσης σε ατμοσφαιρική ρύπανση ήταν 4,4, 0,54, 0,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα ΑΣ10(σωματίδια με διάμετρο έως 10 μm). Υπολογίστηκε ότι ,το 2010 στην Ελβετία ,οι μεταφορές προκάλεσαν 6000 και 14.000 YLL (απώλειες ετών ζωής) από έκθεση στον θόρυβο και την ατμοσφαιρική ρύπανση, αντίστοιχα. Ενώ υπήρχαν συνολικά 8.700 ημέρες νοσηλείας

καρδιοαναπνευστικού που αποδίδονταν στην έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση, η εκτιμώμενη επιβάρυνση λόγω μόνο του θορύβου ανήλθε σε 22.500 ημέρες νοσηλείας. Τα συμπεράσματα έδειξαν ότι το έτη απωλειών ζωής (YLL) λόγω της ρύπανσης που σχετίζεται με τις μεταφορές στην Ελβετία κυριαρχείται από την ατμοσφαιρική ρύπανση από την οδική κυκλοφορία, ενώ οι συνέπειες για τη νοσηρότητα και οι δείκτες ποιότητας ζωής (YLD) κυριαρχούνται από τον θόρυβο. Όσον αφορά το συνολικό κόστος, το βάρος του θορύβου ισούται με αυτό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Κεφάλαιο 7

- Συμπεράσματα
- Προτάσεις

7.1 Συμπεράσματα

Μέσα από την παρούσα εργασία αναδεικνύεται η πολύ μεγάλη χρησιμότητα που μπορεί να έχει ένα Σύστημα Ανάλυσης και Αξιολόγησης Περιβαλλοντικής Ηχορύπανσης.

Η περιβαλλοντική ηχορύπανση είναι ένα διογκούμενο πρόβλημα το οποίο επηρεάζει ποικιλοτρόπως την καθημερινή ποιότητα ζωής των ανθρώπων ιδιαίτερα του αστικού πληθυσμού, ο οποίος είναι και ο μεγαλύτερος. Εξάλλου, παγκόσμιοι φορείς όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας κατατάσσουν την περιβαλλοντική ηχορύπανση ως το δεύτερο σημαντικότερο πρόβλημα μετά την ατμοσφαιρική ρύπανση.[12]

Έτσι μέσα από το πρόγραμμα ανάλυσης και αξιολόγησης της περιβαλλοντικής ηχορύπανσης που δημιουργήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού LabVIEW έχουμε στη διάθεσή μας ένα αξιόλογο και χρήσιμο «εργαλείο» το οποίο όπως είδαμε μπορεί να παράγει πολλά και ωφέλιμα ποιοτικά αποτελέσματα από τις διάφορες μετρήσεις. Τα παραγόμενα αποτελέσματα μπορούν να αξιοποιηθούν περαιτέρω για να εξετάσουμε ποιοτικά χαρακτηριστικά του θορύβου κατά την διάρκεια της ημέρας και της νύχτας έτσι ώστε να επικεντρώσουμε και να στοχεύσουμε σε συγκεκριμένα μέτρα περιορισμού του περιβαλλοντικού θορύβου .

Επίσης, μπορούμε να βλέπουμε και να καταγράφουμε τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του θορύβου που επικρατεί όχι μόνο γενικά σε αστικές κατοικημένες περιοχές αλλά και σε σημεία ιδιαίτερου ενδιαφέροντος όπως σχολεία, νοσοκομεία αλλά και σε περιοχές που εγκαθίστανται σύγχρονες κατασκευές όπως οι ανεμογεννήτριες στα βουνά κ.α. με σκοπό να έχουμε στοιχεία για ανάλυση και έρευνα αλλά και να είναι στην διάθεση των αρμόδιων φορέων προκειμένου να παρακολουθούν και να βελτιώνουν όπου χρειάζεται τις συνθήκες διαβίωσης των ανθρώπων ή και της πανίδας.

Όπως προκύπτει από τις μετρήσεις που έγιναν στην περιοχή του νομού Ιωαννίνων έχουμε περιοχές με θόρυβο που ξεπερνά το ελάχιστο όριο των 65 dB για τον δείκτη L_{den} και των 55 dB για τον δείκτη L_{night} , για μία καλή ποιότητα ζωής όπως π.χ. στη Λεωφόρο Ευεργέτη Δομπόλη Ιωάννη και Ιωάννου Βηλαρά. Υπάρχουν βέβαια και ήσυχες περιοχές μέσα στον ιστό της πόλη όπως το εσωτερικό του Κάστρου.

Οι μετρήσεις που έγιναν σε σχολείο έδειξαν θόρυβο σε ώρα μαθήματος 59.4 dB και στην αυλή σε ώρα διαλλείματος 64.1 dB ο οποίος είναι πολύ πάνω από το όριο των 55 dB που συστήνεται από τον Π.Ο.Υ. Το δείγμα βέβαια δεν μπορεί να γενικευτεί αλλά έτσι κι αλλιώς δεν είναι αυτός ο σκοπός της παρούσης εργασίας.

Ενδιαφέρων επίσης παρουσιάζουν οι μετρήσεις στην Γ κατηγορία, στη φύση, όπου μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ο συνεχόμενος θόρυβος από κάποιον ποταμό σε απόσταση μικρότερη των 40 m είναι 47 dB άρα μπορεί να είναι ενοχλητικός το οποίο βέβαια εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως το μέγεθος του ποταμού, το είδος του εδάφους ροής του π.χ. αν υπάρχουν βράχια κλπ.

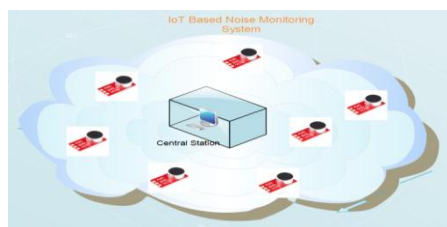
Στο αιολικό πάρκο (στο όρος Κασιδιάρη) είδαμε πως ο θόρυβος μπορεί να κυμαίνεται από 30 dB έως 60dB ανάλογα με την δύναμη του ανέμου, τον αριθμό των ανεμογεννητριών και την απόσταση μέτρησης. Η επικρατέστερη τιμή είναι γύρω από τα 40 dB σε μία κοντινή απόσταση, περίπου 80m. Σε αυτή την περίπτωση νομίζω ότι το κυριότερο πρόβλημα μπορεί να προκύπτει από τον συνεχόμενο, όλο το 24ωρο, θόρυβο και να εστιάζετε στην πανίδα με δεδομένο ότι οι οικισμοί θα πρέπει να είναι αρκετά απομακρυσμένοι.

Παρατηρήθηκε σημαντική εξασθένηση του θορύβου σε σχέση με την απόσταση, αυτό έχει ιδιαίτερη αξία στις κατοικημένες περιοχές. Επίσης διαπιστώθηκε ότι με περισσότερες επαναλαμβανόμενες μετρήσεις μειώνεται το σφάλμα από ανεπιθύμητες παρεμβολές.

7.2 Προτάσεις

Το πρόγραμμα το οποίο δημιουργήθηκε στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας είναι χρήσιμο για την παρακολούθηση και ανάλυση του περιβαλλοντικού θορύβου με εύχρηστο τρόπο σε αρκετές περιπτώσεις από την καθημερινή ζωή, όπως σε αστικές και μη περιοχές, σε σχολεία, σε νοσοκομεία, σε χώρους εργασίας, ψυχαγωγίας, σε βιομηχανίες κ.α.. Με βάση τα αποτελέσματα όταν υπερβαίνονται τα επιτρεπόμενα όρια θορύβου μπορεί να προωθείται κάποια ειδοποίηση.

Επέκταση του προγράμματος και σύνδεση σε μόνιμο δίκτυο με εγκαταστημένους ηχομετρητές ανά περιοχή, για μετρήσεις και ανάλυση σε πραγματικό χρόνο καθόλη τη διάρκεια του 24/ώρου και του έτους



Σχήμα 7.1: Ηχομετρητές σε δίκτυο για μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο

Περαιτέρω επιστημονική έρευνα για τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του θορύβου (συχνότητα, πλάτος, αιχμές, κ.λπ) που προκύπτουν από την ανάλυση των μετρήσεων ανά κατηγορία από την οποία θα προκύψουν ποιοι στοχευόμενες παρεμβάσεις και προτάσεις για τη μείωση του περιβαλλοντικού θορύβου. Παράλληλα οι αρμόδιοι φορείς σε συνεργασία με την επιστημονική κοινότητα και με τους πολίτες μπορούν να προωθήσουν δράσεις για τη βελτίωση του περιβάλλοντος, όπως για τη μείωση του κυκλοφοριακού περιβαλλοντικού θορύβου θεσπίζοντας και προωθώντας μέτρα όπως η πεζοδρόμηση, η ενθάρρυνση της ενεργητικής μετακίνησης (περπάτημα, ποδηλασία), τοποθέτηση ασφάλτου χαμηλής στάθμης θορύβου στο οδικό δίκτυο μαζί με χρήση αθόρυβων ελαστικών σε οχήματα δημόσιων μεταφορών κ.α. Πολλά από τα μέτρα αυτά έχουν αποδειχθεί επωφελή και για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ένας σημαντικός αριθμός πόλεων και περιφερειών στην Ευρώπη έχουν επίσης θεσπίσει τις λεγόμενες ήσυχες περιοχές, στις οποίες οι κάτοικοι μπορούν να αποδράσουν για λίγο από τον θόρυβο της πόλης χωρίς ωστόσο να αντιμετωπίζουν το πρόβλημα στην πηγή του. Πρόκειται στην πλειονότητά τους για χώρους πρασίνου, όπως πάρκα ή προστατευόμενες φυσικές περιοχές.

Επίσης την τελευταία Τετάρτη του Απριλίου κάθε έτους γιορτάζεται η Παγκόσμια Ημέρα Ευαισθητοποίησης κατά του Θορύβου (International Noise Awareness Day - INAD)[13]. Πρόκειται για μια παγκόσμια εκστρατεία που ξεκίνησε το 1996 από το Κέντρο για την Ακοή και την Επικοινωνία (Center for Hearing and Communication - CHC) με στόχο την ευαισθητοποίηση των πολιτών κατά του θορύβου

Ιδιαίτερη μέριμνα θα πρέπει να υπάρχει για τα σχολεία και τα νοσοκομεία αρχικά από την επιλογή των θέσεων δόμησής τους ή αν αυτό δεν είναι δυνατό με την ρύθμιση της κυκλοφορίας έτσι ώστε να βρίσκονται σε ένα ήρεμο, δημιουργικό και υγιεινό περιβάλλον. Ένα χαρακτηριστικό αρνητικό παράδειγμα που προκύπτει από την παρούσα εργασία είναι ότι το Πρότυπο Γυμνάσιο της Ζωσιμαίας Σχολής Ιωαννίνων το οποίο στεγάζεται σε κτίριο επί της Λεωφόρου Ε. Ι. Δομπόλη που τώρα αλλά και στο παρελθόν είναι ένα από τα πιο θορυβώδη σημεία μέτρησης στην πόλη των Ιωαννίνων.

Τέλος πιστεύω ότι επειδή οι μολυσματικοί παράγοντες μπορεί να βρίσκονται εκτός άλλων στον αέρα που αναπνέουμε αλλά και στους ήχους που ακούμε θα ήταν χρήσιμο το πρόβλημα της περιβαλλοντικής ηχορύπανσης να ενταχθεί και σε κάποιο ειδικό μάθημα της ευρύτερης περιβαλλοντικής εκπαίδευσης ώστε να καλλιεργηθεί μια νέα στάση απέναντι στον άσκοπο παραγόμενο θόρυβο και να ενισχυθεί η ακουστική παιδεία.

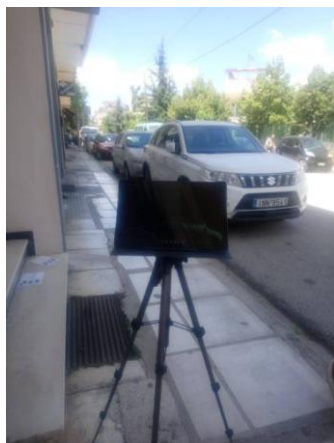
Βιβλιογραφία

- 1 Καμπύλες Fletcher-Munson.” Peak Studios, 10 Dec. 2023, www.peak-studios.de/el/fletcher-munson-kurven/
- 2 ΕΛΙΝΥΑΕ. <https://www.elinyae.gr/themata-yae/thorybos/page/basikes-ennoies-kai-parametroi-toy-thoryboy>
- 3 Sound pressure level SPL (2023) SVANTEK. Available at: <https://svantek.com/academy/sound-pressure-level-spl/> (Accessed: 25 May 2024).
- 4 The decibel scale R.C (no date) Docslib. Available at: <https://docslib.org/doc/803182/the-decibel-scale-r-c> And https://www.montana.edu/rmaher/ee417_fl08/decibel_scale.pdf
- 5 Library.tee.gr/digital/M2301/m2301_hatziliberis.PDF. Available at: http://library.tee.gr/digital/m2301/m2301_hatziliberis.pdf (Accessed: 04 April 2024).
- 6 Noise European Environment Agency’s home page. Available at: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/noise>
<https://www.eea.europa.eu/publications/protected-areas-in-europe-2012>
- 7 Χαρτογράφηση Θορύβου Πολεοδομικών Συγκροτημάτων (2023) ΥΠΕΝ Αρχική -. Available at: <https://ypen.gov.gr/perivallon/thoryvos-aktinovolies/chartografisi-thoryvou-poleodomikon-syggkrotimatou/> (Accessed: 06 April 2024).
- 8 World Health Organization Regional Office for Europe
<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/326424/9789289002295-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 9 Vienneau D;Perez L;Schindler C;Lieb C;Sommer H;Probst-Hensch N;Künzli N;Röösli M; Years of life lost and morbidity cases attributable to transportation noise and air pollution: A comparative health risk assessment for Switzerland in 2010, *International journal of hygiene and environmental health*. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26003939/> (Accessed: 30 April 2024).
- 10 Basner M, McGuire Σ. 2018. Κατευθυντήριες γραμμές της ΠΟΥ για τον περιβαλλοντικό θόρυβο στην ευρωπαϊκή περιφέρεια: συστηματική ανασκόπηση του περιβαλλοντικού θορύβου και των επιπτώσεων στον ύπνο. *Int. J. Environ. Res. Δημόσια Υγεία* 15:519
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022460X0600099X>
- 11 Ο θόρυβος στην εργασία - Φύση, κίνδυνοι και προστασία Έβελυν Βαφειδούλ. Γ. Ιωάννου «Ακουστική για Ηχολήπτες», Εκδόσεις ΙΩΝ
- 12 Η ηχορύπανση αποτελεί μείζον πρόβλημα, τόσο για την υγεία του ανθρώπου όσο και για το περιβάλλον (2021) European Environment Agency. Available at: <https://www.eea.europa.eu/el/articles/i-ichorypansi-apotelei-meizon-problima> .
- 13 <https://www.connecthearing.com.au/blog/hearing-and-hearing-loss/international-noise-awareness-day-2024/>
- 14 Sengpiel, E. (no date) Table chart sound pressure levels SPL level test normal voice sound levels pressure sound intensity ratio decibel comparison chart conversion of sound pressure to sound intensity noise sound units decibel level comparison of common sounds calculation compression rarefaction loudness decibel DB scale ratio factor unit examples - sengpielaudio sengpiel Berlin. Available at: <https://sengpielaudio.com/TableOfSoundPressureLevels.htm> (Accessed: 25 May 2024)

- 15 *Decibel - an overview* | Science Direct Topics. Available at: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/decibel> (Accessed: 30 May 2024).
- 16 *handbook-for-sound-engineers.pdf*, <https://belqlas.com/wp-content/uploads/2018/03/handbook-for-sound-engineers.pdf>
- 17 *Χαρτογράφηση Θορύβου διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών (2021) ΥΠΕΝ Αρχική* -. Available at: <https://ypen.gov.gr/perivallon/thoryvos-aktinovolies/chartografisi-thoryvou-diethnous-aerolimena-athinon/>.
- 18 *Decibel (symbol: DB) is a unit to describe the ratio between ...* Available at: <http://knutsacoustics.com/files/Decibel.pdf>
- 19 *Object-oriented programming in labview (2017) LabVIEWTM Advanced Programming Techniques*, pp. <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/labview/page/labview-object-oriented-programming.html>
- 20 <https://www.ni.com/en/shop/labview.html>
- 21 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27195894/>
- 22 <https://www.who.int/Burden-of-disease-from-environmental-noise-Quantification-of-healthy-life-years-lost-in-Europe/>
- 23 *ΦΕΚ 1367 27 – 2012*: <https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2020/12/%CE%BF%CE%B9%CE%BA.-211773.2012.pdf>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι : Φωτογραφίες από τα σημεία μετρήσεων



(i)



(ii)

Οδός Βηλαρά (Λύκειο Ζωσιμαίας)



(i)



(ii)

Κεντρική Πλατεία (Ρολόι)



(i)



(ii)

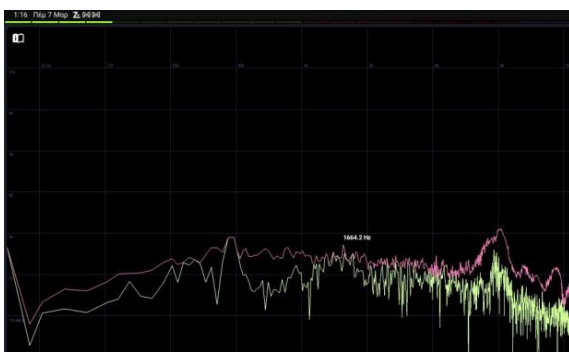
Λεωφόρος Δομπόλη (Εφορία)



(i)



(ii)

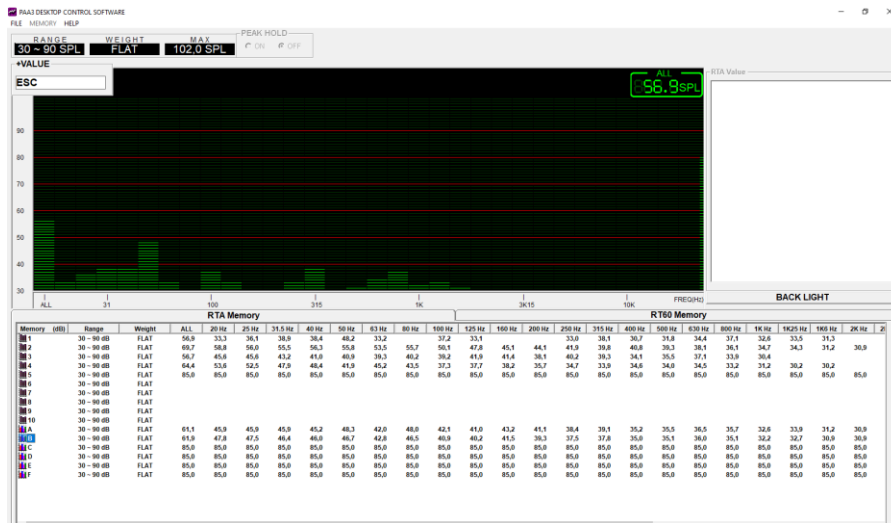


(iii) Στιγμιότυπο μέτρησης με την επικρατούσα συχνότητα



(iv)

Πάρκο ανεμογεννητριών Κασιδιάρη



Μετρήσεις με το Phonic RAA3 στις ανεμογεννήτριες



Κάστρο Ιωαννίνων (είσοδος ιτς καλέ)

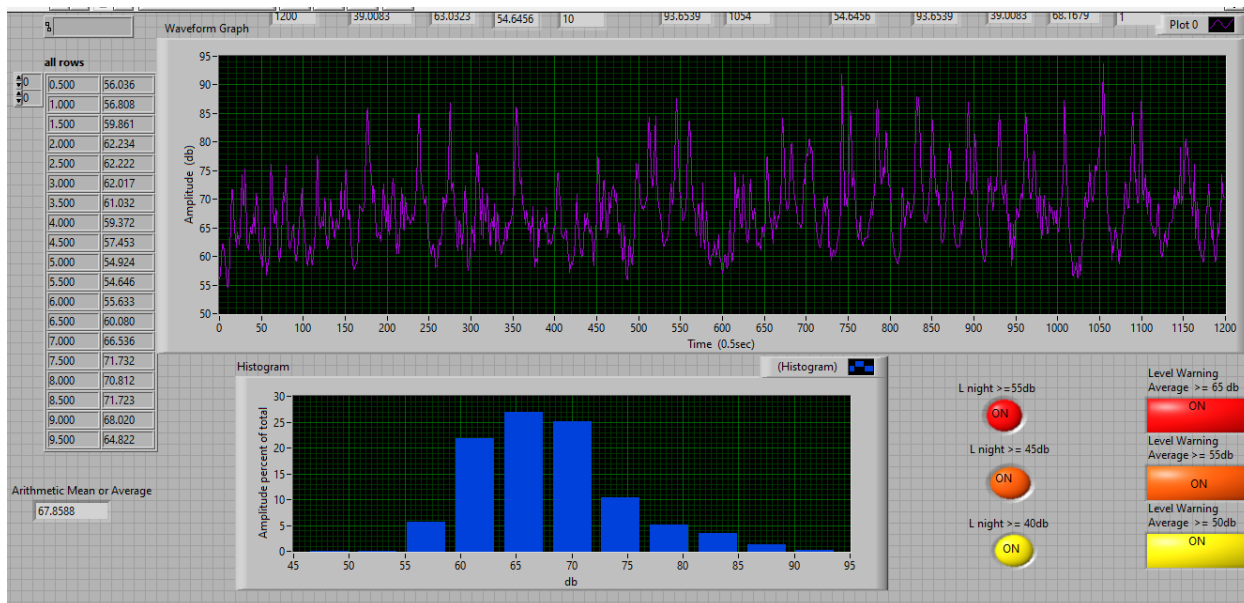


Ποταμός Λούρος

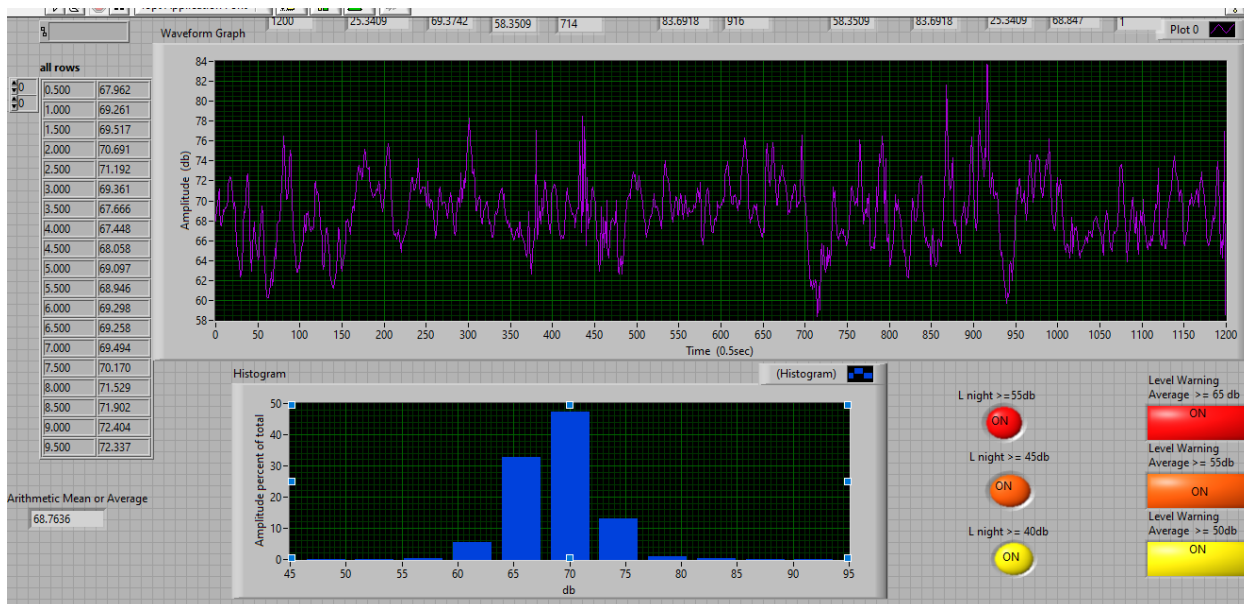


Στιγμιότυπο από μέτρηση στο Λούρο

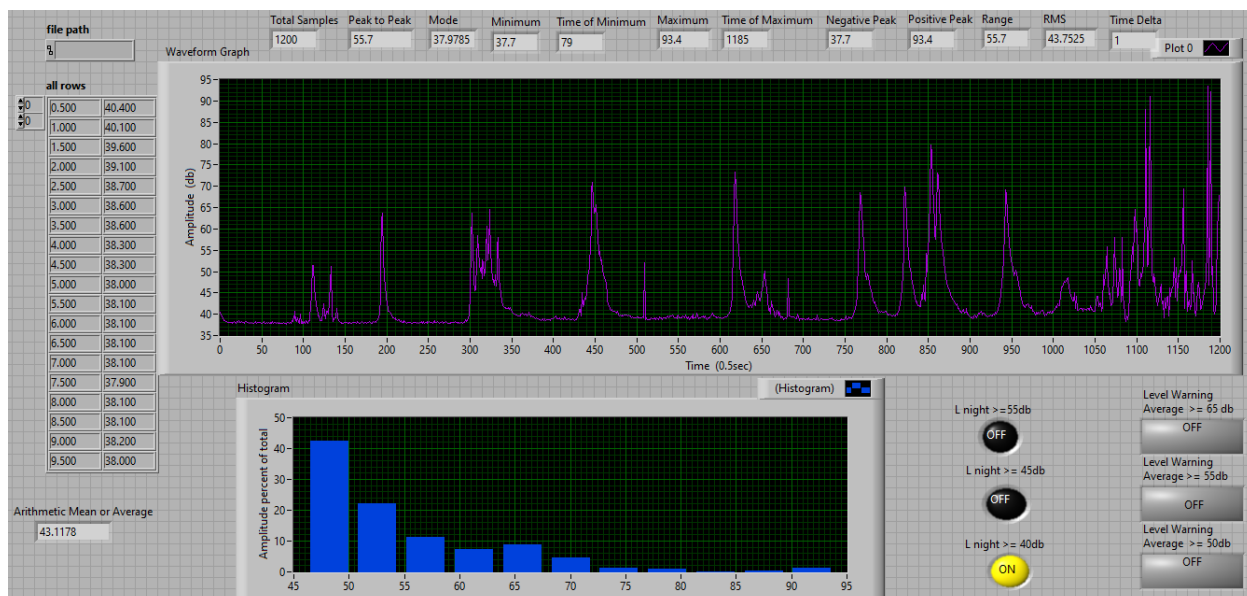
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II : Αποτελέσματα από ανάλυση μετρήσεων (Front Panel)



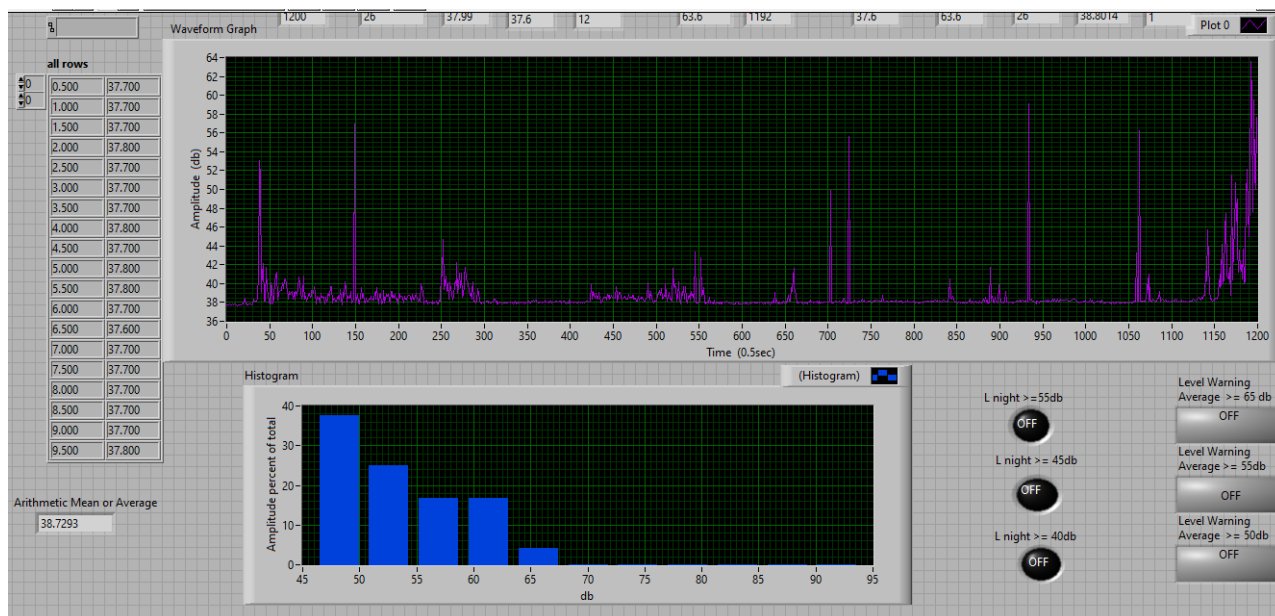
Δείκτης L_{den} στην οδό Βηλαρά (Λυκ. Ζωσιμαίας)



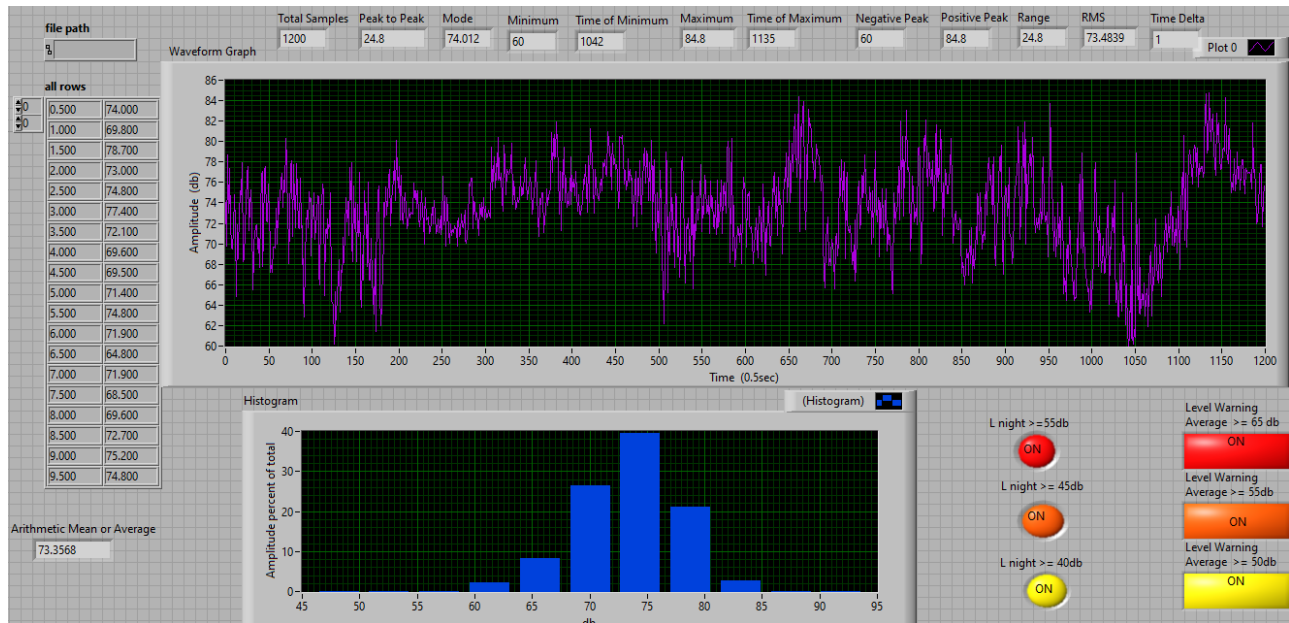
Δείκτης L_{den} στην Εθνική οδό (Πρώην Πολυκλαδικό)



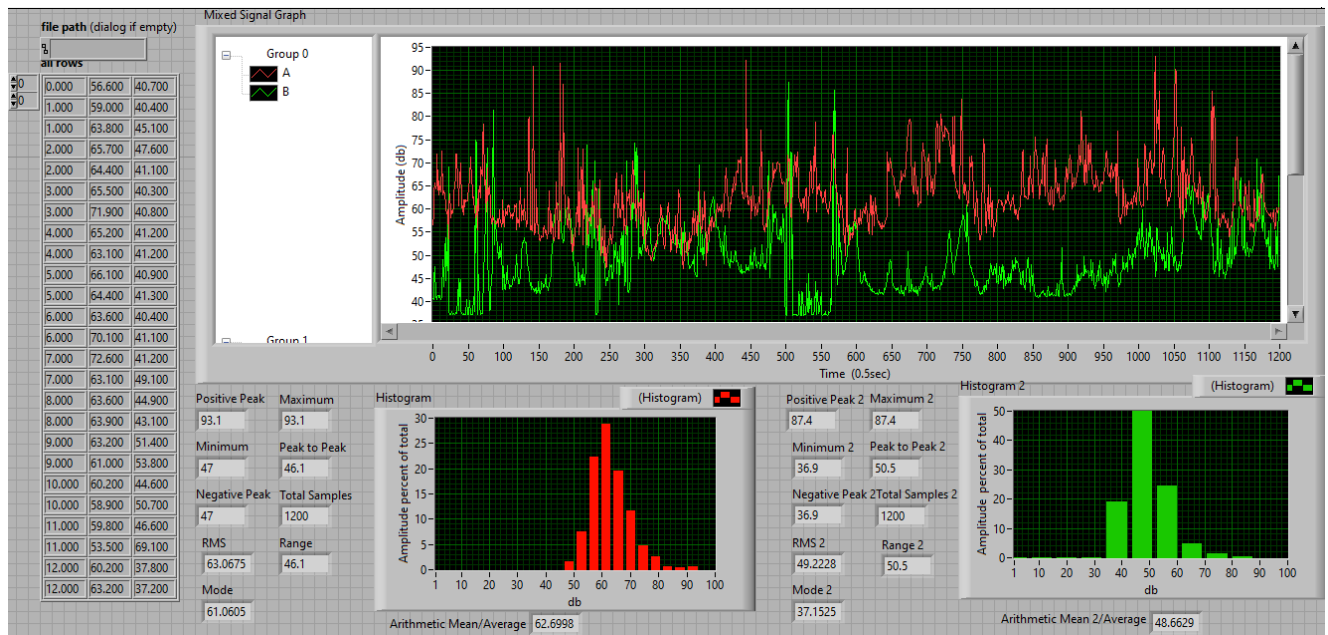
Δείκτης L_{night} στον παραλίμνιο δρόμο (Κυρά Φροσύνη)



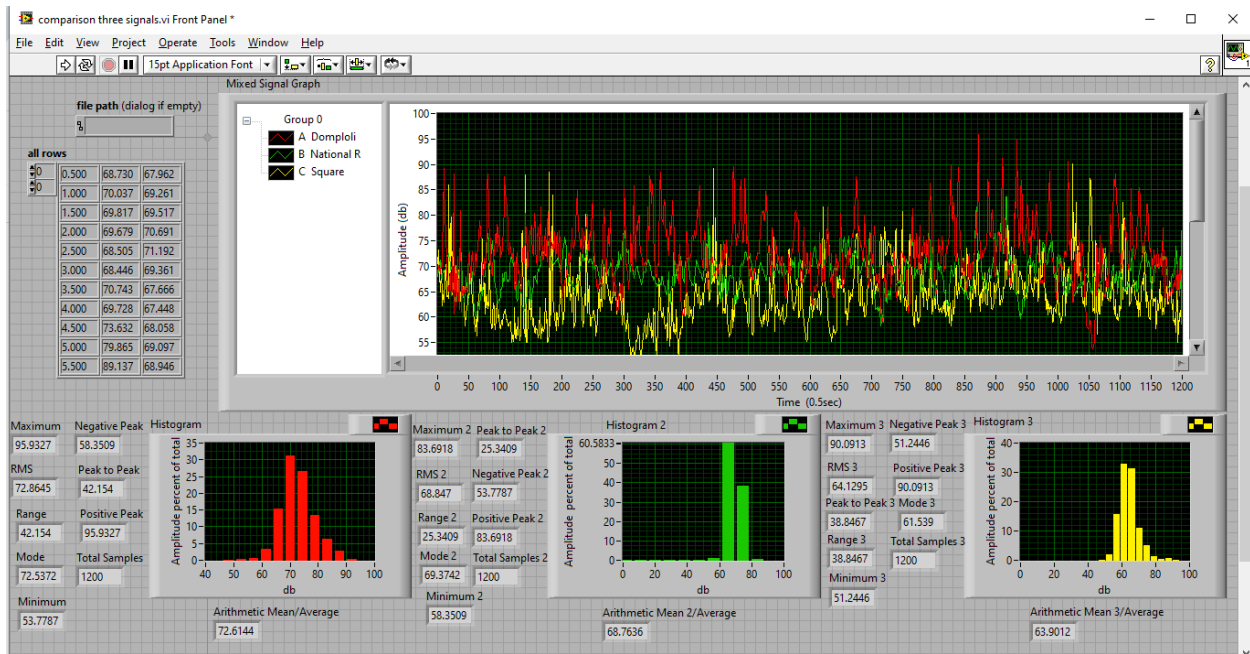
Δείκτης L_{night} στο εσωτερικό του Κάστρου (Είσοδος ις Καλέ)



Δείκτης L_{eq} σε Καφέ μπαρ (Ανεξαρτησίας)



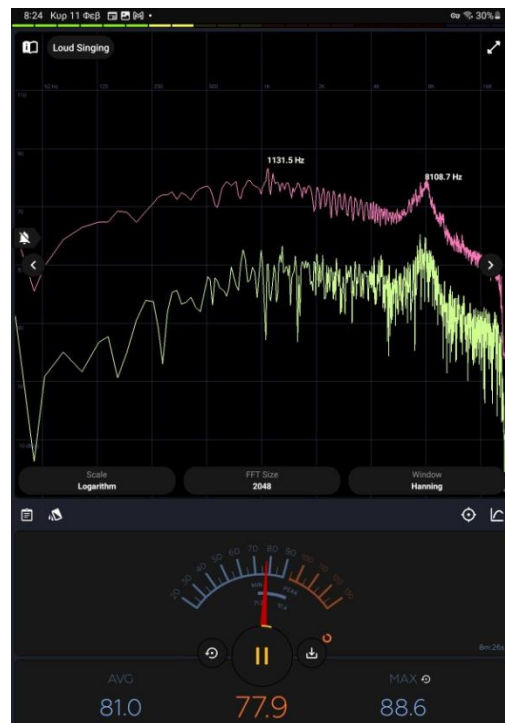
Σύγκριση Δείκτη L_{den} : Πλατεία (Ρολόι) και Παραλίμνιος δρόμος (Κυρά Φροσύνη)



Σύγκριση δείκτη L_{den} : Οδός Δομπόλη (Εφορεία) – Εθνική Οδό (Πολυκλαδικό) – Πλατεία (Ρολόι)

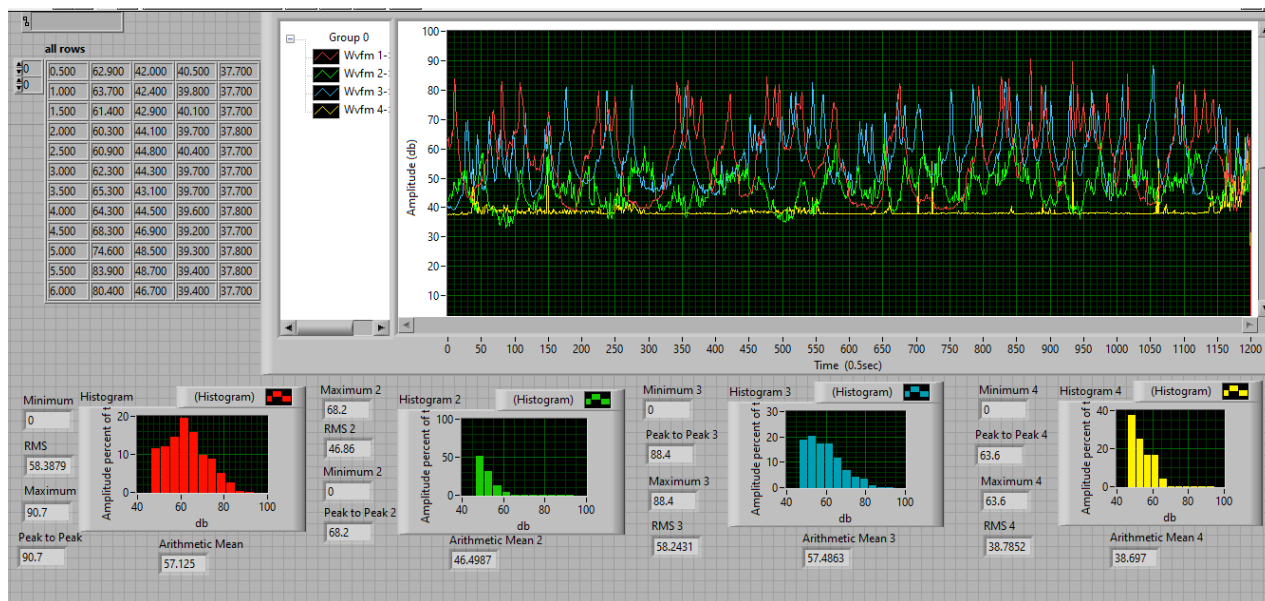
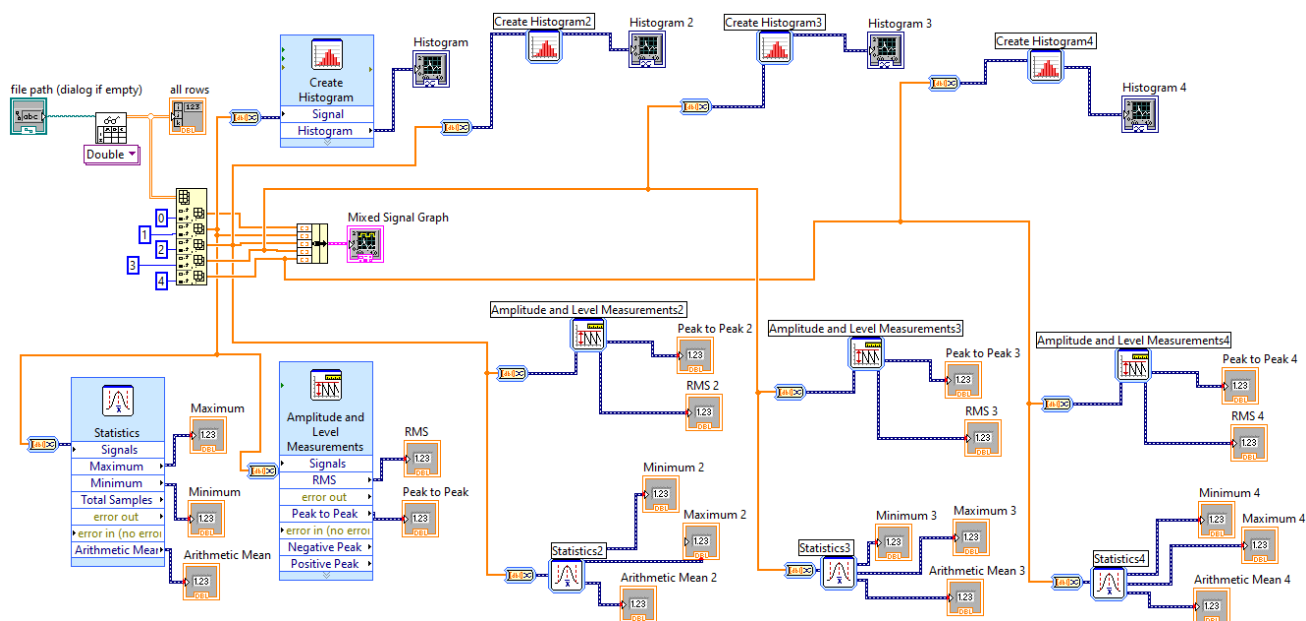


Περιβάλλον του DesibelX

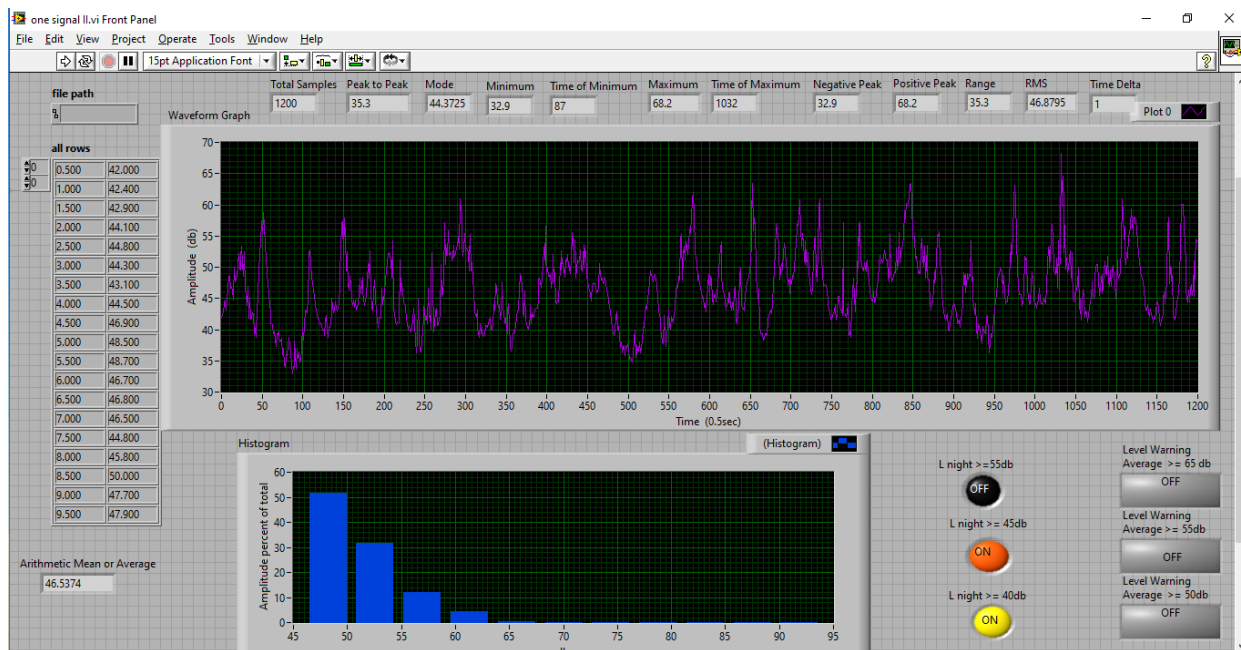


Μέτρηση θορύβου ισχυρής καταιγίδας με κεραυνούς

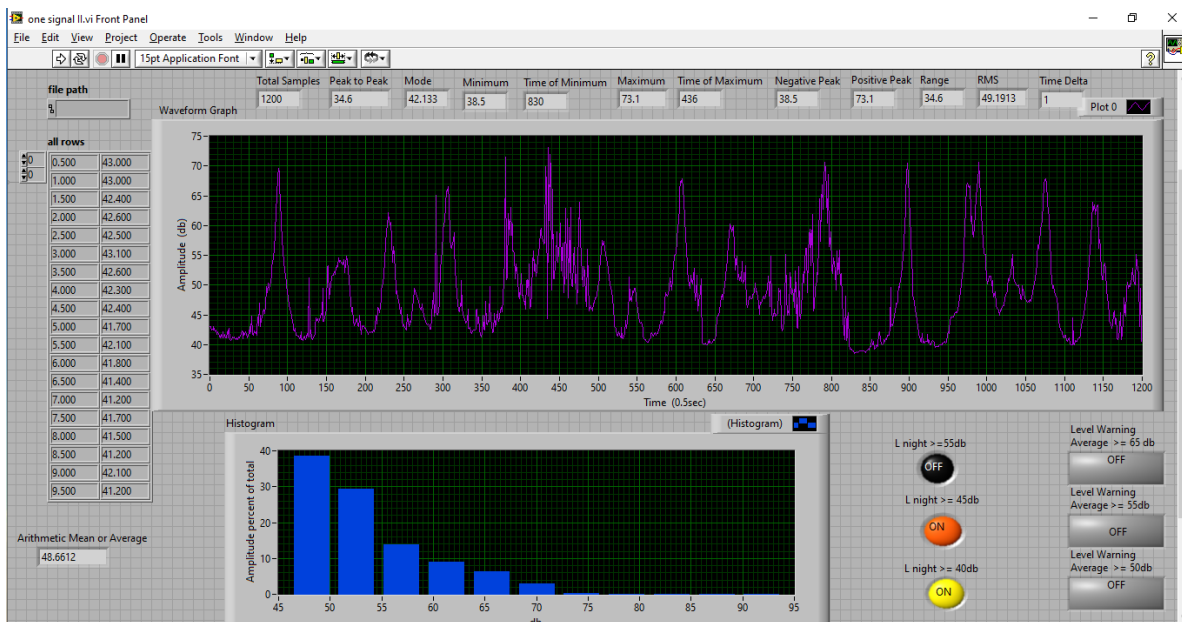
Το πρόγραμμα της εργασίας για ταυτόχρονη ανάλυση τεσσάρων μετρήσεων



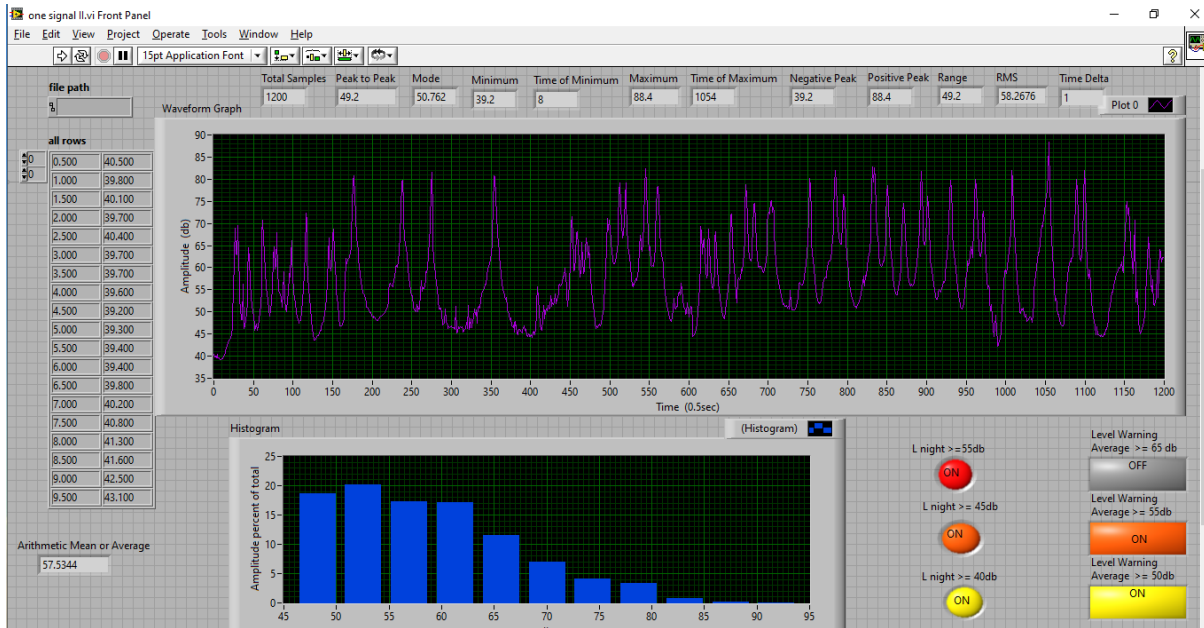
Ανάλυση και σύγκριση δείκτη L_{night} τεσσάρων μετρήσεων: Οδός Δομπόλη (Εφορία) –Πλατεία (Ρολόι)- Οδ. Βηλαρά (Α. Ζωσιμαίας)- Κάστρο (Είσοδος Ιτς Καλέ), Δείκτης



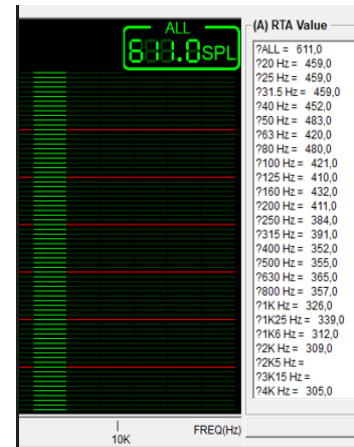
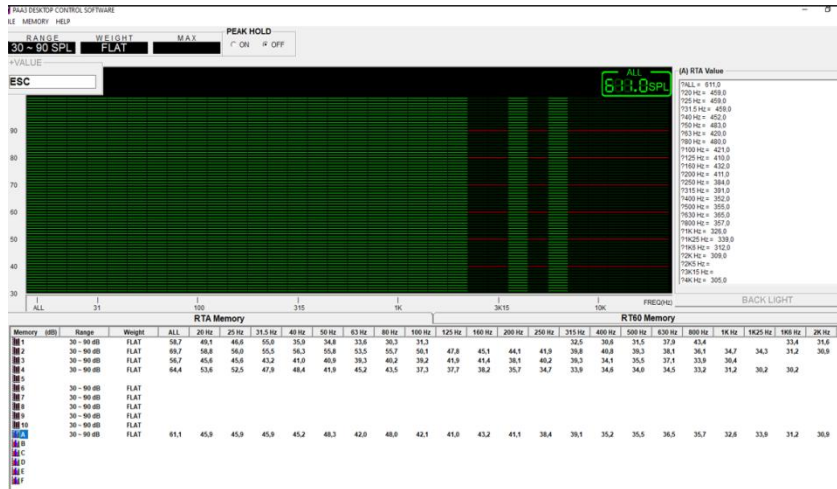
Δείκτης L_{night} στην Πλατεία (Ρολόι)



Δείκτης L_{night} στην Εθνική οδό (Πολυκλαδικό)



Δείκτης L_{night} στην Οδό Βηλαρά (Λύκειο Ζωσιμαίας)



Μετρήσεις στις ανεμογεννήτριες με το Phonic PAA3