



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
(Δ.Π.Μ.Σ.)
"ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"

Διπλωματική Εργασία

ΧΩΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ
ΤΥΠΟΛΟΓΙΑ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ: Η
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

Μάρκου Δημήτρης, Γεωγράφος

Επιτροπή Παρακολούθησης:

Καθηγητής Γ. Φώτης (επιβλέπων): Σχολή Αγρονόμων και
Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Καθηγητής Κ. Κουτσόπουλος: Σχολή Αγρονόμων και
Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π.

ΕΔΠ Μ. Πηγάκη: Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων
Μηχανικών Ε.Μ.Π

Περιβάλλον
και
Ανάπτυξη

Αθήνα, Νοέμβριος 2020

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Φώτη Γεώργιο -Καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π- για την υποστήριξη και καθοδήγηση που μου προσέφερε καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ακόμη, ευχαριστώ τον παλιό μου συνάδελφο και φίλο Στάθη Μαργαρίτη -Δρ. Μηχανικό Χωροταξίας Πανεπιστημίου Groningen- ο οποίος παρείχε ιδιαιτέρως χρήσιμες πληροφορίες σε ζητήματα που άπτονται της έρευνας του ακουστικού περιβάλλοντος. Επιπλέον, ευχαριστώ τον φίλο μου Θάνο Κουμεντάκο -MSc Φυσικό- ο οποίος συνέβαλλε σε σημαντικό βαθμό στο στάδιο της βαθμονόμησης της συσκευής (smartphone) η οποία αποτέλεσε το μέσο μέτρησης των επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου και σε αυτό της επιμέλειας κειμένου. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου Νίκο Θεοδοσίου - MSc Γεωγράφο- και Μάριο Ηλιάδη -Φυσικό- για τις χρήσιμες συμβουλές τους σε ζητήματα επιμέλειας κειμένου. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, και ιδιαιτέρως τον αδερφό μου Χρήστο, για τον μοναδικό τρόπο με τον οποίο εκφράζουν τη συμπαράσταση και την συμπάθειά τους.

Παράλληλα, θα ήθελα να γνωστοποιήσω ότι, μέσω της διαδικασίας φοίτησής μου στο Διεπιστημονικό – Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (Δ.Π.Μ.Σ.) «Περιβάλλον και Ανάπτυξη», εξελίχθηκα-αναπτύχθηκα (όχι ακόμα ολοκληρωμένα!) ως επιστήμονας αλλά και ως άνθρωπος. Επομένως, θα ήταν παράλειψη εκ μέρους μου να μην ευχαριστήσω τους Καθηγητές και το προσωπικό του Πανεπιστημίου, καθώς και τους συμφοιτητές μου.

Τέλος, αφιερώνω αυτή την ξεχωριστή παράγραφο στη Μαρία η οποία αν δεν είχε βρεθεί στο δρόμο μου, δε θα βρισκόμουν στη θέση που βρίσκομαι αυτή τη στιγμή. Την ευχαριστώ λοιπόν για την ώθηση που παρείχε κατά τη διαδικασία της αίτησης, για την ψυχολογική στήριξη κατά τη διάρκεια της συνέντευξης (και σε σημαντικό τμήμα της διάρκειας των σπουδών) και για τη γενικότερη πίστη που έδειξε προς το πρόσωπό μου.

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract	7
1. Εισαγωγή	9
2. Ηχορύπανση	11
2.1. Ηχορύπανση - ορισμός	11
2.2. Επιπτώσεις της Ηχορύπανσης.....	12
2.2.1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.....	12
2.2.1.1 Επιπτώσεις της ηχορύπανσης στον ύπνο και την ψυχική υγεία.....	13
2.2.1.2 Επιπτώσεις της ηχορύπανσης στη σωματική υγεία	14
2.2.2. Επιπτώσεις της ηχορύπανσης στο περιβάλλον	15
2.3. Περιορισμός της ηχορύπανσης	16
2.3.1. Γενικά.....	16
2.3.2. Μέθοδοι μείωσης της ηχορύπανσης	18
2.4. Μέτρηση και αντίληψη της ηχορύπανσης	18
2.4.1. Δείκτες περιβαλλοντικού θορύβου	20
2.4.2. Χωρική κατανομή της ηχορύπανσης	20
2.5. Νομικό πλαίσιο που αφορά την ηχορύπανση	24
2.5.1 Η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης στον τομέα της ηχορύπανσης.....	24
2.5.1.1. Η πορεία προς την έκδοση της οδηγίας 2002/49/EK.....	24
2.5.1.2. Ο περιβαλλοντικός θόρυβος και η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/49/EE	25
2.5.1.3. Αξιολόγηση των διατάξεων της οδηγίας και της εφαρμογής τους από τα κράτη μέλη ...	27
2.5.1.4. Αξιολόγηση των μεθόδων εκτίμησης των επιπέδων ηχορύπανσης σύμφωνα με την οδηγία 2002/49/EK	29
2.5.1.4.1. Εκτίμηση των επιπέδων ηχορύπανσης με τη μέθοδο της προσομοίωσης.....	30
2.5.1.4.2. Εκτίμηση των επιπέδων ηχορύπανσης με μέτρηση στο σημείο αξιολόγησης.....	30
2.5.2. Εθνικό Θεσμικό Πλαίσιο Αξιολόγησης και Διαχείρισης της Ηχορύπανσης.....	31
2.5.2.1. Ο νόμος πλαίσιο 1650/1986 «Για την προστασία του περιβάλλοντος»	31
2.5.2.2. Εναρμόνιση της εθνικής νομοθεσίας με την κοινοτική οδηγία 2002/49/EK για την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου	32
2.5.2.2.1. Στρατηγικοί Χάρτες Θορύβου και Σχέδια Δράσης.....	34
2.6. Η ηχορύπανση στην Αθήνα	34
3. Ηχοτοπίο	43
3.1. Ορισμός.....	43
3.2. Οι συνιστώσες του ηχοτοπίου.....	44
3.3. Η προσέγγιση του ηχοτοπίου (Soundscape Approach)	45

3.4. Χάρτες ηχοτοπίου	46
4. Μεθοδολογία.....	49
4.1. Γενική περιγραφή της μεθοδολογίας	49
4.2. Γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο	50
4.2.1 Στρατηγική δειγματοληψίας	50
4.2.2. Συλλογή δεδομένων – η μέθοδος Soundwalk.....	51
4.2.3. Εργαλεία χωρικής παρεμβολής.....	52
4.2.4. Εκτίμηση της χαρτογραφικής ακρίβειας.....	56
4.3. Μοντέλο ανάπτυξης χαρτών θορύβου και ηχοτοπίου.....	58
4.3.1. Περιοχή μελέτης	58
4.3.1.1. Το κέντρο της Αθήνας	58
4.3.1.2. Περιοχή δειγματοληψίας.....	61
4.3.1.3. Συλλογή δεδομένων	63
4.3.1.3.1. Καταγραφή επιπέδων ηχορύπανσης	63
4.3.1.3.2. Καταγραφή δεδομένων ηχοτοπίου.....	64
4.3.1.4. Περιεχόμενο χαρτών	66
4.3.1.5. Εκτίμηση της ακρίβειας των χαρτών	82
4.3.1.6. Σύγκριση επιπέδων ηχορύπανσης και δεδομένων ηχοτοπίου.....	84
5. Αποτελέσματα	87
5.1. Χωρική κατανομή των επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου	87
5.1.1. Δείκτης $L_{Aeq, 30s}$	87
5.1.2. Δείκτης L_{10}	90
5.1.3. Δείκτης L_{90}	92
5.2. Χωρική κατανομή των αντιληπτικών δεδομένων ηχοτοπίου	94
5.2.1. Χωρική κατανομή των τεχνολογικών πηγών.....	94
5.2.2. Χωρική κατανομή των ανθρώπινων πηγών	96
5.2.3. Χωρική κατανομή των φυσικών πηγών.....	98
5.3. Εξήγηση των επιπέδων ηχορύπανσης συναρτήσει των αντιληπτικών δεδομένων ηχοτοπίου. 100	
5.4. Προφίλ ηχοτοπίου.....	106
6. Συζήτηση	109
6.1. Συμπεράσματα	109
6.2. Προβλήματα – Περιορισμοί.....	113
6.3. Μελλοντική Έρευνα.....	114
Βιβλιογραφία	116
Ιστογραφία.....	121

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας μελέτης είναι η χαρτογράφηση διαφόρων προτύπων που αφορούν την ηχορύπανση και το ακουστικό περιβάλλον σε μία αστικοποιημένη περιοχή όπως η πόλη της Αθήνας. Αφορμή αποτέλεσε το γεγονός ότι η περιοχή η οποία πρόκειται να ερευνηθεί βιώνει έντονα το ζήτημα της ηχορύπανσης. Επίσης, ο περιβαλλοντικός θόρυβος συνιστά ξεχωριστό ζήτημα για την Ευρωπαϊκή Ένωση η οποία έχει συντάξει συγκεκριμένη οδηγία (2002/49/EK) αποσκοπώντας στην «αξιολόγηση και διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου». Η εργασία αυτή έχει σαν απώτερο σκοπό την παρουσίαση μίας ολιστικής προσέγγισης η οποία συνδυάζει στοιχεία των δύο βασικών μεθοδολογιών που άπτονται της έρευνας του ακουστικού περιβάλλοντος: εκείνες της χαρτογράφησης του θορύβου (noise mapping) και της προσέγγισης του ηχοτοπίου (soundscape approach). Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, επηρεάστηκε σε σημαντικό βαθμό από την εργασία των Margaritis & Kang (2017). Βασικές εισροές αποτέλεσαν οι μετρήσεις επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου και οι καταγραφές αντιληπτικών πληροφοριών ηχοτοπίου σε 483 τοποθεσίες οι οποίες επιλέχθηκαν με τη μέθοδο της συστηματικής δειγματοληψίας και κατανέμονται ισομερώς σε έκταση 4,83 τ.χλμ. Η υπό έρευνα περιοχή αφορά το εμπορικό τρίγωνο της Αθήνας, τις συνοικίες του Μεταξουργείου, της Πλάκας, του Κεραμεικού και των Εξαρχείων, τον Εθνικό Κήπο και την ευρύτερη περιοχή γύρω από τον αρχαιολογικό χώρο της Ακρόπολης. Μέσω των δεδομένων αυτών και της μεθόδου της χωρικής παρεμβολής Ordinary Kriging υπολογίστηκαν οι τιμές για τα σημεία στα οποία δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις. Τα τελικά αποτελέσματα είναι τρεις χάρτες επιπέδων ηχορύπανσης (δείκτες $L_{Aeq, 30\text{ sec}}$, L_{10} και L_{90}) και τρεις χάρτες ηχοτοπίου οι οποίοι αποτυπώνουν το πώς αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο αυτί την παρουσία των ήχων. Οι ήχοι αυτοί κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την πηγή (ανθρώπινη, φυσική και τεχνολογική) από την οποία προέρχονται. Παράλληλα, μέσω της διενέργειας Γεωγραφικά Σταθμισμένων Παλινδρομήσεων επιχειρήθηκε η εκτίμηση του κατά πόσο η διασπορά των στάθμεων περιβαλλοντικού θορύβου δύναται να εξηγηθεί από τη χωρική κατανομή των δεδομένων ηχοτοπίου και χρησιμοποιώντας το εργαλείο της χαρτογραφικής υπέρθεσης (overlay) πραγματοποιήθηκε μία απόπειρα οπτικοποίησης του επικρατούντος ηχοτοπίου της περιοχής. Όσον αφορά τη σύγκριση των μετρήσεων επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου με τις καταγραφές αντιληπτικών δεδομένων ηχοτοπίου, αναφέρεται ότι η διασπορά και των τριών δεικτών εξηγείται σε σημαντικό βαθμό (σε ποσοστό 73% για τον δείκτη L_{10} , 78% για τον $L_{Aeq, 30s}$ και 80% για τον L_{90}) από τις καταγραφές ηχοτοπίου, γεγονός που συνεπάγεται καλή

προσαρμοστικότητα του μοντέλου. Επιπροσθέτως, ο έλεγχος χωρικής αυτοσυσχέτισης (Moran's I) έδειξε ότι και στις τρεις περιπτώσεις τα σφάλματα χαρακτηρίζονται από σταθερή διακύμανση, διανέμονται με ομαλό τρόπο στον χώρο και προκύπτουν ως αποτέλεσμα τυχαίων διαδικασιών. Με αυτόν τον τρόπο ισχυροποιείται ακόμα περισσότερο η προσαρμοστικότητα του μοντέλου. Τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τον συγκερασμό της χαρτογράφησης θορύβου και της χωρικής κατανομής των δεδομένων ηχοτοπίου έχουν ως εξής. Πρώτον, οι περιοχές με υψηλά επίπεδα ηχορύπανσης (βόρειες και βόρειες προς κεντρικές) χαρακτηρίζονται από υψηλή έως μέτρια παρουσία «τεχνολογικών» ήχων και απουσία «ανθρώπινων» και «φυσικών». Δεύτερον, στις κεντρικές προς νότιες περιοχές εντοπίζεται ταυτόχρονη μέτρια-υψηλή παρουσία τεχνολογικών, μέτρια παρουσία ανθρωπίνων και χαμηλή παρουσία φυσικών πηγών. Η συγκεκριμένη περιοχή χαρακτηρίζεται από μέτρια προς χαμηλά επίπεδα περιβαλλοντικού θορύβου ενώ διακρίνεται για τον εμπορικό της χαρακτήρα. Τρίτον, περιοχές με σχετική απουσία «τεχνολογικών» ήχων στις οποίες «ανθρώπινοι», «φυσικοί», ή αμφότεροι εμφανίζουν τη μέγιστή τους συνεισφορά εντοπίζονται στα νότια και νοτιοδυτικά όπου επικρατούν χαμηλές στάθμες περιβαλλοντικού θορύβου και πρόκειται για χώρους αναψυχής οι οποίοι βρίσκονται σε σεβαστή απόσταση από το θορυβώδες κέντρο. Τέλος, περιοχές που χαρακτηρίζονται από μέτρια παρουσία τεχνολογικών και φυσικών ηχητικών πηγών, ενώ από αυτές απουσιάζουν οι ανθρώπινες, αφορούν χώρους αστικού πρασίνου οι οποίοι βρίσκονται πλησίον του κύριου οδικού δικτύου μιας και ο θόρυβος που παράγεται από αυτό δεν αφήνει ανεπηρέαστο το παρακείμενο ακουστικό περιβάλλον.

Λέξεις κλειδιά: χαρτογράφηση θορύβου, προσέγγιση ηχοτοπίου, ακουστικό περιβάλλον, αστικές περιοχές, Αθήνα

Abstract

The aim of the present study is mapping patterns related to noise pollution and the acoustic environment -in a broader context- in the urban area of Athens, Greece. European Union considers environmental noise to be a significant environmental issue and has thus introduced a directive (2002/49/EC) concerning "assessment and management of environmental noise". The primary goal of this thesis is to present a holistic approach which combines elements of two basic methodologies related to acoustic environment studies: a) noise mapping and b) soundscape approach. The methodology implemented is significantly influenced by the article of Margaritis & Kang (2017). The main inputs are environmental noise measurements and perceptual soundscape recordings. A total of 483 locations were selected through systematic sampling and distributed equally across an area of 4.83 km² which includes the commercial triangle of Athens, the National Garden, the area surrounding the archaeological site of the Acropolis and four additional districts (Metaxourgeio, Plaka, Kerameikos, Exarcheia). The unsampled locations are assigned spatially interpolated values using the Ordinary Kriging method. The results feature three noise pollution maps ($L_{Aeq,30\text{ sec}}$, L_{10} and L_{90} indexes) and three soundscape maps which reflect the way human ear perceives the presence of sounds. Depending on their source, these sounds are categorized into "human", "natural" and "technological". Additionally, through the conduct of Geographically Weighted Regressions, it was examined whether the dispersion of environmental noise levels can be explained by the spatial distribution of soundscape data. Furthermore, a visualization of the predominant soundscape of the area was attempted through the process of cartographic overlay. Regarding the comparison of environmental noise levels with the recordings of perceptual soundscape data, it is deduced that the dispersion of all three indicators is explained to a significant degree (73% for L_{10} , 78% for $L_{Aeq,30s}$ and 80% for L_{90} index) from the soundscape recordings, which consequently implies good adaptability of the model. Moreover, the spatial autocorrelation test (Moran's I) indicates that in all three cases the errors have constant variance, even spatial distribution and arise through stochastic processes. The adaptability of the model is therefore further strengthened. Four important findings emerge from the analysis. Firstly, areas with high levels of noise pollution (northern and northern to central locations) are characterized by high to moderate presence of technological and absence of human and natural sounds. Secondly, in the southern central region there is a simultaneous presence of all sound sources; moderate-high technological, moderate human and low natural. This region is characterized by moderate

to low environmental noise levels and is distinguished by several commercial activities. Thirdly, areas with absence of technological sounds in which combinations of human and natural sounds prevail are in the south and southwest where low levels of environmental noise are detected. These recreational districts are reasonably distanced from the noisy centre. Finally, areas featuring a moderate presence of technological and natural sound sources where human ones are absent are mostly urban green spaces built in proximity to the main road network as the noise produced by the latter does not leave the adjacent acoustic environment unaffected.

Keywords: noise mapping, soundscape approach, acoustic environment, urban areas, Athens

1. Εισαγωγή

Η πυκνή δομή των μεταφορικών συστημάτων (οδικών, σιδηροδρομικών και εναέριων) χαρακτηρίζει το σύγχρονο αστικό περιβάλλον. Τα συστήματα αυτά αποτελούν τη βασική αιτία πρόκλησης του λεγόμενου περιβαλλοντικού θορύβου. Στις μέρες μας, η οδική κυκλοφορία έχει διαδραματίσει τον κυρίαρχο ρόλο στην εμφάνιση της ηχορύπανσης, η οποία προξενεί σειρά αρνητικών επιπτώσεων στους κατοίκους των πόλεων (Mehdi et al., 2011).

Αντικείμενο της παρούσας μελέτης είναι η χαρτογράφηση διαφόρων προτύπων που αφορούν την ηχορύπανση και το ακουστικό περιβάλλον σε μία αστικοποιημένη περιοχή όπως η πόλη της Αθήνας. Αφορμή αποτέλεσε το γεγονός ότι η περιοχή η οποία πρόκειται να ερευνηθεί βιώνει σε έντονο βαθμό το ζήτημα της ηχορύπανσης. Επίσης, ο περιβαλλοντικός θορύβος συνιστά ξεχωριστό ζήτημα για την Ευρωπαϊκή Ένωση η οποία έχει συντάξει συγκεκριμένη οδηγία (2002/49/EK) που αποσκοπεί στην «αξιολόγηση και διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου». Η εργασία αυτή έχει σαν απώτερο σκοπό την παρουσίαση μίας ολιστικής προσέγγισης η οποία συνδυάζει στοιχεία των δύο βασικών μεθοδολογιών που άπτονται της έρευνας του ακουστικού περιβάλλοντος: εκείνες της χαρτογράφησης του θορύβου (noise mapping) και της προσέγγισης του ηχοτοπίου (soundscape approach). Επιπλέον, διερευνάται η πιθανή συσχέτιση μεταξύ της χωρικής κατανομής του περιβαλλοντικού θορύβου και του τρόπου με τον οποίο γίνεται αντιληπτό το ακουστικό τοπίο. Τέλος, στους σύγχρονους επιστημονικούς κύκλους (βλ. Margaritis & Kang (2017), Liu et al. (2013), Schulte-Fortkamp & Jordan (2017) κ.α) επικρατεί η άποψη ότι τα αποτελέσματα τα οποία προκύπτουν από την καταγραφή και αποτίμηση του αστικού ακουστικού περιβάλλοντος χρησιμεύουν στον πολεοδομικό σχεδιασμό.

Σε πρώτη φάση, αναφέρονται ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά που αφορούν την ηχορύπανση (π.χ. οι τρόποι μέτρησης, οι επιπτώσεις (στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον) και οι μέθοδοι με τους οποίους επιχειρείται ο περιορισμός της). Επιπροσθέτως, παρατίθενται συνοπτικά το ισχύον (ευρωπαϊκό και εγχώριο) νομικό πλαίσιο που αφορά τον περιβαλλοντικό θόρυβο καθώς και η υφιστάμενη κατάσταση του ακουστικού περιβάλλοντος της περιοχής. Δεύτερον, περιγράφεται έννοια του ηχοτοπίου (soundscape) και ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείται η καταγραφή και η οπτικοποίηση του. Στη συνέχεια, αναπτύσσεται διεξοδικά η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε, ενώ παράλληλα εκτιμάται η ακρίβεια του μοντέλου που εφαρμόστηκε. Επόμενο στάδιο αποτελεί η παράθεση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την χαρτογράφηση της ηχορύπανσης και από την αποτίμηση του ακουστικού

περιβάλλοντος. Τέλος, σημειώνονται τα όποια συμπεράσματα απορρέουν από την όλη διαδικασία, οι περιορισμοί που προέκυψαν, ενώ εισηγούνται επίσης ορισμένοι τρόποι με τους οποίους δύναται να διερευνηθεί σε μελλοντικό στάδιο το ακουστικό περιβάλλον της περιοχής.

2. Ηχορύπανση

2.1. Ηχορύπανση - ορισμός

Ηχορύπανση (ή αλλιώς περιβαλλοντικός θόρυβος) ορίζεται ως ο ανεπιθύμητος ή υπερβολικός ήχος ο οποίος δύναται να προκαλέσει επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στην ποιότητα του περιβάλλοντος (Berg & Nathanson, 2013). Ο θόρυβος αποτελεί επακόλουθο της ανθρώπινης δραστηριότητας: κυρίως της αστικοποίησης, της ανάπτυξης των μεταφορών και της βιομηχανίας. Στην ηχορύπανση περιλαμβάνονται τόσο οι δυνατοί ή/και ενοχλητικοί ήχοι, όσο και οι επιπτώσεις οι οποίες προκαλούνται από αυτούς. Οι ήχοι (και οι ακουστικοί τόνοι) που κατά γενική ομολογία θεωρούνται επιζήμιοι είναι εκείνοι οι οποίοι προκαλούν σωματικές βλάβες, εμποδίζουν τη συγκέντρωση στην εργασία και διαραράσσουν τον ύπνο ή την ξεκούραση (Kim, 2015). Αν και ο αστικός πληθυσμός είναι εκείνος ο οποίος επηρεάζεται περισσότερο από τέτοιου είδους ρύπανση, ανάλογες αρνητικές επιπτώσεις υφίστανται μικρές πόλεις ή χωριά που βρίσκονται κατά μήκος οδικών αρτηριών ή πλησίον βιομηχανικών περιοχών (Singh & Davar, 2004).

Στην Ευρώπη, υπολογίζεται ότι περισσότερο από 100 εκατομμύρια άνθρωποι εκτίθενται σε επίπεδα θορύβου (προερχόμενου από την οδική κυκλοφορία) άνω των 55 dB (L_{den}) και πάνω από 32 εκατομμύρια σε αντίστοιχα επίπεδα που υπερβαίνουν τα 65 dB (L_{den}). Επίσης, ένας στους 8 ευρωπαίους που ζει σε πόλεις με πληθυσμό άνω των 100.000 κατοίκων εκτίθεται σε νυκτερινές στάθμες θορύβου μεγαλύτερες από τα 55 dB (L_{night}) (Blanes et al., 2016). Ενώ, περίπου 120 με 250 εκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως εκτιμάται ότι εμφανίζουν απώλεια ακοής σε κάποιο βαθμό, η οποία στις μέρες μας θεωρείται ως το 15^ο, σε σειρά σημασίας, πρόβλημα υγείας σε παγκόσμιο επίπεδο (Kim, 2015).

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας συστήνει αυστηρά τη μείωση των επιπέδων θορύβου που παράγονται από την οδική και κυκλοφορία κάτω από τα 53 dB (L_{den}), μιας και η υπέρβαση του προαναφερθέντος ορίου συνδέεται με δυσμενείς επιπτώσεις για την υγεία. Ενώ, τα αντίστοιχα νυκτερινά επίπεδα θα πρέπει να μην ξεπερνούν τιμή των 45 dB (L_{night}), αφού ο νυκτερινός θόρυβος πάνω από αυτή τη στάθμη σχετίζεται με δυσμενείς επιπτώσεις στον ύπνο (World Health Organization, 2018).

Για την Ε.Ε (Οδηγία 2002/49/ΕΚ) και την Ελλάδα (ΦΕΚ Β' 384/28.3.2006) ως «περιβαλλοντικός θόρυβος» νοούνται οι ανεπιθύμητοι ή επιβλαβείς θόρυβοι στις αστικές περιοχές και στο ύπαιθρο που δημιουργούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες,

συμπεριλαμβανομένων των θορύβων που εκπέμπονται από μεταφορικά μέσα, από οδικές, σιδηροδρομικές και αεροπορικές μεταφορές και από χώρους βιομηχανικής δραστηριότητας.

2.2. Επιπτώσεις της Ηχορύπανσης

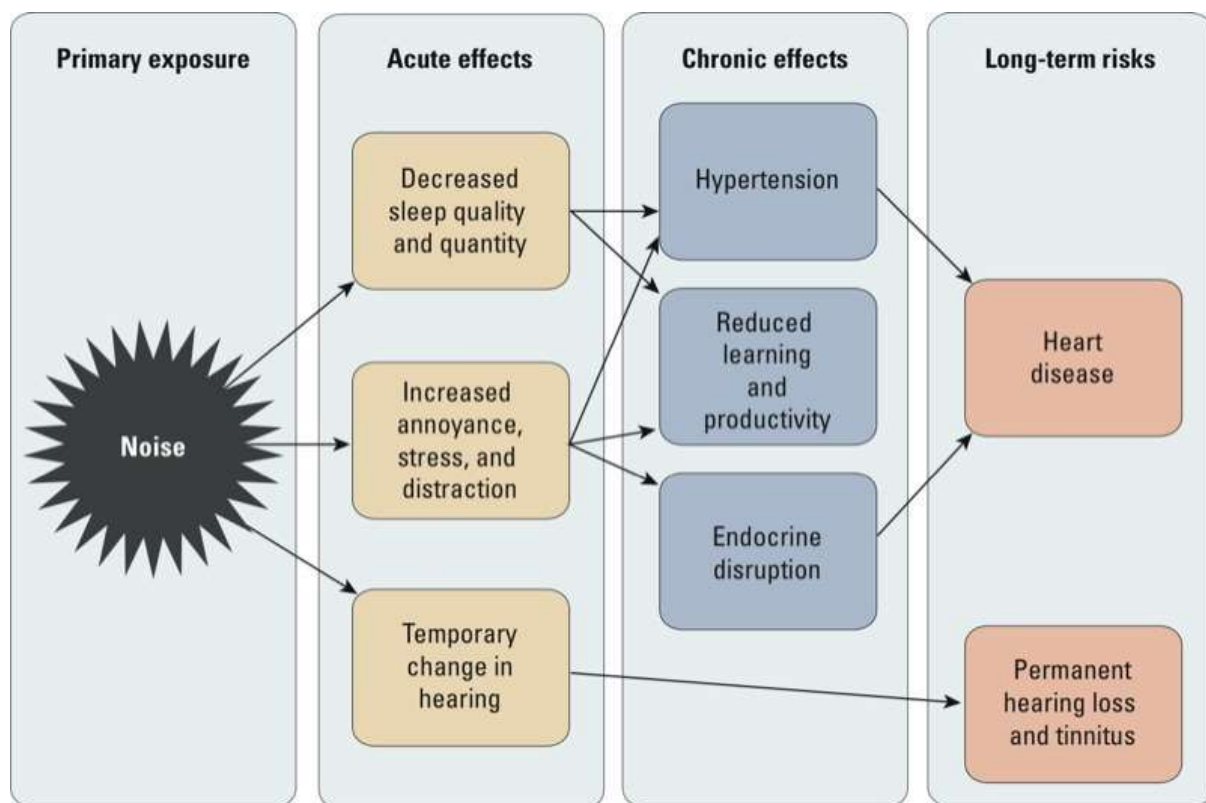
2.2.1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Καθώς ο πληθυσμός αυξάνεται και οι πηγές θορύβου πληθαίνουν τόσο σε αριθμό, όσο και σε ισχύ, παρατηρείται αυξημένη έκθεση στην ηχορύπανση, η οποία επιφέρει σοβαρές συνέπειες στη δημόσια υγεία (Goines & Hagler, 2007). Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την έκθεση της Περιβαλλοντικής Επιβάρυνσης της Ευρώπης (Environmental Burden of Disease), ο θόρυβος κατέλαβε τη δεύτερη θέση μεταξύ επιλεγμένων περιβαλλοντικών παραγόντων πίεσης όσον αφορά την αξιολόγηση των επιπτώσεών τους στη δημόσια υγεία σε έξι ευρωπαϊκές χώρες (Margaritis et al., 2018). Επιπλέον, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό για το Περιβάλλον (European Environmental Agency) σχεδόν 8.000.000 ευρωπαίοι εμφανίζουν διαταραχές κατά τον ύπνο που οφείλονται στην ηχορύπανση.

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO, 2018) επισημαίνει ότι η έκθεση στο θόρυβο δύναται να οδηγήσει σε ακουστικές και μη ακουστικές επιπτώσεις στην υγεία. Χαρακτηριστικά, αναφέρεται ότι μέσω του άμεσου τραυματισμού του ακουστικού συστήματος, ο θόρυβος οδηγεί σε ακουστικές διαταραχές όπως η απώλεια ακοής και η εμφάνιση των ωτών. Ο θόρυβος ορίζεται επίσης ως μη συγκεκριμένο άγχος που έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, ιδιαίτερα μετά από μακροχρόνια έκθεση. Επιπροσθέτως, ο υπερβολικός θόρυβος βλάπτει την ανθρώπινη υγεία και επηρεάζει τις καθημερινές δραστηριότητες των ανθρώπων στο σχολείο, στην εργασία, στο σπίτι και στον ελεύθερο χρόνο. Επίσης, ενδέχεται να διαταράξει τον ύπνο, να συμβάλλει αρνητικά στο καρδιαγγειακό και ψυχοφυσιολογικό σύστημα, να μειώσει τις επιδόσεις και να προκαλέσει αντιδράσεις ενόχλησης¹ όπως και αλλαγές στην κοινωνική συμπεριφορά. Μονάχα ο θόρυβος ο οποίος προκαλείται μέσω της κυκλοφοριακής κίνησης είναι επιβλαβής για την υγεία σχεδόν για το ένα τρίτο των Ευρωπαίων. Επίσης, ένας στους πέντε εκτίθεται συχνά κατά τις νυκτερινές ώρες σε ηχητικά επίπεδα που θα μπορούσαν να βλάψουν σημαντικά την υγεία.

¹ Ενόχληση ορίζεται η ως ψυχολογική αντίδραση στον θόρυβο. Ενδέχεται να προκαλέσει αρνητικά συναισθήματα όπως αυτά της οργής, της απογοήτευσης, του άγχους και της κατάθλιψης (Mehdi et al., 2011).

Τέλος, οι Hammer et al. (2014) επισημαίνουν ότι ο χρόνιος περιβαλλοντικός θόρυβος προκαλεί μία σειρά από δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία. Οι επικρατούσες είναι οι εξής: α) διαταραχές του ύπνου, β) ενόχληση και στρες, γ) απώλεια ακοής, δ) καρδιακές παθήσεις, ε) οι ενδοκρινικές επιδράσεις στ) υπέρταση και ζ) μειωμένη απόδοση στη μάθηση και στην παραγωγικότητα (εικ. 2.1). Σημειώνουν επίσης ότι τα επίπεδα έκθεσης στο θόρυβο που συνδέονται με τις συγκεκριμένες επιπτώσεις ποικίλλουν ευρέως, και ως εκ τούτου, η πρόληψη τους προϋποθέτει τον καθορισμό διαφορετικών ορίων όσον αφορά τη έκθεση.



Εικόνα 2.1: Επικρατούσες δυσμενείς επιπτώσεις για την υγεία

Πηγή: Hammer et al., 2014

2.2.1.1 Επιπτώσεις της ηχορύπανσης στον ύπνο και την ψυχική υγεία

Οι περισσότερες δυσάρεστες ψυχολογικές επιπτώσεις του κυκλοφοριακού θορύβου είναι η ενόχληση και η διαταραχή κατά τον ύπνο. Σύμφωνα με τους Stansfeld & Matheson (2003) παρατηρήθηκε ισχυρή επίδραση του περιβαλλοντικού θορύβου στην συμπεριφορά κατά τον ύπνο και στις γνωστικές επιδόσεις (ενηλίκων και παιδιών), ενώ η έκθεση σε συνθήκες ηχορύπανσης κατά την εργασία εμφάνισε επίσης κάποια συσχέτιση με την αυξημένη αρτηριακή πίεση. Παρομοίως, οι Freedman et al. (2001) υποστηρίζουν ότι ασθενείς οι οποίοι

διαμένουν σε μονάδες εντατικής θεραπείας εμφανίζουν σημαντικές διαταραχές στην υπνική συμπεριφορά. Επιπροσθέτως, ο Halperin (2014) επισημαίνει ότι η ηχορύπανση κατά τη νύχτα μειώνει σημαντικά τον ύπνο. Χαρακτηριστικά αναφέρει ότι ο νυκτερινός θόρυβος ενδέχεται να είναι η πιο ανησυχητική μορφή ηχορύπανσης όσον αφορά τις συνέπειές του για την υγεία, πιθανώς λόγω της συνεργιστικής άμεσης και έμμεσης (μέσω του υπνικών διαταραχών) επιρροής του στα βιολογικά συστήματα. Ενώ, οι Geravandi et al. (2015) παρατήρησαν ότι η ηχορύπανση προκαλεί σε μεγαλύτερο βαθμό νευρικότητα και σε μικρότερο υποβάθμιση της ποιότητας του ύπνου και οι Tzivian et al. (2015) υποστηρίζουν ότι ο θόρυβος (σε συνδυασμό με την ατμοσφαιρική ρύπανση) σχετίζεται με νευρογνωστικές λειτουργίες, διαταραχές της διάθεσης και νευροεκφυλιστική ασθένεια σε άτομα τα οποία έχουν μακροχρόνια έκθεση. Τέλος, οι Ma et al. (2018), σε έρευνα που πραγματοποίησαν στην πόλη του Πεκίνου, παρατήρησαν ότι η υψηλή έκθεση σε ηχορύπανση συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με την υποβάθμιση της ψυχικής υγείας (λ.χ. άγχος, κούραση και διαταραχές κατά τον ύπνο) των κατοίκων.

2.2.1.2 Επιπτώσεις της ηχορύπανσης στη σωματική υγεία

Η εμφάνιση καρδιαγγειακών παθήσεων και η αύξηση της υπέρτασης είναι οι βασικές έμμεσες επιπτώσεις της ηχορύπανσης στην σωματική υγεία. Πρόσφατες μελέτες οι οποίες άπτονται στο ζήτημα της ηχορύπανσης έδειξαν ότι ο κυκλοφοριακός θόρυβος, ως περιβαλλοντικός παράγοντας πίεσης, αυξάνει την ενεργοποίηση του νευρικού και του ενδοκρινικού συστήματος, εντείνει τους φυσιολογικούς παράγοντες κινδύνου όπως η υπέρταση και το έμφραγμα του μυοκαρδίου και προκαλεί καρδιαγγειακές παθήσεις (Mehdi et al., 2011). Επίσης, οι Münzel et al. (2014) βασιζόμενοι σε πειραματικές εργαστηριακές, μελέτες παρατήρησης πεδίου, καθώς και σε ορισμένες επιδημιολογικές μελέτες συμπεραίνουν ότι ο θόρυβος συμβάλλει στην αρτηριακή πίεση και στην αύξηση της συχνότητας των καρδιαγγειακών παθήσεων. Επιπλέον, οι Swinburn et al. (2015) σε μία απόπειρα να αξιολογήσουν τις οικονομικές επιπτώσεις του περιβαλλοντικού θορύβου στις ΗΠΑ ως καρδιαγγειακό κίνδυνο για την υγεία, εκτιμούν ότι η μείωση του περιβαλλοντικού θορύβου κατά 5 dB (LDN) ενδέχεται να μειώσει τις περιπτώσεις υπέρτασης κατά 1,2 εκατομμύρια (1,4%) και εκείνες της στεφανιαίας καρδιακής νόσου κατά 279,000 (1,8%). Επίσης, η εξοικονόμηση κόστους και η αύξηση της παραγωγικότητας η οποία είναι απόρροια των παραπάνω εκτιμάται ότι θα υπερβεί τα 3,9 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως. Τέλος, οι Hansell

et al. (2013) οι οποίοι εστίασαν την προσοχή τους στην περιοχή που βρίσκεται πλησίον του αεροδρομίου Χίθροου στο Λονδίνο, υποστηρίζουν ότι ο θορύβος που προέρχεται από αεροσκάφη συνδέεται με τον αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης εγκεφαλικού επεισοδίου, στεφανιαίας νόσου και καρδιαγγειακών παθήσεων, ιδιαίτερα για τον πληθυσμό ο οποίος πλήττεται από τα υψηλότερα επίπεδα ημερησίου και νυκτερινού θορύβου.

2.2.2. Επιπτώσεις της ηχορύπανσης στο περιβάλλον

Η ηχορύπανση έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει το ακουστικό περιβάλλον των υδάτινων και χερσαίων οικοτόπων καθώς και να διαφοροποιήσει τις συνθήκες διαβίωσης πολλών ζώων και φυτών τα οποία απαντώνται σε αστικές περιοχές. Ακόμη, δύναται να επιφέρει εξελικτικές αλλαγές στη γλωρίδα και την πανίδα, καθώς τα είδη έχουν την τάση να προσαρμόζονται ή να αποφεύγουν τα θορυβώδη περιβάλλοντα. Συνήθως, επικαλύπτει τις συχνότητες με τις οποίες πολλά ζώα επικοινωνούν. Έχει διαπιστωθεί επίσης ότι δύναται να επηρεάσει την άγρια πανίδα με τον εξής τρόπο: η παρεμπόδιση της μεταξύ των ζώων επικοινωνίας και η διαφοροποίηση των περιοχών στις οποίες ζουν επιδρά αρνητικά την αποτελεσματικότητα με την οποία συλλέγουν την τροφή τους.

Σύγχρονες μελέτες οι οποίες καταπιάστηκαν με το ζήτημα της επιρροής του περιβαλλοντικού θορύβου στα φυσικά οικοσυστήματα έχουν καταλήξει στα παρακάτω συμπεράσματα. Αρχικά, οι Shannon et al. (2016) σε μία απόπειρα ανασκόπησης των ερευνών που έχουν ως αντικείμενο την επίδραση της ηχορύπανσης στην άγρια φύση, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο ανθρωπογενής θόρυβος (40 – 50 dB) είναι επιβλαβής τόσο στην άγρια φύση, όσο και στα φυσικά οικοσυστήματα για το σύνολο του ζωικού βασιλείου (ασπόνδυλα, ερπετά/αμφίβια, γήινα και θαλάσσια θηλαστικά, ψάρια και πουλιά).

Ακόμη, σύμφωνα με τους Francis et al. (2012), οι επιπτώσεις της ηχορύπανσης έχουν αντίκτυπο στις ζωικές και τις φυτικές κοινότητες (οι οποίες διαβιώνουν σε αστικά περιβάλλοντα) διαταράσσοντας ή ενισχύοντας ορισμένες οικολογικές υπηρεσίες. Συγκεκριμένα, η ηχορύπανση αύξησε έμμεσα την επικονίαση τεχνητών λουλουδιών από κολιμπρί, ωστόσο διατάραξε την κοινότητα των ζώων τα οποία θρέφονται με συγκεκριμένο είδους πέυκο (*Pinus edulis*) δυνητικά εξηγώντας τη μειωμένη πρόσληψη δενδυλλίων *P. edulis* σε περιοχές με υψηλά επίπεδα θορύβου.

Τέλος, οι Filiciotto et al. (2014) σε έρευνα που πραγματοποίησαν για την επίδραση της ηχορύπανσης που προέρχεται από πλοία στη συμπεριφορά του μεσογειακού αστακού

(Palinurus elephas), παρατήρησαν ότι η έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου αυξάνει σημαντικά την κινητική συμπεριφορά και τους βιοδείκτες των αστακών οι οποίοι παραπέμπουν σε στρεσογόνες συνθήκες.

2.3. Περιορισμός της ηχορύπανσης

2.3.1. Γενικά

Οποιοσδήποτε μηχανισμός που αποσκοπεί στον περιορισμό της ηχορύπανσης, θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη την παρουσία τριών βασικών παραγόντων: α) την ακουστική πηγή η οποία είναι υπεύθυνη για τη παραγωγή του θορύβου, β) τη διαδρομή μέσω της οποίας μεταδίδεται η ακουστική ενέργεια, και γ) το δέκτη (συνήθως το ανθρώπινο αυτί) που λαμβάνει την ακουστική ενέργεια. Ομοίως, με τη σειρά αυτήν δίνεται, όπου είναι δυνατόν, η ιεραρχία στον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται αποτελεσματικότερα η μείωση του ανεπιθύμητου θορύβου. Η περισσότερο αποδοτική λύση είναι η τροποποίηση των χαρακτηριστικών της πηγής, έτσι ώστε να παράγεται λιγότερη ακουστική ενέργεια. Αν κάτι ανάλογο δεν είναι δυνατόν, η επόμενη πιο αποτελεσματική προσέγγιση θα ήταν η τροποποίηση της ακουστικής διαδρομής. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί, για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας τοίχους, φράγματα, απορροφητικά υλικά, ακουστικούς σιγαστήρες, και ούτω καθεξής. Η έσχατη λύση είναι η τροποποίηση του δέκτη. Ωστόσο, η πιθανότητα οποιαδήποτε ανάλογης τροποποίησης, όταν ο δέκτης πρόκειται για το ανθρώπινο αυτί είναι μηδαμινή. Ο μοναδικός τρόπος προστασίας του δέκτη είναι τα προστατευτικά ακοής, όπως οι ωτοασπίδες. Οι συνήθεις προσεγγίσεις που αφορούν τον έλεγχο της ηχορύπανσης βασίζονται στην υπόθεση ότι τα χαρακτηριστικά των ηχητικών πηγών έχουν βελτιστοποιηθεί και οι ιδιότητες του δέκτη είναι σταθερές. Οπότε, η εστίαση επικεντρώνεται στην τροποποίηση της ακουστικής διαδρομής² (Blotter et al., 2009).

² Για τον εκάστοτε δέκτη ο θόρυβος είναι το αποτέλεσμα του μέσου μέσω του οποίου μεταδίδεται. Στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον, το μέσο είναι η ατμόσφαιρα. Ως εκ τούτου, υφίστανται αρκετοί ατμοσφαιρικοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το θόρυβο κατά τη διάδοσή του και ο καθένας επηρεάζει με διαφορετικό τρόπο τον προσδιορισμό της ενόχλησης η οποία προκαλείται από αυτόν. Άλλωστε, υπάρχουν διάφορα επιφανειακά στοιχεία όπως είναι τα δέντρα, τα κτίρια, οι οδικές επιφάνειες, η τοπογραφία κ.λπ., τα οποία εμποδίζουν την διάδοση και καθιστούν την ανάλυση και την αξιολόγηση του παραγόμενου θορύβου αρκετά περίπλοκη. Στα αστικά κέντρα οι οδικές αρτηρίες περιβάλλονται από πυκνά κτίρια σχηματίζοντας οδικά «φαράγγια». Υπό αυτές τις συνθήκες, η κατανόηση της ηχητικής διάδοσης καθιστάται ακόμη πιο περίπλοκη καθώς ο εκπεμπόμενος θόρυβος έρχεται σε συχνή επαφή με διαφορετικά στοιχεία. Η ηχητική διάδοση επηρεάζεται επίσης από φυσικές παραμέτρους όπως η σχετική υγρασία, η θερμοκρασία, η πυκνότητα ατμοσφαιρικού αέρα και η ταχύτητα του ανέμου. Η ηχητική πίεση, επομένως, επηρεάζεται άμεσα από την παρουσία αυτών των στοιχείων στο μικτό αστικό περιβάλλον, μιας και παρατηρείται απώλεια ηχητικής ενέργειας κατά τη διάδοση (Gokhale, 2018).

Αρκετές χώρες, από καιρό εις καιρό, έχουν επιβάλλει κανονιστικά όρια στον περιβαλλοντικό θόρυβο (ο οποίος επηρεάζει τον ανθρώπινο πληθυσμό), καθώς και επίσης σε διάφορες ηχητικές πηγές, όπως είναι ο εξοπλισμός και τα οχήματα σε εργοτάξια ή σε φάσεις βιομηχανικής παραγωγής. Ως εκ τούτου, σε διάφορες ανεπτυγμένες χώρες έχει υιοθετηθεί η χρήση φυσικών φραγμάτων θορύβου για να περιοριστούν αυτές οι επιπτώσεις. Για παράδειγμα, η εγκατάσταση τείχους από απορροφητικό υλικό κατά μήκος των κύριων οδικών αρτηριών και η φύτευση δέντρων παραπλεύρως των δευτερευόντων οδών και τριγύρω των βιομηχανικών εγκαταστάσεων βοηθούν στην αποτροπή της μετάδοσης του θορύβου στους παρακείμενους οικισμούς.

Όσον αφορά το θόρυβο ο οποίος προέρχεται από το εσωτερικό των οικισμών ή αλλιώς τον συνοικιακό θόρυβο (community noise), αναφέρεται ότι αρκετά κράτη έχουν θεσπίσει κάποιες οριακές τιμές (πρότυπα θορύβου) οι οποίες αποσκοπούν στην προστασία των κατοίκων. Ορισμένα πρότυπα θορύβου συνιστώνται σε όρους L_{eq} όπως ορίζεται από τον Π.Ο.Υ. (εικ. 2.2), ενώ άλλα προτείνονται σε όρους στατιστικού θορύβου (π.χ. δείκτης L_{10}) και υπαγορεύονται σύμφωνα με τον εκάστοτε τύπο χρήσης γης.

Sr. no.	WHO		Description	FHWA
	Land use	Prescribed L_{eq} dB(A)		Prescribed L_{eq} dB(A)
1	Outdoor residential areas	55 (16-h time)	Quiet and serene areas	57
2	Schools, classrooms	55	Residential areas	67
3	Playgrounds	55 (during play)	Hotels, motels, and other developed lands	72
4	Industrial, commercial, shopping, and traffic areas	70 (24-h time)	Sports facility, amphitheatres, hospitals, libraries, medical facilities, parks, places of worship, playgrounds, public meeting rooms, recreation areas, and schools (www.healthimpactproject.org; Federal Register, 2010)	67
5	Hospital, wards	30–35 (indoor 8- to 16-h time)	—	—

Εικόνα 2.2: Οδηγίες από τον Π.Ο.Υ. για την προστασία από τον περιβαλλοντικό θόρυβο

Πηγή: Gokhale, 2018

Ωστόσο, τα συγκεκριμένα πρότυπα δεν είναι απαραίτητο να υιοθετηθούν από όλα τα κράτη. Κάθε χώρα, βάσει αυτών των οδηγιών, δύναται να ορίσει τους δικούς της κανόνες. Ως αποτέλεσμα, ορισμένες χώρες έχουν διαμορφώσει ξεχωριστά πρότυπα για την ημέρα και τη νύχτα (π.χ. Ινδία, βλ. εικ. 2.3.) (Gokhale, 2018).

Land use	Daytime noise level (6 a.m.–9 p.m.)	Nighttime noise level (9 p.m.–6 a.m.)
Industrial areas	75	70
Commercial areas	65	55
Residential areas	55	45
Silence zones (areas up to 100 m around hospital, schools, educational institutes, etc.)	50	40

Εικόνα 2.3.: Πρότυπα θορύβου για την Ινδία

Πηγή: Gokhale, 2018

2.3.2. Μέθοδοι μείωσης της ηχορύπανσης

Η οδική κυκλοφορία αποτελεί τη βασική αιτία θορύβου στα αστικά κέντρα. Λόγω της ιδιαίτερα αυξημένης κυκλοφοριακής κίνησης σχεδόν σε όλο τον κόσμο, η ηχορύπανση, παράλληλα με την ατμοσφαιρική ρύπανση, αναδύεται ως σοβαρή πρόκληση για τους σχεδιαστές των μεταφορών και του αστικού περιβάλλοντος. Συνήθως απαιτείται ένας συνδυασμός τεχνικών επεμβάσεων και μέτρων πολιτικής για να καταστεί το ακουστικό περιβάλλον ως αποδεκτό. Για τον λόγο αυτό, έχουν υιοθετηθεί πρακτικές όπως είναι οι εξής: α) εναλλακτικές διαδρομές για μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου, β) σύμπτυξη των αξόνων κυκλοφορίας κατά περίπτωση, γ) περιορισμός βαρέων οχημάτων κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής, δ) εφαρμογή κανονισμών σχετικά με τους ήχους που προέρχονται από τις κόρνες και την ταχύτητα των οχημάτων, ε) μετεγκατάσταση δραστηριοτήτων που προκαλούν κυκλοφοριακή συμφόρηση, στ) επέμβαση στην υποδομή με καθορισμό των τεχνικών χαρακτηριστικών λαμβάνοντας υπόψη το θόρυβο, ζ) γενική αναδιοργάνωση του πολεοδομικού ιστού ώστε να μην αποτελεί το οδικό κυκλοφοριακό δίκτυο πηγή θορύβου και η) ηχομονωτική κατασκευή των κτιρίων, των οποίων η ανέγερση σε περιοχές με χαμηλότερες στάθμες ηχορύπανσης δεν μπορεί να αποφευχθεί.

2.4. Μέτρηση και αντίληψη της ηχορύπανσης

Τα ηχητικά κύματα ορίζονται ως οι δονήσεις των μορίων του αέρα που μεταφέρονται από την πηγή στο αυτί. Ο ήχος συνήθως περιγράφεται ως προς την ένταση (loudness) ή αλλιώς

εύρος (amplitude) και την οξύτητα (pitch) ή αλλιώς συχνότητα (frequency) του κύματος. Η ένταση η οποία αναφέρεται και ως Επίπεδο Ηχητικής Πίεσης (Sound Pressure Level ή αλλιώς SPL) μετράται σε λογαριθμικές μονάδες που ονομάζονται ντεσιμπέλ (dB). Το ανθρώπινο αυτί έχει τη δυνατότητα να ανιχνεύσει ήχους που κυμαίνονται μεταξύ 0 dB (κατώφλι ακοής) και περίπου 140 dB, με τα επίπεδα ηχητικής πίεσης μεταξύ 120 dB και 140 dB να προκαλούν πόνο (κατώφλι πόνου). Τα SPL στο περιβάλλον μίας βιβλιοθήκης ανέρχονται περί τα 35 dB, στο εσωτερικό ενός κινούμενου λεωφορείου ή του μετρό φθάνουν τα 85 dB, ενώ οι κατασκευαστικές δραστηριότητες κτιρίων δύναται να παράγουν ήχους έως και 105 dB στην πηγή. Τα επίπεδα ηχητικής πίεσης μειώνονται όσο αυξάνεται η απόσταση από την πηγή.

Ο ρυθμός με τον οποίο μεταδίδεται η ηχητική ενέργεια (sound energy), που ονομάζεται και ένταση ήχου (sound intensity), είναι ανάλογος με το τετράγωνο των SPL³. Η συχνότητα ενός ηχητικού κύματος εκφράζεται σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο (cycles per second η αλλιώς cps), ωστόσο ως μονάδα μέτρησης συνηθίζεται να χρησιμοποιείται το hertz (Hz) (1 cps = 1 Hz). Το ανθρώπινο τύμπανο είναι ένα ιδιαίτερα ευαίσθητο όργανο με αξιοσημείωτη δυναμική εμβέλεια, ικανό να ανιχνεύσει ήχους συχνότητας από 20 Hz (τόνος πολύ χαμηλής οξύτητας) έως και 20.000 Hz (τόνος πολύ υψηλής οξύτητας). Ο τόνος της ανθρώπινης φωνής κατά τη διάρκεια μίας φυσιολογικής συνομιλίας απαντάται σε συχνότητες μεταξύ 250 Hz και 2.000 Hz (Berg & Nathanson, 2013).

Σχεδόν όλοι οι μετρητές ηχοστάθμης είναι εξοπλισμένοι με το λεγόμενο «Α-σταθμισμένο» φίλτρο συχνότητας. Η Α-σταθμισμένη είναι η τυπική στάθμιση για τις μετρήσεις που αφορούν τον περιβαλλοντικό θόρυβο (Harrison, 2004). Τα άτομα με φυσιολογική ακοή αντιλαμβάνονται, σε γενικές γραμμές, τους ήχους υψηλής συχνότητας να έχουν περισσότερη ένταση από τους ήχους ίδιου εύρους αλλά χαμηλότερης συχνότητας. Τα φίλτρα συχνότητας προσαρμόζουν τις μετρήσεις στην ευαισθησία του ανθρώπινου αυτιού. Οι μετρήσεις των SPL που πραγματοποιούνται το φίλτρο αυτό εκφράζονται ως Α-σταθμισμένα ντεσιμπέλ, ή dB(A) (Berg & Nathanson, 2013).

³ Λόγω της λογαριθμικής φύσης της κλίμακας ντεσιμπέλ, μία αύξηση της τάξης των 10 dB αντιπροσωπεύει μία 10πλάσια αύξηση της έντασης του ήχου, μία αύξηση κατά 20 dB αντιπροσωπεύει μία 100πλάσια αύξηση της έντασης, μία αύξηση κατά 30 dB αντιπροσωπεύει μία 1000πλάσια αύξηση της έντασης, και ούτω καθεξής. Από την άλλη πλευρά, όταν η ένταση του ήχου διπλασιάζεται, τα SPL αυξάνονται μόνο κατά 3 dB. Για παράδειγμα, εάν ένα κατασκευαστικό τρυπάνι προξενεί ένταση ίση με 90 dB, τότε δύο πανομοιότυπα τρυπάνια που λειτουργούν δίπλα-δίπλα θα προκαλέσουν θόρυβο της τάξης των 93 dB. Από την άλλη πλευρά, όταν συνδυαστούν δύο ήχοι που έχουν διαφορά μεγαλύτερη από 15 dB, ο ασθενέστερος ήχος επικαλύπτεται από τον δυνατότερο ήχο. Για παράδειγμα, εάν σε ένα εργοτάξιο λειτουργεί ένα τρυπάνι η ένταση του οποίου φθάνει τα 80 dB δίπλα σε μία μπουλντόζα έντασης 95 dB, το συνδυασμένο επίπεδο ηχητικής πίεσης των δύο αυτών πηγών θα αντιστοιχεί στα 95 dB: ο λιγότερο έντονος ήχος δεν θα είναι αισθητός.

2.4.1. Δείκτες περιβαλλοντικού θορύβου

Τα επίπεδα θορύβου, σε γενικές γραμμές, ποικίλλουν με το χρόνο, επομένως οι ποσοτικοί δείκτες μέτρησης επιπέδων ηχορύπανσης, για να εκφράσουν τα συνολικά επίπεδα θορύβου, υπολογίζουν τις μέσες τιμές θορύβου για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα (Berg & Nathanson, 2013). Οι δείκτες αυτοί βασίζονται κυρίως στην Α-σταθμισμένη ηχοστάθμη για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω.

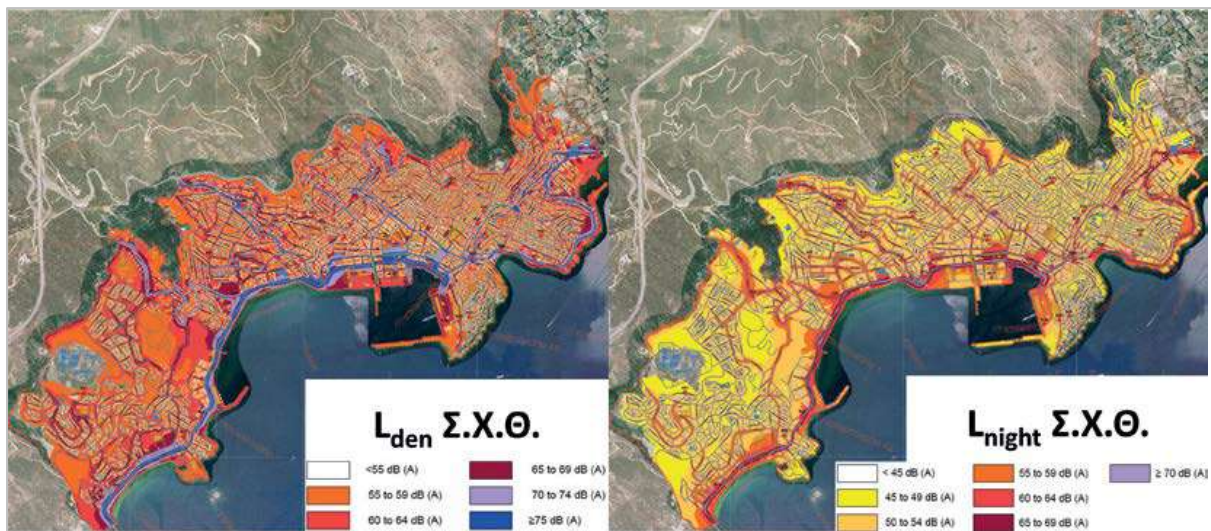
Δεδομένου ότι ο τρόπος μέτρησης των επιπέδων θορύβου εδράζεται σε λογαριθμική συνάρτηση, δύο τιμές που καταγράφηκαν κατά τον ίδιο χρόνο δεν προσθέτονται αριθμητικά, αλλά λογαριθμικά, αθροίζοντας το τετράγωνο της ηχητικής πίεσης, το οποίο καλείται ως ισοδύναμη συνεχής στάθμη ήχου (L_{eq}). Ο συγκεκριμένος δείκτης είναι ο συχνότερα χρησιμοποιούμενος και εκφράζει τη συνεχή εκείνη στάθμη θορύβου η οποία σε ορισμένη χρονική περίοδο έχει το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο με αυτό του πραγματικού θορύβου, σταθερού ή μεταβαλλόμενου, κατά την ίδια περίοδο.

Σε μία μεγάλη σειρά μετρήσεων θορύβου είναι δυνατός ο υπολογισμός μιας μέσης τιμής, η οποία ονομάζεται μέση στάθμη ή στάθμη L_{50} και είναι η στάθμη που έχει ξεπεραστεί στο 50% του χρόνου παρατήρησης. Με βάση τη στατιστική ανάλυση δημιουργούνται και άλλοι ποσοστομετρικοί δείκτες αξιολόγησης, με κυριότερη τη μέση στάθμη κορυφής L_{10} , η οποία ξεπεράστηκε κατά το 10% του χρόνου παρατήρησης και εκφράζει το θόρυβο ο οποίος προέρχεται από την οδική κυκλοφορία καθώς παρουσιάζει ικανοποιητική συσχέτιση με την ενόχληση που αισθάνονται οι άνθρωποι όταν βρίσκονται πλησίον πολυσύχναστων δρόμων. Τέλος, με τον ίδιο τρόπο προσδιορίζεται και η μέση στάθμη θορύβου βάθους που ξεπεράστηκε κατά το 90% του χρόνου παρατήρησης (L_{90}), η οποία χρησιμοποιείται ευρέως για τον ποσοτικό προσδιορισμό των επιπέδων θορύβου του υποβάθρου (background noise) σε dB(A). Η ανάλυση φανερώνει τη σημασία του ισοδύναμου επιπέδου θορύβου καθώς και των αντίστοιχων στατιστικών επιπέδων. Η παράλληλη μελέτη των δεικτών αυτών συνεργεί στον προσδιορισμό της επίδρασης του περιβαλλοντικού θορύβου στον αστικό ιστό.

2.4.2. Χωρική κατανομή της ηχορύπανσης

Για την έρευνα σχετικά με τον περιβαλλοντικό θόρυβο, η χαρτογράφηση αποτελεί ένα εξαιρετικά σημαντικό τμήμα της διαδικασίας της ποσοτικοποίησης και της οπτικοποίησης των επιπέδων ηχορύπανσης. Πράγματι, η ηχορύπανση είναι ένα εγγενώς χωρικό φαινόμενο (βλ.

χάρτες 2.1. και 2.2.). Διαφοροποιείται στο γεωγραφικό χώρο ανάλογα με τη θέση της πηγής θορύβου, το δέκτη και τα παρεμβαλλόμενα εμπόδια (π.χ. έδαφος, κτίρια, φράγματα ήχου). Η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο διακυμαίνεται χωρικά, του αριθμού των ατόμων που επηρεάζονται και του τρόπου με τον οποίο δύναται να μετριάσει αποτελούν στο σύνολό τους μέρη της λεγόμενης «στρατηγικής χαρτογράφησης θορύβου». Η διαδικασία αυτή επιτρέπει στους ερευνητές και τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να προσδιορίσουν τις περιοχές οι οποίες υπόκεινται σε υψηλά επίπεδα θορύβου και να εντοπίσουν τον πληθυσμό ο οποίος επηρεάζεται από αυτά. Με τον τρόπο αυτόν, καθιστάται δυνατή η λήψη μέτρων για τη μείωση των επιπέδων θορύβου, έτσι ώστε να προστατεύεται η δημόσια υγεία. Η διαδικασία χαρτογράφησης του θορύβου επιτρέπει επίσης τον χωρικό προσδιορισμό των περιοχών οι οποίες διαθέτουν «καλή ποιότητα ήχου» (συχνά αναφέρονται ως ήσυχες περιοχές) έτσι ώστε να περιφρουρούνται στο μέλλον ως χώροι άνεσης για ξεκούραση ή αναψυχή μιας και δεν επηρεάζονται από υψηλά επίπεδα ηχορύπανσης (Murphy & King, 2014).



Χάρτης 2.1: Στρατηγικός Χάρτης Θορύβου (δείκτες L_{den} και L_{night}) για την πόλη της Καβάλας (έτος 2014)

Πηγή: Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης, 2018



Χάρτης 2.2: Χάρτης θορύβου της πόλης του Παρισιού
 βασισμένος στο μεταφορικό δίκτυο (δείκτης L_{den})

Πηγή: Lefèvre et al., 2019

Παρόλη την απλότητα που εμφανίζουν στις αρχές τους, οι χάρτες αυτοί στην πράξη είναι δύσκολο να αποτυπωθούν με ακρίβεια, ιδιαίτερα σε δυναμικά περιβάλλοντα όπου οι πηγές θορύβου χαρακτηρίζονται από ασυνεχία και τυχαιότητα. Το συγκεκριμένο ζήτημα είναι εφικτό να ξεπεραστεί σε κάποιο βαθμό με τη λήψη πολλαπλών μετρήσεων και χρονικά σταθμισμένων δεδομένων καθώς και επίσης με τη χρήση τεχνικών πρόβλεψης θορύβου. Συνήθως, οι στρατηγικοί χάρτες θορύβου (σύμφωνα με την οδηγία 2002/49/EK της ΕΕ για την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου) επικεντρώνονται στην καταγραφή των επιπέδων θορύβου τα οποία προέρχονται από συγκεκριμένες πηγές (οδική, σιδηροδρομική, εναέρια κυκλοφορία και βιομηχανική δραστηριότητα) και με αυτόν τον τρόπο αδυνατούν να καταγράψουν το ολικό ακουστικό περιβάλλον μίας περιοχής. Διάφορες πηγές (π.χ. ανθρώπινες φωνές, φυσικοί ήχοι και ήχοι που προέρχονται από ζώα) δεν λαμβάνονται υπόψη, ωστόσο διαδραματίζουν έναν βαρύνουσα σημασίας ρόλο στη διαμόρφωση του αστικού ακουστικού περιβάλλοντος. Παρόλα αυτά, οι χάρτες θορύβου αποτελούν ένα

ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο μιας και προσδίδουν μία αρχική μεγάλης κλίμακας εικόνα στο ποιές περιοχές χρήζουν περαιτέρω προσοχής και ανάλυσης σε μικρότερη κλίμακα.

Χρήση χαρτών θορύβου

Οι χαρτές θορύβου χρησιμεύουν κυρίως στις παρακάτω λειτουργίες:

- στον προσδιορισμό και την ποσοτικοποίηση της έντασης του θορύβου σε τοπικό, περιφερειακό, εθνικό και Ευρωπαϊκό επίπεδο
- στην παροχή πληροφοριών στο κοινό και τους πολιτικούς σχετικά με τα ζητήματα αυτά
- στην παροχή αντικειμενικής βάσης για τον πολεοδομικό σχεδιασμό και τα κυκλοφοριακά σχέδια
- στην παρακολούθηση των τάσεων του περιβαλλοντικού θορύβου
- στη θέσπιση στόχων για τη μείωση του θορύβου
- στην αποτελεσματικότερη χρήση των τοπικών, περιφερειακών και εθνικών διαδικασιών σχεδιασμού έλεγχου και μείωσης θορύβου
- στην παροχή βάσης για την αξιολόγηση συγκεκριμένων εξελίξεων οι οποίες αφορούν το θόρυβο
- στην ανάπτυξη σχεδίων δράσης για τη μείωση του θορύβου από τις υπάρχουσες πηγές και τη σύγκριση διαφορετικών σεναρίων
- στην παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας των διαδικασιών σχεδιασμού και των σχεδίων δράσης και στον έλεγχο συνάφειας των αποτελεσμάτων
- στην παροχή μιας πλατφόρμας για περαιτέρω έρευνα σχετικά με τον θόρυβο και την ενόχληση, τα προβλήματα διαταραχής του ύπνου και τα λοιπά ζητήματα που αφορούν την υγεία (βάση επιδημιολογικών μελετών)
- στην παροχή δεδομένων σχετικά με την έκθεση στο θόρυβο για ολόκληρο τον πληθυσμό μιας χώρας
- στην επιρροή των υπεύθυνων λήψης αποφάσεων και ως εκ τούτου λήψη χρηματοδότησης για τη διεξαγωγή δράσεων μετριασμού του θορύβου

2.5. Νομικό πλαίσιο που αφορά την ηχορύπανση

2.5.1 Η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης στον τομέα της ηχορύπανσης

2.5.1.1. Η πορεία προς την έκδοση της οδηγίας 2002/49/ΕΚ

Αρχικά, δεν είχε διαμορφωθεί μία κοινή ευρωπαϊκή πολιτική σχετικά με την αντιμετώπιση της έκθεσης του πληθυσμού στον θόρυβο, μιας και η κοινοτική νομοθεσία είχε ως επίκεντρο την καταπολέμηση του προερχόμενου από μεμονωμένες πηγές θορύβου. Η ατελής αυτή αντιμετώπιση της έκθεσης σε ορισμένες μόνο πηγές θορύβου εντοπίζεται και επισημαίνεται από την Επιτροπή, όταν το 1990 εκδίδει το «Πράσινο Βιβλίο για το Αστικό Περιβάλλον», στο οποίο εξετάζονται οι βαθύτερες αιτίες της αστικής υποβάθμισης και αναδεικνύεται η ανάγκη σφαιρικής, *ολιστικής* προσέγγισης των προβλημάτων που αφορούν το αστικό περιβάλλον. Ακολούθως, το 1993 υιοθετείται το Πέμπτο Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα Δράσης, στο οποίο τίθεται ως προτεραιότητα, μεταξύ άλλων περιβαλλοντικών ζητημάτων (π.χ. ατμοσφαιρική ρύπανση, μόλυνση του νερού) και η μείωση της έκθεσης του πληθυσμού στον θόρυβο, ώστε οι πολίτες της Ε.Ε. να μην εκτίθενται σε επικίνδυνα για την υγεία τους και την ποιότητα ζωής τους επίπεδα θορύβου, περιλαμβάνοντας για αυτό μία σειρά στόχων, με χρονοδιάγραμμα επίτευξης το έτος 2000.

Το καίριο βήμα για την ανάπτυξη ενός προγράμματος ελάττωσης του θορύβου πραγματοποιείται το 1996, όταν εκδίδεται η «Πράσινη Βίβλος για τη Μελλοντική Πολιτική για τον Θόρυβο». Η τελευταία, ανάγει τον περιορισμό της έκθεσης του πληθυσμού σε υψηλά επίπεδα θορύβου σε στόχο υψηλής προτεραιότητας, αποτελεί την ουσιαστικότερη έως τότε θεσμική πρωτοβουλία και σηματοδοτεί την εγκαθίδρυση μιας νέας προσέγγισης, που έγκειται στην χάραξη ενιαίας κοινοτικής πολιτικής. Ειδικότερα, η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων προτείνει ένα μακροπρόθεσμο πλαίσιο δράσης, το οποίο εδράζεται στην κατάρτιση κοινών δεικτών παρακολούθησης και αξιολόγησης της έκθεσης του πληθυσμού στον θόρυβο, στη συνεργασία (κρατών μελών και τοπικών φορέων) και στην αμοιβαία ανταλλαγή πληροφοριών, ενώ παράλληλα δίνει έμφαση στην προσβασιμότητα του κοινού προς τις πληροφορίες αυτές. Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί ότι το παραπάνω κείμενο πραγματεύεται την προοπτική θέσπισης μίας κοινοτικής οδηγίας - πλαίσιο για την εναρμόνιση των μεθόδων αξιολόγησης της έκθεσης στον περιβαλλοντικό θόρυβο, η οποία περιλαμβάνει συστάσεις για τη χαρτογράφηση του θορύβου και τη θέσπιση ανάλογων σχεδίων δράσης.

Επομένως, η Πράσινη Βίβλος προετοίμασε το έδαφος για την κανονιστική παρέμβαση της Κοινότητας στην καταπολέμηση της ηχορύπανσης, η οποία εκφράζεται με την έκδοση της οδηγίας 2002/49/ΕΚ. Η τελευταία συνιστά το πρώτο κοινοτικό νομοθετικό κείμενο, το οποίο επιδιώκει την παγίωση εναρμονισμένης ευρωπαϊκής προσέγγισης ως προς τη διαχείριση και αξιολόγηση του θορύβου (Τσουκνίδα, 2018).

2.5.1.2. Ο περιβαλλοντικός θόρυβος και η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/49/ΕΕ

Στις 25 Ιουνίου 2002, εκδίδεται η οδηγία 2002/49/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου (ΟΠΘ – Οδηγία για τον Περιβαλλοντικό Θόρυβο ή END – European Noise Directive). Επρόκειτο για ένα βήμα στην ανάπτυξη της περιβαλλοντικής πολιτικής της Ε.Ε., έχοντας σαν βασικό αντικείμενο τον περιβαλλοντικό θόρυβο. Η εναρμονισμένη αυτή Ευρωπαϊκή προσέγγιση αναφορικά με τη διαχείριση του θορύβου, και με σκοπό την προστασία των πολιτών από τις επιπτώσεις της έκθεσης σε αυτόν, εγκαθιδρύει για πρώτη φορά την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου, βάσει κοινών μεθόδων, κοινών αντιθορυβικών δράσεων και στην ενημέρωση του κοινού σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Ειδικότερα, για το σκοπό αυτό εφαρμόζονται προοδευτικά συγκεκριμένες δράσεις, οι οποίες συνίστανται κατά πρώτο λόγο στον προσδιορισμό της έκθεσης στον περιβαλλοντικό θόρυβο με χαρτογράφηση του θορύβου σύμφωνα με κοινές στα κράτη-μέλη μεθόδους αξιολόγησης, κατά δεύτερο λόγο στη μέριμνα, ώστε να είναι διαθέσιμες στο κοινό πληροφορίες σχετικά με τον περιβαλλοντικό θόρυβο και, τέλος, στη θέσπιση σχεδίων δράσης από τα κράτη-μέλη, βασισμένων στα αποτελέσματα της χαρτογράφησης του θορύβου. Κύριος στόχος των ανωτέρω αποτελεί η πρόληψη και ο περιορισμός του περιβαλλοντικού θορύβου όπου χρειάζεται και, ιδίως, όπου τα επίπεδα έκθεσης μπορούν να έχουν επιβλαβείς επιδράσεις στην υγεία των ανθρώπων, καθώς και τη διαφύλαξη της ηχητικής ποιότητας του περιβάλλοντος, όπου αυτή είναι καλή. Επίσης, η οδηγία αυτή αποβλέπει στην παροχή βάσης για την ανάπτυξη κοινοτικών μέτρων για τον περιορισμό του θορύβου που εκπέμπουν οι μείζονες πηγές και, ιδίως, τα τροχοφόρα οχήματα, τα μέσα σταθερής τροχιάς και η σχετική υποδομή, τα αεροσκάφη, ο υπαίθριος και ο βιομηχανικός εξοπλισμός και τα κινητά μηχανήματα. Επισημαίνεται ότι μέχρι την εφαρμογή της οδηγίας 2002/49/ΕΕ η χαρτογράφηση του περιβαλλοντικού θορύβου στην Ευρώπη ήταν πολυσχιδής, διαφοροποιημένη από χώρα σε

χώρα και βασισμένη σε πολλές και ελάχιστα συμβατές μεταξύ τους μεθοδολογίες ανάλυσης και αξιολόγησης (Βογιατζής, 2011).

Για τους σκοπούς της συγκεκριμένης οδηγίας, νοούνται ως «περιβαλλοντικός θόρυβος»: *οι ανεπιθύμητοι ή επιβλαβείς θόρυβοι στις αστικές περιοχές και στο ύπαιθρο που δημιουργούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένων των θορύβων που εκπέμπονται από μεταφορικά μέσα, από οδικές, σιδηροδρομικές και αεροπορικές μεταφορές και από χώρους βιομηχανικής δραστηριότητας* (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2002). Επιπλέον, αποφασίσθηκε η ευρωπαϊκά εναρμονισμένη εισαγωγή και καθιέρωση νέων δεικτών αξιολόγησης ακουστικού περιβάλλοντος [L_{den}^4 και L_{night}^5 σε dB(A)]. Πιο συγκεκριμένα, οι κύριοι δείκτες θορύβου για τη χαρτογράφηση της ηχορύπανσης είναι οι L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} και L_{den} (day-evening-night), οι οποίοι λαμβάνονται από τον μέσο όρο των ηχητικών επιπέδων για τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια ενός έτους. Για την ακρίβεια, η απαιτούμενη στάθμη θορύβου είναι η αποκαλούμενη Α-σταθμισμένη μακροπρόθεσμη μέση ηχοστάθμη ηχητικής πίεσης $L_{A,eq}$, η ποσότητα η οποία εισηγείται από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO) για την εκτίμηση του περιβαλλοντικού θορύβου (International Organization for Standardization, 1996). Ο δείκτης $L_{A,eq}$ είναι ο μέσος όρος των στιγμιαίων ηχητικών διαφορών πίεσης σε αυθαίρετες χρονικές περιόδους:

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \frac{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt}{p_0^2} \text{ dB} \quad (1)$$

όπου p_0 είναι η ηχητική πίεση αναφοράς, που λαμβάνεται ως 20 μPa και $p_A(t)$ είναι η Α-σταθμισμένη στιγμιαία ηχητική πίεση στο χρόνο t . Ο δείκτης Α υποδηλώνει ότι το ισοδύναμο επίπεδο ηχητικής πίεσης πρέπει να σταθμιστεί με την *καμπύλη στάθμισης Α*, η οποία προσεγγίζει την ευαισθησία του ανθρώπινου αυτιού σε διαφορετικές συχνότητες. Με τον τρόπο αυτό, οι δείκτες L_{day} , $L_{evening}$ και L_{night} υπολογίζονται λαμβάνοντας τα ακόλουθα χρονικά διαστήματα στην εξίσωση (1): α) μια περίοδο 12 ωρών για τη μέρα, β) μια περίοδο 4 ωρών για το βράδυ και γ) μια νυκτερινή περίοδο 8 ωρών⁶. Ο σύνθετος δείκτης ημέρας-βραδιού-νύχτας L_{den} , είναι ένας λογαριθμικός, σταθμισμένος μέσος όρος για αυτές τις περιόδους και ορίζεται με τον παρακάτω τύπο:

⁴ Δείκτης ο οποίος έχει σχέση με το βαθμό κοινής όχλησης θορύβου και ειδικότερα με το ποσοστό αντιδράσεων ισχυρής όχλησης

⁵ Δείκτης διαταραχών του ύπνου

⁶ Συνήθως μια περίοδος 24 ωρών χωρίζεται ως εξής: 7 π.μ. - 7 μ.μ. (ημέρα), 7 μ.μ. - 11 μ.μ. (βράδυ), 11 μ.μ. - 7 π.μ. (νύχτα). Ωστόσο τα κράτη μέλη έχουν τη δυνατότητα να ορίσουν αυτές τις περιόδους ανεξάρτητα, για να συμπεριληφθούν οποιεσδήποτε τοπικές και πολιτιστικές διαφορές.

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right) \quad (2)$$

Προσθέτοντας 5 στις βραδινές και 10 τις νυχτερινές τιμές, λαμβάνεται υπόψη η αυξημένη ενόχληση που προκαλείται κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων (D'Hondt et al., 2013). Επιπροσθέτως, κρίνεται άξιο αναφοράς ότι οι τιμές των προρρηθέντων δεικτών δύναται να προσδιοριστούν (βλ. ενότητα 2.5.1.4.) είτε με υπολογισμούς, είτε με μέτρηση (στο σημείο αξιολόγησης). Ενώ για τις προβλέψεις, εφαρμόζεται μόνον η μέθοδος του υπολογισμού (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2002).

Η ανωτέρω Ευρωπαϊκή Οδηγία (ΟΠΘ-END) υπαγορεύει ότι από το 2007 οι πόλεις με πληθυσμό άνω των 250.000 οφείλουν να εκτιμήσουν τον αριθμό των πολιτών οι οποίοι εκτίθενται στις μέσες ετήσιες στάθμες θορύβου 55-75 ντεσιμπέλ (dB), σε ζώνες των 5 dB και άνω των 75 dB. Απαιτούνται επίσης χωριστές μετρήσεις για την οδική, τη σιδηροδρομική και την εναέρια κυκλοφορία και για τις βιομηχανικές πηγές, όπου λαμβάνονται υπόψη μεγάλες οδικές αρτηρίες (άνω των έξι εκατομμυρίων οχημάτων ετησίως), σιδηροδρομικές γραμμές (άνω των 60.000 συρμών ετησίως) και αερολιμένες με περισσότερες από 50.000 κινήσεις (απογειώσεις και προσγειώσεις) το χρόνο. Τα προαναφερθέντα επίπεδα θα πρέπει να ενημερώνονται κάθε 5 χρόνια και επιπλέον, από το 2012, πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη μικρότερες πόλεις (άνω των 100.000 κατοίκων). Τα επίπεδα ηχορύπανσης θα πρέπει να παρουσιαστούν γραφικά σε **στρατηγικούς χάρτες θορύβου**. Επιπλέον, τα κράτη μέλη μεριμνούν ώστε, το αργότερο στις 18 Ιουλίου 2008, 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 στις μετρούμενες περιοχές. Τα σχέδια αυτά αποβλέπουν επίσης στην προστασία των ήσυχων περιοχών από την αύξηση του θορύβου (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2002).

2.5.1.3. Αξιολόγηση των διατάξεων της οδηγίας και της εφαρμογής τους από τα κράτη μέλη

Η οδηγία για την αξιολόγηση και διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου αποτέλεσε σημαντικό βήμα για την αντιμετώπιση της ηχορύπανσης σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Κοινότητας, καθώς εισήγαγε ένα σύστημα διαχείρισης του περιβαλλοντικού θορύβου σε όλα τα κράτη

μέλη. Συγκεκριμένα, η οδηγία έχει πλέον μεταφερθεί στην εθνική νομοθεσία και των 28 κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ενώ για τα 21 εξ αυτών συνιστά το πρώτο νομοθετικό κείμενο το οποίο ρυθμίζει ζητήματα περιβαλλοντικού θορύβου.

Από τη μία πλευρά, η θέσπιση της υποχρεωτικής χαρτογράφησης κρίνεται ιδιαίτερα χρήσιμη, αφού οι στρατηγικοί χάρτες αποτυπώνουν το μέγεθος του πληθυσμού που εκτίθεται σε θόρυβο. Με τον τρόπο αυτόν οι παραγόμενοι χάρτες δύνανται να αξιοποιηθούν ως εργαλείο άσκησης πολιτικών ελέγχου και διαχείρισης του θορύβου. Από την άλλη πλευρά, τα σχέδια δράσης εκπονούνται, όχι μόνο για τη μείωση του θορύβου, αλλά και για την πρόληψη και τη διαφύλαξη του ηχητικού περιβάλλοντος, όταν η ποιότητά του κρίνεται ικανοποιητική. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί και η βαρύτητα την οποία αποδίδει η οδηγία στην πληροφόρηση και τη συμμετοχή των πολιτών.

Εντούτοις, θεωρείται σημαντικό να σημειωθούν οι δυσχέρειες και τα πρακτικά ζητήματα που παρατηρήθηκαν από την έως τώρα επισκόπηση της εφαρμογής της από τα κράτη μέλη. Πρώτον, το γεγονός ότι η οδηγία δεν θέτει νομικά δεσμευτικές τιμές ή στόχους για τα όρια του θορύβου, οδήγησε στην υιοθέτηση διαφορετικών προσεγγίσεων από τα κράτη μέλη. Δεύτερον, παρατηρήθηκε η χρησιμοποίηση διαφορετικών μεθόδων αξιολόγησης, καθώς η οδηγία αυτή καθ' αυτή δεν καθορίζει κοινές μεθόδους. Αποτέλεσμα της παραπάνω ανομοιομοφίας είναι η δυσχέρεια στη σύγκριση των επιπέδων θορύβου μεταξύ των κρατών, άρα και στην επακόλουθη χάραξη της ενιαίας ενωσιακής πολιτικής. Τρίτον, οι δυσκολίες που παρατηρήθηκαν σχετικά με τον διοικητικό συντονισμό των εμπλεκόμενων φορέων, τόσο κατά το στάδιο συγκέντρωσης των δεδομένων, όσο και κατά τα μεταγενέστερα στάδια προγραμματισμού και λήψης μέτρων, δημιουργούν προβλήματα στην πραγματική λήψη μέτρων για την καταπολέμηση του θορύβου. Τέταρτον, παρά την θετική πρόβλεψη περί ενεργητικής συμμετοχής του κοινού, στην πράξη διαπιστώνεται ότι η «επικοινωνία» με αυτό και η προσέλκυση του ενδιαφέροντος των πολιτών για τα σχέδια δράσης καθίσταται ιδιαίτερος δύσκολη, ακόμη και στα κράτη που έχει πραγματοποιηθεί μία πολύ συντονισμένη προσπάθεια για την προώθηση της συμμετοχής με δημόσιες διαβουλεύσεις (π.χ. Γαλλία, Λιθουανία και Ολλανδία). Τέλος, σημειώνεται ότι σε πρακτικό επίπεδο τα κράτη μέλη δεν ήταν προετοιμασμένα για την υλοποίηση των απαιτήσεων της οδηγίας, το χρονοδιάγραμμα επίτευξης των οποίων κρίθηκε απαιτητικό. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι σημειώθηκε σημαντική καθυστέρηση και παροχή ανακριβών και ελλιπών στοιχείων στην πραγματοποίηση της στρατηγικής χαρτογράφησης, όπως και στην εκπόνηση των σχεδίων δράσης, η οποία κατά τον πρώτο γύρο (έως την 18η Ιουλίου 2009) πραγματοποιήθηκε εμπρόθεσμα μόνο από πέντε κράτη μέλη (Τσουκνίδα, 2018).

2.5.1.4. Αξιολόγηση των μεθόδων εκτίμησης των επιπέδων ηχορύπανσης σύμφωνα με την οδηγία 2002/49/EK

Η οδηγία για τον περιβαλλοντικό θόρυβο (ΟΠΘ-END) (2002/49/EK) επιχείρησε να ποσοτικοποιήσει το ποσοστό του πληθυσμού που ζει σε περιοχές οι οποίες παρουσιάζουν υψηλά επίπεδα θορύβου. Ωστόσο, τα επίπεδα που αναφέρονται στην παραπάνω οδηγία βασίζονται σε αποτελέσματα που απορρέουν από παραδοσιακές μεθόδους χαρτογράφησης θορύβου οι οποίες βασίζονται σε προσομοιώσεις δεδομένων της μέσης ετήσιας κυκλοφορίας και αναφέρονται σε στρατηγικό επίπεδο (Margaritis et al., 2018). Επιπλέον, μελέτες περίπτωσης και επί τόπου μετρήσεις οι οποίες έχουν διεξαχθεί, όπως εκείνες των Mioduszewski et al. (2011) και Morillas et al. (2014), παρατηρούν αξιοσημείωτες αποκλίσεις μεταξύ των υπολογισμένων και των μετρούμενων ακουστικών δεικτών ιδιαίτερα σε θωρακισμένες ζώνες ή ήσυχες περιοχές (Wei et al., 2016).

Επιπροσθέτως, αναφέρεται ότι οι Στρατηγικοί Χάρτες Θορύβου συνοδευόμενοι από τα Σχέδια Δράσης Θορύβου στοχεύουν όχι μόνο τη μείωση του αριθμού των κατοίκων που εκτίθενται σε υψηλά επίπεδα θορύβου, αλλά επίσης στην προστασία και την ενίσχυση της ποιότητας του ήχου εντός των λεγόμενων ήσυχων ζωνών. Ωστόσο, η έννοια της ησυχίας είναι σχετικά δύσκολο να κατανοηθεί και να οριστεί: ο προσδιορισμός της δεν δύναται να περιοριστεί στην επιλογή της τιμής ενός δείκτη θορύβου όπως είναι ο L_{den} ή ο L_{night} , δεδομένου ότι εντοπίζονται σημαντικές πολιτιστικές διαφορές μεταξύ των κρατών μελών όσον αφορά την έννοια της ησυχίας. Αυτές οι αντιθέσεις συνδέονται κυρίως με τις κλιματικές συνθήκες και τον αστικό τρόπο ζωής, με έμφαση τόσο στις κοινωνικές όσο και στις πολιτισμικές διαφορές. Ως εκ τούτου, παρά την εισαγωγή της Στρατηγικής Χαρτογράφησης Θορύβου και των συναφών ομοιογενών ποσοτικοποιήσιμων δεικτών (L_{den} και L_{night}), ερευνητικές ομάδες και εμπειρογνώμονες (π.χ., πολεοδόμοι, ειδικοί ακουστικής, αρχιτέκτονες) αμφισβητούν την πρακτική ποιότητα του ακουστικού περιβάλλοντος που συνθέτουν αυτές οι παράμετροι (Vogiatzis & Remy, 2017). Επιπλέον, οι μέθοδοι εκτίμησης των επιπέδων ηχορύπανσης που προκρίνονται μέσω της οδηγίας παρουσιάζουν συγκεκριμένα ζητήματα (π.χ. η απουσία του συνόλου των ηχητικών πηγών που συνθέτουν το αστικό ακουστικό περιβάλλον) τα οποία απαριθμούνται παρακάτω.

2.5.1.4.1. Εκτίμηση των επιπέδων ηχορύπανσης με τη μέθοδο της προσομοίωσης

Σε γενικές γραμμές η κατασκευή χαρτών θορύβου με τη μέθοδο της προσομοίωσης παρουσιάζει ορισμένους βασικούς περιορισμούς. Πρώτον, οι στρατηγικοί χάρτες θορύβου, κατά γενική ομολογία, δεν επιχειρούν να καλύψουν όλες τις πηγές ηχορύπανσης περιβαλλοντικού ήχου. Για παράδειγμα, η κυκλοφορία των δευτερευόντων οδών δεν εξετάζεται συχνά εξαιτίας της έλλειψης βασικών δεδομένων. Λοιπες πηγές όπως η αναψυχή (καφετέριες, μουσικές εκδηλώσεις, παιδικές χαρές κλπ), η τροφοδοσία κοντά σε καταστήματα και οι ήχοι που προέρχονται από την κατασκευαστική δραστηριότητα είναι ιδιαίτερα δύσκολο να καταγραφούν μιας και πρόκειται για γεγονότα τα οποία εμφανίζονται τυχαία και παροδικά (Wei et al., 2016). Δεύτερον, οι αριθμητικές μέθοδοι δεν υπολογίζουν τις χρονικές διακυμάνσεις των επιπέδων ήχου, οδηγώντας σε στιγμιαίους χάρτες οι οποίοι δεν δίνουν τη δυνατότητα να αποδοθεί το ηχητικό περιβάλλον στο σύνολό του (π.χ. δυναμική της κυκλοφοριακής κίνησης, πολιτιστικές ή εορταστικές δραστηριότητες, οδικά έργα κλπ). Τρίτον, οι αριθμητικές προσομοιώσεις στην περιβαλλοντική κλίμακα (επίπεδο οικισμών) στηρίζονται σε υπολογιστικά μοντέλα μηχανικής τα οποία απαιτούν μεγάλο αριθμό πληροφοριών σχετικά με την υπό έρευνα περιοχή (π.χ. κτίρια, τοπογραφία, φύση των εδαφών και των οδοστρωμάτων και ετήσιες πιθανότητες εμφάνισης των μετεωρολογικών φαινομένων) και τις πηγές θορύβου (οδική, σιδηροδρομική και εναέρια κυκλοφορία κλπ). Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι ορισμένες από τις προαναφερθείσες μεταβλητές απουσιάζουν ή παρουσιάζεται ιδιαίτερη δυσκολία στην εκτίμηση τους. Ιδίως, για τη μοντελοποίηση της οδικής κυκλοφορίας, απαιτείται πληθώρα δεδομένων (π.χ. ροή κυκλοφορίας, αναλογία ελαφρών/βαρέων οχημάτων και αντίστοιχες ταχύτητες) σε όλο το οδικό δίκτυο (Guillaume et al., 2016).

2.5.1.4.2. Εκτίμηση των επιπέδων ηχορύπανσης με μέτρηση στο σημείο αξιολόγησης

Η εγκατάσταση πειραματικών εγκαταστάσεων εμφανίζεται ως εναλλακτική στρατηγική για την παρακολούθηση θορύβου. Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις επιτρέπουν την καταγραφή των χρονικών μεταβολών του επιπέδων θορύβου και, κατά συνέπεια, παρέχουν συμπληρωματικές πληροφορίες στα δεδομένα προσομοίωσης. Παραδοσιακά, οι μετρήσεις πραγματοποιούνται (με μετρητή επιπέδων ηχοστάθμης ή αντίστοιχη επαγγελματική συσκευή) από ερευνητές οι οποίοι συγκεντρώνουν δεδομένα σε ορισμένες υπό μελέτη τοποθεσίες. Ωστόσο, η συγκεκριμένη προσέγγιση βασίζεται στη χρήση δαπανηρού εξοπλισμού ο οποίος συλλέγει

στοιχεία από περιορισμένο αριθμό τοποθεσιών και δεν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της αυξημένης ζήτησης για υψηλής χωροχρονικής ανάλυσης δεδομένα θορύβου (Guillaume et al., 2016).

2.5.2. Εθνικό Θεσμικό Πλαίσιο Αξιολόγησης και Διαχείρισης της Ηχορύπανσης

2.5.2.1. Ο νόμος πλαίσιο 1650/1986 «Για την προστασία του περιβάλλοντος»

Αρχικά, αξίζει να αναφερθεί ότι οι εθνικές συνταγματικές διατάξεις έως το 1975 δεν αναφέρονταν άμεσα σε ζητήματα περιβάλλοντος. Αναγνωρίζοντας την ολοένα και αυξανόμενη όξυνση των περιβαλλοντικών προβλημάτων, η ελληνική νομοθεσία, επηρεασμένη και από τις σχετικές εξελίξεις που είχαν προηγηθεί σε διεθνές και κοινοτικό επίπεδο, κατοχυρώνει για πρώτη φορά στο ισχύον Σύνταγμα του 1975 (άρθρο 24) την υποχρέωση του κράτους για την προστασία και τη διαφύλαξη του περιβάλλοντος.

Τον πυλώνα της εθνικής νομοθεσίας για το περιβάλλον αποτελεί ο ν. 1650/1986 «Για την προστασία του περιβάλλοντος», ο οποίος χαρακτηρίζεται ως γενικός ή βασικός νόμος για το περιβάλλον, διότι υιοθετεί μια σφαιρική αντίληψη για τα περιβαλλοντικά προβλήματα, καθορίζοντας τους βασικούς στόχους και επιδιώξεις. Επίσης, η συγκεκριμένη νομοθεσία προσδιορίζει την έννοια της ρύπανσης μιας και την χαρακτηρίζει ως την «... παρουσία στο περιβάλλον ρύπων, δηλαδή κάθε είδους ουσιών, **θορύβου**, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα ή υλικές ζημιές και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του». Επιπλέον, θεσπίζεται ειδικότερη ρύθμιση για την προστασία από τον θόρυβο, ο οποίος αντιμετωπίζεται ως συνιστώσα παραγωγής περιβαλλοντικής ρύπανσης. Χαρακτηριστικά σημειώνεται ότι με κριτήριο τον περιορισμό της ενόχλησης και της προστασίας της υγείας καθορίζονται τα εξής:

- οι οριακές τιμές στάθμης θορύβου και οι τρόποι μέτρησής του σε ιδιωτικούς και δημόσιους χώρους
- οι αντιθορυβικές, βάσει προγενέστερης ειδικής μελέτης, ζώνες γύρω από υφιστάμενες ή νέες περιοχές βιομηχανικών εγκαταστάσεων, γύρω ή κατά μήκος δρόμων, λιμανιών, αεροδρομίων, αρχαιολογικών ή ιστορικών χώρων, χώρων κατοικίας, ανάπαυσης, νοσηλείας, εκπαίδευσης και πολιτιστικών εκδηλώσεων

- οι οριακές τιμές στάθμης θορύβου και δονήσεων, οι τρόποι μέτρησής τους, η διαδικασία έγκρισης και οι περιορισμοί στην παραγωγή, εισαγωγή, εμπορία και χρήση για κάθε είδους όχημα, μηχάνημα και όργανο που προκαλεί κατά τη λειτουργία του ηχητική ενόχληση ή προορίζεται για παραγωγή ήχου και
- οι προδιαγραφές ποιότητας για την παραγωγή, εισαγωγή και εμπορία υλικών και εξαρτημάτων που προορίζονται για την καταπολέμηση του θορύβου

Ακολούθως, απαριθμούνται τα έργα και οι δραστηριότητες που παράγουν θόρυβο (βιομηχανίες, εργοτάξια, μηχανολογικές εγκαταστάσεις, λατομεία, κέντρα διασκέδασης κ.ά.), τα οποία κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και με κριτήρια α) το είδος και το μέγεθος του έργου ή της δραστηριότητας, β) το είδος και την ποσότητα των ρύπων που εκπέμπονται, γ) τη δυνατότητα να προληφθεί η παραγωγή ρύπων από την εφαρμοζόμενη παραγωγική διαδικασία, δ) τον κίνδυνο σοβαρού ατυχήματος και την ανάγκη επιβολής περιορισμών για την προστασία του περιβάλλοντος (Τσουκνίδα, 2018).

2.5.2.2. Εναρμόνιση της εθνικής νομοθεσίας με την κοινοτική οδηγία 2002/49/EK για την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου

Η Οδηγία 2002/49/EK ενσωματώθηκε στο εθνικό δίκαιο με την Κ.Υ.Α. 13586/724/2006 (ΦΕΚ Β' 384/28.3.2006), «Καθορισμός μέτρων, όρων και μεθόδων για την αξιολόγηση και τη διαχείριση του θορύβου στο περιβάλλον, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2002/49/EK «σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου του Συμβουλίου της 25.6.2002» (ΥΠΕΝ, 2020).

Το πεδίο εφαρμογής της εμπίπτει πλήρως μ' αυτό της κοινοτικής οδηγίας, καθ' ότι καταλαμβάνει τον περιβαλλοντικό θόρυβο, στον οποίο εκτίθενται οι άνθρωποι, ιδίως σε αστικές περιοχές και περιοχές πυκνής δόμησης, σε δημόσια πάρκα ή άλλες ήσυχες περιοχές πολεοδομικών συγκροτημάτων, σε ήσυχες περιοχές της υπαίθρου, κοντά σε σχολεία, νοσοκομεία και άλλα κτίρια και περιοχές ευαίσθητες σε θορύβους. Σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας, η Κ.Υ.Α. προβλέπει, αρχικά, τον προσδιορισμό της έκθεσης στον περιβαλλοντικό θόρυβο μέσω της χαρτογράφησης του, με την οποία καταγράφεται σταδιακά η κατάσταση θορύβου που επικρατεί στα πολεοδομικά συγκροτήματα, στους μεγάλους οδικούς και σιδηροδρομικούς άξονες και στα μεγάλα αεροδρόμια. Περαιτέρω, θεσπίζεται η

δημιουργία σχεδίων δράσης για τη διαχείριση των προβλημάτων και των επιδράσεων του περιβαλλοντικού θορύβου για το σύνολο των παραπάνω περιοχών.

Για την εφαρμογή των ανωτέρω συμμετέχουν όλα τα επίπεδα διακυβέρνησης. Αρχικά, σημειώνεται ότι αρμόδια για την υλοποίηση των προβλέψεων της γενικής οδηγίας – πλαισιου ορίζεται η Διεύθυνση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου που υπάγεται στο Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Περαιτέρω αρμοδιότητες απονέμονται και στους φορείς τοπικής αυτοδιοίκησης για ζητήματα κυρίως διαχειριστικού και τοπικού χαρακτήρα (π.χ. οι υπηρεσίες του Δήμου καθίστανται αρμόδιες για τη χορήγηση άδειας ίδρυσης/εγκατάστασης και λειτουργίας των καταστημάτων υγειονομικού ενδιαφέροντος και άδειας χρήσης μουσικής) (Τσουκνίδα, 2011).

Επιπροσθέτως επισημαίνεται ότι σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στην Οδηγία 2002/49 και στην Κ.Υ.Α. 13586/724/2006, εκδόθηκε και η Κ.Υ.Α. οικ. 211773/2012 (ΦΕΚ Β' 1367/27.4.2012) «Καθορισμός δεικτών αξιολόγησης και ανώτατων επιτρεπόμενων ορίων δεικτών περιβαλλοντικού θορύβου που προέρχεται από τη λειτουργία συγκοινωνιακών έργων, τεχνικές προδιαγραφές ειδικών ακουστικών μελετών υπολογισμού» και εφαρμογής (ΕΑΜΥΕ) αντιθορυβικών πετασμάτων, προδιαγραφές προγραμμάτων παρακολούθησης περιβαλλοντικού θορύβου και άλλες διατάξεις», που αποσκοπεί μεταξύ άλλων στον καθορισμό ορίων **οδικού** κυκλοφοριακού, **σιδηροδρομικού** και **αεροπορικού** θορύβου, σύμφωνα με τους δείκτες αξιολόγησης L_{den} (24-ωρος) και L_{night} (8-ωρος νυκτερινός). Ως ανώτατα επιτρεπόμενα όρια δεικτών των ανωτέρω ακουστικών πηγών θορύβου καθορίζονται για τον δείκτη L_{den} τα 70 dB(A) ενώ για τον L_{night} τα 60 dB(A) (ΥΠΠΕΝ, 2020). Επιπλέον, η παραπάνω διάταξη προβλέπει την αντιμετώπιση και διαχείριση των επιπτώσεων του **οδικού** και **σιδηροδρομικού** περιβαλλοντικού θορύβου σε συγκοινωνιακά έργα. Με το συγκεκριμένο νομοθέτημα εκσυγχρονίζονται τα προ εικοσαετίας (ΦΕΚ Β' 395/19.6.1992) όρια συγκοινωνιακού θορύβου. Επίσης, προβλέπεται για την εξασφάλιση της απαιτούμενης ηχοπροστασίας τόσο στα ήδη υφιστάμενα όσο και στα νέα οδικά και σιδηροδρομικά έργα η εφαρμογή αντιθορυβικών πετασμάτων που αποσκοπούν στην τήρηση των ανώτατων επιτρεπόμενων ορίων θορύβου. Ως ανώτατα επιτρεπόμενα όρια των καθορίζονται για τον δείκτη ημέρας απογεύματος (day-evening) L_{d-e} ⁷ τα 67 dB(A) και για τον δείκτη βραδιού L_{night} ⁸ τα 60 dB(A) (ΦΕΚ Β' 1367/27.4.2012).

⁷ Ισοδύναμη Συνεχής Στάθμη θορύβου (L_{eq}) που εκφράζει την σταθερή εκείνη στάθμη θορύβου, η οποία στην χρονική περίοδο «ημέρας-απογεύματος» στο χρονικό διάστημα από 07:00 έως 23:00 έχει το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο με αυτό του πραγματικού θορύβου, σταθερού ή μεταβαλλόμενου, κατά την ίδια χρονική περίοδο

⁸ Αντίστοιχα για χρονική περίοδο «νύχτας» μεταξύ 23:00 και 07:00

2.5.2.2.1. Στρατηγικοί Χάρτες Θορύβου και Σχέδια Δράσης

Για την τήρηση των εθνικών υποχρεώσεων στο πλαίσιο της εφαρμογής της οδηγίας 2002/49/ΕΚ και της κατ' εφαρμογή αυτής ΚΥΑ 13586/724/2006 προκηρύχθηκαν, σε δύο διαγωνισμούς, συνολικά 13 μελέτες Στρατηγικής Χαρτογράφησης Περιβαλλοντικού Θορύβου και εκπόνησης σχεδίων δράσης για Πολεοδομικά Συγκροτήματα (ΠΣ), που χρηματοδοτήθηκαν από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη» - Ταμείο Συνοχής & Εθνικοί Πόροι του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (Ε.Σ.Π.Α) της περιόδου 2007- 2013:

- 9 για την επαρχία (Λάρισα, Βόλος, Ηράκλειο, Χανιά, Κέρκυρα, Αγρίνιο, Ιωάννινα, Καβάλα, Πάτρα)
- 1 για την Αθήνα (Κέντρο Αθήνας, Βόρεια Αθήνα, Νότια Αθήνα, Δυτική Αθήνα, Ανατολική Αθήνα)
- 1 για την περιοχή του Πειραιά (περιλαμβάνει 5 Δήμους)
- 1 για τους Δήμους Θεσσαλονίκης και Νεάπολης
- 1 για τον Δήμο Καλαμαριάς (υπόλοιπο Θεσσαλονίκης) και τις Σέρρες.

2.6. Η ηχορύπανση στην Αθήνα

Όπως έχει προαναφερθεί οι μηχανοκίνητες μεταφορές αποτελούν την κύρια αιτία εμφάνισης περιβαλλοντικού θορύβου. Στις χώρες της Νότιας Ευρώπης, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας, χρησιμοποιούνται ευρέως τα μοτοποδήλατα και οι μοτοσυκλέτες. Σε αυτές τις χώρες η δυνατότητα οδήγησης για σημαντικό τμήμα του έτους υπό ευνοϊκές καιρικές συνθήκες, παράλληλα με την ανάγκη αντιμετώπισης του ζητήματος της κυκλοφοριακής συμφόρησης, καθιστά τη χρήση των δίδροχων οχημάτων αυτών ιδιαίτερα θελκτική. Τα οχήματα αυτά παράγουν πρόσθετο θόρυβο ο οποίος είναι ιδιαίτερα ενοχλητικός για τους πολίτες που εκτίθενται άμεσα στην ηχορύπανση (π.χ. πεζοί, ποδηλάτες κλπ) (Profillidis et al., 2018). Όλες οι αστικές περιοχές της Ελλάδας⁹ χαρακτηρίζονται από την υποβάθμιση του ακουστικού περιβάλλοντος. Ωστόσο, η περιοχή της Πρωτεύουσας αντιμετωπίζει το

⁹ Ένα σημαντικό τμήμα των κατοίκων των μεγάλων πόλεων εκτίθενται σε υψηλά επίπεδα θορύβου, κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας. Σχεδόν ένας στους πέντε κατοίκους διαμένει σε ζώνες με L_{den} άνω του εθνικού ορίου των 70 dB(A) (18% του συνολικού πληθυσμού των $\approx 3,14$ εκατομμυρίων), ενώ ένας στους τέσσερις διαμένει σε ζώνες με L_{night} άνω του εθνικού ορίου των 60 dB(A) (26%) (Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης, 2018)

μεγαλύτερο πρόβλημα μιας και συγκεντρώνει περίπου το 40% του πληθυσμού, το 35% της βιομηχανικής και βιοτεχνικής δραστηριότητας και το 70% των υπηρεσιών της χώρας. Έχει διαπιστωθεί ότι οι μεγάλες κυκλοφοριακές αρτηρίες της Αθήνας παρουσιάζουν αυξημένα επίπεδα θορύβου ιδιαίτερα σε ώρες αιχμής. Συγκεκριμένα, ο μέσος όρος ημερήσιου θορύβου (που υπολογίστηκε από την διεξαγωγή ημερησίων και νυκτερινών μετρήσεων σε 205 επιλεγμένα σημεία του εσωτερικού δακτυλίου της Αθήνας) είναι τής τάξης των 70 dB(A), ενώ του νυκτερινού είναι της τάξης των 65 dB(A) (Δημητροπούλου κ.α., 2008).

Σύμφωνα το Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης (2018) στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας αντιστοιχεί το μεγαλύτερο ποσοστό (40%) των ατόμων που εκτίθενται σε στάθμες θορύβου μεγαλύτερες των 70 dB(A). Στον πίνακα 2.1. φαίνονται οι αντίστοιχες τιμές για όλα τα Πολεοδομικά Συγκροτήματα. Όσον αφορά τον δείκτη διαταραχής ύπνου (L_{night}), το αντίστοιχο ποσοστό [πληθυσμός ο οποίος εκτίθεται σε στάθμες θορύβου μεγαλύτερες των 60 dB(A)] φθάνει το εντυπωσιακό 61,8%, τιμή η οποία είναι σχεδόν τριπλάσια από εκείνη του εθνικού μέσου όρου (πίν. 2.2).

Σε αντίθεση με το κέντρο της Αθήνας, του οποίου οι κάτοικοι βιώνουν έντονα το ζήτημα του περιβαλλοντικού θορύβου (γρ. 2.1.), η ηχορύπανση στις βόρειες και τις νότιες περιοχές επιδρά κατά πολύ λιγότερο στον πληθυσμό μιας και το ποσοστό των κατοίκων που επηρεάζεται από υψηλά επίπεδα θορύβου (τόσο κατά τη μέρα, όσο και τη νύχτα) βρίσκεται χαμηλότερα από τον εθνικό μέσο όρο (πιν. 2.1 και 2.1. και γρ. 2.1.).

Πίνακας 2.1.: Στοιχεία έκθεσης πληθυσμού σε θόρυβο στα Πολεοδομικά Συγκροτήματα της Χώρας, από μελέτες Π.Σ., Σ.Χ.Θ. (δείκτης L_{den})

Πολεοδομικό Συγκρότημα	Έτος αναφοράς χαρτογράφησης	Πληθυσμός (κάτοικοι)	Σύνολο εκτιθέμενων άνω του εθνικού ορίου των 70 dB(A)	Ποσοστά πληθυσμού που εκτίθενται σε στάθμες θορύβου μεγαλύτερες από 70 db(A)
Λάρισα	2012	125.121	18.735	15,0%
Βόλος	2012	107.348	9.857	9,2%
Ηράκλειο	2013	144.774	15.977	11,0%
Χανιά	2013	64.272	5.485	8,5%
Πάτρα	2013	171.634	27.561	16,1%
Ιωάννινα	2013	72.100	16.500	22,9%
Καβάλα	2013	52.700	4.300	8,2%
Κέρκυρα	2014	30.524	7.434	24,4%
Αγρίνιο	2014	54.927	10.435	19,0%
Αθήνα - Κέντρο ¹⁰	2014	702.424	280.867	40,0%
Αθήνα - Βόρεια ¹¹	2014	284.460	23.673	8,3%
Αθήνα - Νότια ¹²	2014	349.445	51.012	14,6%
Πειραιάς ¹³	2014	444.502	37.608	8,5%
Θεσσαλονίκη - Νεάπολη Θεσσαλονίκης	2014	390.064	50.785	13,0%
Καλαμαριά Θεσσαλονίκης	2014	91.518	7.900	8,6%
Σέρρες	2014	57.878	6.300	10,9%
Σύνολο ΠΣ		3.130.604	574.429	18,3%

Πηγή: Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης (2018), ίδια επεξεργασία

¹⁰ Δήμοι Αθήνας και Φιλοθέης - Ψυχικού

¹¹ Δήμοι Λυκόβρυσης - Πεύκης, Αμαρουσίου, Ν. Ηρακλείου, Χαλανδρίου, Βριλησίων και Μεταμόρφωσης

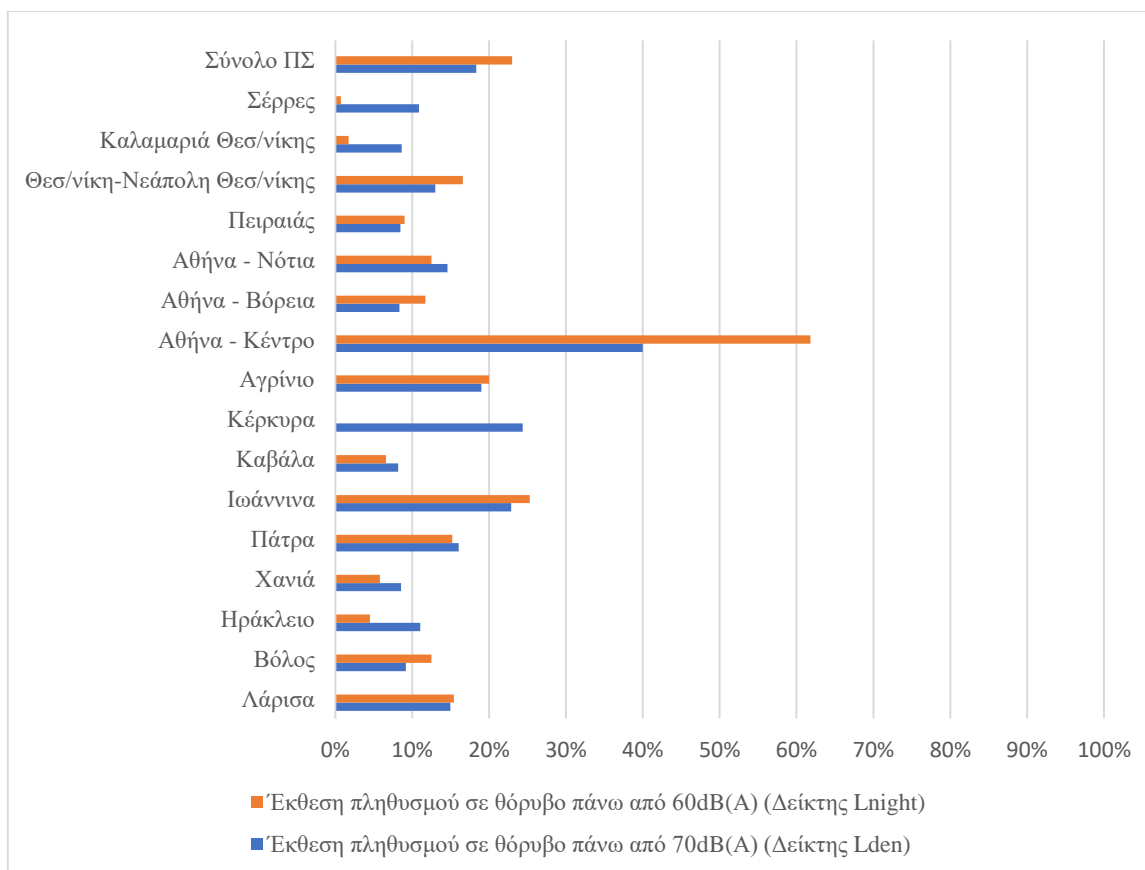
¹² Δήμοι Ταύρου - Μοσχάτου, Καλλιθέας, Π. Φαλήρου, Αγίου Δημητρίου και Νέας Σμύρνης

¹³ Δήμοι Πειραιά, Κορυδαλλού, Χαϊδαρίου, Νίκαιας -Άγιου Ιωάννη Ρέντη, Αιγάλεω και Αγίας Βαρβάρας

Πίνακας 2.2.: Στοιχεία έκθεσης πληθυσμού σε θόρυβο στα Πολεοδομικά Συγκροτήματα της Χώρας, από μελέτες Π.Σ., Σ.Χ.Θ. (δείκτης L_{night})

Πολεοδομικό Συγκρότημα	Έτος αναφοράς χαρτογράφησης	Πληθυσμός (κάτοικοι)	Σύνολο εκτιθέμενων άνω του εθνικού ορίου των 60 dB(A)	Ποσοστά πληθυσμού που εκτίθενται σε στάθμες θορύβου μεγαλύτερες από 60 dB(A)
Λάρισα	2012	125.038	19.284	15,4%
Βόλος	2012	107.348	13.370	12,5%
Ηράκλειο	2013	144.774	6.484	4,5%
Χανιά	2013	64.272	3.697	5,8%
Πάτρα	2013	171.634	26.151	15,2%
Ιωάννινα	2013	72.200	18.296	25,3%
Καβάλα	2013	52.700	3.462	6,6%
Κέρκυρα	2014	30.524	28	0,1%
Αγρίνιο	2014	54.927	10.984	20,0%
Αθήνα - Κέντρο	2014	702.424	434.381	61,8%
Αθήνα - Βόρεια	2014	284.460	33.303	11,7%
Αθήνα - Νότια	2014	349.445	43.810	12,5%
Πειραιάς	2014	431.403	38.940	9,0%
Θεσσαλονίκη - Νεάπολη Θεσσαλονίκης	2014	390.064	64.900	16,6%
Καλαμαριά Θεσσαλονίκης	2014	91.518	1.600	1,7%
Σέρρες	2014	57.878	400	0,7%
Σύνολο ΠΣ		3.130.609	719.090	23,0%

Πηγή: Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης (2018), ίδια επεξεργασία



Γράφημα 2.1.: Ποσοστό πληθυσμού που εκτίθενται σε θόρυβο πάνω από τα ισχύοντα όρια

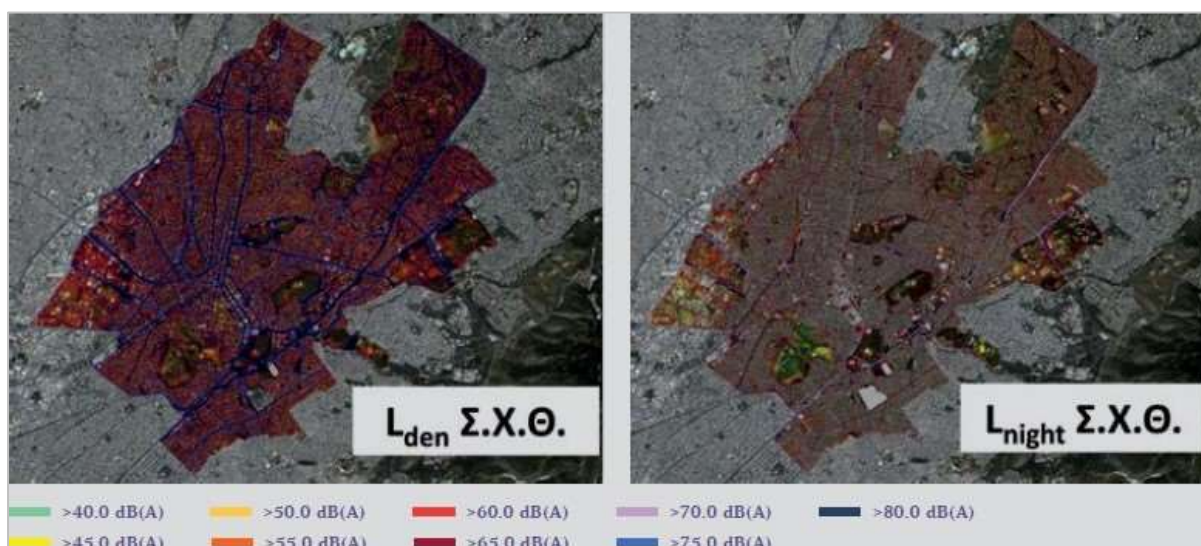
Πηγή: Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης (2018), ίδια επεξεργασία

Όσον αφορά την κατανομή του πληθυσμού ανά ζώνη κυκλοφοριακού θορύβου, παρατηρείται ότι για το δείκτη L_{den} , ο περισσότερος πληθυσμός εκτίθεται στη ζώνη 65 – 70 dB(A) (53%) η οποία ακολουθείται από την ζώνη 70 – 75 dB(A) που αντιστοιχεί στο 30,4% του συνολικού πληθυσμού. Οι εκτιμήσεις για το δείκτη L_{night} δείχνουν ότι οι περισσότεροι (50%) κάτοικοι του κέντρου της Αθήνας εκτίθενται σε στάθμες μεταξύ 60 και 65 dB(A), ενώ η επόμενη, σε σειρά έκθεσης, ζώνη είναι εκείνη που κυμαίνεται μεταξύ 55 και 60 dB(A) και αφορά το 33,4% του πληθυσμού (πίν. 2.3.). Ο Στρατηγικός Χάρτης Θορύβου της περιοχής (εικ. 2.3.) απεικονίζει την χωρική κατανομή της ηχορύπανης των ημερήσιων και νυχτερινών επιπέδων θορύβου.

Πίνακας 2.3.: Κατανομή πληθυσμού ανά ζώνη κυκλοφοριακού θορύβου για την περιοχή του κέντρου της Αθήνας

ΖΩΝΗ ΘΟΡΥΒΟΥ dB(A)	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΑΝΑ ΔΕΙΚΤΗ ΘΟΡΥΒΟΥ (κάτοικοι & %)			
	L_{den}	L_{night}	L_{den}	L_{night}
< 45	605	4.025	0,1%	0,6%
45 - 50	981	7.097	0,1%	1,0%
50 - 55	4.495	15.044	0,6%	2,1%
55 - 60	9.725	254.595	1,4%	33,4%
60 - 65	35.514	351.561	4,8%	50,0%
65 - 70	372.241	66.327	53,0%	9,4%
70 - 75	215.580	25.648	50,4%	5,4%
> 75	67.487	551	9,6%	0,0%
ΣΥΝΟΛΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ σε κατοίκους και % αναλογία ανά ζώνη θορύβου -	702.424	702.424	100,0%	100,0%

Πηγή: Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης (2018)



Εικόνα 2.3.: Στρατηγικός Χάρτης θορύβου για την περιοχή του κέντρου της Αθήνας

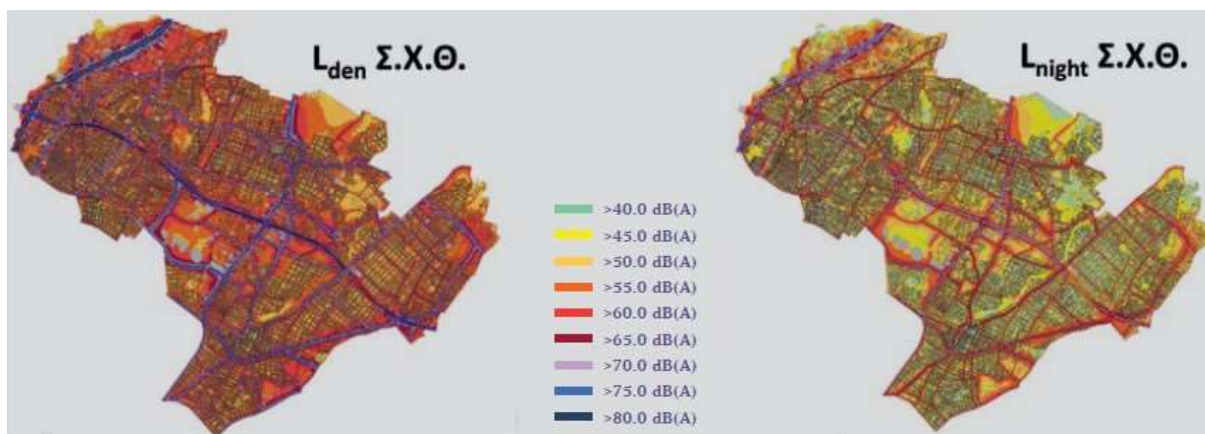
Πηγή: Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης (2018)

Η περιοχή της βόρειας Αθήνας, όπως έχει προαναφερθεί, αντιμετωπίζει το ζήτημα της ηχορύπανσης με πιο ήπιο τρόπο. Οι εκτιμήσεις για την έκθεση του πληθυσμού σε ημερήσια επίπεδα ηχορύπανσης (δείκτης L_{den}) φανερώνουν ότι το 51,8% των κατοίκων ανήκει στη ζώνη των 55 – 60 dB(A), ενώ το 21,9% επηρεάζεται από θόρυβο της τάξης των 65 – 70 dB(A) και το 11,5 % διαβιώνει σε στάθμες μεταξύ 70 και 65 dB(A) (πιν. 2.4.). Ο Στρατηγικός Χάρτης Θορύβου της περιοχής (χάρτης 2.3.) απεικονίζει την χωρική κατανομή της ηχορύπανσης των ημερήσιων και νυχτερινών επιπέδων θορύβου.

Πίνακας 2.4.: Κατανομή πληθυσμού ανά ζώνη κυκλοφοριακού θορύβου για την περιοχή της Βόρειας Αθήνας

ΖΩΝΗ ΟΔΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ dB(A)	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΑΝΑ ΔΕΙΚΤΗ ΘΟΡΥΒΟΥ (κάτοικοι & %)			
	L_{den}	L_{night}	L_{den}	L_{night}
< 45	88	15590	0,0%	5,5%
45 - 50	3540	136854	1,2%	48,1%
50 - 55	14748	64663	5,2%	22,7%
55 - 60	147453	34071	51,8%	12,0%
60 - 65	62211	25444	21,9%	8,9%
65 - 70	32747	7413	11,5%	2,6%
70 - 75	21042	425	7,4%	0,1%
>75	2631	0	0,9%	0,0%
ΣΥΝΟΛΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ σε κατοίκους και % αναλογία ανά ζώνη θορύβου =	284.460	284.460	100,0%	100,0%

Πηγή: Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης (2018)



Χάρτης 2.3.: Στρατηγικός Χάρτης θορύβου για την περιοχή της Βόρειας Αθήνας

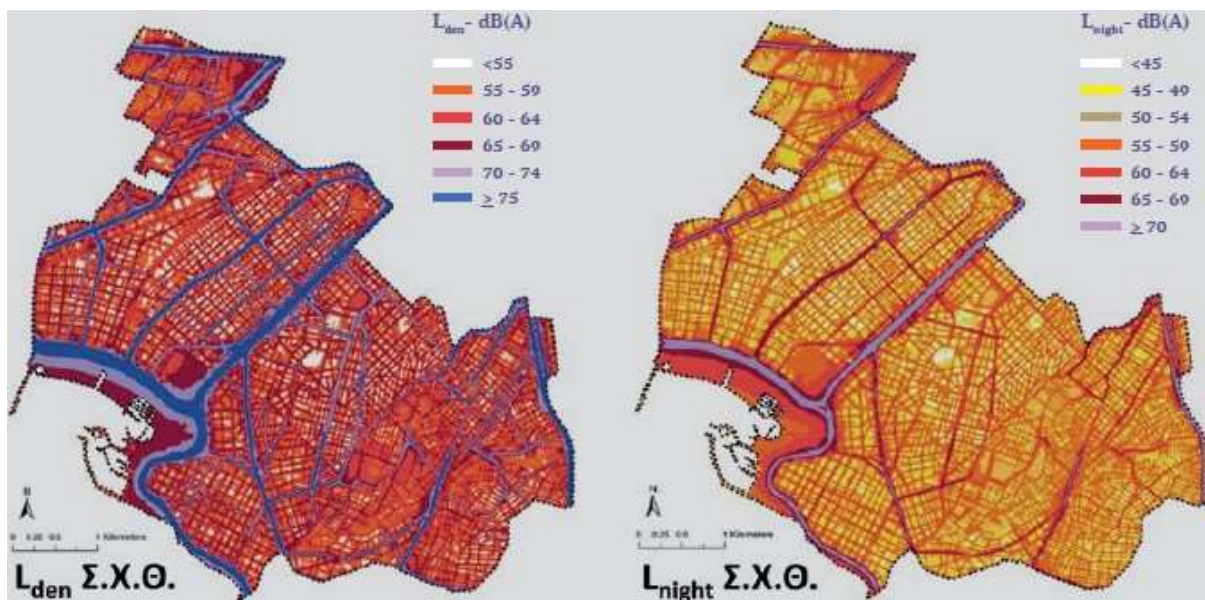
Πηγή: Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης (2018)

Η Νότια Αθήνα παρομοίως εκτίθεται σε χαμηλότερες στάθμες θορύβου από τις κεντρικές περιοχές του Πολεοδομικού Συγκροτήματος. Συγκεκριμένα, ο περισσότερος πληθυσμός (43,3%) εκτίθεται σε ημερήσια επίπεδα από 60 έως 65 dB(A), ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό (67,8) των κατοίκων εκτίθενται σε νυκτερινά επίπεδα μεταξύ 55 και 60 dB(A) (πίν 2.5.). Η χωρική κατανομή του περιβαλλοντικού θορύβου απεικονίζεται στον χάρτη 2.4.

Πίνακας 2.5.: Κατανομή πληθυσμού ανά ζώνη κυκλοφοριακού θορύβου για την περιοχή της Νότιας Αθήνας

Ζώνη οδικού κυκλοφοριακού θορύβου σε dB(A)	Κατανομή Πληθυσμού ανά δείκτη θορύβου (κάτοικοι & %)			
	L _{den}	L _{night}	L _{den}	L _{night}
<45	0	1.550	0,0%	0.4%
45 – 50	227	3.688	0,1%	1,1%
50 – 55	2.748	63.609	0,8%	18,2%
55 – 60	6.600	236.772	1,9%	67,8%
60 – 65	151.278	35.132	43,3%	10,0%
65 – 70	137.580	8.566	34,4%	2,4%
70 – 75	37.176	112	10,6%	0,0%
>75	13836	0	4,0%	0,0%
Σύνολο πληθυσμού σε κατοίκους και % αναλογία ανά ζώνη θορύβου	349.445	349.445	100%	100%

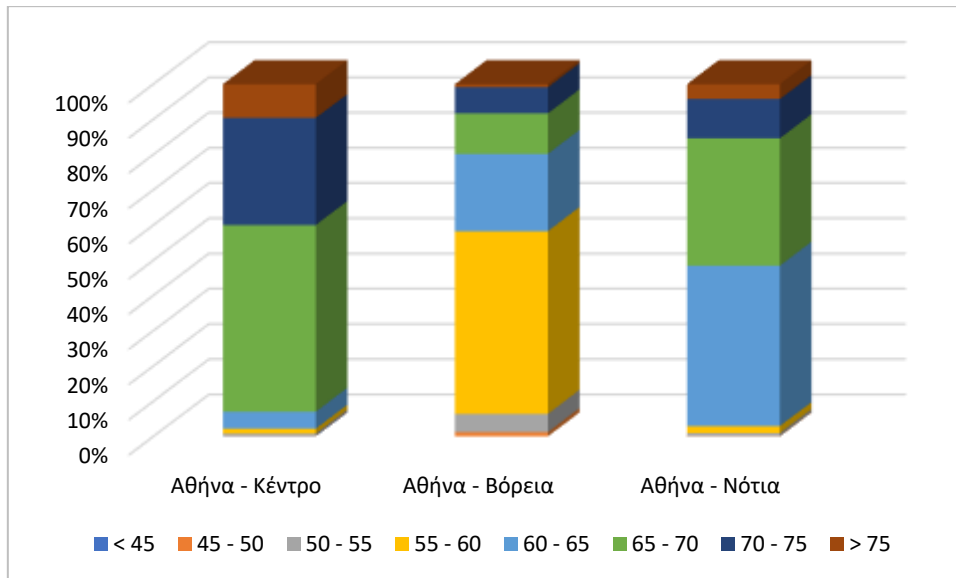
Πηγή: Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης (2018), ίδια επεξεργασία



Χάρτης 2.4.: Στρατηγικός Χάρτης θορύβου για την περιοχή της Νότιας Αθήνας

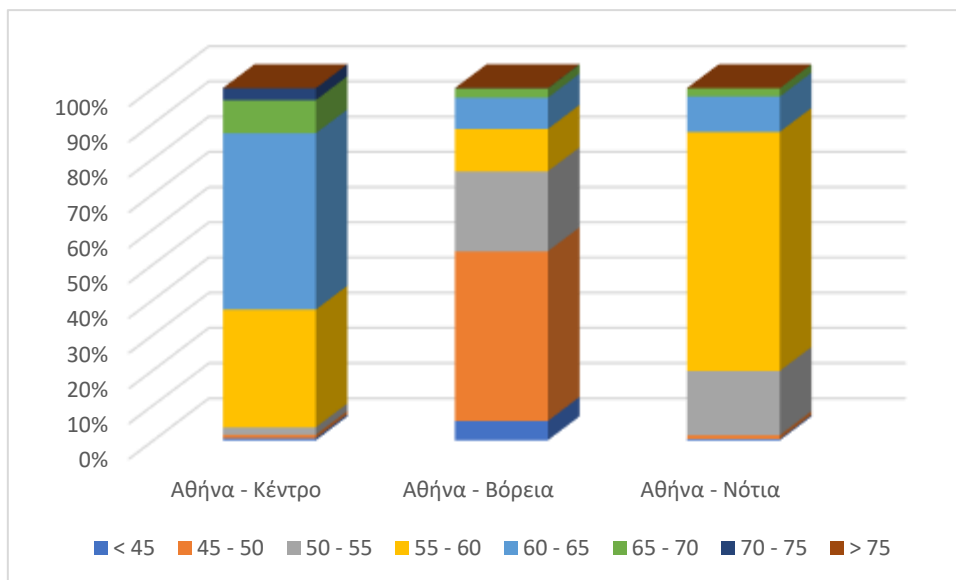
Πηγή: Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης (2018)

Συνοψίζοντας, η ηχορύπανση στο Πολεοδομικό Συγκρότημα της Αθήνας σε όρους πληθυσμού ο οποίος εκτίθεται σε υψηλές στάθμες θορύβου πλήττει κατά πολύ περισσότερο τις κεντρικές από ότι τις βόρειες και τις νότιες περιοχές. Η παραπάνω διαφοροποίηση αποτυπώνεται στα γραφήματα 2.2. και 2.3.



Γράφημα 2.2: Ποσοστά πληθυσμού που εκτίθενται σε ζώνες θορύβου L_{den}

Πηγή: Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης (2018), ίδια επεξεργασία



Γράφημα 2.3: Ποσοστά πληθυσμού που εκτίθενται σε ζώνες θορύβου L_{night}

Πηγή: Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης (2018), ίδια επεξεργασία

3. Ηχοτοπίο

3.1. Ορισμός

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο θόρυβος χαρακτηρίζεται ως περιβαλλοντικό ζήτημα το οποίο επηρεάζει τη δημόσια υγεία. Λόγω των επιπτώσεων του στον άνθρωπο, προέκυψε η ανάγκη αντιμετώπισης του, ειδικά απο την Ευρωπαϊκή Ένωση (Οδηγία 2002/49/ΕΚ). Επομένως, για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι όπως οι επί τόπου μετρήσεις, οι πληθυσμιακές έρευνες και η χαρτογράφηση του θορύβου. Ωστόσο, ο περιβαλλοντικός θόρυβος αποτελεί μονάχα μία πτυχή του ολικού ακουστικού περιβάλλοντος και η εκτίμηση του αποφέρει να μεν χρήσιμες, αλλά περιορισμένες πληροφορίες. Μια διαφορετική προσέγγιση η οποία αναδύθηκε στα τέλη της δεκαετίας του '60, γνωστή και ως η προσέγγιση του ηχοτοπίου (soundscape approach), επικεντρώνεται στην αναγνώριση του συνόλου των προαναφερθέντων πτυχών, συμπεριλαμβανομένου του περιβαλλοντικού θορύβου. Βασική επιδίωξη του συγκεκριμένου κινήματος είναι η εξέταση του ακουστικού περιβάλλοντος και του περιβαλλοντικού θορύβου από μια «θετική» σκοπιά, μέσω της έννοιας του ηχοτοπίου, αφαιρώντας την «αρνητική» χροιά που συνήθως συνοδεύει τον όρο «περιβαλλοντικός θόρυβος» (Rodríguez-Manzo et al., 2015).

Σύμφωνα με τον R.M. Schafer (1993), ο οποίος έδωσε πρώτος τον ορισμό, περιέγραψε το ηχοτοπίο ως το «ηχητικό περιβάλλον με έμφαση στο πως γίνεται αντιληπτό από ένα άτομο ή από την κοινωνία». Ενώ, σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (International Organization for Standardization, 2014) ηχοτοπίο καλείται το *«ηχητικό περιβάλλον όπως έχει αντιληφθεί, βιωθεί ή/και κατανοηθεί από ένα ή πολλά άτομα»*. Επιπλέον, για τους Rijanowski et al. (2011) ηχοτοπίο καλείται η *«συλλογή βιολογικών, γεωφυσικών και ανθρωπογενών ήχων οι οποίοι προέρχονται από ένα τοπίο και τις χωροχρονικές διαφοροποιήσεις που εμφανίζουν, αντικατοπτρίζοντας σημαντικές οικοσυστημικές διαδικασίες και ανθρώπινες δραστηριότητες»*. Η κατανόηση του ηχοτοπίου (soundscape) προσφέρει τη δυνατότητα να εκφραστεί η περίπλοκη ανταπόκριση της τοπικής κοινότητας προς τον περιβαλλοντικό θόρυβο πέραν των δεδομένων τα οποία προέρχονται από τεχνικές μετρήσεις. Επιπροσθέτως, αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο στη διευκόλυνση της συμμετοχής των πολιτών σε διαδικασίες λήψης αποφάσεων σχετικά με το ακουστικό περιβάλλον στο οποίο διαβιώνουν (Schulte-Fortkamp & Jordan 2016).

Κεντρική σε όλες σχεδόν τις χρήσεις του όρου *soundscape* (ηχοτοπίο) είναι η έμφαση στον τρόπο με τον οποίο γίνεται αντιληπτό και κατανοητό το ακουστικό περιβάλλον από το άτομο, από μια ομάδα ή από μια κοινωνία¹⁴. Με αυτόν τον τρόπο η έννοια του ηχοτοπίου ενυπάρχει δια μέσου της ανθρώπινης αντίληψης του ακουστικού περιβάλλοντος ενός τόπου. Ωστόσο, ο συγκεκριμένος όρος έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει και το φυσικό περιβάλλον προτού τεθεί το ζήτημα της αντίληψης (π.χ. «όλες οι κυματομορφές που μεταδίδονται με ακρίβεια στον ακουστικό φλοιό του εγκεφάλου μας» ή «. . . οι μεταβολές του ήχου στο χώρο και στο χρόνο . . . της δομημένης πόλης και των διαφορετικών ηχητικών πηγών της . . .»). Άρα, θα ήταν δόκιμο ο όρος ηχοτοπίο να χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει τόσο το «ακουστικό περιβάλλον»¹⁵ όπως το αντιλαμβάνονται οι άνθρωποι» όσο και τη «συνολική συλλογή των ήχων» - δηλαδή το φυσικό φαινόμενο (Brown et al., 2011).

3.2. Οι συνιστώσες του ηχοτοπίου

Οι συνιστώσες του ηχοτοπίου, σύμφωνα με τον Schafer (1977), βασίζονται στην μοναδικότητα των ήχων, στο κατα πόσο συχνά εμφανίζονται και στο αν είναι κυριαρχικοί ή όχι. Οι ήχοι οι οποίοι απαρτίζουν το ακουστικό περιβάλλον μίας περιοχής (π.χ. πόλη, οικισμός, κοινότητα κ.λπ.) διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: α) *βασικοί ήχοι (keynote sounds)*, β) *αξιοσημείωτοι ήχοι (signals)* και γ) *ήχοι – σημεία αναφοράς (soundmarks)*. Οι βασικοί ήχοι αναφέρονται στους ήχους βάθους (background noise), οι αξιοσημείωτοι αφορούν τους ήχους οι οποίοι ξεχωρίζουν από τους ήχους βάθους και τα «soundmarks» είναι οι ήχοι ιδιαίτερης αξίας¹⁶ (Rodríguez-Manzo et al., 2015).

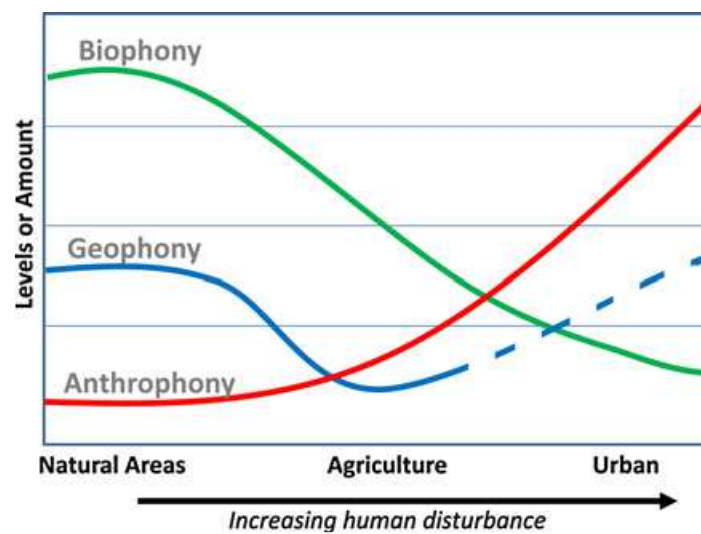
Αξίζει να αναφερθεί ότι η κατηγοριοποίηση των συνιστωσών του ακουστικού περιβάλλοντος δύναται να πραγματοποιηθεί και με έμφαση στις πηγές από τις οποίες προέρχονται οι εκάστοτε ήχοι. Οι Pijanowski et al. (2011) σημειώνουν τις παρακάτω τρεις συνιστώσες: α) τη *γεωφωνία (geophony)*, β) τη *βιοφωνία (biophony)* και γ) την *ανθρωφωνία*

¹⁴ Σε διαφορετικά μέρη και σε διαφορετικά περιβάλλοντα, η προτίμηση ενός ατόμου σε σχέση με το ακουστικό περιβάλλον ενδέχεται να διαφέρει σημαντικά. Το προτιμώμενο αποτέλεσμα θα μπορούσε επίσης να είναι πολυδιάστατο. Για παράδειγμα, το ηχοτοπίο ενός τόπου μπορεί να προτιμάται επειδή είναι γαλήνιο, ήρεμο ή προάγει την ευημερία. Ομοίως, σε διαφορετικό περιβάλλον, ένα ηχοτοπίο μπορεί να προτιμηθεί επειδή είναι ζωντανό, ποικιλόμορφο, ή δημιουργεί την αίσθηση του ενθουσιασμού. Επίσης, η προτίμηση για ένα ηχοτοπίο μπορεί να εδράζεται στο γεγονός ότι παρέχει πληροφορίες, σαφήνεια και ασφάλεια. Ενώ, σε άλλο πλαίσιο, η προτίμηση μπορεί να σχετίζεται με τα μοναδικά πολιτισμικά ή φυσικά χαρακτηριστικά του (π.χ. ένας τόπος με soundmarks) (Brown et al., 2011).

¹⁵ Σύμφωνα με τους Brown et al. (2011) οι επιστήμες οι οποίες άπτονται στο ηχοτοπίο, έχουν ως πεδίο έρευνας το ακουστικό περιβάλλον (ή λιγότερο προτιμότερα το ηχητικό περιβάλλον).

¹⁶ Ανάλογοι ήχοι δεν απαντώνται σε κάθε ακουστικό περιβάλλον και αφού αναγνωριστούν, σκόπιμο θα είναι να διαφυλαχθούν μιας και καθιστούν την ακουστική ζωή ενός τόπου μοναδική.

(*anthrophony*). Βιοφωνία καλείται η συλλογή των ήχων που παράγονται από το σύνολο των ζωϊκών οργανισμούς σε μια τοποθεσία για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Η γεωφωνία αφορά τους ήχους οι οποίοι προέρχονται από το γεωφυσικό περιβάλλον, (π.χ. ο άνεμος, το νερό, οι βροντές, η κίνηση της γης κ.λπ.). Η ανθρωπωνία παράγεται από στατικά (π.χ. μονάδες κλιματισμού) και κινούμενα (π.χ. οχήματα) αντικείμενα τα οποία έχουν κατασκευαστεί από τον άνθρωπο. Όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1., όσο η ανθρώπινη δραστηριότητα εντείνεται, τόσο αυξάνονται οι ανθρωπογενείς ήχοι, σε αντίθεση με τους βιολογικούς ήχους οι οποίοι μειώνονται.



Εικόνα 3.1.: Εννοιολογικό μοντέλο της διακύμανσης των συνιστωσών του ηχοτοπίου με βάση την ένταση της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η διακεκομμένη γραμμή αντιπροσωπεύει ένα πιθανό υπάρχον μοτίβο

Πηγή: Pijanowski et al., 2011

3.3. Η προσέγγιση του ηχοτοπίου (Soundscape Approach)

Στις μέρες μας, οι μελέτες οι οποίες έχουν ως αντικείμενο την ηχορύπανση υιοθετούν ολοένα και περισσότερο μια ολιστική προσέγγιση όπως εκείνη του ηχοτοπίου (Soundscape Approach). Η προσέγγιση αυτή συνδυάζει αντιληπτικές και φυσικές αξιολογήσεις έχοντας ως απώτερο σκοπό την καθολική μελέτη του ακουστικού περιβάλλοντος (Schulte-Fortkamp & Jordan 2016).

Η διερεύνηση του ηχοτοπίου είναι αντικείμενο μίας σειράς κλάδων, όπως η ακουστική, η ψυχοακουστική, η ψυχολογία, η κοινωνιολογία, η αρχιτεκτονική, η γεωγραφία, ο

πολεοδομικός σχεδιασμός, η μηχανική, η μουσική, η ηχητική τέχνη, η ανθρωπολογία κ.α. Οι παραπάνω επιστήμες εμπλέκονται στη αντίληψη, την εκτίμηση, την αποτίμηση και το σχεδιασμό ενός ηχητικού τοπίου. Λόγω αυτού, έχουν υιοθετηθεί διάφορες μεθοδολογικές προσεγγίσεις, συμπεριλαμβανομένων τόσο ποσοτικών όσο και ποιοτικών προσεγγίσεων, οι οποίες αποσκοπούν στον προσδιορισμό των αντικειμενικών και υποκειμενικών διαστάσεων των ηχητικών τοπίων αλλά και των αντιλήψεων που τα πλαισιώνουν¹⁷. Βασικό πλεονέκτημα της ανωτέρω έρευνας αποτελεί η εστίαση τόσο στις αρνητικές πτυχές του ακουστικού περιβάλλοντος, όπως ο θόρυβος, όσο και στις θετικές και συνεπώς συνδέεται στενά με την έρευνα της ποιότητας του ήχου (Adams et al., 2009). Ωστόσο, κρίνεται σκόπιμο να τονιστεί ότι η προσέγγιση του ηχοτοπίου είναι συμπληρωματική με εκείνη του ελέγχου της ηχορύπανσης. Για περιβάλλοντα στα οποία ο θόρυβος κυμαίνεται σε εξαιρετικά υψηλά επίπεδα, ο έλεγχος του θορύβου θα πρέπει να είναι η πρώτη και πιο σημαντική δράση που θα πρέπει να ληφθεί (De Coensel et al., 2010).

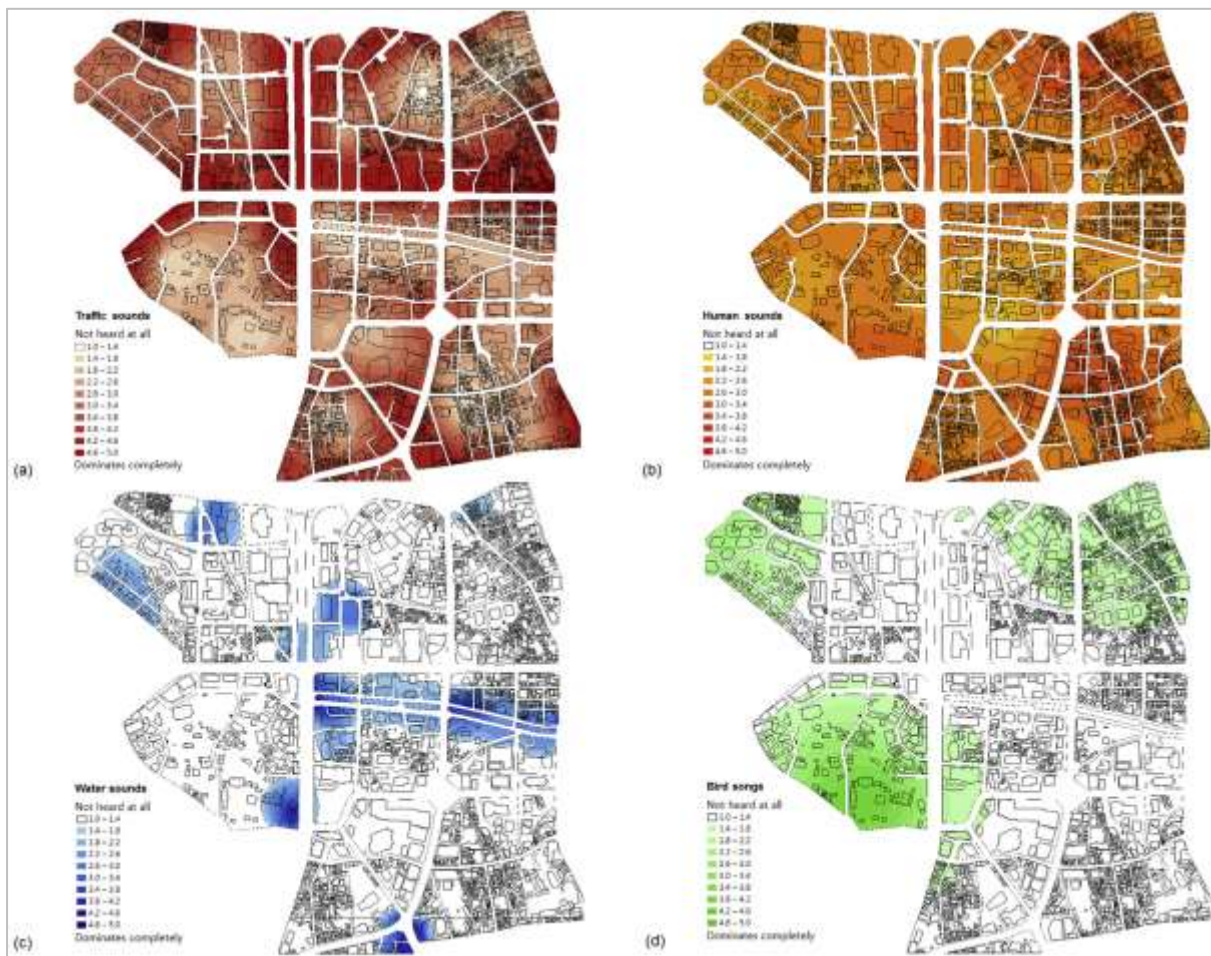
Τα εργαλεία αξιολόγησης του περιβαλλοντικού θορύβου και του ηχοτοπίου είναι παρόμοια και δύναται να εφαρμοστούν σε αμφότερες τις προσεγγίσεις. Οι κύριες πρακτικές οι οποίες χρησιμοποιούνται έχουν ως εξής: α) ακουστικές μετρήσεις, β) έρευνες που εφαρμόζονται στον πληθυσμό γ) χάρτες θορύβου δ) ηχογραφήσεις ε) βιντεοσκοπήσεις και στ) χρήση εφαρμογών σε κινητές συσκευές (π.χ. smartphones). Κάθε ένα από αυτά τα εργαλεία δύναται να συνεισφέρει σημαντικά στην καταγραφή και κατανόηση του ακουστικού περιβάλλοντος ως σύνολο (Rodríguez-Manzo et al., 2015).

3.4. Χάρτες ηχοτοπίου

Οι χάρτες ηχοτοπίου, οι οποίοι είναι ανάλογοι των χαρτών τοπίου, αποτελούν την οπτικοποίηση των πληροφοριών που παρουσιάζει το μοτίβο του ηχοτοπίου μιας δεδομένης περιοχής (Liu et al., 2013). Οι μελέτες οι οποίες έχουν ως επίκεντρο τους χάρτες ηχοτοπίου συνοψίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: α) τους χάρτες ηχητικών πηγών (εικ. 3.2.), β) τους ψυχοακουστικούς χάρτες (εικ. 3.3.) και γ) τους χάρτες αντίληψης της ποιότητας του ακουστικού περιβάλλοντος (εικ. 3.4). Οι χάρτες ηχητικών πηγών λαμβάνουν υπόψη τις

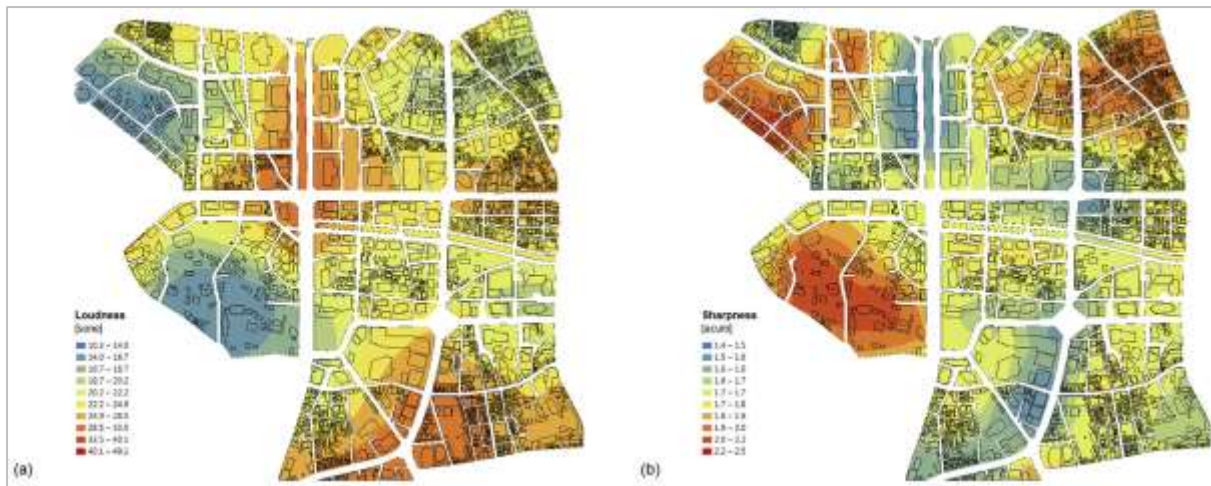
¹⁷ Διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι σε διαφορετικά ακουστικά περιβάλλοντα, οι περιγραφές και οι τιμές στις πηγές ήχου αποδίδονται με ανομοιομορφο τρόπο. Για για παράδειγμα, η ίδια πηγή ήχου μπορεί να ερμηνευτεί αρκετά διαφορετικά [(ήχος βάθους (background) σε ένα μέρος και ήχος «foreword» σε κάποιο άλλο) καθώς και επίσης ενδέχεται να λάβει άκρως αντίθετες τιμές (ενοχλητική σε έναν τόπο και αποδεκτή σε κάποιον άλλο)]. Η συγκεκριμένη διαφορά απορρέει από το γεγονός ότι σε πολλές έρευνες η παρουσία και η φύση των ηχητικών πηγών εμπλέκεται με τις εκάστοτε ανθρώπινες αξίες οι οποίες σχετίζονται με συγκεκριμένους ήχους σε συγκεκριμένες τοποθεσίες (Brown et al., 2011).

αρνητικές πηγές, όπως είναι ο θόρυβος, αλλά και εκείνες οι οποίες συνεισφέρουν θετικά στο περιβάλλον. Οι ψυχοακουστικοί χάρτες απεικονίζουν την χωρική κατανομή των ψυχοακουστικών παραμέτρων όπως η ένταση (loudness), η ευκρίνεια (sharpness) και η τραχύτητα (roughness) και παρέχουν περισσότερες πληροφορίες όσον αφορά την ποιότητα του ήχου από ότι οι χάρτες θορύβου. Η χαρτογράφηση ποιότητας του ηχοτοπίου που περιγράφει την υποκειμενική αντίληψη των ανθρώπων και πρόκειται για ένα εργαλείο ιδιαίτερα χρήσιμο όσον αφορά το σχεδιασμό του ηχοτοπίου (Hong & Jeon, 2017).



Εικόνα 3.2.: Χάρτες αντίληψης της ποιότητας των ηχητικών πηγών [(α) κυκλοφοριακή κίνηση, (β), ήχοι οι οποίοι προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες, (γ) υδάτινοι ήχοι και (δ) τιτίβισμα πουλιών] για τη βόρεια Σεούλ

Πηγή: Hong & Jeon, 2017



Εικόνα 3.3.: Χωρική κατανομή ψυχοακουστικών παραμέτρων [(α) έντασης και (β) ευκρίνειας] για τη βόρεια Σεούλ

Πηγή: Hong & Jeon, 2017



Εικόνα 3.4.: Χωρική κατανομή της αντιληπτικής ποιότητας του ηχοτοπίου της βόρειας Σεούλ

Πηγή: Hong & Jeon, 2017

4. Μεθοδολογία

4.1. Γενική περιγραφή της μεθοδολογίας

Όσον αφορά την εκτίμηση και αξιολόγηση του αστικού ακουστικού περιβάλλοντος, έχουν προταθεί διάφορες μεθοδολογίες. Αρκετές μελέτες βασίζονται στην απλή χωρική κατανομή των επιπέδων θορύβου (βλ. Fiedler & Zannin, 2015 και Vogiatzis, 2012), ορισμένες εισάγουν την μεταβλητή του χρόνου στις μετρήσεις τους (βλ. Mehdi et al., 2011), άλλες στηρίζονται στον πληθοπορισμό (crowdsourcing) και σε εφαρμογές καταγραφής επιπέδων ηχορύπανσης οι οποίες απαντώνται στα σύγχρονες κινητές συσκευές (smartphones) (βλ. D'Hondt et al., 2013 και Guillaume et al., 2016), ενώ υπάρχουν και μελέτες οι οποίες χρησιμοποιούν την προσέγγιση του ηχοτοπίου (βλ. Rodríguez-Manzo et al., 2015 και Liu, et al., 2013). Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η υιοθέτηση μίας ολιστικής προσέγγισης συνδυάζοντας τις μετρήσεις των επιπέδων θορύβου (και την χωρική τους κατανομή) με την προσέγγιση του ηχοτοπίου (βλ. Schulte-Fortkamp & Jordan, 2016, Vogiatzis & Remy, 2017, Aletta & Kang, 2015) στοχεύοντας σε ένα αποτέλεσμα το οποίο παρέχει μία ευρεία εικόνα για το ακουστικό περιβάλλον της υπό έρευνα περιοχής.

Η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε για την εκπόνηση τη παρούσας μελέτης επηρεάστηκε σε σημαντικό βαθμό από την εργασία των Margaritis & Kang (2017). Βασικές εισροές αποτελούν οι μετρήσεις επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου και οι καταγραφές αντιληπτικών πληροφοριών ηχοτοπίου σε επιλεγμένα δειγματοληπτικά σημεία. Μέσω των δεδομένων αυτών και της μεθόδου της χωρικής παρεμβολής (π.χ. IDW, Kriging, Spline κλπ) υπολογίστηκαν οι τιμές για τα σημεία τα οποία δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις. Τα τελικά αποτελέσματα είναι τρεις χάρτες επιπέδων ηχορύπανσης (δείκτες $L_{Aeq,30\text{ sec}}$, L_{10} και L_{90}) και τρεις χάρτες ηχοτοπίου οι οποίοι αποτυπώνουν το πως αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο αυτί την παρουσία των ήχων. Οι ήχοι αυτοί χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την πηγή (ανθρώπινη, φυσική και τεχνολογική) από την οποία προέρχονται. Παράλληλα, μέσω της διενέργειας Γεωγραφικά Σταθμισμένων Παλινδρομήσεων επιχειρήθηκε η εκτίμηση του κατά πόσο η διασπορά των στάθμεων περιβαλλοντικού θορύβου δύναται να εξηγηθεί από τη χωρική κατανομή των δεδομένων ηχοτοπίου και χρησιμοποιώντας το εργαλείο της χαρτογραφικής υπέρθεσης (overlay) πραγματοποιήθηκε μία απόπειρα οπτικοποίησης του επικρατούντος ηχοτοπίου της περιοχής.

Σε πρώτη φάση καθορίστηκαν τα όρια περιοχής η οποία θα μελετηθεί. Επόμενο βήμα ήταν ο τρόπος με τον οποίο θα συλλεχθούν τα (φυσικά και αντιληπτικά) δεδομένα. Στη συνέχεια, ορίστηκε η χωρική κλίμακα και η χρονική περίοδος κατά την οποία θα πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις και οι καταγραφές αντίληψης. Έπειτα, επιλέχθηκε η μέθοδος χωρικής παρεμβολής η οποία θα χρησιμοποιηθεί και τελευταίο βήμα αποτελεί η οπτικοποίηση και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

4.2. Γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο

Σε πρώτο στάδιο κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ένα γενικό πλαίσιο των μεθοδολογικών προσεγγίσεων πάνω στις οποίες θα μπορούσε να βασιστεί μία έρευνα η οποία κατά κύριο λόγο έχει περιγράψει και να αξιολογεί το ακουστικό περιβάλλον μίας περιοχής και υιοθετεί παράλληλα την προσέγγιση του ηχοτοπίου.

4.2.1 Στρατηγική δειγματοληψίας

Η δειγματοληπτική μέθοδος και τα σημεία μέτρησης θα πρέπει να επιλεγθούν ανάλογα με την γεωμετρία της υπό έρευνα περιοχής. Τόσο το μέγεθος του δείγματος όσο και η θέση (πυκνότητα) των σημείων δειγματοληψίας διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην τέλεση μιας αποτελεσματικής χωρικής παρεμβολής και κατά συνέπεια στην κατασκευή ενός χάρτη θορύβου ή/και ηχοτοπίου. Όταν η συλλογή δεδομένων βασίζεται στους ακουστικούς περιπάτους (soundwalks), εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές δειγματοληψίας περιλαμβάνοντας τις πιθανολογικές (π.χ. τυχαία, συστηματική, στρωματοποιημένη ή κατά συστάδες δειγματοληψία) και τις μη πιθανολογικές ή αλλιώς επιλεκτικές μεθόδους (π.χ. κατευθυνόμενη, κριτική και δειγματοληψία ποικιλομορφίας). Ειδικότερα, η δειγματοληψία ποικιλομορφίας (diversity sampling) χρησιμοποιείται όταν είναι απαραίτητη η απεικόνιση ενός ευρέος φάσματος τιμών. Για τους a priori σχεδιασμένους ακουστικούς περιπάτους, οι μέθοδοι συστηματικής δειγματοληψίας επιβάλλουν ένα όριο στις ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των σημείων, ωστόσο, παρουσιάζουν μεγαλύτερη ακρίβεια από τις τυχαίες μεθόδους δειγματοληψίας. Οι τελευταίες, παρέχουν καλύτερη εκπροσώπηση της μεταβλητότητας, αλλά λιγότερο αντιπροσωπευτικές επιφάνειες όσον αφορά το ηχοτοπίο. Από την άλλη πλευρά, η δειγματοληψία ποικιλομορφίας χρησιμεύει όταν υπάρχει καλή γνώση για την περιοχή και

απαντώνται διάφορες αστικές τυπολογίες ή στοιχεία του ακουστικού περιβάλλοντος (Margaritis & Kang, 2017).

4.2.2. Συλλογή δεδομένων – η μέθοδος Soundwalk

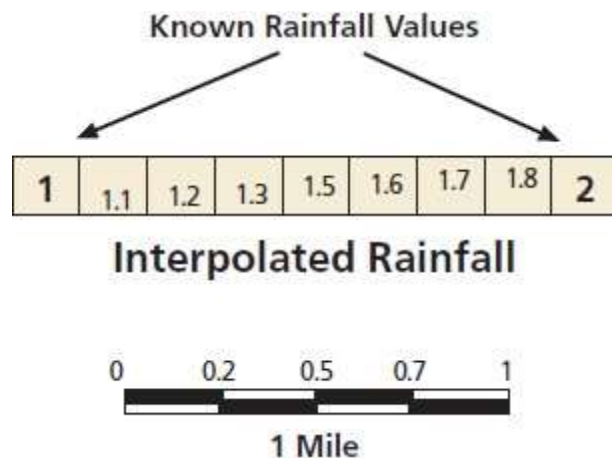
Μία κοινή μέθοδος για την αξιολόγηση των εξωτερικών ηχοτοπίων (outdoor soundscapes) είναι η διενέργεια ενός ακουστικού περιπάτου. Οι συστηματικοί ακουστικοί περίπατοι παρέχουν πλεονεκτήματα τόσο στην ποσοτική, όσο και στην ποιοτική αξιολόγηση των ηχοτοπίων ως πολυδιάστατων βιωμάτων. Η συγκεκριμένη προσέγγιση παρέχει υποκειμενικές αλλά και αντικειμενικές μετρήσεις, επομένως, οι πρόσφατες μελέτες ηχοτοπίου έχουν χρησιμοποιήσει ακουστικούς περιπάτους ως εργαλεία ερμηνείας και αξιολόγησης του ακουστικού περιβάλλοντος.

Οι ακουστικοί περίπατοι αναπτύχθηκαν κατά τη δεκαετία του 1970 από τους πρωτοπόρους (π.χ. Schafer και Westerkamp) της έρευνας του ηχοτοπίου. Στις μελέτες των ανωτέρω, τονίστηκε η πρακτική της ακρόασης ως μέσο κατανόησης του ακουστικού περιβάλλοντος, και προτάθηκε η μεθοδολογία του ακουστικού περιπάτου ως ανάλογη πρακτική. Επομένως, οι αρχικοί περίπατοι επικεντρώθηκαν κυρίως στην εκπαίδευση για τον επανεντοπισμό της αίσθησης της ακοής η οποία συμβάλλει στην αντίληψη και αποτίμηση του ακουστικού τοπίου. Ύστερα από τις αρχικές μελέτες, διάφοροι ερευνητές άρχισαν να χρησιμοποιούν μεθοδολογίες που βασίζονται σε ακουστικούς περιπάτους ως εργαλεία διερεύνησης των ηχοτοπίων. Ωστόσο, οι λεπτομέρειες των συγκεκριμένων διαδικασιών ποικίλλουν ανάλογα με τον σκοπό της εκάστοτε μελέτης (Yong Jeon et al., 2013).

Οι προαναφερθείσες μεθοδολογίες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη διαφοροποιείται ανάλογα με την περίοδο της λήψης (πριν ή κατά τη διάρκεια) των μετρήσεων. Η δεύτερη διακρίνει τους ακουστικούς περιπάτους με βάση τη διαδικασία συλλογής των δεδομένων από τους συμμετέχοντες, η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε σε ομάδες ή μεμονωμένα. Αμφότερες οι προσεγγίσεις παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Αναφορικά με τη δεύτερη κατηγοριοποίηση, οι ομαδικοί περίπατοι συνήθως περιλαμβάνουν λιγιστά σημεία με βάση μία τοποθεσία – σημείο αναφοράς (landmark), ωστόσο, τα αποτελέσματα είναι πιο ακριβή σε σύγκριση με τους ατομικούς. Από την άλλη πλευρά, οι ατομικοί αποφέρουν μεγαλύτερο αριθμό σημείων δειγματοληψίας, εντούτοις, δύναται να οδηγήσουν σε αποτελέσματα τα οποία συνοδεύονται από υψηλή μεροληψία όταν οι τοποθεσίες επιλέγονται με αυθαίρετο τρόπο.

4.2.3. Εργαλεία χωρικής παρεμβολής

Η χαρτογράφηση του ηχοτοπίου εξαρτάται από τη χρήση των εργαλείων χωρικής παρεμβολής. Η διαδικασία της παρεμβολής χρησιμοποιείται για να υπολογιστούν οι τιμές εκείνων των κελιών που βρίσκονται σε τοποθεσίες στις οποίες δεν έχουν ληφθεί δειγματοληπτικές μετρήσεις. Η συγκεκριμένη προσέγγιση βασίζεται στην αρχή της χωρικής αυτοσυσχέτισης (ή εξάρτησης), η οποία μετρά το βαθμό συσχέτισης/εξάρτησης μεταξύ κοντινών και απομακρυσμένων αντικειμένων (εικ. 4.1.). Η χωρική αυτοσυσχέτιση προσδιορίζει εάν οι τιμές αλληλοσχετίζονται. Η συσχέτιση αυτή μετρά τα εξής: α) την ομοιότητα των αντικειμένων μίας περιοχής, β) το βαθμό στον οποίο ένα χωρικό φαινόμενο συχετίζεται με τον εαυτό του στο χώρο, γ) το βαθμό της αλληλεξάρτησης μεταξύ των μεταβλητών και δ) τη φύση και την ισχύ της αλληλεξάρτησης (Childs, 2004).



Εικόνα 4.1.: Η διαδικασία της χωρικής παρεμβολής

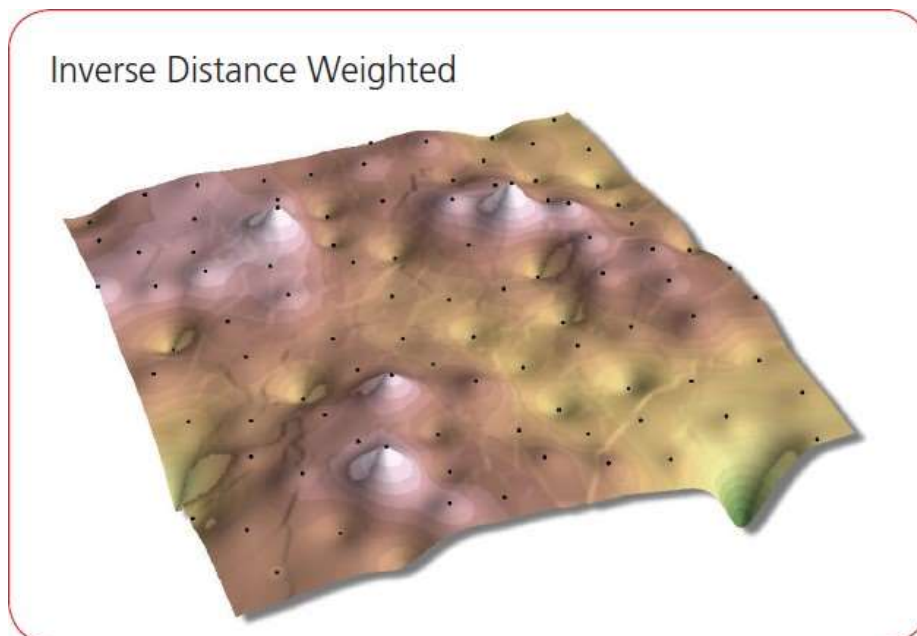
Πηγή: Childs, 2004

Υπάρχουν διάφορα εργαλεία παρεμβολής τα οποία βρίσκονται σε λογισμικά όπως το ArcGIS και το QGIS και χρησιμοποιούνται ανάλογα με τη φύση των φαινομένων τα οποία ερευνώνται. Αξίζει να αναφερθεί ότι σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις, η εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων παρεμβολής θα παράγει διαφορετικά αποτελέσματα. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος κανόνας για την χαρτογράφηση του ηχοτοπίου, προηγούμενες μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει αλγόριθμους όπως: α) η μέθοδος Kriging, β) η μέθοδος της Αντίστροφης Σταθμισμένης Απόστασης (Inverse Distance Weighted ή IDW) και γ) η μέθοδος Spline (Margaritis & Kang, 2017).

Η Kriging ανήκει στις γεωστατιστικές χαρτογραφικές μεθόδους, ενώ η IDW και η Spline στην ομάδα των μη γεωστατιστικών (ή ντετερμινιστικών) μεθόδων παρεμβολής. Οι ντετερμινιστικές τεχνικές δημιουργούν επιφάνειες βασιζόμενες σε μετρούμενα σημεία ή μαθηματικούς αλγόριθμους και οι γεωστατιστικές βασίζονται σε στατιστικά, ενώ παράλληλα περιλαμβάνουν δείκτες οι οποίοι μετρούν την ακρίβεια των προβλέψεων και χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση πιο προηγμένων επιφανειών πρόβλεψης.

Η μέθοδος της Αντίστροφης Σταθμισμένης Απόστασης (IDW)

Η IDW παρουσιάζει χρησιμότητα όταν υφίσταται ένα αρχικό πυκνό σύνολο σημείων, μιας και δύναται να συλλάβει τις τοπικές επιφανειακές διακυμάνσεις. Η συγκεκριμένη μέθοδος προσδιορίζει τις τιμές των κελιών χρησιμοποιώντας έναν γραμμικά-σταθμισμένο συνδυασμό σημείων δειγματοληψίας. Το βάρος το οποίο δίνεται είναι συνάρτηση της απόστασης του σημείου εισροής από την τοποθεσία του κελιού εκροής. Όσο αυξάνεται η απόσταση, τόσο λιγότερο επηρεάζει η τιμή μέτρησης την τιμή πρόβλεψης.

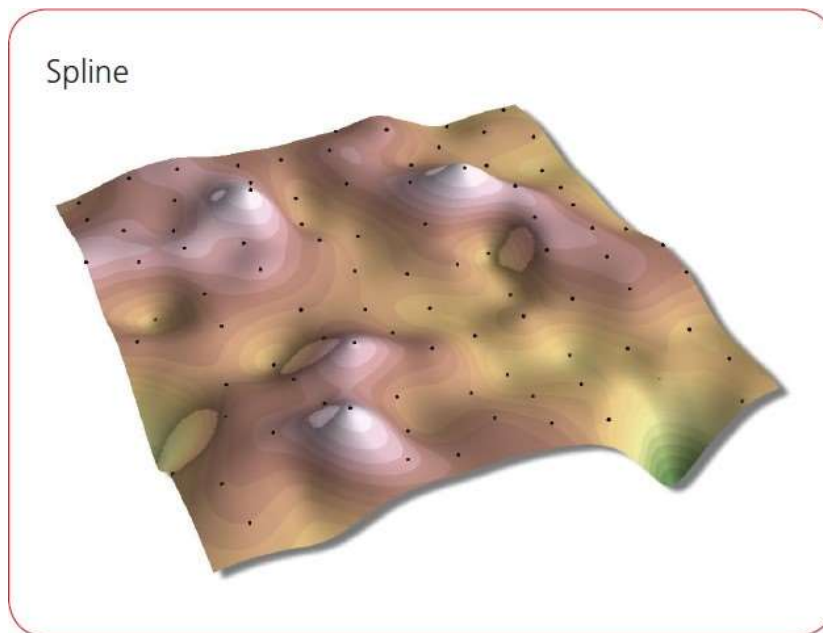


Εικόνα 4.2.: Η μέθοδος της Σταθμισμένης Αντίστροφης Απόστασης (IDW)

Πηγή: Childs, 2004

Η μέθοδος Spline

Η μέθοδος Spline υπολογίζει τις τιμές χρησιμοποιώντας μία μαθηματική συνάρτηση η οποία ελαχιστοποιεί τη συνολική καμπυλότητα της επιφάνειας έχοντας ως αποτέλεσμα μία παραγόμενη επιφάνεια χωρίς έντονες εξάρσεις η οποία διέρχεται από τα σημεία δειγματοληψίας (εικ. 4.5.). Η συγκεκριμένη τεχνική μπορεί να προβλέψει κορυφές και εσοχές στα δεδομένα και κρίνεται ως η βέλτιστη μέθοδος για την ομαλή αναπαράσταση φαινομένων όπως η θερμοκρασία.



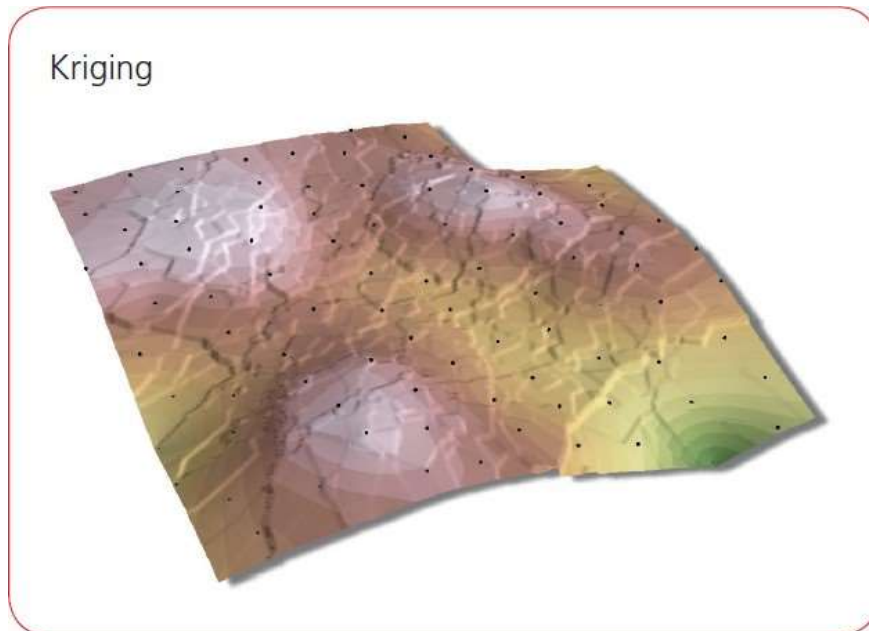
Εικόνα 4.3.: Η μέθοδος Spline

Πηγή: Childs, 2004

Η μέθοδος Kriging

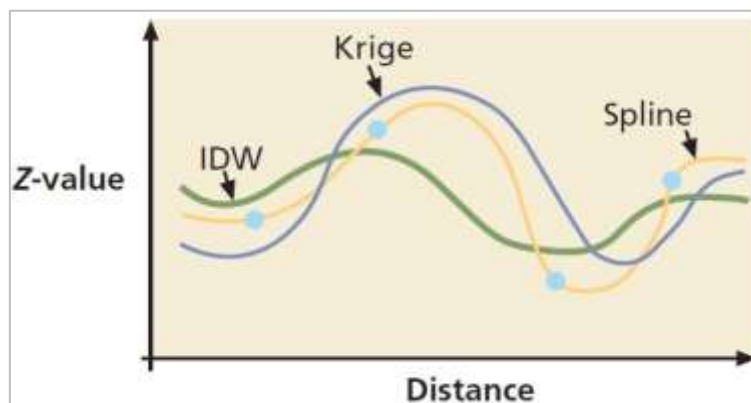
Η Kriging αποτελεί μίαν αποτελεσματική μέθοδο χωρικής παρεμβολής η οποία χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση φαινομένων τα οποία άπτονται σε διάφορους κλάδους όπως οι επιστήμες υγείας, η γεωχημεία και η ρύπανση του περιβάλλοντος. Η συγκεκριμένη τεχνική, η οποία κατάσκευάστηκε αρχικά για σκοπούς εξόρυξης, θεωρεί ότι η απόσταση ή η διεύθυνση μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας αντανακλά σε μία χωρική αυτοσυσχέτιση που δύναται να αξιοποιηθεί για την εξήγηση των επιφανειακών διακυμάνσεων. Η μέθοδος Kriging εφαρμόζει μία συνάρτηση σε ένα συγκεκριμένο σύνολο σημείων ή σε όλα τα σημεία τα οποία βρίσκονται εντός μίας ορισμένης ακτίνας έχοντας ως αποτέλεσμα τον προσδιορισμό των

τιμών-εκροών για κάθε κελί. Οι προβλεπόμενες τιμές παράγονται από τη μέτρηση συσχέτισης μεταξύ των εισροών εκχωρώντας τα απαραίτητα βάρη κάνοντας χρήση μίας εξεζητημένης τεχνικής. Οι παραγόμενες τιμές των κελιών ενδέχεται να ξεπεράσουν τις αρχικές (δειγματοληπτικές) τιμές και η επιφάνεια δεν διαπερνά από αυτές (εικ. 4.5.) (Childs, 2004).



Εικόνα 4.4.: Η μέθοδος Kriging

Πηγή: Childs, 2004



Εικόνα 4.5.: Η θέση των παραγόμενων τιμών σε σχέση με τις αρχικές

Πηγή: Childs, 2004

Τα κύρια πλεονεκτήματα της Kriging σε σύγκριση με τις δύο τελευταίες είναι η χρήση του ημιβαριογραφήματος, το οποίο μετρά την ισχύ της στατιστικής συσχέτισης ως συνάρτηση της απόστασης και επίσης παρέχει μία εκτίμηση της αβεβαιότητας. Το ημιβαριόγραμμα παρέχει

το επίπεδο της χωρικής εξομάλυνσης στις προβλεπόμενες τιμές με βάση τις πραγματικές μετρήσεις και η αβεβαιότητα δίνεται για τις προβλεπόμενες τιμές λαμβάνοντας υπόψη την χωρική αυτοσυσχέτιση.

Παρά τις διαφορές τους, τα εργαλεία χωρικής παρεμβολής, σε γενικές γραμμές ακολουθούν ορισμένους γενικούς κανόνες όσον αφορά το προτιμώμενο αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, η IDW χρησιμεύει όταν υπάρχει μεγάλη πυκνότητα στα σημεία, ενώ η Spline παράγει ομαλές επιφάνειες. Η IDW και η Kriging δύναται να αναγνωρίσουν τις «ζεστές» και τις «κρύες» περιοχές, ωστόσο, η IDW είναι πιο ντετερμινιστική μέθοδος και είναι πιο πιθανό να παράγει “bull’s-eyes”. Η Kriging, αντιθέτως, υιοθετεί μία σταθερή και στοχαστική προσέγγιση παρέχοντας στον χρήστη περισσότερες επιλογές κατά τον έλεγχο του τελικού αποτελέσματος.

4.2.4. Εκτίμηση της χαρτογραφικής ακρίβειας

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της παρεμβολής και η συμπεριφορά του μοντέλου στις μη μετρούμενες τοποθεσίες δύναται να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας τη διαδικασία επικύρωσης (validation) ή διασταυρούμενης επικύρωσης (cross-validation). Αμφότερες οι διαδικασίες λειτουργούν υπό το παρακάτω σκεπτικό: αφαιρούνται διαδοχικά ένα ή περισσότερα σημεία και προβλέπονται οι αντίστοιχες τιμές χρησιμοποιώντας τις λοιπές καταχωρήσεις. Η συγκεκριμένη μέθοδος δύναται να αξιολογήσει την ποιότητα του μοντέλου και παράλληλα να συγκρίνει διαφορετικά μοντέλα μέχρι να καταλήξει στο βέλτιστο, το οποίο παρουσιάζει την καλύτερη ταύτιση με τα διαγνωστικά κριτήρια σφάλματος (error diagnostic criteria). Ο βαθμός της μεροληψίας και της αβεβαιότητας, ο οποίος καθιστά μια πρόβλεψη επιτυχή ή μη, αξιολογείται αυτόματα με τη διαδικασία διασταυρούμενης επικύρωσης χρησιμοποιώντας το εργαλείο Geostatistical Wizard που βρίσκεται στο λογισμικό ArcMap 10.4. Οι προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται και στις δύο περιπτώσεις παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4.1.: Διαγνωστικά κριτήρια σφάλματος κατά τη διαδικασία της διασταυρούμενης επικύρωσης (μέθοδος Kriging)

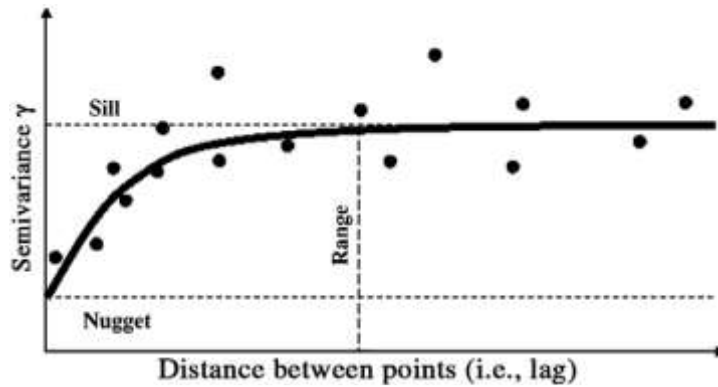
Prediction errors	Optimisation target
<i>Bias assessment</i>	
Mean Prediction Error (MPE)	MPE → 0
Mean Standardised Error (MSE)	MSE → 0
Root Mean Squared Prediction Error (RMSPE)	RMSPE → min
<i>Uncertainty assessment</i>	
Average Standard Error (ASE)	ASE ≈ RMSPE
Root Mean Square Standardised Error (RMSSE)	RMSSE = 1

Πηγή: Margaritis & Kang, 2017

Στην πρώτη περίπτωση, η εκτίμηση της μεροληψίας προσδιορίζει το πόσο κοντά είναι οι προβλεπόμενες με τις πραγματικές τιμές. Σε αμερόληπτα μοντέλα το Μέσο Σφάλμα Πρόβλεψης (Mean Prediction Error ή MPE) και το Μέσο Τυπικό Σφάλμα (Mean Standardised Error ή MSE) θα πρέπει να είναι πολύ κοντά στο μηδέν, ενώ το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα Πρόβλεψης (Root Mean Squared Prediction Error ή RMSPE) ιδανικό θα είναι να ελαχιστοποιείται. Στη δεύτερη περίπτωση, η εκτίμηση της αβεβαιότητας μετρά τα τυπικά σφάλματα πρόβλεψης έχοντας ως απώτερο σκοπό την εκτίμηση της σωστής μεταβλητότητας. Όταν το Τυπικό Σφάλμα Μέσου όρου (Average Standard Error ή ASE) εμφανίζει τιμές πολύ κοντινες με εκείνες του με το RMSPE, τότε η μεταβλητότητα έχει αξιολογηθεί σωστά. Σε διαφορετικές περιπτώσεις είτε υποτιμάται ($ASE < RMSPE$) είτε υπερεκτιμάται ($ASE > RMSPE$). Επιπλέον, ισοδύναμες τιμές στους παραπάνω δείκτες σφάλματος επιφέρουν βέλτιστες τιμές κοντά στο «1» για το Μέσο Τυπικό Τετραγωνικό Σφάλμα (Root Mean Squared Standardised Error ή RMSSE) (πιν. 4.1.).

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να αναφερθεί ο ρόλος του ημιβαριόγραμματος στη διαδικασία της διασταυρούμενης επικύρωσης. Το ημιβαριόγραμμα, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.6., παρέχει μία γραφική αναπαράσταση της χωρικής συσχέτισης των σημείων με τα γειτονικά τους. Οι αποστάσεις μεταξύ των ζευγών σημείων τις οποίες υπολογίζει το ημιβαριόγραμμα ονομάζονται υστερήσεις (lags). Επομένως, η έκταση η οποία λάμβάνει η υστέρηση είναι η μέγιστη απόσταση στην οποία τα ζεύγη σημείων ομαδοποιούνται προκειμένου να μειωθεί ο μεγάλος αριθμός των πιθανών συνδυασμών (Margaritis & Kang, 2017). Το μοντέλο του ημιβαριόγραμματος χαρακτηρίζεται από τα εξής: α) το ψήγμα (nugget) το οποίο αντιπροσωπεύει τη μεταβλητότητα σε χωρικά διαστήματα μικρότερα από την ελάχιστη

απόσταση μεταξύ των σημείων συμπεριλαμβανομένου ενός μικρού τμήματος του σφάλματος το οποίο απεικονίζεται στον άξονα y , β) το εύρος (range) το οποίο εκπροσωπεί την απόσταση στην οποία δύο παρατηρήσεις δεν συσχετίζονται χωρικά και γ) το κατώφλι (sill) το οποίο αντιπροσωπεύει τη μέγιστη διακύμανση της μεταβλητής (Karl & Maurer, 2010).



Εικόνα 4.6.: Τυπικό παράδειγμα ημιβαριογράμματος με τις βασικές συνιστώσες (ψήγμα, εύρος και κατώφλι).

Πηγή: Karl & Maurer, 2010

4.3. Μοντέλο ανάπτυξης χαρτών θορύβου και ηχοτοπίου

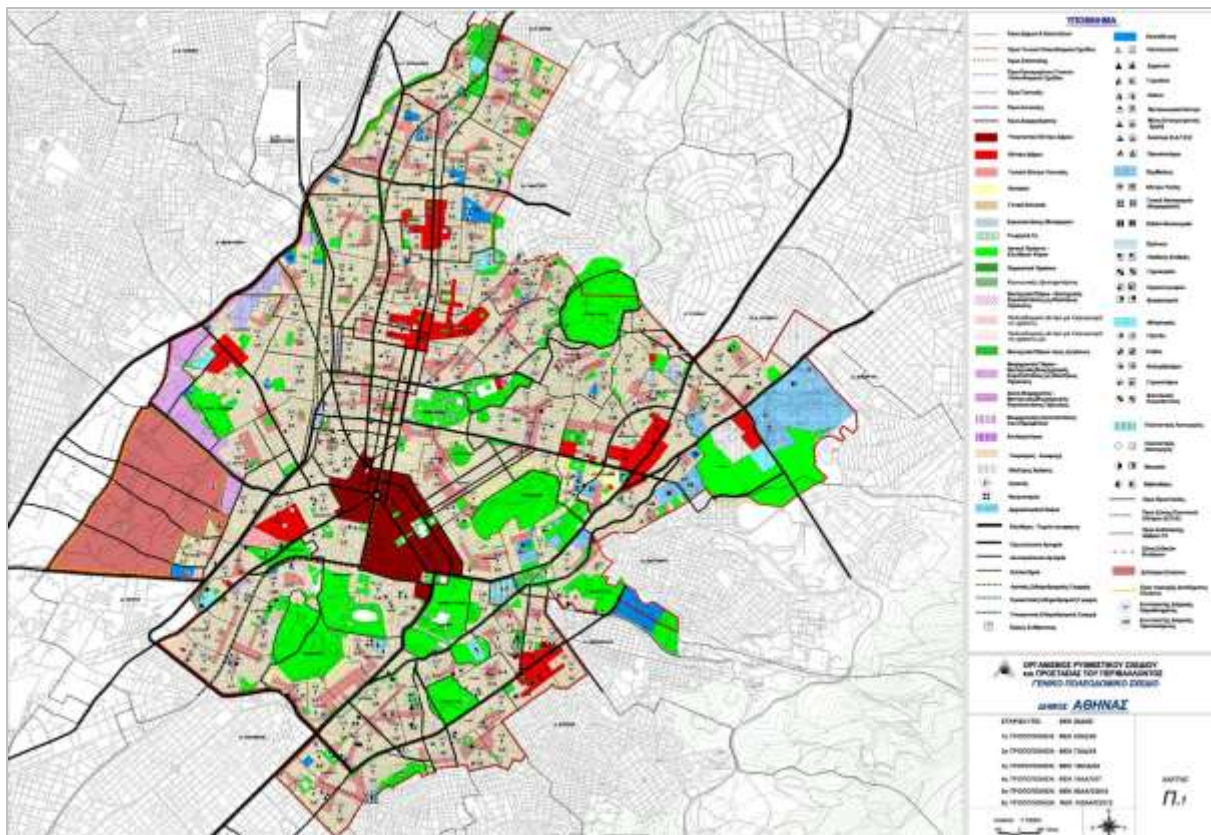
4.3.1. Περιοχή μελέτης

4.3.1.1. Το κέντρο της Αθήνας

Η περιοχή η οποία επιλέχθηκε να ερευνηθεί στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης αφορά ένα σημαντικό τμήμα από το κέντρο της Αθήνας. Η συγκεκριμένη περιοχή κρίθηκε άξια διερεύνησης μιας και είναι εκείνη η οποία από το σύνολο των ελληνικών αστικών κέντρων υποφέρει περισσότερο από το ζήτημα της ηχορύπανσης (βλ. ενότητα 2.6. και Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης, 2018). Όπως έχει προαναφερθεί, το 40% των κατοίκων του κέντρου της Αθήνας εκτίθεται σε στάθμες ημερήσιου θορύβου (δείκτης L_{den}) οι οποίες υπερβαίνουν την τιμή των 70 dB (τιμή η οποία έχει οριστεί από την ελληνική νομοθεσία ως η μέγιστη επιτρεπόμενη). Επίσης, παρατηρήθηκε ότι το 62% των κατοίκων της περιοχής υποφέρει από υψηλές στάθμες νυκτερινού θορύβου [άνω των 60 dB (δείκτης L_{night})]. Οι τιμές είναι εντυπωσιακές αν συνυπολογιστεί το γεγονός ότι το σύνολο των κατοίκων των

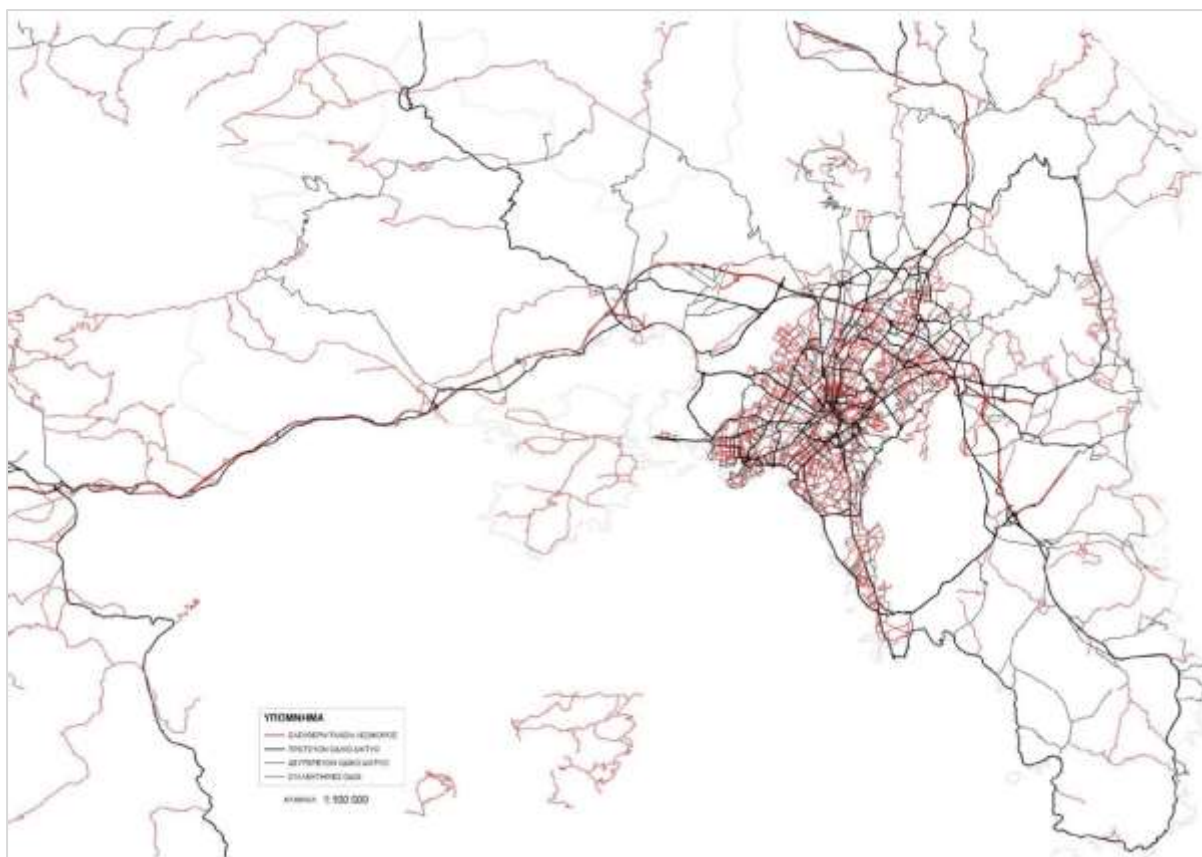
Πολεοδομικών Συγκροτημάτων της Ελλάδας το οποίο διαβιώνει σε επίπεδα θορύβου πάνω από τα επιτρεπόμενα ανέρχεται στο 18% κατά τη μέρα και στο 23% κατά τη νύχτα αντίστοιχα.

Η περιοχή του κέντρου της Αθήνας προξενεί επιστημονικό ενδιαφέρον μιας και ως κύριο μέρος του δίπολου Αθήνας-Πειραιά, αποτελεί τον ουσιαστικό αλλά και τον συμβολικό πυρήνα της χώρας. Επιπλέον, συνδυάζει διάφορες χρήσεις γης (χάρτης 4.1.), χαρακτηρίζεται από πυκνό οδικό δίκτυο το οποίο περιλαμβάνει πληθώρα οδικών αρτηριών (χάρτης 4.2.) και διαθέτει ένα ιδιαίτερα ανεπτυγμένο δίκτυο συγκοινωνιακών υποδομών (π.χ. λεωφορεία, τρόλεϊ, τρένο, τράμ, μετρό).



Χάρτης 4.1.: Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο Αθήνας

Πηγή: Γκούντρα, 2008



Χάρτης 4.2.: Βασικό Οδικό Δίκτυο Περιφέρειας Αττικής

Πηγή: Οργανισμός Ρυθμιστικού Σχεδίου και Προστασίας Περιβάλλοντος Αθήνας, 2011

Τέλος, χαρακτηρίζεται από ορισμένες ιδιότητες των οποίων η ύπαρξη και η μεταξύ τους αλληλεπίδραση καθιστούν την περιοχή ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα από επιστημονικής πλευράς.

Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή διακρίνεται ως:

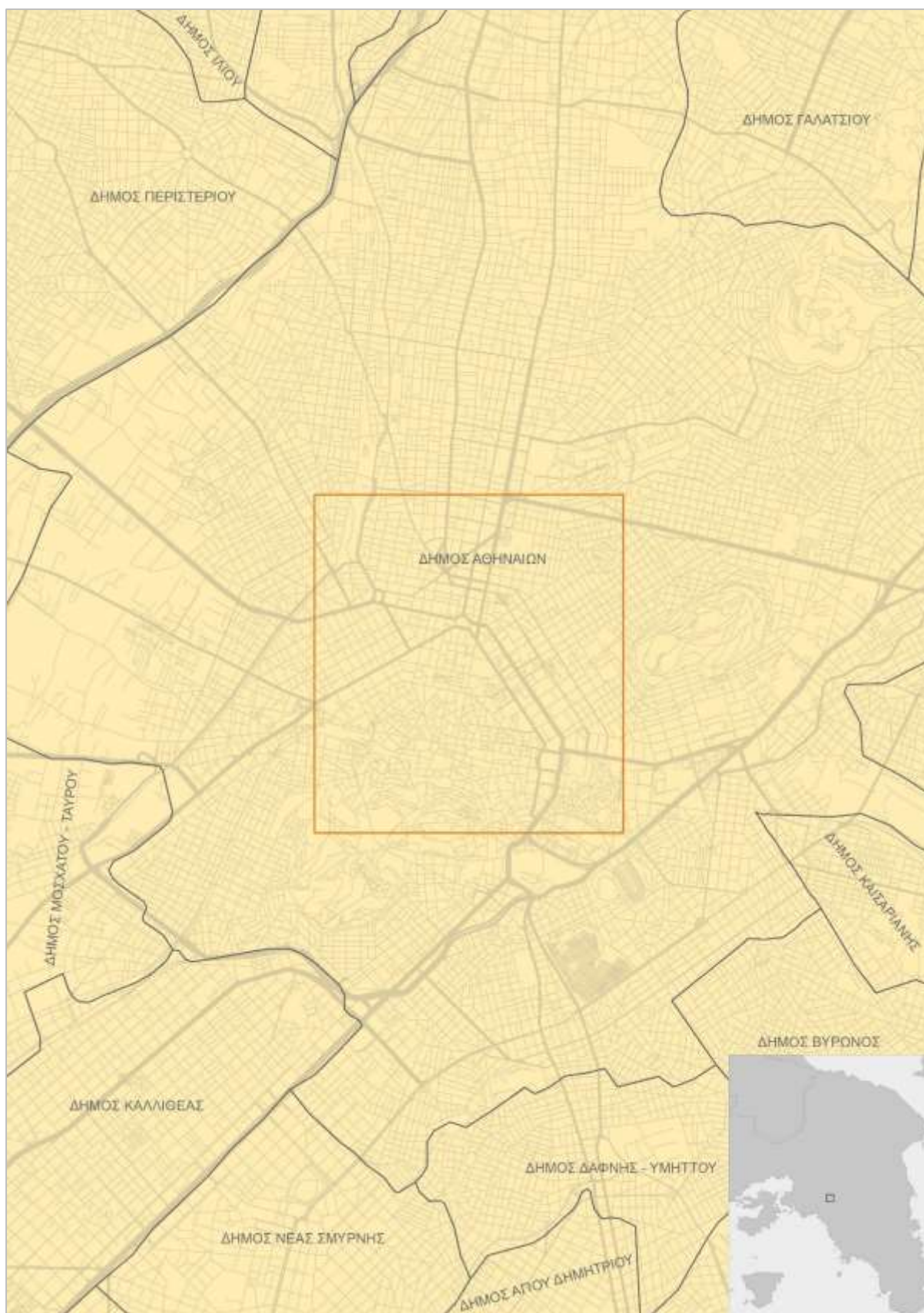
- Ιστορικό κέντρο στο οποίο αλληλεπιδρούν η ιστορία, τα μνημεία και ιστορικοί τόποι παγκόσμιας εμβέλειας με τον αστικό ιστό
- Κέντρο πολιτικής εξουσίας σε συμβολικό και ουσιαστικό επίπεδο: ξεχωρίζουν το κτίριο του κοινοβουλίου (παλιά ανάκτορα) και η πλατεία Συντάγματος, τα οποία πλαισιώνονται από μία σειρά υπουργείων και διοικητικών υπηρεσιών εθνικής εμβέλειας
- Διαχρονικό κέντρο διεκδικήσεων και πολιτικών κινημάτων
- Οικονομικό κέντρο με τις έδρες των μεγάλων χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων
- Παραγωγικό κέντρο με ένταση των χρήσεων εμπορίου, υπηρεσιών, αναψυχής και τουρισμού
- Κέντρο εκπαίδευσης και πολιτισμού με την παρουσία πανεπιστημιακών ιδρυμάτων, μουσείων, θεάτρων, βιβλιοθηκών, κλπ.

- Πολυλειτουργικό κέντρο όπου, μαζί με τις υπόλοιπες χρήσεις, συνυπάρχει συχνά η κατοικία, δημιουργώντας συμπαγείς πυκνοκατοικημένες γειτονιές, σε ιδιαίτερα κοντινή απόσταση από εμβληματικά κτίρια και χρήσεις
- Ζωντανό, πολυσυλλεκτικό και πολυπολιτισμικό κέντρο

4.3.1.2. Περιοχή δειγματοληψίας

Η περιοχή η οποία αποτέλεσε πεδίο μετρήσεων, όπως προαναφέρθηκε, καλύπτει ένα σημαντικό τμήμα του κέντρου της Αθήνας (εικ. 4.7.) και έχει έκταση η οποία ανέρχεται στα 4,83 τ.χλμ. Τα σημεία στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο της συστηματικής δειγματοληψίας. Για τις ανάγκες της μελέτης, η περιοχή χωρίστηκε σε 483 πλακίδια τετραγωνικού σχήματος (100 x 100 μ.) (εικ. 4.8.). Το κεντροειδές του κάθε προαναφερθέντος πλακιδίου ορίστηκε ως σημείο δειγματοληψίας, ενώ η απόσταση μεταξύ των κεντροειδών είναι σταθερή και ίση με 100 μ. Με αυτόν τον τρόπο, οι παρατηρήσεις κατανέμονται ισόποσα στο χώρο και τα αποτελέσματα είναι ακριβέστερα, ενώ παράλληλα παρουσιάζουν λιγότερη μεροληψία από εκείνα της τυχαίας δειγματοληψίας. Αξίζει να αναφερθεί ότι στην περίπτωση που δεν υπήρχε η δυνατότητα πρόσβασης προς το κεντροειδές, εξαιτίας της ύπαρξης νομικών ή φυσικών εμποδίων (π.χ. κτίρια), η μέτρηση πραγματοποιούταν στο κοντινότερο προσβάσιμο σημείο.

Η έκταση στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις επιλέχθηκε με βάση το κριτήριο της συμπερίληψης όλων των τυπολογιών οι οποίες συνθέτουν τον πολύπλευρο χαρακτήρα της περιοχής. Το κεντρικό τμήμα περιλαμβάνει το εμπορικό τρίγωνο τρίγωνο της Αθήνας στο οποίο συγκεντρώνονται ιδιαίτερα σημαντικές δραστηριότητες όπως είναι τα γραφεία μεγάλων επιχειρήσεων και τραπεζών, τα δημόσια κτήρια και οι υπηρεσίες, ενώ παράλληλα περιλαμβάνονται αρκετές εμπορικές χρήσεις (π.χ. εμπορικά καταστήματα, επιχειρήσεις χονδρικού και λιανικού εμπορίου και μικρές βιοτεχνίες). Το βόρειο τμήμα (Κολωνός, Μεταξουργείο, Εξάρχεια) διακρίνεται για τον ιδιαίτερα πυκνοδομημένο αστικό ιστό του, ο οποίος διαθέτει λιγιστούς ελεύθερους χώρους, ενώ χαρακτηρίζεται από την επικράτηση της κατοικίας στις χρήσεις γης της περιοχής. Στο νότιο τμήμα συγκαταλέγονται κυρίως χώροι αναψυχής (π.χ. Εθνικός Κήπος), μνημεία παγκόσμιας εμβέλειας (π.χ. Ακρόπολη και Αρχαία Αγορά) και ιστορικοί χώροι (π.χ. Πλάκα).



Εικόνα 4.7.: Γεωγραφική θέση της υπό έρευνα περιοχής

Πηγή: <https://geodata.gov.gr/>, <https://www.geofabrik.de/>, ίδια επεξεργασία



Εικόνα 4.8.: Απεικόνιση των 483 δειγματοληπτικών σημείων

Πηγή: <https://www.geofabrik.de/>, ίδια επεξεργασία

4.3.1.3. Συλλογή δεδομένων

4.3.1.3.1. Καταγραφή επιπέδων ηχορύπανσης

Το σχετικά κοπιαστικό αλλά ιδιαίτερα γόνιμο και διασκεδαστικό κομμάτι της συλλογής των δεδομένων πραγματοποιήθηκε από τον γράφοντα μεταξύ των ημερομηνιών 26/2/2020 και

11/3/2020 (μόνο εργάσιμες μέρες). Οι μετρήσεις διενεργήθηκαν κατά την απογευματινή ώρα (16:00 – 19:00) και πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση της εφαρμογής «Noise Capture» η οποία εγκαταστάθηκε σε Smartphone και στηρίζεται στη συμμετοχική ανίχνευση (participatory sensing). Η συγκεκριμένη προσέγγιση βασίζεται στη μέτρηση των επιπέδων θορύβου από εθελοντές οι οποίοι χρησιμοποιούν μονάχα το ενσωματωμένο μικρόφωνο που βρίσκεται πάνω στο smartphone τους. Αυτές οι σύνθετες συσκευές είναι σε θέση να καταγράψουν τα επίπεδα περιβαλλοντικού θορύβου, ενώ παράλληλα προσδίδουν γεωγραφικές συντεταγμένες στα δεδομένα (Guillaume et al., 2016). Η προαναφερθείσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των επιπέδων ηχητικής πίεσης σε κάθε μία από τις επιλεγμένες τοποθεσίες.

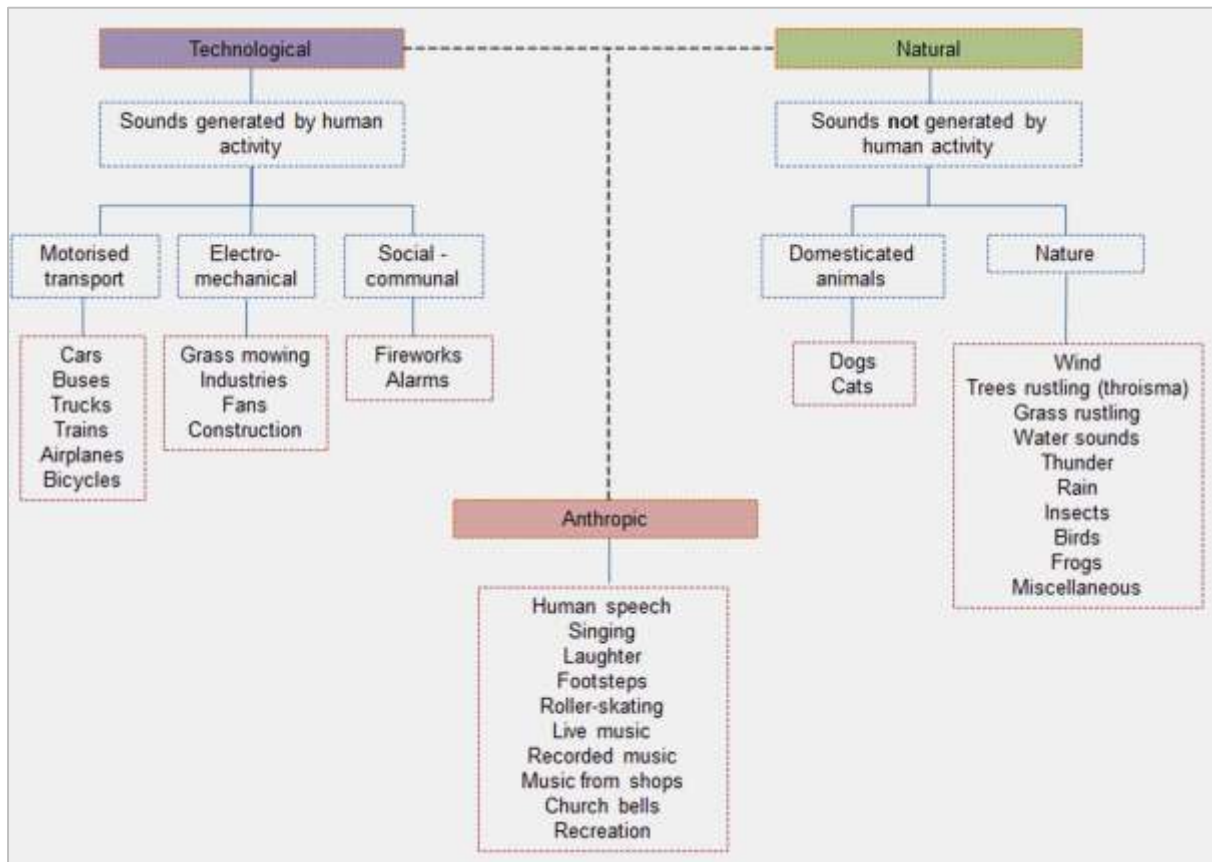
Για τη μέτρηση των επιπέδων θορύβου πραγματοποιήθηκαν ηχογραφήσεις διάρκειας 30 δευτερολέπτων¹⁸ σε κάθε σημείο δειγματοληψίας και μέσω της εφαρμογής «Noise Capture» υπολογίστηκαν αυτόματα οι εξής δείκτες: α) $L_{Aeq,30sec}$, β) L_{10} , γ) L_{90} δ) L_{50} σε dB(A). Οι δείκτες οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των χαρτών θορύβου είναι ο $L_{Aeq,30sec}$, και οι ποσοστομετρικοί L_{10} και L_{90} . Το ισοδύναμο επίπεδο ηχητικής πίεσης L_{Aeq} περιλαμβάνει το σύνολο της ηχητικής ενέργειας η οποία λαμβάνεται σε μια θέση μέτρησης, ενώ αναφέρεται ότι κάθε ηχητική πηγή, σταθερή ή κινητή, συμβάλλει ανεξάρτητα σε αυτήν την ποσότητα. Παράλληλα με τον L_{Aeq} , τα ποσοστομετρικά επίπεδα θορύβου L_N είναι επίσης σημαντικά κατά την ανάλυση του ηχοτοπίου. Ο δείκτης L_{10} αφορά τα επίπεδο θορύβου τα οποία υπερβαίνουν το 10% των μετρήσεων και συνεπώς είναι ενδεικτικός για τα μέγιστα επίπεδα και ο L_{90} αφορά τα επίπεδα θορύβου τα οποία υπερβαίνουν το 90% των μετρήσεων και θεωρείται ως στάθμη θορύβου βάθους (background noise level). Οι δείκτες L_{10} και L_{90} χρησιμοποιούνται ευρέως σε μελέτες οι οποίες αφορούν στην ενόχληση μέσω της ηχορύπανσης και στην ποιότητα του θορύβου βάθους (Wei, 2016).

4.3.1.3.2. Καταγραφή δεδομένων ηχοτοπίου

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων σημειώθηκαν από τον γράφοντα και οι αντιληπτικές συνεισφορές των ηχητικών πηγών στους παραγόμενους ήχους της εκάστοτε τοποθεσίας ακόλουθώντας τη μέθοδο του ατομικού ακουστικού περιπάτου. Οι πηγές διαχωρίστηκαν σε τρεις βασικές κατηγορίες (τεχνολογικές, φυσικές, ανθρώπινες) σύμφωνα με την ταξινόμηση

¹⁸ Η εφαρμογή λαμβάνει στιγμιαίες μετρήσεις για τα επίπεδα θορύβου (σε dB(A)) κάθε ένα δευτερόλεπτο (άρα για 30 δευτερόλεπτα, λαμβάνονται 30 μετρήσεις).

(εικ. 4.9) η οποία προτείνεται από τους Brown et al. (2011) και χρησιμοποιήθηκε από τους Margaritis & Kang (2017).



Εικόνα 4.9: Οι τρεις βασικές κατηγορίες ηχητικών πηγών και οι υποκατηγορίες τους

Πηγή: Margaritis & Kang, 2017

Η συγκεκριμένη ταξινόμηση έχει αναπτυχθεί με βάση τα παρακάτω κριτήρια. Πρώτον, επιτρέπεται η εφαρμογή της σε *άπαντες* τους τόπους και τους τύπους (π.χ. αστικοί, αγροτικοί, φυσικοί) ακουστικών περιβαλλόντων. Δεύτερον, η ονοματολογία των πηγών ήχου επιλέχθηκε προσεκτικά για να αποφευχθούν πιθανές αξιολογικές ή εννοιολογικές κρίσεις, σχετικά με τις πηγές ήχου, ανεξάρτητα από τον περιβαλλοντικό τύπο. Οπότε, η ιδιαιτερότητα του εκάστοτε ακουστικού περιβάλλοντος βασίζεται, μεταξύ άλλων, στην παρουσία ή την απουσία των πηγών αυτών και των σχετικών εντάσεων που τις χαρακτηρίζουν. Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί ότι ένα καθολικό πλαίσιο μέσω του οποίου προσδιορίζονται οι ηχητικές πηγές χρησιμεύει ως εργαλείο σύγκρισης των πηγών μεταξύ διαφορετικών τοποθεσιών και καθιστά τις ονομασίες, τις αξιολογικές εκτιμήσεις και τους ορισμούς πιο διαφανείς και, ως εκ τούτου, εφαρμόσιμες στο πεδίο των ερευνών (Brown et al., 2011).

Για την αποτύπωση του ακουστικού περιβάλλοντος της υπό έρευνα περιοχής σημειώθηκε η συνεισφορά (όπως την αντιλήφθηκε ο γράφων) των ηχητικών πηγών ανά κατηγορία (τεχνολογικές, ανθρώπινες και φυσικές) σε κάθε σημείο δειγματοληψίας. Επειδή η ανθρώπινη αντίληψη δεν είναι μέγεθος το οποίο δύναται να ποσοτικοποιηθεί με ευκολία, χρησιμοποιήθηκε μία ποιοτική κλίμακα μέτρησης. Οπότε, καταγράφηκαν οι εντάσεις (όπως τις αντιλήφθηκε ο γράφων) των ανά κατηγορία πηγών σε κλίμακα η οποία ξεκινά από το 0 (πλήρης απουσία της συγκεκριμένης κατηγορίας) και καταλήγει στο 5 (μέγιστη ένταση). Έπειτα, υπολογίστηκε η συνεισφορά της κάθε ομάδας ηχητικών πηγών διαιρώντας την ένταση της κάθε ομάδας με το σύνολο των εντάσεων ανά σημείο. Σε αυτό το σημείο κρίνεται αναγκαίο να σημειωθεί ότι οι παραγόμενοι χάρτες ηχοτοπίου για την περιοχή του κέντρου της Αθήνας ενέχουν σε μεγάλο βαθμό το υποκειμενικό στοιχείο μιας και η αντίληψη όσον αφορά τον ήχο διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο και εξαρτάται από ένα σύνολο παραγόντων ορισμένοι από τους οποίους σημειώνονται παρακάτω:

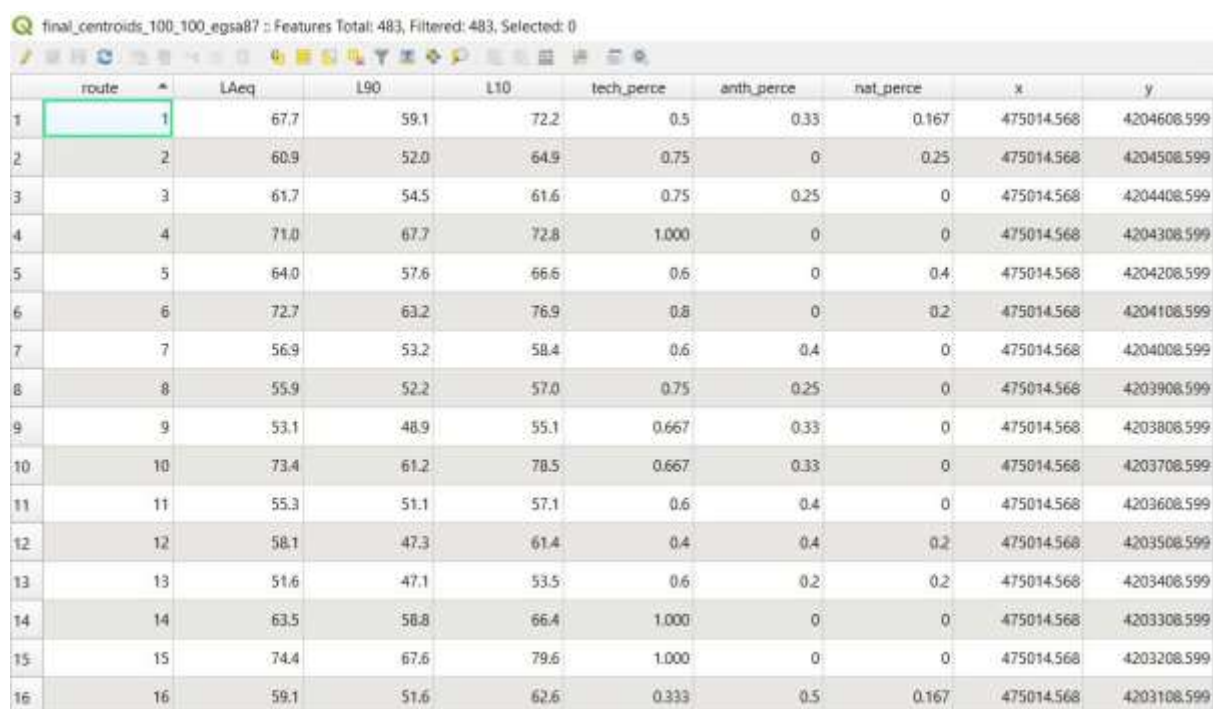
- ευαισθησία στο θόρυβο (εκτός από την φυσιολογική ακουστική ευαισθησία που ενδέχεται να διαθέτει κάποιος, ορισμένοι άνθρωποι οι οποίοι εκτίθενται μακροχρόνια σε θορυβώδη περιβάλλοντα έχουν αναπτύξει μηχανισμούς οι οποίοι τους καθιστούν λιγότερο ευαίσθητους στο θόρυβο)
- η παρουσία και η φύση των ηχητικών πηγών εμπλέκεται με τις εκάστοτε ανθρώπινες αξίες οι οποίες σχετίζονται με συγκεκριμένους ήχους σε συγκεκριμένες τοποθεσίες
- προσωπικές απόψεις που αφορούν γενικά τα περιβαλλοντικά ζητήματα και δη την ηχορύπανση (κάποια άτομα τείνουν να υποβαθμίζουν τη σημασία της ηχορύπανσης και ενδεχομένως οι αξιολογικές τους κρίσεις όσον αφορά την αντίληψη του ήχου να επηρεαστούν από αυτό το γεγονός)
- αλληλεπίδραση μεταξύ οπτικού και ακουστικού περιβάλλοντος (ορισμένοι άνθρωποι αποσπώνται οπτικά με περισσότερη ευκολία, ενώ άλλοι χαρακτηρίζονται από ισχυρή ακουστική εστίαση)

4.3.1.4. Περιεχόμενο χαρτών

Μετά το πέρας της διαδικασίας της δειγματοληψίας, ακολούθησε η περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων έχοντας ως απώτερο σκοπό την κατασκευή των χαρτών θορύβου και ηχοτοπίου. Για το λόγο αυτό, οι πληροφορίες οι οποίες συλλέχθηκαν (επίπεδα ήχορύπανσης

και δεδομένα ηχοτοπίου) μεταφέρθηκαν στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών¹⁹ ArcGIS (έκδοση 10.4) και QGIS (έκδοση 3.4.8).

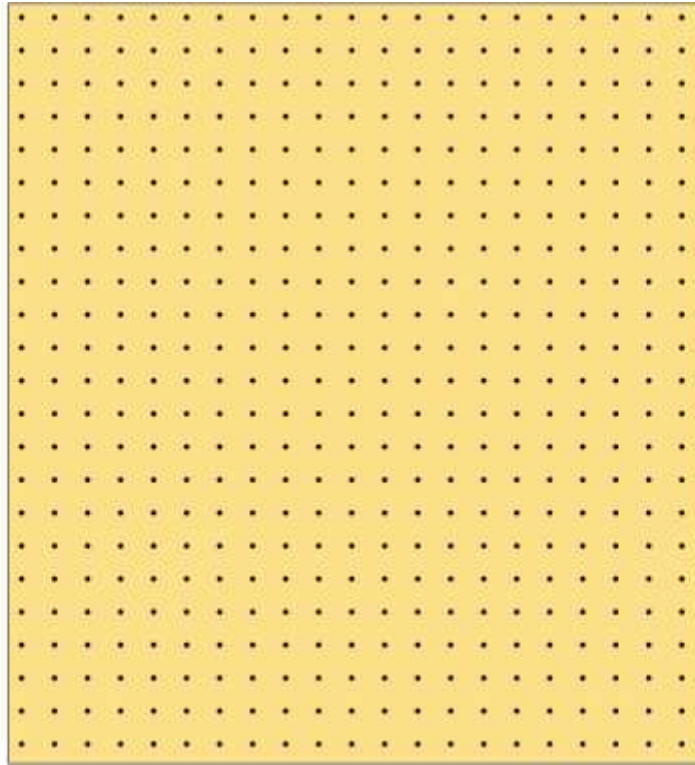
Σε πρώτη φάση δημιουργήθηκε (σε γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ '87) αρχείο σημειακής διανυσματικής μορφής (shapfile) το οποίο περιείχε τόσο τη γεωγραφική θέση των 483 σημείων δειγματοληψίας όσο και τις περιγραφικές πληροφορίες οι οποίες ανακτήθηκαν κατά την διαδικασία των μετρήσεων. Επομένως, κάθε εγγραφή χαρακτηρίζεται από τις συντεταγμένες σε σύστημα ΕΓΣΑ '87, τα επίπεδα ηχορύπανσης (δείκτες $L_{Aeq\ 30s}$, L_{90} και L_{10}) και τα αντιληπτικά δεδομένα ηχοτοπίου (ποσοστιαία συνεισφορά τεχνολογικών, ανθρώπινων και φυσικών πηγών στο ακουστικό περιβάλλον) (εικ. 4.10. και 4.11.).



route	L_{Aeq}	L_{90}	L_{10}	tech_perce	anth_perce	nat_perce	x	y
1	67.7	59.1	72.2	0.5	0.33	0.167	475014.568	4204608.599
2	60.9	52.0	64.9	0.75	0	0.25	475014.568	4204508.599
3	61.7	54.5	61.6	0.75	0.25	0	475014.568	4204408.599
4	71.0	67.7	72.8	1.000	0	0	475014.568	4204308.599
5	64.0	57.6	66.6	0.6	0	0.4	475014.568	4204208.599
6	72.7	63.2	76.9	0.8	0	0.2	475014.568	4204108.599
7	56.9	53.2	58.4	0.6	0.4	0	475014.568	4204008.599
8	55.9	52.2	57.0	0.75	0.25	0	475014.568	4203908.599
9	53.1	48.9	55.1	0.667	0.33	0	475014.568	4203808.599
10	73.4	61.2	78.5	0.667	0.33	0	475014.568	4203708.599
11	55.3	51.1	57.1	0.6	0.4	0	475014.568	4203608.599
12	58.1	47.3	61.4	0.4	0.4	0.2	475014.568	4203508.599
13	51.6	47.1	53.5	0.6	0.2	0.2	475014.568	4203408.599
14	63.5	58.8	66.4	1.000	0	0	475014.568	4203308.599
15	74.4	67.6	79.6	1.000	0	0	475014.568	4203208.599
16	59.1	51.6	62.6	0.333	0.5	0.167	475014.568	4203108.599

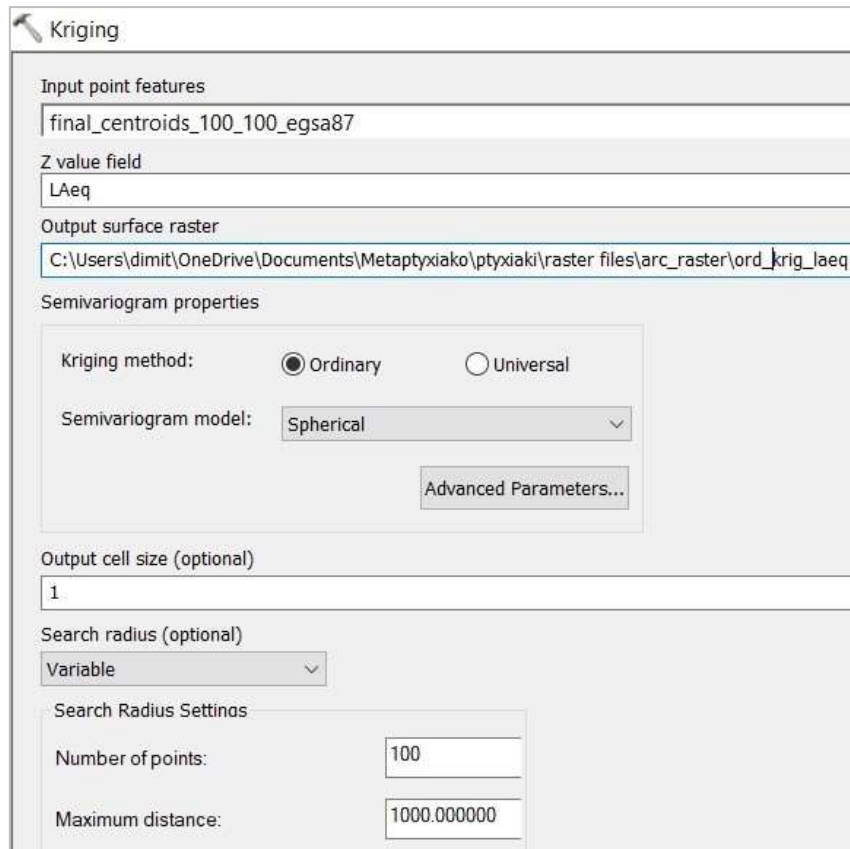
Εικόνα 4.10: Στιμότυπο οθόνης (screenshot) από τον πίνακα ιδιοτήτων (attribute table) του διανυσματικού αρχείου (περιβάλλον QGIS 3.4.8)

¹⁹ Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών αποτελούν μία ολοκληρωμένη τεχνολογία η οποία είναι απαραίτητη για την ανάλυση και τη μελέτη του χώρου, καθώς και για τη λήψη αποφάσεων που αφορούν τη γη, το περιβάλλον και τον άνθρωπο (Photis & Manetos, 2007)

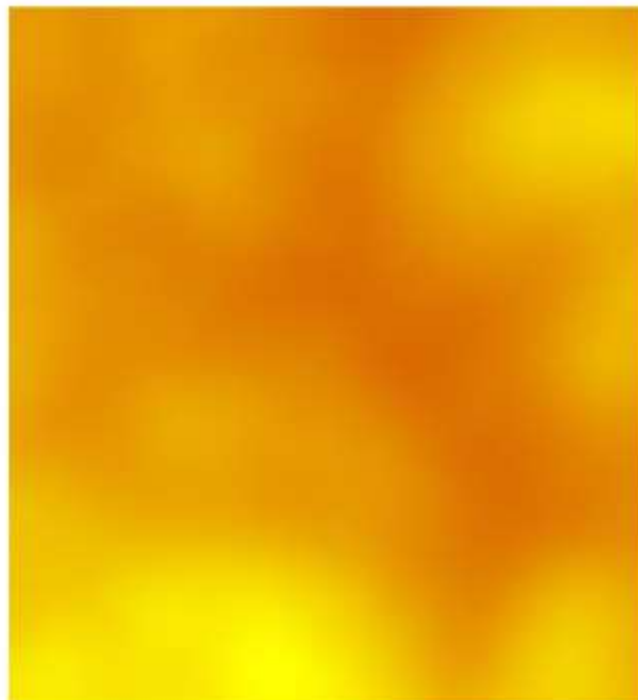


Εικόνα 4.11.: Απεικόνιση του αρχείου σημειακής διανυσματικής μορφής (shapefile) και τα όρια της περιοχής μελέτης

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας την μέθοδο χωρικής παρεμβολής Kriging η οποία βρίσκεται στην εργαλειοθήκη «Spatial Analyst» του λογισμικού ArcMap (έκδοση 10.4), κατασκευάστηκαν οι χάρτες θορύβου και ηχοτοπίου. Για την παραγωγή του κάθε χάρτη ψηφιδωτής (raster) μορφής επιλέχθηκε η τεχνική «Ordinary Kriging» με σφαιρικό ημιβαριόγραμμα. Για την κατασκευή του κάθε χάρτη ακολουθείται ξεχωριστή διαδικασία (εικ. 4.12.) η οποία περιγράφεται παρακάτω: ως αντικείμενο εισροής δίνεται το σημειακής διανυσματικής μορφής αρχείο που περιέχει όλες τις εγγραφές και ως μεταβλητή επιλέγεται το εκάστοτε μέγεθος (π.χ. δείκτης $L_{Aeq, 30s}$) για το οποίο υπολογίζονται οι τιμές (κελιά) για τις οποίες δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις. Αναφέρεται ότι το μέγεθος του κάθε κελιού ανέρχεται στο 1 τ.μ.



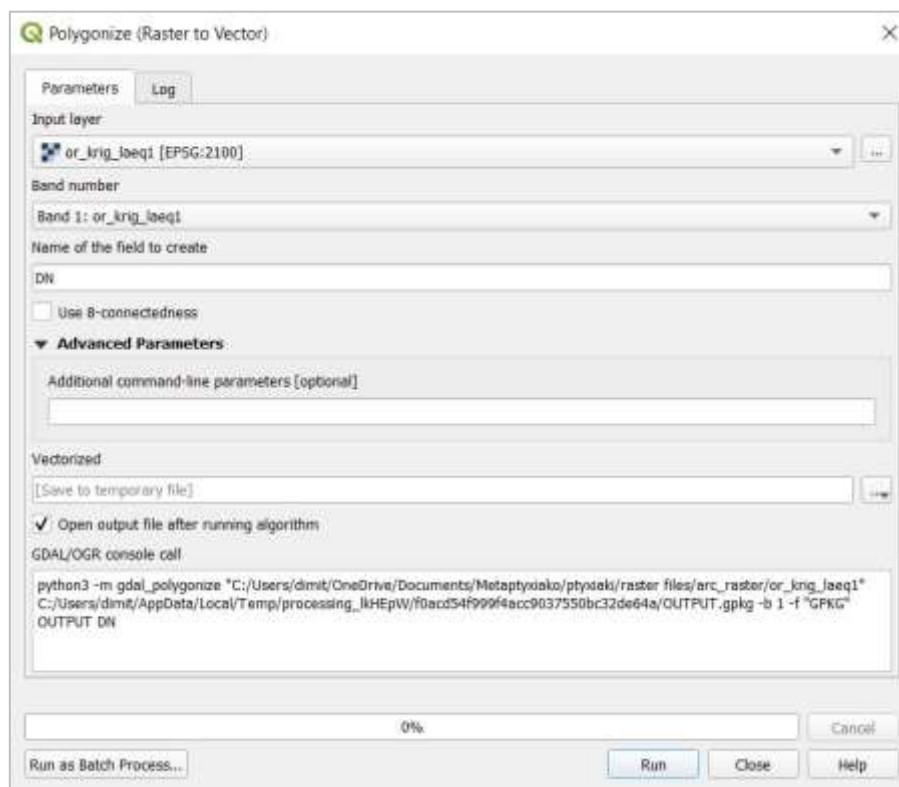
Εικόνα 4.12: Στιμιότυπο οθόνης (screenshot) από τη διαδικασία χωρικής παρεμβολής Ordinary Kriging (δείκτης $L_{Aeq, 30s}$) σε περιβάλλον ArcMap 10.4



Εικόνα 4.13.: Επιφάνεια πρόβλεψης ψηφιδωτής μορφής για τον δείκτη $L_{Aeq, 30s}$ (οι σκουροχρωμες περιοχές υποδηλώνουν υψηλά επίπεδα θορύβου)

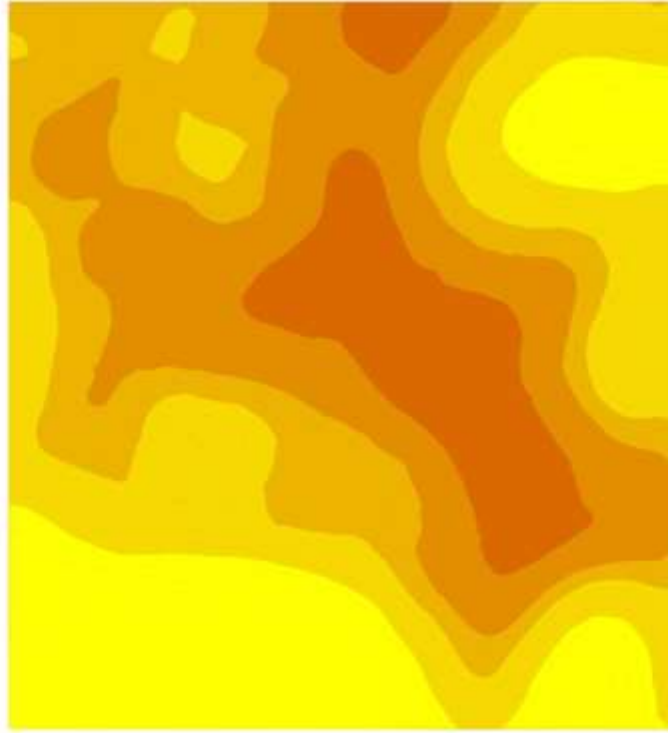
Η ανωτέρω διαδικασία είχε ως αποτέλεσμα την κατασκευή 6 επιφανειών πρόβλεψης ψηφιδωτής (raster) μορφής (στην εικόνα 4.13. φαίνεται το ψηφιδωτό αρχείο του δείκτη $L_{Aeq, 30s}$) οι οποίες αφορούν την υπό έρευνα περιοχή. Στις παραπάνω επιφάνειες απεικονίζεται η χωρική κατανομή των εξής μεταβλητών: α) ισοδύναμο επίπεδο ηχητικής πίεσης $L_{Aeq, 30s}$, β) ποσοτομετρικός δείκτης L_{90} , γ) ποσοτομετρικός δείκτης L_{10} , δ) ποσοστιαία συνεισφορά τεχνολογικών, ε) ποσοστιαία συνεισφορά ανθρώπινων και στ) ποσοστιαία συνεισφορά φυσικών ηχητικών πηγών.

Επόμενο στάδιο της επεξεργασίας ήταν η μετατροπή των παραχθέντων ψηφιακών αρχείων σε αντίστοιχα διανυσματικά (shapefile). Η συγκεκριμένη μετατροπή πραγματοποιήθηκε μέσω του εργαλείου Raster to Vector (Polygonize) (εικ. 4.14.) το οποίο βρίσκεται στο λογισμικό QGIS 3.4.8.



Εικόνα 4.14.: Στιμιότυπο οθόνης (screenshot) από τη διαδικασία μετατροπής από ψηφιακό σε διανυσματικό (Raster to Vector) αρχείο σε περιβάλλον QGIS 3.4.8. (δείκτης $L_{Aeq, 30s}$)

Αποτέλεσμα της ανωτέρω διαδικασίας ήταν η δημιουργία 6 διανυσματικών αρχείων πολυγωνικής μορφής. Στην εικόνα 4.15. φαίνεται το αρχείο πολυγωνικής μορφής που απεικονίζει τη χωρική κατανομή του δείκτη $L_{Aeq, 30s}$.



Εικόνα 4.15.: Διανυσματικό αρχείο πολυγωνικής μορφής (δεικτης $L_{Aeq, 30s}$)
(οι σκουρόχρωμες περιοχές υποδηλώνουν υψηλά επίπεδα θορύβου)

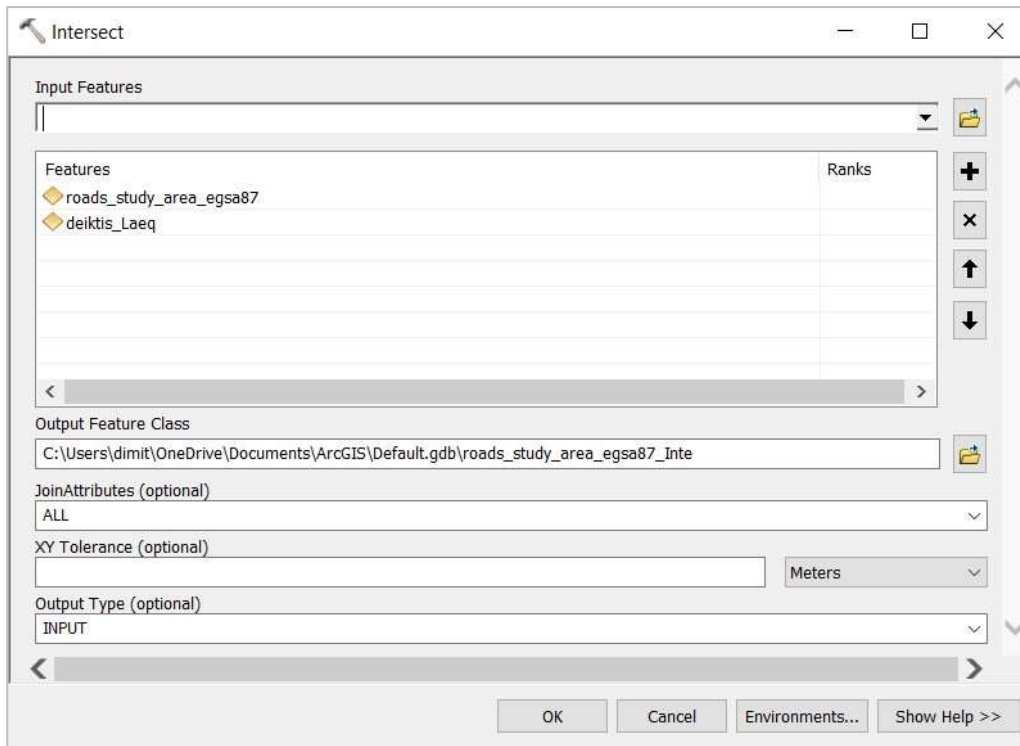
Επόμενο βήμα στη διαδικασία κατασκευής των τελικών χαρτών αποτέλεσε η μεταφορά της παραγόμενης πληροφορίας η οποία βρίσκεται εντός των 6 προαναφερθέντων πολυγωνικών αρχείων στο διανυσματικό επίπεδο (layer) των οδικών αρτηριών της υπό έρευνα περιοχής. Το οδικό δίκτυο της περιοχής (εικ 4.16.) ανακτήθηκε από τον ιστότοπο <https://www.geofabrik.de/en/index.html>.



Εικόνα 4.16: Οδικό δίκτυο της υπό έρευνα περιοχής

Πηγή: <https://www.geofabrik.de/en/index.html>, ίδια επεξεργασία

Η πληροφορία ενσωματώθηκε στο επίπεδο των δρόμων χρησιμοποιώντας το εργαλείο Intersect (εικ. 4.17.) το οποίο βρίσκεται στην εργαλειοθήκη ArcToolbox του λογισμικού ArcMap 10.4.



Εικόνα 4.17.: Στιμιότυπο οθόνης (screenshot) από τη διαδικασία Intersection (περιβάλλον ArcMap 10.4.)

Η διαδικασία της γεωμετρικής τομής (intersect) μεταξύ διαφορετικών θεματικών επιπέδων (layers) έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός νέου επιπέδου στο οποίο διατηρούνται μόνο οι οντότητες (ή τμήματα αυτών) οι οποίες βρίσκονται στον κοινό χώρο εμφάνισης των επιπέδων. Η γεωμετρία των έξι αρχείων τα οποία προέκυψαν ήταν γραμμική και σε αυτά περιέχονταν οι οδικές αρτηρίες και τις τιμές των εξεταζόμενων μεταβλητών (δείκτες $L_{Aeq\ 30s}$, L_{90} , L_{10} και ποσοστιαία συνεισφορά τεχνολογικών, ανθρώπινων και φυσικών πηγών). Παρακάτω (εικ. 4.18) απεικονίζεται το θεματικό επίπεδο των οδών το οποίο έχει ενσωματωμένη την μεταβλητή του δείκτη $L_{Aeq\ 30s}$.



Εικόνα 4.18: Γραμμική διανυσματική οντότητα που προέκυψε από τη διαδικασία γεωμετρικής τομής μεταξύ του οδικού δικτύου και του δείκτη $L_{Aeq, 30s}$ (οι σκουρόχρωμες περιοχές υποδηλώνουν υψηλά επίπεδα θορύβου)

Στη συνέχεια, κατασκευάστηκαν τρεις χάρτες που απεικονίζουν την χωρική κατανομή των επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου (δείκτες $L_{Aeq, 30s}$, L_{10} και L_{90}) και τρεις χάρτες στους οποίους φαίνεται η αντίστοιχη χωρική κατανομή της ποσοστιαίας συνεισφοράς των ηχητικών πηγών ανά κατηγορία (τεχνολογικές, ανθρώπινες και φυσικές) στο ακουστικό περιβάλλον της περιοχής.

Τελευταίο βήμα της διαδικασίας αποτελεί η κατασκευή ενός χάρτη στον οποίο πραγματοποιείται μία απόπειρα οπτικοποίησης του επικρατούντος ηχοτοπίου της περιοχής. Για την κατασκευή του συγκεκριμένου χάρτη οι κρίθηκε σκόπιμο να ληφθούν υπόψη όλες οι πληροφορίες οποίες συλλέχθηκαν κατά την περίοδο της δειγματοληψίας και αφορούν το πως αντιλαμβάνεται ο γράφων την συνεισφορά των ηχητικών πηγών. Σε πρώτη φάση, εντοπίστηκαν οι περιοχές εκείνες στις οποίες εντοπίζεται υψηλή, μέτρια και χαμηλή παρουσία τεχνολογικών, ανθρώπινων και φυσικών ηχητικών πηγών. Οι προαναφερθείσες περιοχές προσδιορίστηκαν με τη χρήση του εργαλείου Raster Calculator το οποίο βρίσκεται στο λογισμικό QGIS 3.4.8. Ο προσδιορισμός των περιοχών οι οποίες διαφοροποιούνται ανάλογα με το μέγεθος της συνεισφοράς (υψηλή, μέτρια και χαμηλή) των εκάστοτε ηχητικών πηγών πραγματοποιήθηκε για κάθε κατηγορία ξεχωριστά. Οπότε προέκυψαν τρεις ομαδοποιήσεις για

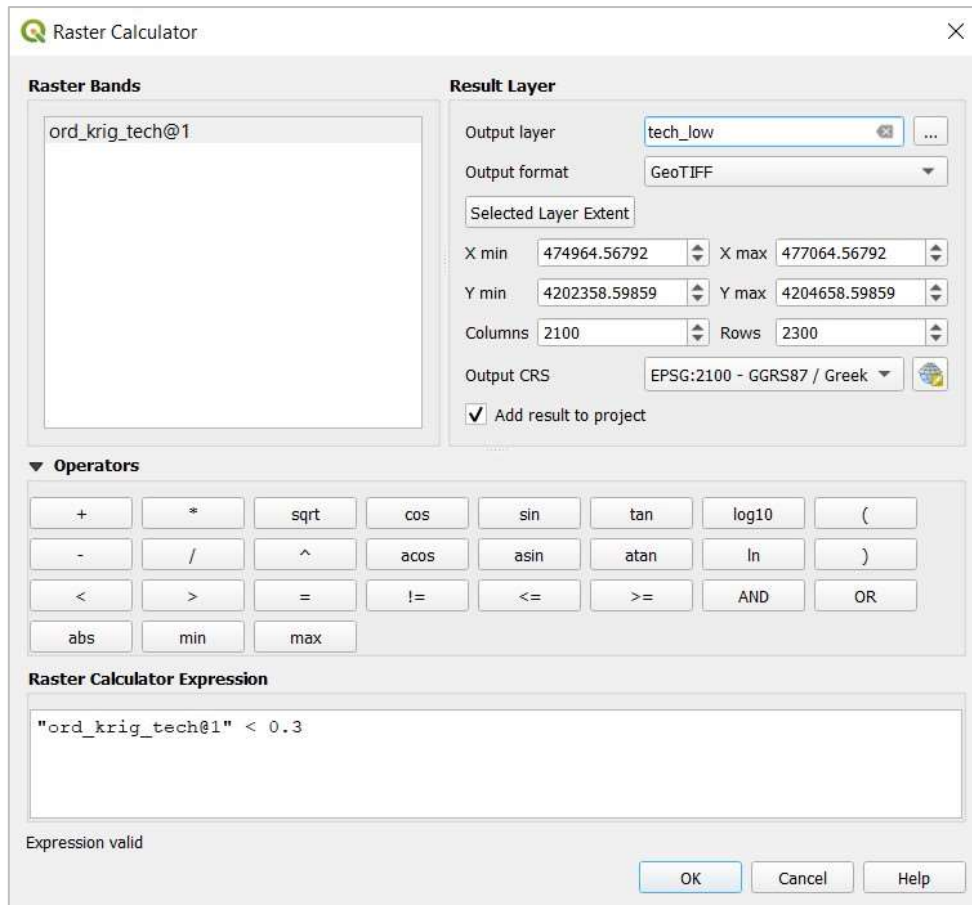
κάθε κατηγορία. Παρακάτω αναφέρεται ο τρόπος με τον οποίο προσδιορίστηκαν οι ανωτέρω διαφοροποιήσεις για τις τεχνολογικές πηγές, ενώ αναφέρεται ότι η ίδια προσέγγιση υιοθετήθηκε για τις ανθρώπινες και τις φυσικές πηγές.

Χρησιμοποιώντας, όπως προαναφέρθηκε, το εργαλείο Raster Calculator υπολογίστηκαν όλες οι περιοχές (κελιά) στις οποίες η παρουσία των τεχνολογικών πηγών είναι μικρότερη από 30% (χαμηλή παρουσία), μεταξύ 30% και 60% (μέτρια παρουσία) και μεγαλύτερη από 60% (υψηλή παρουσία). Για να καθοριστούν οι ανωτέρω εκτάσεις χρησιμοποιήθηκε το ψηφιδωτό αρχείο (εικ. 4.19) που προέκυψε από την εφαρμογή της μεθόδου Ordinary Kriging στη μεταβλητή της συνεισφοράς των τεχνολογικών πηγών στο ακουστικό περιβάλλον.



Εικόνα 4.19: Επιφάνεια πρόβλεψης ψηφιδωτής μορφής για την παρουσία των τεχνολογικών πηγών (οι σκουρόχρωμες περιοχές υποδηλώνουν υψηλή παρουσία)

Για τη δημιουργία του αρχείου που απεικονίζει την χαμηλή παρουσία τεχνολογικών ακολούθησε η διαδικασία η οποία φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικ. 4.20).



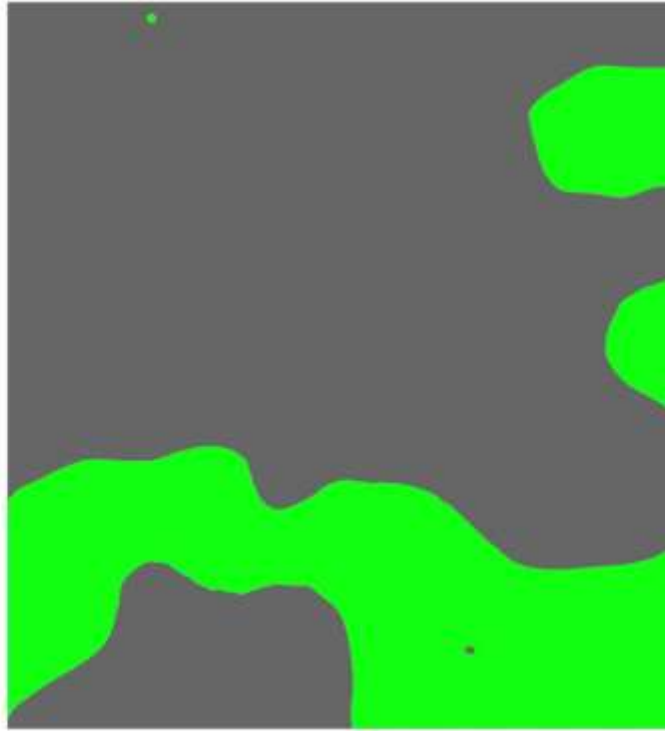
Εικόνα 4.20: Στιγμιότυπο οθόνης (screenshot) της διαδικασίας Raster Calculator (περιβάλλον QGIS 3.4.8)

Το παραγόμενο αρχείο έχει και αυτό με τη σειρά του ψηφιδωτή μορφή (εικ. 4.21). Στις περιοχές οι οποίες η συνεισφορά (σε ποσοστό) είναι μικρότερη από 30% δίνεται η τιμή 1, ενώ σε όλες τις υπόλοιπες η τιμή είναι ίση με 0.

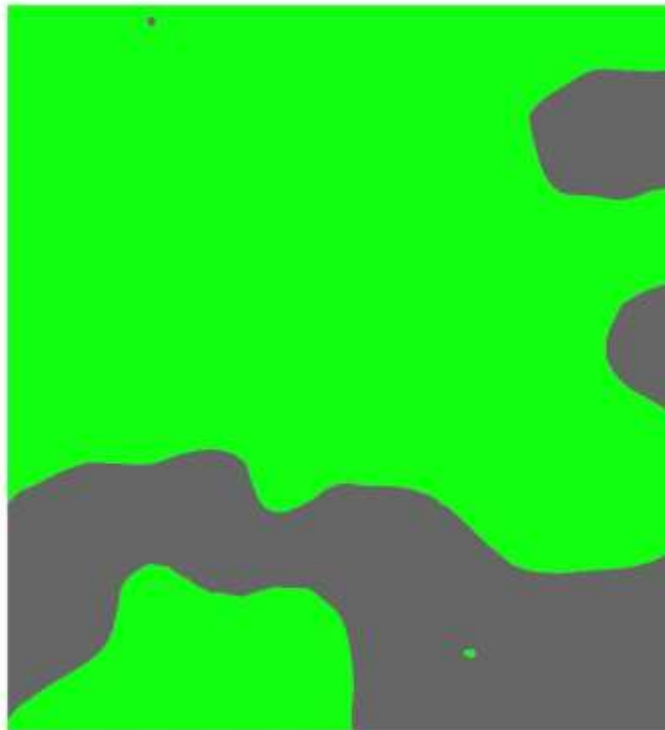


Εικόνα 4.21. Ψηφιδωτό αρχείο στο οποίο εμφανίζονται οι περιοχές που έχουν χαμηλή παρουσία (απεικονίζονται με πράσινο χρώμα) τεχνολογικών πηγών

Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται για τις περιοχές οι οποίες εμφανίζουν μέτρια και υψηλή παρουσία τεχνολογικών πηγών (εικ 4.22. και 4.23.).



Εικόνα 4.22. Ψηφιδωτό αρχείο στο οποίο εμφανίζονται οι περιοχές που έχουν μέτρια παρουσία (απεικονίζονται με πράσινο χρώμα) τεχνολογικών πηγών



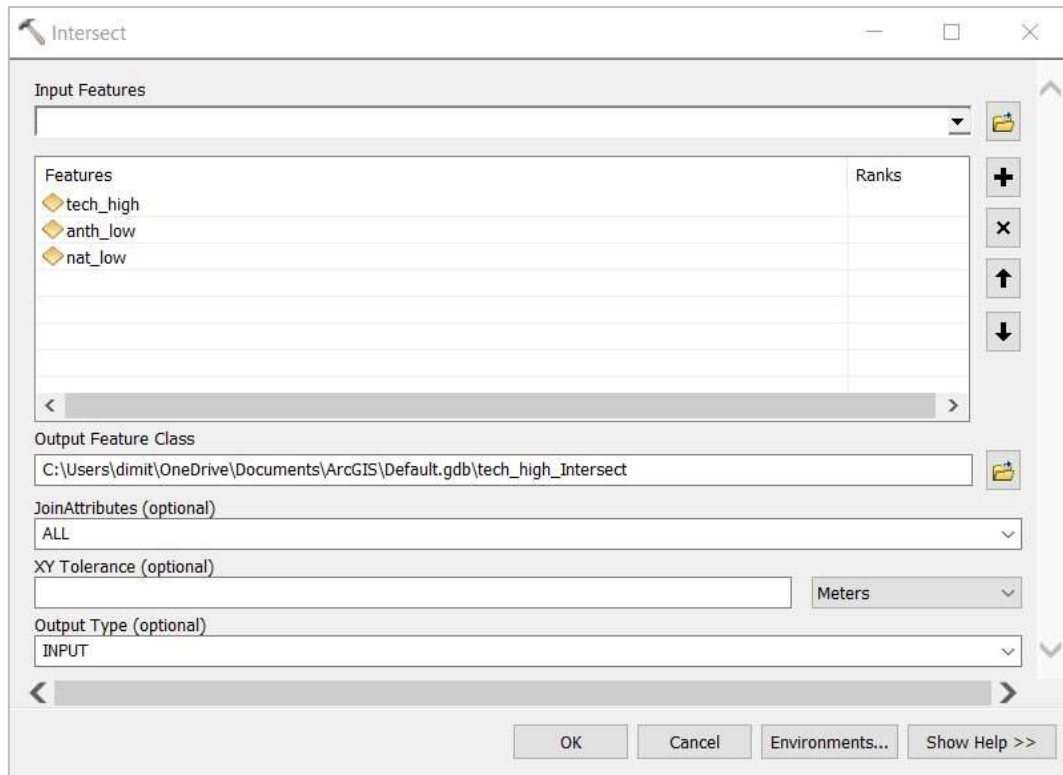
Εικόνα 4.23. Ψηφιδωτό αρχείο στο οποίο εμφανίζονται οι περιοχές που έχουν υψηλή παρουσία (απεικονίζονται με πράσινο χρώμα) τεχνολογικών πηγών

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκαν τρία αρχεία ψηφιδωτής μορφής (χαμηλή, μέτρια και υψηλή παρουσία τεχνολογικών πηγών) τα οποία μετατράπηκαν σε διανυσματικά κάνοντας χρήση του εργαλείου Raster to Vector. Για τις ανθρώπινες και τις φυσικές πηγές δημιουργήθηκαν 2 αρχεία μιας και καμία από τις παραπάνω κατηγορίες δεν παρουσιάζει υψηλή συνεισφορά (άνω του 60%). Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται οι συνεισφορές ανά κατηγορία όπως και οι εκτάσεις τις οποίες καλύπτουν. Όπως προκύπτει, στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής εμφανίζεται υψηλή παρουσία τεχνολογικών πηγών, ενώ οι ανθρώπινες και οι φυσικές συνεισφέρουν σε μικρότερο ποσοστό.

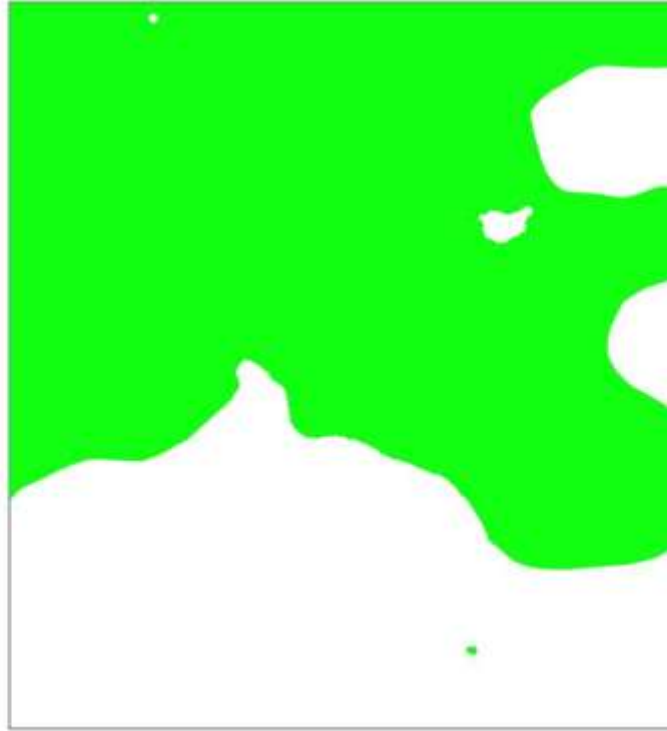
Πίνακας 4.2.: Μέγεθος συνεισφοράς ανά κατηγορία ηχητικών πηγών

Κατηγορία ηχητικών πηγών	Συνεισφορά στο ακουστικό περιβάλλον	Έκταση (σε τ.χλμ.)	Έκταση (σε ποσοστό)
Τεχνολογικές	Υψηλή	3,11	64,3%
	Μέτρια	1,33	27,5%
	Χαμηλή	0,40	8,2%
	Σύνολο	4,83	100,0%
Ανθρώπινες	Υψηλή	-	-
	Μέτρια	1,17	24,2%
	Χαμηλή	3,66	75,8%
	Σύνολο	4,83	100,0%
Φυσικές	Υψηλή	-	-
	Μέτρια	0,63	13,1%
	Χαμηλή	4,20	86,9%
	Σύνολο	4,83	100,0%

Έπειτα, μέσω του εργαλείου Intersect εντοπίστηκαν οι κοινοί τόποι μεταξύ των περιοχών. Παρακάτω (εικ. 4.24 και 4.25) φαίνεται το παράδειγμα της γεωμετρικής τομής μεταξύ περιοχών που εμφανίζουν υψηλή παρουσία τεχνολογικών πηγών και χαμηλή παρουσία ανθρώπινων και φυσικών πηγών.



Εικόνα 4.24.: Στιγμιότυπο οθόνης (screenshot) από τη διαδικασία της γεωμετρικής τομής (περιβάλλον ArcMap 10.4)

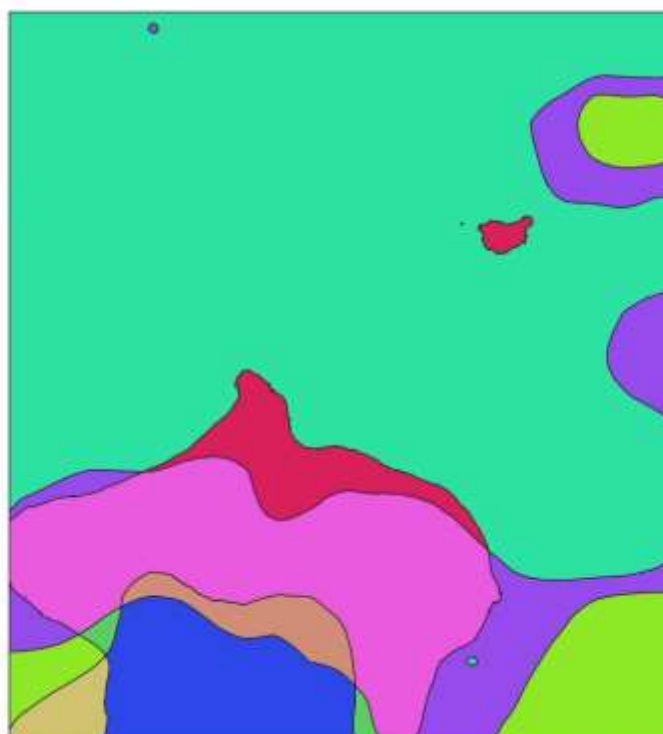


Εικόνα 4.25.: Διανυσματικό αρχείο που προέκυψε από τη διαδικασία της γεωμετρικής τομής και απεικονίζει τις περιοχές οι οποίες έχουν ταυτόχρονα υψηλή παρουσία τεχνολογικών και χαμηλή παρουσία ανθρώπινων και φυσικών πηγών

Η αντίστοιχη διαδικασία ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό όλων των πιθανών περιοχών που παρουσιάζουν κοινά σημεία ανά οποιαδήποτε κατηγορία ηχητικών πηγών. Το τελικό παραγόμενο αρχείο (εικ. 4.26) είναι διανυσματικής μορφής, περιέχει 9 υποκατηγορίες (πιν 4.3.) και παρέχει εικόνα για το ακουστικό περιβάλλον της περιοχής ως σύνολο, αφού κάθε σημείο διαθέτει πληροφορίες για την συνεισφορά (υψηλή, μέτρια και χαμηλή) για κάθε κατηγορία ηχητικών πηγών. Η παρουσία των τεχνολογικών πηγών στην περιοχή η οποία είναι ιδιαίτερα έντονη αποτυπώνεται και στο γεγονός ότι στο 61% (2,95 τ.χλμ.) της έκτασης εμφανίζεται υψηλή παρουσία τεχνολογικών και χαμηλή ανθρώπινων και φυσικών πηγών.

Πίνακας 4.3: Έκταση που καταλαμβάνει κάθε πιθανή υποκατηγορία

Κατηγορία	Συνεισφορά στο ακουστικό περιβάλλον								
	Υψηλή	Υψηλή	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια	Χαμηλή	Χαμηλή	Χαμηλή
Τεχν.	Υψηλή	Υψηλή	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια	Χαμηλή	Χαμηλή	Χαμηλή
Ανθρ.	Χαμηλή	Μέτρια	Χαμηλή	Μέτρια	Μέτρια	Χαμηλή	Μέτρια	Μέτρια	Χαμηλή
Φυσ.	Χαμηλή	Χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Χαμηλή	Μέτρια	Μέτρια	Χαμηλή	Μέτρια
Έκτ.(σε τ.χλμ)	2,95	0,16	0,37	0,02	0,65	0,30	0,27	0,08	0,05
Έκτ (σε ποσοστό)	61,0%	3,3%	7,6%	0,4%	13,4%	6,2%	5.6%	1,7%	1,0%



Εικόνα 4.26.: Τελικό διανυσματικό αρχείο που εξήχθη από την διαδικασία της γεωμετρικής τομής και απεικονίζει τη χωρική κατανομή των 9 υποκατηγοριών

4.3.1.5. Εκτίμηση της ακρίβειας των χαρτών

Όπως έχει προαναφερθεί, η εκτίμηση της ακρίβειας των παραγόμενων χαρτών αποτελεί αναγκαίο στάδιο στη διαδικασία της χωρικής παρεμβολής μιας και προσδιορίζεται με αυτόν τον τρόπο το επίπεδο αποτελεσματικότητας της μεθόδου παρεμβολής η οποία επιλέχθηκε. Η συγκεκριμένη διαδικασία πραγματοποιείται μέσω του εργαλείου «Geostatistical Wizard» το οποίο βρίσκεται στο λογισμικό ArcMap 10.4. Η τιμή της υστέρησης (lag) ορίστηκε στα 100

μέτρα προσιδιάζοντας στο μέγεθος των κελιών του καννάβου. Τα τελικά αποτελέσματα της διασταυρούμενης επικύρωσης (cross-validation) φαίνονται στον πίνακα 4.4

Πίνακας 4.4.: Διαγνωστικά σφάλματα που προέκυψαν κατά τη διαδικασία της διασταυρούμενης επικύρωσης

Απαιτούμενες Συνθήκες	Σφάλμα	L_{Aeq}	L_{90}	L_{10}	Τεχν.	Ανθρ.	Φυσ.
MPE→ 0	MPE	0,043	-0,010	-0,064	-0,002	0,000	0,001
MSE→ 0	MSE	-0,007	-0,001	-0,009	-0,008	0,000	0,004
RMSPE→ min	RMSPE	5,832	5,131	6,474	0,192	0,163	0,130
ASE=RMSPE	ASE	5,910	5,225	6,526	0,194	0,164	0,133
RMSSE≈ 1	RMSSE	0,984	0,979	0,989	0,988	0,993	0,976

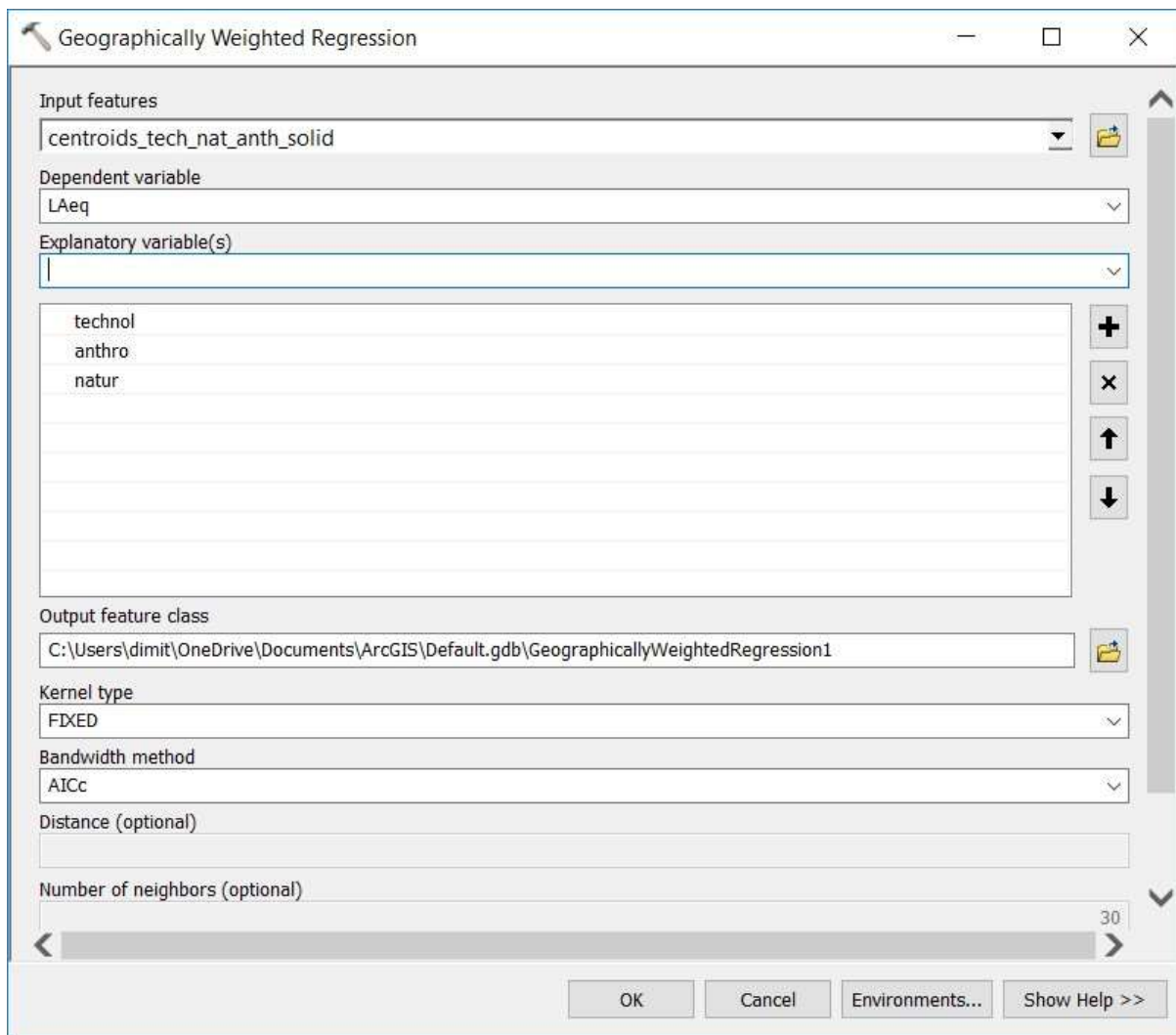
Όσον αφορά τη μεροληψία του μοντέλου, τα χαμηλότερα επίπεδα εντοπίστηκαν στις ανθρώπινες, τις φυσικές και τις τεχνολογικές ηχητικές πηγές μιας και το Μέσο Σφάλμα Πρόβλεψης (Mean Prediction Error ή MPE) και το Μέσο Τυπικό Σφάλμα (Mean Standardised Error ή MSE) είναι πολύ κοντά στο μηδέν, ενώ το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα Πρόβλεψης (Root Mean Squared Prediction Error ή RMSPE) εμφανίζει τις ελάχιστες τιμές του. Αντιθέτως, για τα επίπεδα ηχορύπανσης (δείκτες L_{Aeq} , L_{90} και L_{10}), το μοντέλο εμφανίζει μεγαλύτερη μεροληψία αφού το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα Πρόβλεψης είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από εκείνο που συναντάται στις ηχητικές πηγές.

Η εκτίμηση της αβεβαιότητας η οποία συνδέεται με την ακρίβεια της μεταβλητότητας του μοντέλου φανέρωσε ότι η μεταβλητότητα έχει υπολογιστεί με μεγάλη ακρίβεια σε όλες τις εξεταζόμενες μεταβλητές μιας και το Τυπικό Σφάλμα Μέσου όρου (Average Standard Error ή ASE) εμφανίζει τιμές σχεδόν όμοιες με εκείνες του RMSPE, ενώ οι τιμές του Μέσου Τετραγωνικού Τυπικού Σφάλματος (Root Mean Squared Standardised Error ή RMSSE) πλησιάζουν τη βέλτιστη τιμή, η οποία είναι ίση με τη μονάδα. Η μεταβλητή με την περισσότερη ακρίβεια όσον αφορά τη μεταβλητότητα είναι εκείνη των ανθρώπινων πηγών μιας και το RMSSE της είναι ίσο με 0,993, ενώ οι φυσικές πηγές χαρακτηρίζονται από τη λιγότερη ακρίβεια καθώς παρουσιάζουν το χαμηλότερο RMSSE (του οποίου η τιμή είναι ίση με 0,976).

4.3.1.6. Σύγκριση επιπέδων ηχορύπανσης και δεδομένων ηχοτοπίου

Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιείται η σύγκριση των μετρήσεων των επιπέδων ηχορύπανσης (δείκτες $L_{Aeq,30s}$, L_{90} και L_{10}) με τις καταγραφές δεδομένων ηχοτοπίου (συνεισφορά τεχνολογικών, ανθρώπινων και φυσικών πηγών) για το σύνολο των σημείων δειγματοληψίας, με απώτερο σκοπό την εξαγωγή ορισμένων προτύπων που ενδεχομένως να παρατηρούνται στην περιοχή μελέτης. Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το εργαλείο Geographically Weighted Regression²⁰ το οποίο βρίσκεται στο ArcToolbox του ArcGIS 10.4. Σε πρώτη φάση ορίστηκε ως εξαρτημένη μεταβλητή ο δείκτης $L_{Aeq,30s}$ και ως ανεξάρτητες η συνεισφορά των τεχνολογικών, των ανθρώπινων και των φυσικών ηχητικών πηγών στο ακουστικό περιβάλλον. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται στιγμιότυπο οθόνης από την ανωτέρω διαδικασία. Ως αρχείο εισροής ορίστηκε το διανυσματικής μορφής αρχείο που περιέχει τις μετρήσεις επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου και τις καταγραφές δεδομένων ηχοτοπίου για τα 483 σημεία δειγματοληψίας. Η ανάλογη διαδικασία ακολουθήθηκε με δοσμένες ως εξαρτημένες μεταβλητές τους δείκτες L_{90} και L_{10} .

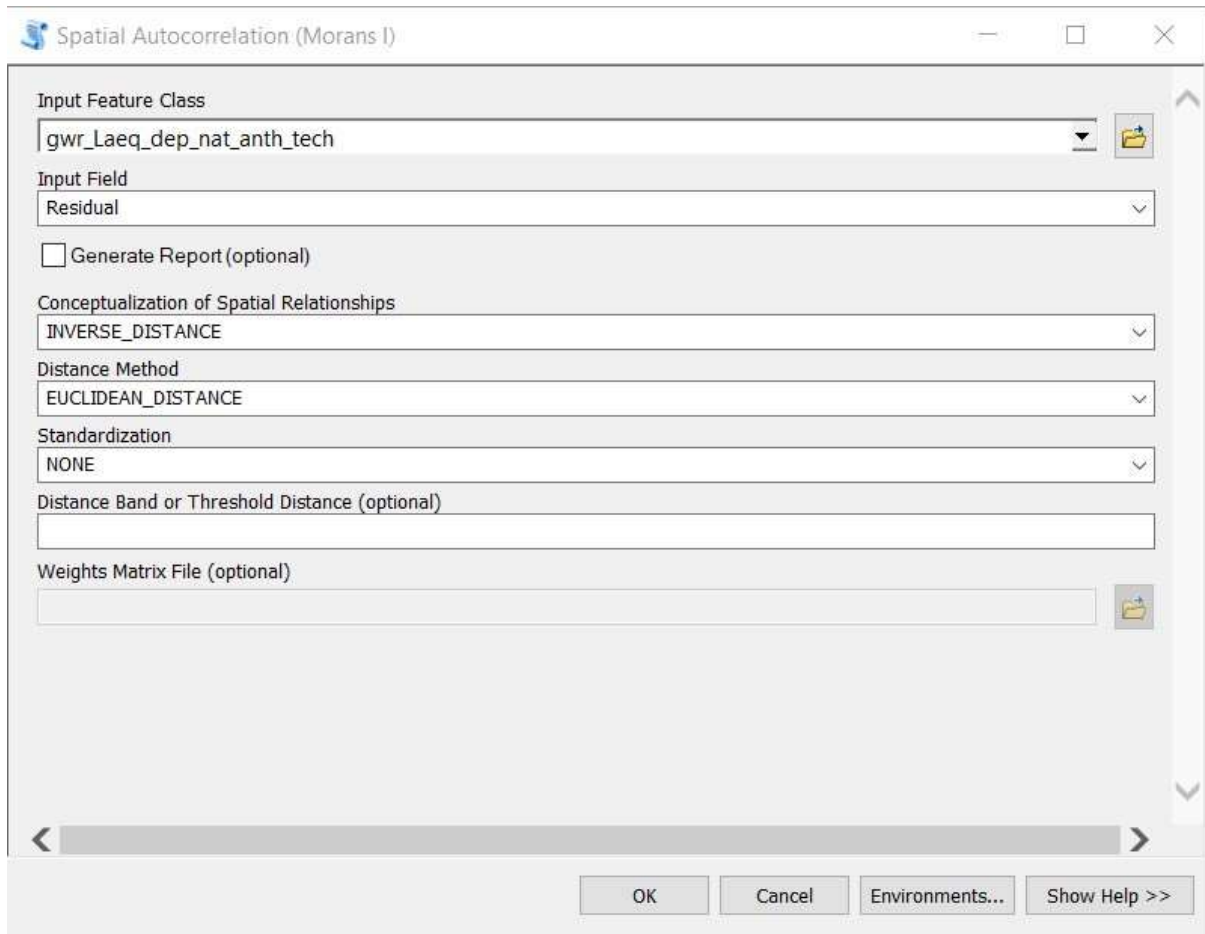
²⁰ Η Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση (Geographically Weighted Regression – GWR) είναι μια σύγχρονη μέθοδος χωρικής ανάλυσης, η οποία επιτρέπει την εξέταση τοπικών διακυμάνσεων σε χωρικές διεργασίες (Καλογήρου, 2015)



Εικόνα 4.27: Στιγμιότυπο οθόνης από τη διαδικασία της Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης

Έπειτα από την διενέργεια των Γεωγραφικά Σταθμισμένων Παλινδρομήσεων, πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος χωρικής αυτοσυσχέτισης. Χωρική αυτοσυσχέτιση είναι η συσχέτιση μεταξύ των τιμών μιας μεταβλητής που οφείλεται αυστηρά στην εγγύτητα των τιμών αυτών στο γεωγραφικό χώρο, εισάγοντας μια απόκλιση από την υπόθεση ανεξάρτητων παρατηρήσεων της κλασικής στατιστικής (Καλογήρου, 2015). Το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την ανωτέρω διαδικασία είναι ο δείκτης μέτρησης χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I ο οποίος βρίσκεται στο ArcToolbox του ArcGIS 10.4. (Spatial Autocorrelation Moran's I). Ως εισροή δόθηκε το διανυσματικό αρχείο που προέκυψε από τη διαδικασία της Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης και ως πεδίο ελέγχου δόθηκε το υπόλοιπο (**residual**) που απορρέει από την αφαίρεση της μετρούμενης τιμής περιβαλλοντικού θορύβου (στην προκειμένη περίπτωση του δείκτη $L_{Aeq,30s}$) από την εκτιμώμενη τιμή η οποία είναι αποτέλεσμα της παλινδρόμησης. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται το στιγμιότυπο

οθόνης από διαδικασία ελέγχου χωρικής αυτοσυσχέτισης για τον δείκτη $L_{Aeq,30s}$. Η ανάλογη διαδικασία ακολουθήθηκε και για τους δείκτες L_{90} και L_{10} .



Εικόνα 4.28: Στιγμιότυπο οθόνης από διαδικασία ελέγχου χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I

5. Αποτελέσματα

Στην παρούσα ενότητα περιέχεται η περιγραφή και αποτίμηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των πληροφοριών οι οποίες συλλέχθηκαν κατά την περίοδο της δειγματοληψίας. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά στη χαρτογράφηση των επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου και της ποσοστιαίας συνεισφοράς των ανά κατηγορία ηχητικών πηγών στο ακουστικό περιβάλλον. Παράλληλα, εκτιμάται το κατά πόσο η διασπορά της ηχορύπανσης εξηγείται από τη χωρική κατανομή των ηχητικών πηγών, καθώς και επίσης πραγματοποιείται η οπτικοποίηση του ηχοτοπίου της περιοχής μελέτης.

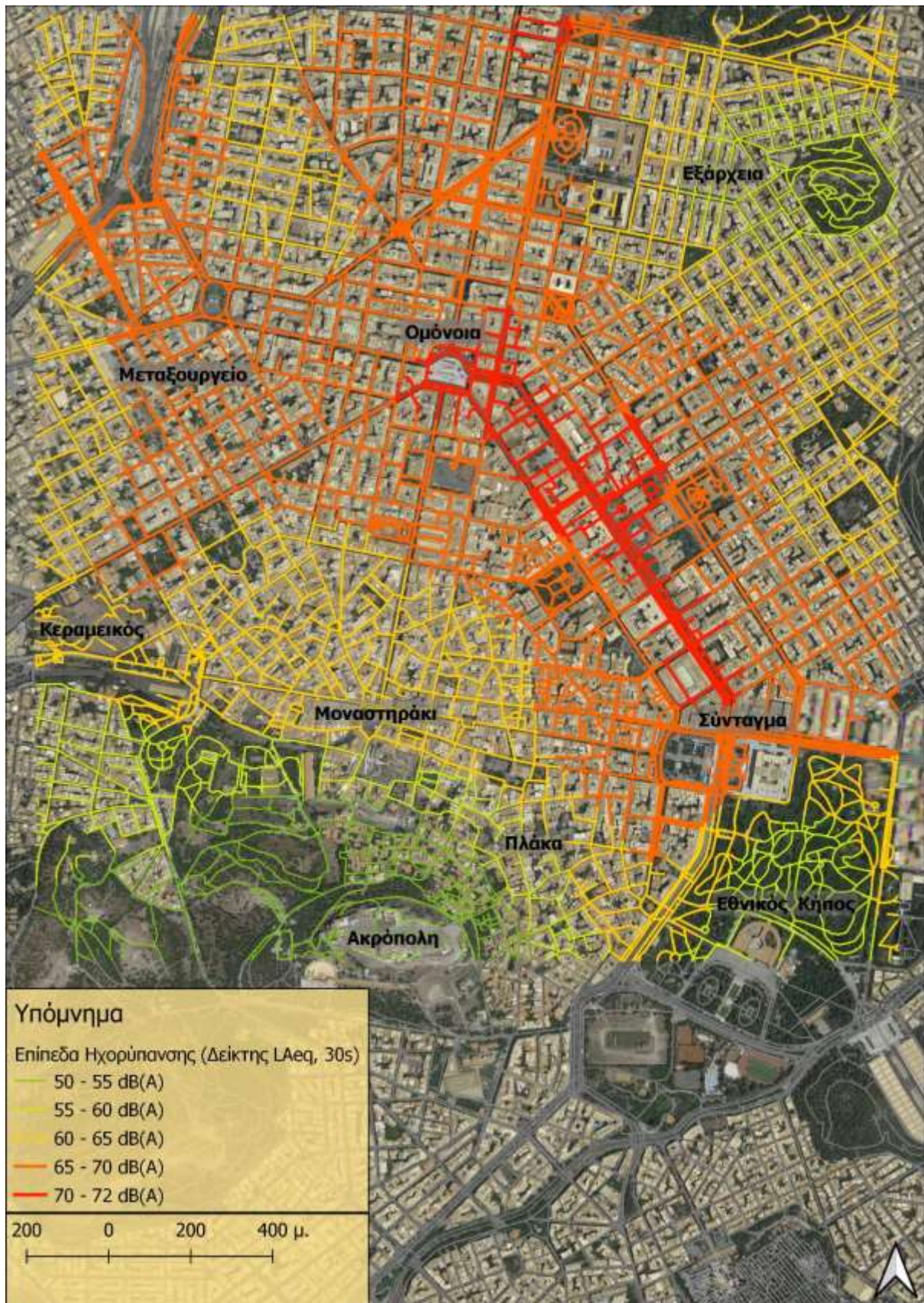
5.1. Χωρική κατανομή των επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου

Η καταγραφή των επιπέδων ηχορύπανσης περιλαμβάνει τη χωρική διασπορά των εξής μεταβλητών: α) του ισοδύναμου επιπέδου ηχητικής πίεσης $L_{Aeq, 30s}$ (δείκτης ο οποίος παρέχει μία συνολική εικόνα για τα επίπεδα ηχητικής πίεσης που επικρατούν), β) του ποσοστομετρικού επιπέδου L_{10} (η συγκεκριμένη παράμετρος αφορά τα μέγιστα επίπεδα ηχορύπανσης, τα οποία συνήθως προέρχονται από την κυκλοφοριακή κίνηση) και γ) του ποσοστομετρικού επιπέδου L_{90} το οποίο εκφράζει τον θορύβο βάθους (background noise).

5.1.1. Δείκτης $L_{Aeq, 30s}$

Όσον αφορά το ισοδύναμο επίπεδο ηχητικής πίεσης $L_{Aeq, 30s}$, παρατηρείται ότι στο μεγαλύτερο τμήμα των οδικών αρτηριών της περιοχής επικρατούν επίπεδα ηχορύπανσης μεγαλύτερα των 60 dB(A). Πιο συγκεκριμένα, οι μέγιστες τιμές (70 – 72 dB) απαντώνται στις περιοχές που βρίσκονται παρά τις λεωφόρους Πανεπιστημίου (κυρίως) και Σταδίου, οδικές αρτηρίες οι οποίες αποτελούν τις βασικές διασυνδέσεις μεταξύ των πολυσύχναστων Πλατειών Συντάγματος και Ομόνοιας (χάρτης 5.1.). Υψηλά επίπεδα ηχορύπανσης (65 – 70 dB) παρατηρούνται επίσης στις βόρειες, και στο μεγαλύτερο τμήμα των βορειοδυτικών και των κεντρικών περιοχών. Κοινό χαρακτηριστικό των αυτών των περιοχών είναι η παρουσία σημαντικών οδικών αρτηριών όπως οι λεωφόροι 28^{ης} Οκτωβρίου και 3^{ης} Σεπτεμβρίου οι οποίες ξεκινούν από την Πλατεία Ομόνοιας και εκτείνονται προς βορρά και οι λεωφόροι Αγίου Κωνσταντίνου, Παναγή Τσαλδάρη και Πειραιώς προς τα δυτικά οι οποίες συνεισφέρουν σημαντικά στα επίπεδα περιβαλλοντικού θορύβου της υπό έρευνα περιοχής. Μέτρια επίπεδα

ηχορύπανσης (60 – 65 dB) εντοπίζονται στο εμπορικό κέντρο της περιοχής (Μοναστηράκι, Πλάκα, Κεραμεικός), σε τμήμα του Εθνικού Κήπου (ο οποίος επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από τον θόρυβο ο οποίος προέρχεται από τις παρακείμενες κεντρικές οδικές αρτηρίες) και σε περιοχές που βρίσκονται στο βόρειο τμήμα (π.χ. Εξάρχεια), οι οποίες έχουν για κύρια χρήση γης την κατοικία και δεν παρατηρείται εντός αυτών κάποια βασική οδική αρτηρία. Τέλος, χαμηλά επίπεδα περιβαλλοντικού θορύβου εμφανίζονται στην περιοχή των Εξαρχείων (ιδίως πλησίον του λόφου Στρέφη) και στο νότιο τμήμα που περιλαμβάνονται ο αρχαιολογικός χώρος της Ακρόπολης και τα Αναφιώτικα (περιοχές στις οποίες παρατηρούνται οι χαμηλότερες τιμές περιβαλλοντικού θορύβου), το μεγαλύτερο τμήμα του Εθνικού Κήπου και τις κατοικημένες περιοχές της συνοικίας του Κεραμεικού.



Χάρτης 5.1.: Χωρική κατανομή επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου (Δείκτης $L_{Aeq, 30s}$)

5.1.2. Δείκτης L_{10}

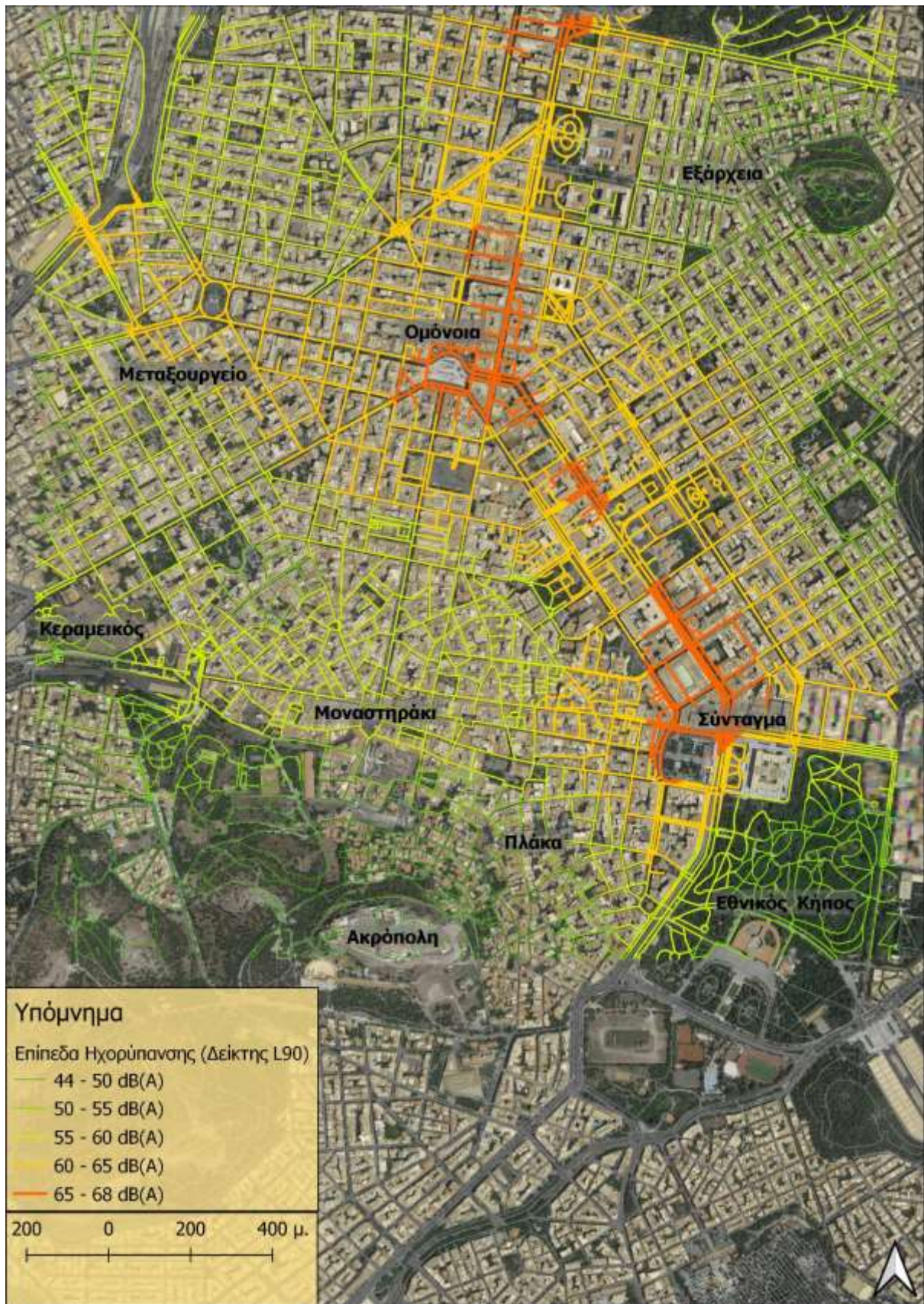
Στον χάρτη 5.2 απεικονίζεται η χωρική κατανομή του ποσοστομετρικού δείκτη περιβαλλοντικού θορύβου L_{10} ο οποίος υπερβαίνει το 10% των παρατηρήσεων και είναι ενδεικτικός για τα μέγιστα επίπεδα ηχορύπανσης, ενώ παράλληλα παρέχει πληροφορίες για την ενόχληση η οποία προέρχεται από την κυκλοφοριακή κίνηση. Όπως φαίνεται και στον χάρτη, οι περιοχές οι οποίες πλήττονται περισσότερο από τον θόρυβο που προέρχεται από την κυκλοφοριακή κίνηση είναι οι βόρειες και κεντρικές (εξαιτίας των βασικών οδικών αρτηριών οι οποίες ξεκινούν από την Πλατεία Ομόνοιας) και οι περιοχές εκείνες που βρίσκονται περί των οδικών αρτηριών οι οποίες ενώνουν την Πλατεία Συντάγματος με εκείνη της Ομόνοιας. Γίνεται εμφανές ότι με την απομάκρυνση από τις κεντρικές οδικές αρτηρίες, παρατηρείται μείωση της ενόχλησης προερχόμενης από την οδική κυκλοφορία. Πιο συγκεκριμένα, οι περιοχές οι οποίες βρίσκονται στην αμέσως επόμενη κλίμακα ενόχλησης (65 – 70 dB) είναι εκείνες που βρίσκονται στα βορειοδυτικά (Μεταξουργείο – Κολωνός), στα ανατολικά (Κολωνάκι), στα κεντρικά (το μεγαλύτερο τμήμα του εμπορικού τριγώνου της Αθήνας) καθώς και σε ένα μικρό τμήμα της περιοχής της Πλάκας και του Εθνικού Κήπου. Οι περιοχές στις οποίες τα επίπεδα ενόχλησης εμφανίζουν μέτριες τιμές (60 – 65 dB) βρίσκονται στα βορειοανατολικά (σημαντικό τμήμα της συνοικίας των Εξαρχείων), στα νοτιοδυτικά (οι κατοικημένες περιοχές της συνοικίας του Κεραμεικού), και στα νότια (το μεγαλύτερο τμήμα της Πλάκας και του Εθνικού Κήπου). Οι χαμηλότερες ενδείξεις ενόχλησης από την κυκλοφοριακή κίνηση απαντώνται σε περιοχές οι οποίες βρίσκονται σε σεβαστή απόσταση από τις κεντρικές οδούς και είτε πρόκειται για χώρους αστικού πρασίνου (π.χ. Άλσος Πετραλώνων στα νοτιοδυτικά, λόφος Στρέφη στα βορειοανατολικά, μικρό τμήμα του Εθνικού Κήπου στα νοτιοανατολικά), είτε για τον αρχαιολογικό χώρο της Ακρόπολης, είτε για παραδοσιακούς οικισμούς (Αναφιώτικα και τμήμα της συνοικίας Πλάκας).



Χάρτης 5.2.: Χωρική κατανομή επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου (Δείκτης L₁₀)

5.1.3. Δείκτης L_{90}

Η διασπορά του ποσοτομετρικού δείκτη επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου L_{90} , ο οποίος υπερβαίνει το 90% των παρατηρήσεων, αποτελεί ένδειξη για την χωρική διακύμανση του θορύβου βάθους (background noise). Όπως φαίνεται στον χάρτη 5.3., οι περιοχές οι οποίες επηρεάζονται περισσότερο από τον θόρυβο βάθους (65 – 68 dB) είναι εκείνες που βρίσκονται γύρω από τις Πλατείες Ομόνοιας και Συντάγματος και το μεγαλύτερο τμήμα των περιοχών που βρίσκονται περί των λεωφόρων Πανεπιστημίου και 28^{ης} Οκτωβρίου. Στην αμέσως χαμηλότερη κλίμακα ενόχλησης (60 – 65 dB) ανήκουν οι περιοχές που βρίσκονται στα δυτικά και βόρεια της Πλατείας Ομόνοιας, η περιοχή του Μεταξουργείου, το βόρειο τμήμα του εμπορικού τριγώνου της Αθήνας, οι περιοχές που βρίσκονται βορειοδυτικά της λεωφόρου Πανεπιστημίου και τμήμα της περιοχής η οποία βρίσκεται περί την πλατεία Συντάγματος. Οι περιοχές οι οποίες βιώνουν μέτρια επίπεδα περιβαλλοντικού θορύβου βάθους (55 – 60 dB) είναι εκείνες που βρίσκονται στο νότιο τμήμα του εμπορικού τριγώνου, οι βορειοδυτικές (Κολωνός, Μεταξουργείο) και εκείνες που βρίσκονται στα όρια της συνοικίας των Εξαρχείων και του Εθνικού Κήπου. Χαμηλότερα επίπεδα θορύβου βάθους (50 – 55 dB) παρατηρούνται στο μεγαλύτερο τμήμα της συνοικίας των Εξαρχείων, σε μικρά τμήματα των συνοικιών του Κολωνού (βορειοδυτικά) και του Μεταξουργείου, σε σημαντικό τμήμα της συνοικίας του Κολωνακίου (ανατολικά), του Εθνικού Κήπου, της Πλάκας και του Κεραμεικού. Τέλος, οι πιο ήσυχες περιοχές (αναφορικά με τον θόρυβο βάθους) είναι οι περιοχές γύρω από τον αρχαιολογικό χώρο της Ακρόπολης και τα Αναφιώτικα στα νότια, εκείνες που βρίσκονται νοτίως του Κεραμεικού, το Άλσος Πετραλώνων στα νοτιοδυτικά, και ο Λόφος του Στρέφη στα βορειοδυτικά.



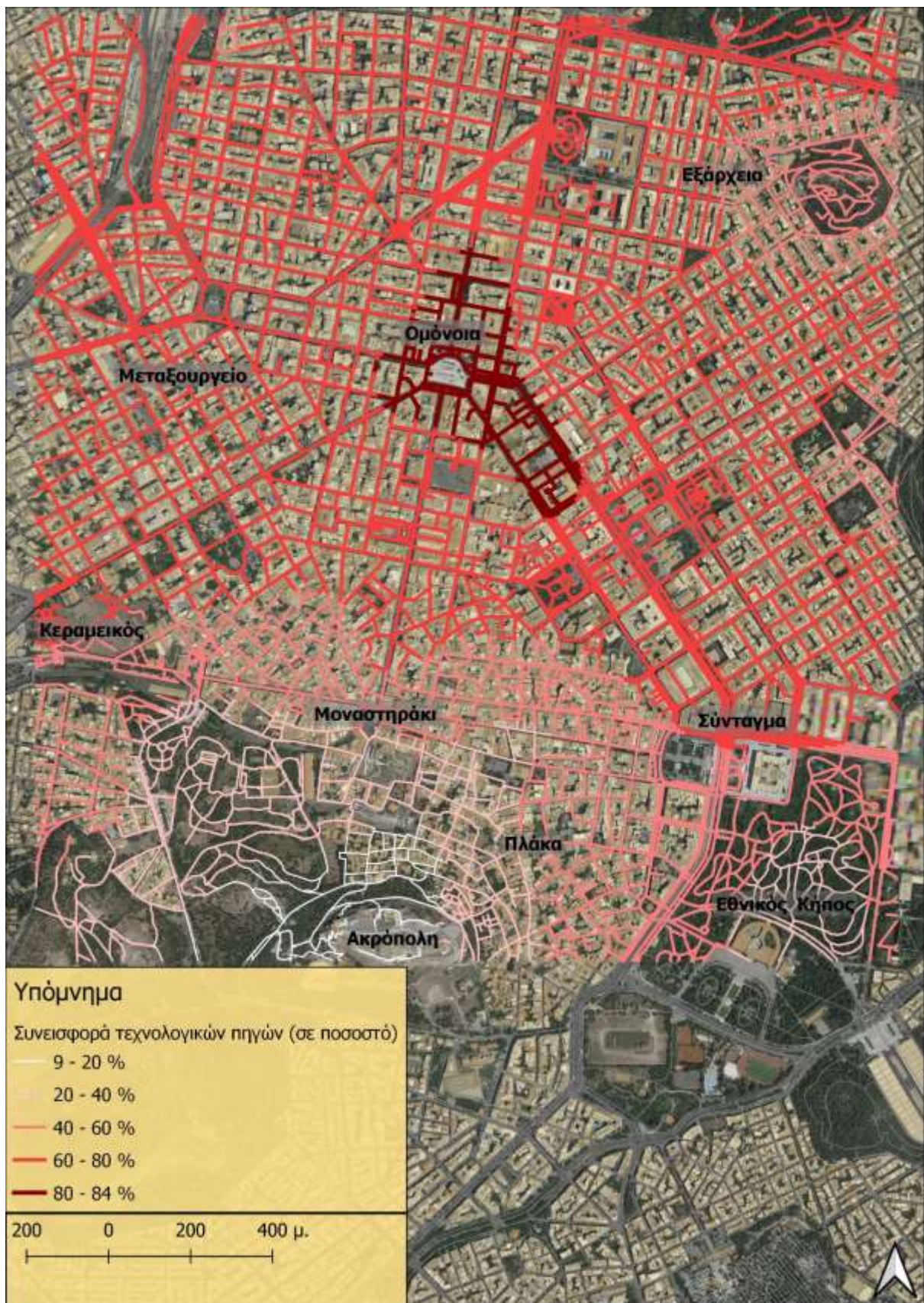
Χάρτης 5.3.: Χωρική κατανομή επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου (Δείκτης L₉₀)

5.2. Χωρική κατανομή των αντιληπτικών δεδομένων ηχοτοπίου

Η καταγραφή των δεδομένων ηχοτοπίου αφορά την χωρική κατανομή της συνεισφοράς των ηχητικών πηγών στο ακουστικό περιβάλλον της περιοχής μελέτης. Οι προαναφερθείσες ηχητικές πηγές χωρίζονται σε τεχνολογικές (π.χ. αυτοκίνητα, λεωφορεία, τρένα κλπ), ανθρώπινες (π.χ. ανθρώπινη ομιλία, ζωντανή μουσική κλπ), και φυσικές (π.χ. πτηνά, θρόισμα των φύλλων από τα δέντρα, τρεχούμενο νερό).

5.2.1. Χωρική κατανομή των τεχνολογικών πηγών

Όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.4. οι τεχνολογικές πηγές συμβάλλουν στο ακουστικό περιβάλλον της υπό έρευνα περιοχής κατά ιδιαίτερα σημαντικό βαθμό. Πιο συγκεκριμένα, το ακουστικό περιβάλλον των περιοχών που βρίσκονται πλησίον της Πλατείας Ομόνοιας αποτελείται ως επί το πλείστον από «τεχνολογικούς» ήχους. Τοποθεσίες οι οποίες χαρακτηρίζονται από μέτρια προς ισχυρή παρουσία τεχνολογικών ήχων είναι εκείνες που βρίσκονται στο βόρειο (εκτός της συνοικίας των Εξαρχείων), και στο κεντρικό τμήμα της περιοχής. Μέτρια παρουσία τεχνολογικών πηγών εντοπίζεται στο νότιο τμήμα του Εμπορικού Τριγώνου, σε σημαντικό τμήμα της συνοικίας της Πλάκας, του Εθνικού Κήπου και στις περιοχές κατοικίας της συνοικίας του Κεραμεικού. Γίνεται εμφανές ότι όσο απομακρύνεται κάποιος από τις μεγάλες λεωφόρους (οι οποίες χαρακτηρίζονται από την ισχυρή παρουσία αυτοκινήτων, λεωφορείων, τρόλεϊ κλπ), τόσο περισσότερο ελαττώνεται η παρουσία των τεχνολογικών πηγών. Πιο συγκεκριμένα, χαμηλή παρουσία «τεχνολογικών» ήχων εντοπίζεται στα νότια όπου επικρατούν χώροι αστικού πρασίνου (π.χ. Εθνικός Κήπος, Άσος Πετραλώνων) και περιοχές με έντονο τουριστικό χαρακτήρα όπως είναι τα Αναφιώτικα, η Πλάκα και η Ακρόπολη.



Χάρτης 5.4.: Χωρική κατανομή της συνεισφοράς των τεχνολογικών πηγών

5.2.2. Χωρική κατανομή των ανθρώπινων πηγών

Σε αντίθεση με τις τεχνολογικές πηγές, οι ανθρώπινες δεν χαρακτηρίζονται σε κανένα σημείο από ιδιαίτερα ισχυρή παρουσία. Η μέγιστη τους συνεισφορά φθάνει τα μέτρια επίπεδα τα οποία παρατηρούνται από τα κεντρικά προς τα νότια (χάρτης 5.5.). Πιο συγκεκριμένα, οι περιοχές οι οποίες βρίσκονται στο νότιο τμήμα του Εμπορικού Τριγώνου, στο δυτικό τμήμα της συνοικίας της Πλάκας, στα ανατολικά του Κεραμεικού και η ευρύτερη περιοχή του αρχαιολογικού χώρου της Ακρόπολης είναι οι τοποθεσίες στις οποίες οι επικρατούντες ήχοι μαρτυρούν μέτρια ανθρώπινη παρουσία. Οι ανωτέρω περιοχές χαρακτηρίζονται από «ανθρώπινους» ήχους μιας και αφορούν σημεία τα οποία διαθέτουν εμπορικές (καφετέριες, εστιατόρια, εμπορικά καταστήματα κλπ), τουριστικές και χρήσεις αναψυχής, είτε πρόκειται για ιστορικούς τόπους παγκόσμιας εμβέλειας (π.χ. Ακρόπολη). Το υπόλοιπο τμήμα αποτελείται από σημεία που χαρακτηρίζονται είτε από μέτρια προς χαμηλή είτε από χαμηλή παρουσία ανθρώπινων ηχητικών πηγών. Παρατηρήθηκε ότι σε γενικές γραμμές τα υψηλά επίπεδα θορύβου συνοδεύονται από χαμηλή παρουσία ανθρώπινων πηγών, μιας και οι τεχνολογικοί ήχοι επικαλύπτουν τους ανθρώπινους. Ωστόσο, περιοχές οι οποίες προσδιορίζονται ως ήσυχες, δεν είναι απαραίτητο ότι χαρακτηρίζονται από «ανθρώπινους ήχους» (π.χ. Εθνικός Κήπος, Εξάρχεια – Λόφος Στρέφη, νότιο τμήμα της συνοικίας του Κεραμεικού – Άλσος Πετραλώνων).



Χάρτης 5.5.: Χωρική κατανομή της συνεισφοράς των ανθρώπινων πηγών

5.2.3. Χωρική κατανομή των φυσικών πηγών

Η συνεισφορά των φυσικών πηγών, όπως και οι ανθρώπινες, κυμαίνεται σε μέτρια προς χαμηλά επίπεδα. Οι περιοχές οι οποίες χαρακτηρίζονται από μέτρια παρουσία «φυσικών» ήχων, όπως φαίνεται στον χάρτη 5.6. είναι ο ευρύτερος χώρος γύρω από την Ακρόπολη και το μεγαλύτερο τμήμα του Εθνικού Κήπου. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι ο αρχαιολογικός χώρος της Ακρόπολης (ο οποίος βρίσκεται σε σημαντική απόσταση από το πολυσύχναστο κέντρο) εμφανίζει τους ενοχλητικούς ήχους που προέρχονται από τα αυτοκίνητα και τα λεωφορεία, να έχουν αρκετά μικρότερη ένταση. Συνεπώς, οι «φυσικοί» ήχοι (που προέρχονται κυρίως από διάφορα πτηνά τα οποία βρίσκουν εκεί καταφύγιο) να βρίσκουν πρόσφορο έδαφος. Ο Εθνικός Κήπος (κυρίως στο εσωτερικό του τμήμα), από την άλλη πλευρά, παρ'ότι βρίσκεται πλησιέστερα των κεντρικών λεωφόρων (οι οποίες είναι και η βασική πηγή «τεχνολογικών» ήχων), διαθέτει περισσότερα μέλη (κυρίως πτηνά) του ζωικού βασιλείου τα οποία έχουν τη δυνατότητα να επικαλύψουν (masking) τον θόρυβο ο οποίος προέρχεται από τις παρακείμενες οδικές αρτηρίες. Περιοχές οι οποίες εμφανίζουν μέτρια προς χαμηλή παρουσία φυσικών ήχων είναι τα Αναφιώτικα, τμήμα της συνοικίας της Πλάκας και η συνοικία των Εξαρχείων η οποία επηρεάζεται κυρίως από την ύπαρξη του λόφου του Στρέφη καθώς και ορισμένων οικόσιτων πτηνών τα οποία επιτυγχάνουν να «ακουστούν» μιας και η κίνηση των αυτοκινήτων είναι αισθητά μειωμένη σχετικά με τα λοιπά αστικοποιημένα τμήματα.



Χάρτης 5.6.: Χωρική κατανομή της συνεισφοράς των φυσικών πηγών

5.3. Εξήγηση των επιπέδων ηχορύπανσης συναρτήσει των αντιληπτικών δεδομένων ηχοτοπίου

Σε αυτό το στάδιο επιχειρείται η εκτίμηση του κατά πόσο η διασπορά των στάθμεων περιβαλλοντικού θορύβου (δείκτες $L_{Aeq,30s}$, L_{90} και L_{10}) δύναται να εξηγηθεί από τη χωρική κατανομή των αντιληπτικών δεδομένων ηχοτοπίου (συνεισφορά τεχνολογικών, ανθρώπινων και φυσικών πηγών). Όπως έχει προαναφερθεί στην ενότητα 4.3.1.6., η υλοποίηση της ανωτέρω διαδικασίας πραγματοποιήθηκε μέσω του εργαλείου Geographically Weighted Regression το οποίο βρίσκεται στο ArcToolbox του ArcGIS 10.4. Η διαδικασία της Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρόμησης διενεργήθηκε τρεις φορές διατηρώντας σταθερές τις εξής ανεξάρτητες μεταβλητές: α) συνεισφορά τεχνολογικών, β) ανθρώπινων και γ) φυσικών πηγών. Σε πρώτη φάση πραγματοποιήθηκε παλινδρόμηση με εξαρτημένη μεταβλητή τον δείκτη $L_{Aeq, 30s}$, έπειτα ως εξαρτημένη μεταβλητή ορίστηκε ο δείκτης L_{90} και τέλος ο δείκτης L_{10} . Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.1.: Αποτελέσματα της διαδικασίας Γεωγραφικά Σταθμισμένης Παλινδρομής

Εξαρτημένη μεταβλητή	Ανεξάρτητη μεταβλητή 1	Ανεξάρτητη μεταβλητή 2	Ανεξάρτητη μεταβλητή 3	R ²
Δείκτης $L_{Aeq, 30s}$	Ανθρώπινες Πηγές	Φυσικές Πηγές	Τεχνολογικές Πηγές	0,783
Δείκτης L_{90}	Ανθρώπινες Πηγές	Φυσικές Πηγές	Τεχνολογικές Πηγές	0,798
Δείκτης L_{10}	Ανθρώπινες Πηγές	Φυσικές Πηγές	Τεχνολογικές Πηγές	0,732

Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται ότι το στατιστικό μέγεθος R-squared, του οποίου η μεγαλύτερη τιμή αφορά τον δείκτη L_{90} για τον οποίο αγγίζει σχεδόν το 0,8, υποδηλώνει ότι οι τρεις ανεξάρτητες μεταβλητές (αντιληπτικές καταγραφές ηχοτοπίου) ερμηνεύουν το 80% της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής (δείκτης θορύβου βάθους (background noise) L_{90}). Στην επόμενη θέση βρίσκεται το ισοδύναμο ηχητικής πίεσης (δείκτης $L_{Aeq, 30s}$) του ο οποίου το μέγεθος R-squared ισούται με 0,783, στοιχείο που υποδηλώνει ότι ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 μας πληροφορεί ότι οι τρεις ανεξάρτητες μεταβλητές ερμηνεύουν το 78% της διακύμανσης του δείκτη $L_{Aeq, 30s}$. Τέλος, αναφέρεται ότι η διακύμανση του δείκτη ενόχλησης από την κυκλοφοριακή κίνηση L_{10} εξηγείται σε ποσοστό 73% από τις

ανεξάρτητες μεταβλητές. Όπως φαίνεται από τα παραπάνω η διασπορά και των τριών δεικτών περιβαλλοντικού θορύβου εξηγείται σε σημαντικό βαθμό από τις καταγραφές των αντιληπτικών δεδομένων ηχοτοπίου στοιχείο που υποδηλώνει καλή προσαρμοστικότητα του μοντέλου.

Επόμενο στάδιο στη διαδικασία αποτέλεσε η εξέταση της ύπαρξης ή μη χωρικής αυτοσυσχέτισης στα υπόλοιπα (**residuals**) που απορρέουν από την αφαίρεση της μετρούμενης τιμής περιβαλλοντικού θορύβου από την εκτιμούμενη τιμή η οποία είναι αποτέλεσμα της παλινδρόμησης (εικ 5.1).

FID	Shape	Observed	Cond	LocalR2	Predicted	Residual	SedResid	resid_abs
0	Point	67.7	13.693906	0.636685	66.556576	1.143424	0.403592	1.143424
1	Point	60.9	13.713937	0.619562	65.84117	-4.94117	-1.38476	4.94117
2	Point	61.7	13.68231	0.61397	65.142142	-3.442142	-0.94994	3.442142
3	Point	71	13.595788	0.618883	71.192727	-0.192727	-0.055141	0.192727
4	Point	64	13.494776	0.630182	68.106091	-4.106091	-1.295635	4.106091
5	Point	72.7	13.428278	0.640949	73.17228	-0.47228	-0.135662	0.47228
6	Point	56.9	13.429716	0.645131	63.522097	-6.622097	-1.921355	6.622097
7	Point	56.9	13.522928	0.635197	63.767763	-7.867763	-2.098952	7.867763
8	Point	53.1	13.757996	0.605099	56.790568	-3.690568	-1.129905	3.690568
9	Point	73.4	14.143659	0.553692	70.334227	3.065773	1.01436	3.065773
10	Point	55.3	14.566236	0.493656	63.839853	-8.539853	-2.448098	8.539853
11	Point	58.1	14.734139	0.443202	59.359498	-1.259498	-0.362147	1.259498
12	Point	51.6	14.453007	0.415212	65.508956	-13.908956	-3.724279	13.908956
13	Point	63.5	13.785466	0.410344	64.771583	-1.271583	-0.367441	1.271583
14	Point	74.4	12.896328	0.416609	69.720568	4.679432	1.331026	4.679432
15	Point	59.1	11.913043	0.423497	63.059348	-3.959348	-1.227525	3.959348
16	Point	49.5	11.091343	0.432347	59.240382	-9.740382	-2.716073	9.740382
17	Point	59.1	10.309312	0.448895	66.680095	-7.580095	-2.193807	7.580095
18	Point	63.6	9.900925	0.469474	64.350311	-0.750311	-0.207499	0.750311

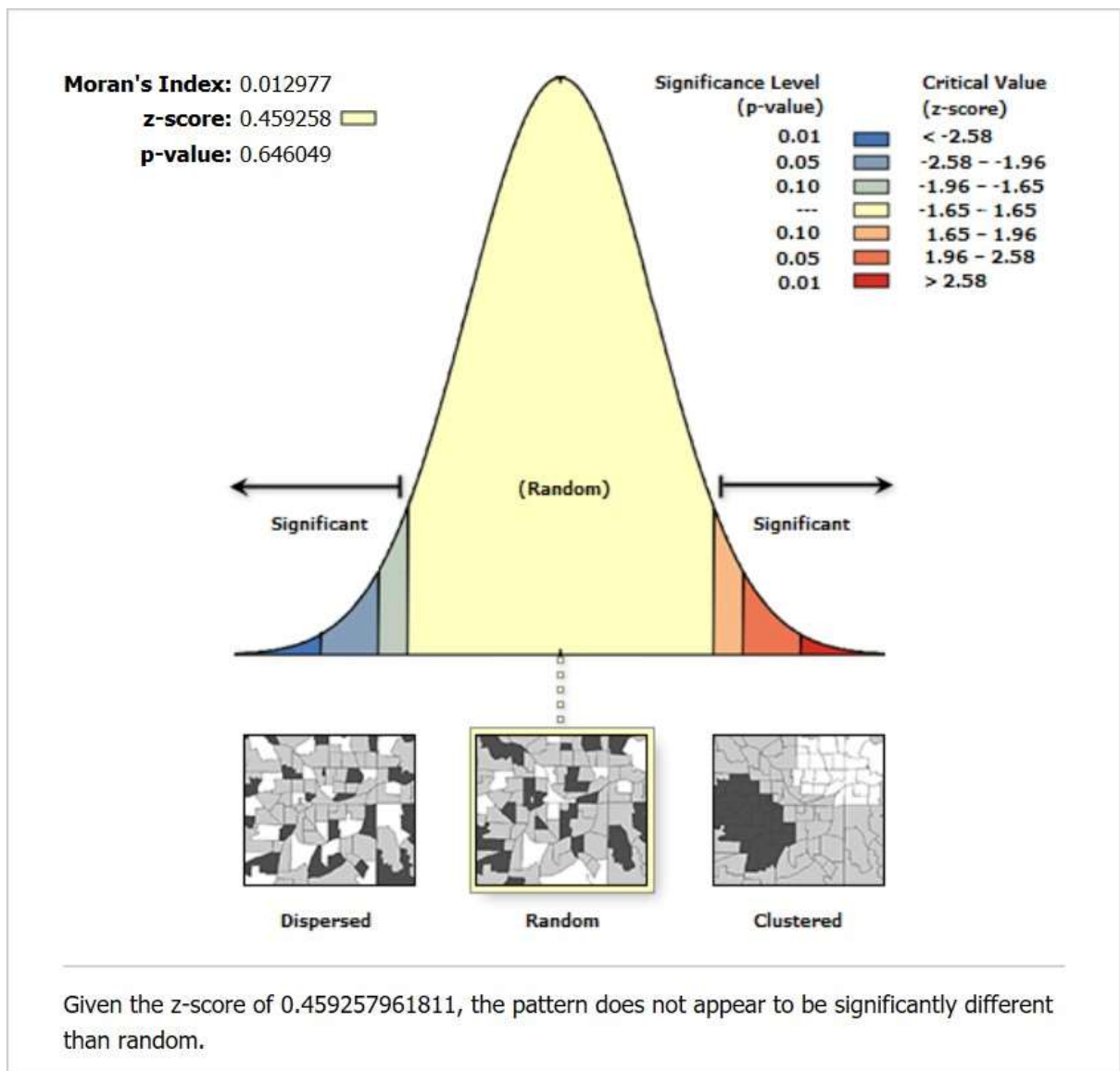
Εικόνα 5.1: Στιγμιότυπο οθόνης (screenshot) του πίνακα ιδιοτήτων (attribute table) της παλινδρόμησης με εξαρτημένη μεταβλητή τον δείκτη $L_{Aeq, 30s}$ που υπερτονίζει ορισμένες από τις μετρούμενες (**Observed**), τις υπολογισμένες τιμές (**Predicted**) και τα υπόλοιπα (**Residual**)

Όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα (κεφ. 4.3.1.6.), ο συγκεκριμένος έλεγχος διενεργήθηκε βάσει του δείκτη μέτρησης χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I. Σκοπός της παραπάνω διαδικασίας είναι να προσδιοριστεί του κατά πόσο οι παραδοχές της παλινδρόμησης έχουν ικανοποιηθεί. Το παραπάνω καθίσταται δυνατό όταν τα υπόλοιπα (residuals) είναι ανεξάρτητα και κατανέμονται πανομοιότυπα. Αυτό σημαίνει ότι τα σφάλματα: α) είναι ανεξάρτητα το ένα από το άλλο και οι τιμές τους δεν εξαρτώνται από τις τιμές των γειτονικών τοποθεσιών, β) χαρακτηρίζονται από σταθερή διακύμανση και γ) διανέμονται με ομαλό τρόπο. Ο δείκτης Moran's I λαμβάνει τιμές από -1 ως $+1$. Τιμές κοντά στο $+1$ υποδηλώνουν ισχυρή θετική αυτοσυσχέτιση, τιμές κοντά στο -1 υποδηλώνουν ισχυρή αρνητική αυτοσυσχέτιση, ενώ όταν ο δείκτης Moran's I εμφανίζει τιμές κοντά στο 0 , παρατηρείται απουσία χωρικής

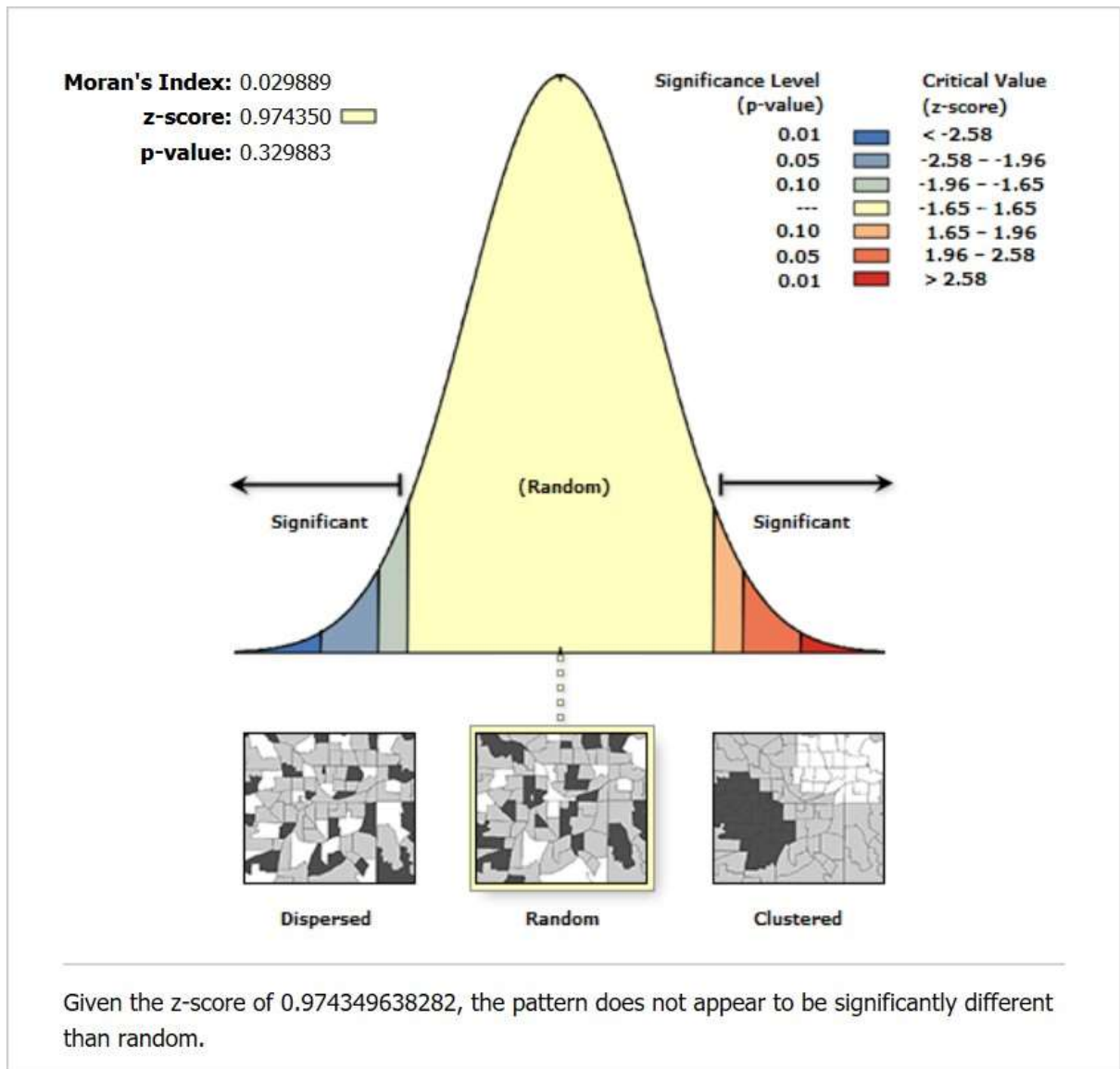
αυτοσυσχέτισης. Παράλληλα με τον δείκτη Moran's I, το λογισμικό ArcGIS εξάγει και ακόμη δύο μεγέθη:

- το Z-score το οποίο αποτελεί ουσιαστικά την τυπική απόκλιση του μοντέλου. Όσο πιο κοντά βρίσκεται στο 0, τόσο περισσότερο το εξεταζόμενο μέγεθος (στην περίπτωση μας τα residuals) χαρακτηρίζεται από σταθερή διακύμανση στο χώρο
- και την P-value που μετρά το κατά πόσο είναι πιθανό το παρατηρούμενο χωρικό μοτίβο να δημιουργήθηκε από κάποια τυχαία διαδικασία. Όταν η p-value λαμβάνει υψηλές τιμές (κοντά στο 1), το παρατηρούμενο χωρικό μοτίβο έχει αυξημένη πιθανότητα να προέκυψε ως αποτέλεσμα τυχαίων διεργασιών

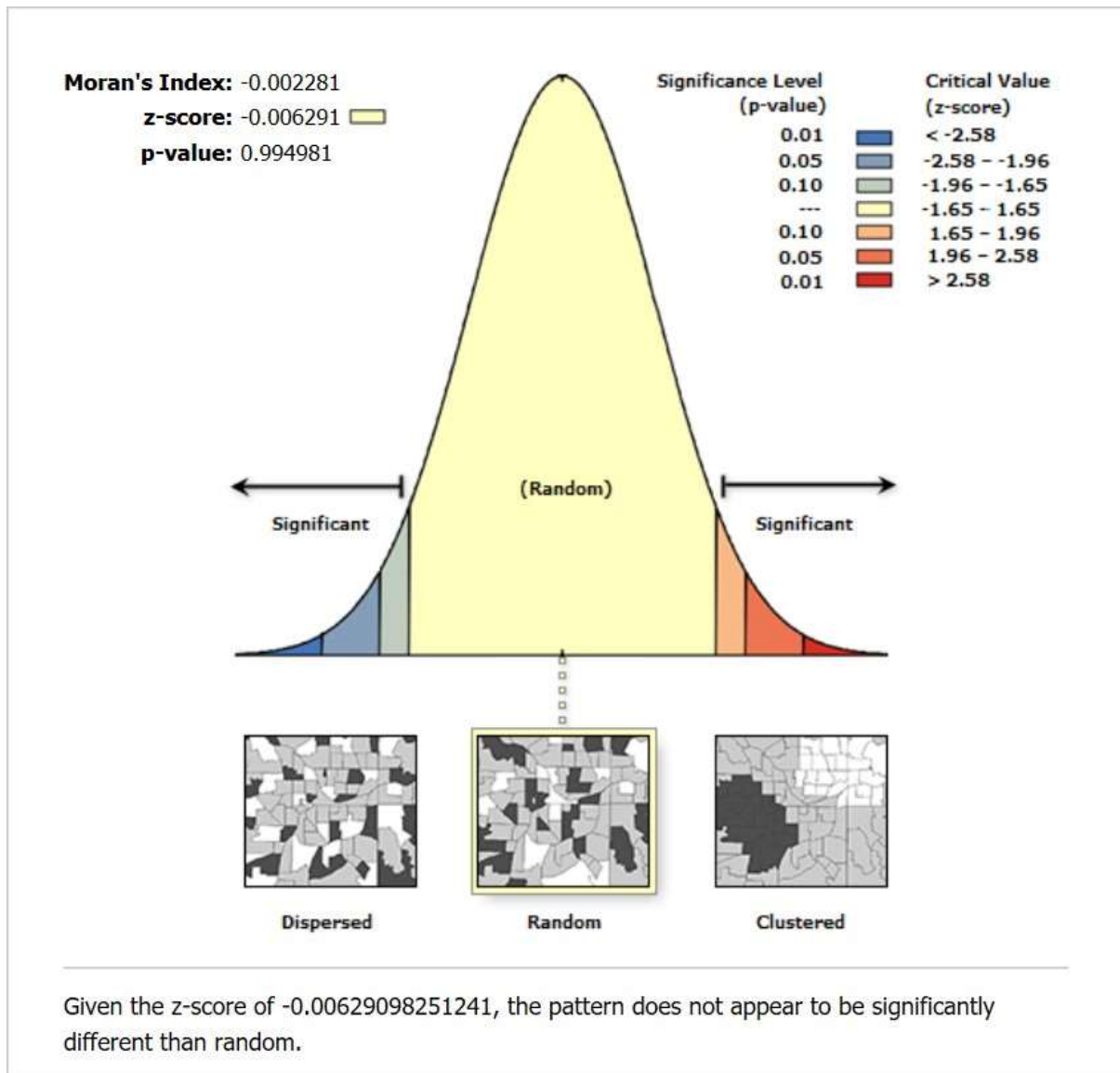
Ο έλεγχος χωρικής αυτοσυσχέτισης διενεργήθηκε και για τις τρεις Γεωγραφικά Σταθμισμένες Παλινδρομήσεις, ενώ τα αποτελέσματα τα οποία απορρέουν από αυτόν φαίνονται στις εικόνες 5.2., 5.3. και 5.4. και στον πίνακα 5.2.



Εικόνα 5.2: Αποτελέσματα από τον έλεγχο χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I για την Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση με εξαρτημένη μεταβλητή τον δείκτη $L_{Aeq, 30s}$



Εικόνα 5.3.: Αποτελέσματα από τον έλεγχο χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I για την Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση με εξαρτημένη μεταβλητή τον δείκτη L_{90}



Εικόνα 5.4.: Αποτελέσματα από τον έλεγχο χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I για την Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση με εξαρτημένη μεταβλητή τον δείκτη L_{10}

Πίνακας 5.2.: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του ελέγχου χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I

Εξαρτημένη μεταβλητή	Δείκτης Moran's I	Z-score	P-value	Χωρικό Μοτίβο
Δείκτης $L_{Aeq, 30s}$	0,013	0,459	0,646	Τυχαίο
Δείκτης L_{90}	0,030	0,974	0,330	Τυχαίο
Δείκτης L_{10}	-0,002	-0,006	0,995	Τυχαίο

Από τα ανωτέρω εξάγεται το συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει χωρική αυτοσυσχέτιση στα υπόλοιπα (residuals) καμίας από τις παλινδρομήσεις που εκτελέστηκαν, αφού ο δείκτης Moran's I εμφανίζει τιμές πολύ κοντά στο 0 και στις τρεις περιπτώσεις. Επιπλέον, από την

απόδοση του μεγέθους Z-score, φαίνεται ότι τα residuals της παλινδρόμησης με εξαρτημένη μεταβλητή τον δείκτη L_{10} (συγκριτικά με τις άλλες δύο παλινδρομήσεις που διενεργήθηκαν) χαρακτηρίζονται από την πιο σταθερή διακύμανση στο χώρο. Αντίστοιχα η ιδιαίτερα υψηλή τιμή στο μέγεθος P-value στον προαναφερθέντα δείκτη μαρτυρά ότι το παρατηρούμενο χωρικό μοτίβο έχει την μεγαλύτερη πιθανότητα να προέκυψε ως αποτέλεσμα τυχαίων διεργασιών.

Οπότε, βάσει των ανωτέρω μπορεί να ειπωθεί με ασφάλεια ότι και στις τρεις περιπτώσεις, τα σφάλματα είναι ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, χαρακτηρίζονται από σταθερή διακύμανση, διανέμονται με ομαλό τρόπο στο χώρο και προκύπτουν ως αποτέλεσμα τυχαίων διαδικασιών. Με αυτόν τον τρόπο ισχυροποιείται ακόμα περισσότερο η προσαρμοστικότητα του μοντέλου το οποίο βασίστηκε στην υπόθεση ότι η χωρική κατανομή των αντιληπτικών καταγραφών ηχοτοπίου (συνεισφορά τεχνολογικών, ανθρώπινων και φυσικών πηγών) εξηγεί την διασπορά των επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου στην περιοχή μελέτης.

5.4. Προφίλ ηχοτοπίου

Στο στάδιο αυτό γίνεται μία απόπειρα οπτικοποίησης του επικρατούντος ηχοτοπίου της περιοχής μελέτης κατά την περίοδο την οποία διενεργήθηκε η δειγματοληψία. Ουσιαστικά πραγματοποιείται ένας συγκερασμός της εκάστοτε συνεισφοράς των ανά κατηγορία ηχητικών πηγών σε κάθε πιθανό σημείο.

Όπως φαίνεται στον χάρτη 5.7., οι «τεχνολογικοί» ήχοι επικρατούν στην μεγαλύτερη έκταση της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, σχεδόν σε όλο το βόρειο τμήμα της περιοχής η παρουσία των τεχνολογικών πηγών είναι είτε υψηλή είτε μέτρια ενώ ταυτόχρονα οι ανθρώπινες πηγές και οι φυσικές κυμαίνονται αμφοτέρως σε χαμηλά επίπεδα. Μονάχα στην συνοικία των Εξαρχείων (κυρίως στο Λόφο του Στρέφη) εντοπίζεται μέτρια παρουσία φυσικών ήχων με ταυτόχρονη μείωση της συνεισφοράς των τεχνολογικών, ενώ οι «ανθρώπινου» ήχοι παραμένουν σε χαμηλά επίπεδα. Επιπλέον, άξια αναφοράς είναι η αυξημένη παρουσία των ανθρώπινων πηγών (ενώ η παρουσία των τεχνολογικών εξακολουθεί να παραμένει σε υψηλά επίπεδα) σε τμήμα του Εμπορικού Τριγώνου στοιχείο που υποδηλώνει τον πολύπλευρο και ζωντανό χαρακτήρα της περιοχής.

Όσον αφορά το νότιο τμήμα, παρατηρούνται αρκετές διαφοροποιήσεις στις ανά κατηγορία συνεισφορές των ηχητικών πηγών. Αρχικά, εντοπίζεται αισθητή μείωση στην παρουσία των τεχνολογικών πηγών στις ήσυχες νοτιοδυτικές περιοχές (Ακρόπολη, Αναφιώτικα, Άλσος Πετραλώνων και μικρό τμήμα της συνοικίας της Πλάκας). Στις προαναφερθείσες τοποθεσίες

τα επίπεδα ηχορύπανσης κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα και ουσιαστικά πρόκειται για χώρους αναψυχής οι οποίοι είναι αισθητά απομακρυσμένοι από τις θορυβώδεις κεντρικές λεωφόρους. Η ευρύτερη περιοχή γύρω από την Ακρόπολη χαρακτηρίζεται εξίσου από σημαντική ανθρώπινη και φυσική ηχητική παρουσία ενώ όσο μετακινείται κάποιος προς τα δυτικά η ανθρώπινη συνεισφορά μειώνεται, ενώ αν μετακινηθεί προς τα βόρεια μειώνεται η φυσική. Στα νοτιοανατολικά (Εθνικός Κήπος) η ανθρώπινη παρουσία (σε μορφή ήχων) απουσιάζει ενώ η φυσική και η τεχνολογική βρίσκονται αμφότερες σε μέτρια επίπεδα, ενώ αντίστοιχο προφίλ εντοπίζεται σε μικρό τμήμα της συνοικίας του Κεραμεικού. Τέλος, τμήματα της συνοικίας της Πλάκας, της ευρύτερης περιοχής του Συντάγματος, του Εθνικού Κήπου και του Κεραμεικού χαρακτηρίζονται από σχετική απουσία «ανθρώπινων» και «φυσικών» ήχων μιας και επικαλύπτονται από τους «τεχνολογικούς» οι οποίοι προέρχονται από τις παρακείμενες οδικές αρτηρίες.



Χάρτης 5.7.: Οπτικοποίηση του ηχοτοπίου της περιοχής μελέτης

6. Συζήτηση

6.1. Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η καταγραφή και η οπτικοποίηση (μέσω των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών) των επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου και των συνεισφορών (όπως τις αντιλήφθηκε ο γράφων) των ανά κατηγορία ηχητικών πηγών στο ακουστικό περιβάλλον του κέντρου της Αθήνας (η συνολική έκταση της υπό έρευνα περιοχής φθάνει τα 4,83 τ.χλμ.) κατά την περίοδο μεταξύ 26/2/2020 και 11/3/2020.

Σε πρώτη φάση πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις των επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου (δείκτες L_{Aeq} , L_{90} και L_{10}) και οι καταγραφές των αντιληπτικών δεδομένων ηχοτοπίου (συνεισφορά τεχνολογικών, ανθρώπινων και φυσικών πηγών) σε 483 τοποθεσίες οι οποίες προέκυψαν μέσω της διαδικασίας της συστηματικής δειγματοληψίας. Μετά το πέρας της περιόδου δειγματοληψίας, οι πληροφορίες οι οποίες συλλέχθηκαν, μεταφέρθηκαν σε περιβάλλον ArcMap (έκδοση 10.4) και QGIS (έκδοση 3.4.8) έχοντας ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός διανυσματικού αρχείου σημειακής μορφής. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της χωρικής παρεμβολής Ordinary Kriging υπολογίστηκαν οι τιμές σε κάθε μία από τις παραπάνω μεταβλητές για τα σημεία εκείνα στα οποία δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις. Απόρροια της ανωτέρω διαδικασίας ήταν η κατασκευή επιφανειών πρόβλεψης ψηφιδωτής μορφής (έξι τον αριθμό) για κάθε μία από τις υπό έρευνα μεταβλητές. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν οι εξής χάρτες: α) τρεις χάρτες που απεικονίζουν την χωρική κατανομή των επιπέδων ηχορύπανσης (δείκτες L_{Aeq} , L_{90} και L_{10}) και β) τρεις χάρτες στους οποίους αποτυπώνεται το πως διαφοροποιείται χωρικά η αντιληπτική συνεισφορά των ανά κατηγορία ηχητικών πηγών στο ακουστικό περιβάλλον. Παράλληλα, μέσω της διενέργειας Γεωγραφικά Σταθμισμένων Παλινδρομήσεων επιχειρήθηκε η εκτίμηση του κατά πόσο η διασπορά των στάθμων περιβαλλοντικού θορύβου δύναται να εξηγηθεί από τη χωρική κατανομή των ηχητικών πηγών. Τέλος, χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που προσδίδουν οι τρεις προαναφερθέντες χάρτες ηχητικών πηγών, επιχειρήθηκε η οπτικοποίηση του επικρατούντος ηχοτοπίου (soundscape) της περιοχής.

Αναφορικά με τα επίπεδα ηχορύπανσης, παρατηρήθηκε ότι οι περιοχές οι οποίες πλήττονται περισσότερο (και στους τρεις δείκτες που εξετάστηκαν) είναι οι βόρειες και κεντρικές (εξαιτίας των βασικών οδικών αρτηριών οι οποίες ξεκινούν από την Πλατεία Ομόνοιας), εκείνες που βρίσκονται περί των οδικών αρτηριών οι οποίες ενώνουν τις Πλατείες

Συντάγματος και Ομόνοιας, εκείνες που βρίσκονται στα δυτικά (π.χ. Μεταξουργείο), το βόρειο τμήμα του εμπορικού τριγώνου της Αθήνας και σημαντικό τμήμα της συνοικίας της Πλάκας. Οι ανωτέρω περιοχές (με εξαίρεση την Πλάκα) χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη ενός πυκνού και με ιδιαίτερα αυξημένη κυκλοφοριακή κίνηση οδικού δικτύου και την απουσία χώρων πρασίνου και αναψυχής. Ως αποτέλεσμα, αντιμετωπίζουν σημαντικό πρόβλημα ηχορύπανσης το οποίο προέρχεται κυρίως από τα πολυάριθμα οχήματα που διέρχονται από τις παρακείμενες οδούς.

Σε γενικές γραμμές, παρατηρήθηκε ότι όσο απομακρύνεται κάποιος από τις πολυσύχναστες κεντρικές περιοχές (Σύνταγμα και Ομόνοια) και τις βασικές οδικές αρτηρίες, τόσο μειώνονται τα επίπεδα περιβαλλοντικού θορύβου. Πιο συγκεκριμένα, τοποθεσίες οι οποίες χαρακτηρίζονται (σε όλους τους ερευνώμενους δείκτες) από μέτριες ηχοστάθμες βρίσκονται στο νότιο τμήμα του εμπορικού τριγώνου (και στην ευρύτερη περιοχή του Μοναστηρακίου), σε σημαντικό τμήμα της συνοικίας της Πλάκας, στις εξωτερικές περιοχές του Εθνικού Κήπου (οι οποίες επηρεάζονται από τις παρακείμενες λεωφόρους), στην συνοικία του Κεραμεικού, και σε τμήματα των συνοικιών του Μεταξουργείου, των Εξαρχείων και του Κολωνακίου.

Οι περιοχές που χαρακτηρίζονται ως οι πιο ήσυχες όσον αφορά τα εκτιμώμενα επίπεδα ηχορύπανσης εντοπίζονται στα νότια (η ευρύτερη περιοχή του αρχαιολογικού χώρου της Ακρόπολης και η συνοικία των Αναφιώτικων), στα νοτιοδυτικά (το νότιο τμήμα της συνοικίας του Κεραμεικού), στα νοτιοανατολικά (το εσωτερικό τμήμα του Εθνικού Κήπου) και στα βορειοανατολικά (ο Λόφος του Στρέφη και τμήμα της συνοικίας των Εξαρχείων). Οι ανωτέρω περιοχές αφορούν χώρους αστικού πρασίνου και αναψυχής οι οποίες (με εξαίρεση τον Εθνικό Κήπο) βρίσκονται σε σημαντική απόσταση από τις βασικές οδικές αρτηρίες.

Όσον αφορά την αντιληπτική παρουσία των ηχητικών πηγών στο ακουστικό περιβάλλον του κέντρου της Αθήνας παρατηρήθηκε ότι οι τεχνολογικές πηγές (π.χ. αυτοκίνητα, λεωφορεία, τρένα κλπ) κυριαρχούν στο μεγαλύτερο τμήμα (κυρίως στα βόρεια - εκτός της συνοικίας των Εξαρχείων - και στα κεντρικά) της περιοχής με τη μέγιστη συμβολή να εντοπίζεται στις τοποθεσίες που βρίσκονται γύρω από την Πλατεία Ομόνοιας. Οι παραπάνω τοποθεσίες χαρακτηρίζονται παράλληλα από υψηλά επίπεδα ηχορύπανσης η οποία οφείλεται κυρίως στα μέσα μεταφοράς. Όσο κινείται κάποιος προς τα νότια, η παρουσία των «τεχνολογικών» ήχων μειώνεται. Πιο συγκεκριμένα, τοποθεσίες με μέτρια συμβολή ήχων που προέρχονται από τεχνολογικές πηγές εντοπίζονται στη συνοικία των Εξαρχείων (κυρίως στο Λόφο του Στρέφη), στην συνοικία του Κεραμεικού, στο νότιο τμήμα του εμπορικού τριγώνου, σε σημαντικό τμήμα της συνοικίας της Πλάκας και στο εξωτερικό τμήμα του Εθνικού Κήπου. Τέλος, περιοχές στις οποίες οι τεχνολογικές πηγές εμφανίζουν μειωμένη συμβολή βρίσκονται

στα νοτιότερα τμήματα. Οι συγκεκριμένες περιοχές αποτελούνται, κυρίως, από χώρους αναψυχής - αστικού πρασίνου και αφορούν την ευρύτερη περιοχή του αρχαιολογικού χώρου της Ακρόπολης, τη συνοικία των Αναφιώτικων, το Άλσος Πετραλώνων και το εσωτερικό τμήμα του Εθνικού Κήπου.

Η συνεισφορά των ανθρώπινων πηγών στους παραγόμενους ήχους της υπό έρευνα περιοχής είναι σαφέστατα μικρότερη από εκείνη των τεχνολογικών. Η παραπάνω διαπίστωση εξάγεται από το γεγονός ότι η μέγιστη τους συνεισφορά στο ακουστικό περιβάλλον φθάνει τα μέτρια επίπεδα τα οποία εντοπίζονται στις κεντρικές προς νότιες περιοχές. Οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από μέτριες έως χαμηλές ηχοστάθμες (και στους τρεις εξεταζόμενους δείκτες) μιας και βρίσκονται σε αρκετή απόσταση από τις κεντρικές λεωφόρους. Πρόκειται είτε για χώρους αναψυχής στους οποίους παρατηρείται έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα (λ.χ. βραχάκια Ακρόπολης), είτε για τοποθεσίες οι οποίες διαθέτουν εμπορικό και τουριστικό χαρακτήρα (λ.χ. Πλάκα, Μοναστηράκι). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι «ανθρώπινου» ήχοι είναι αισθητοί (είτε με μέτρια, είτε με μέτρια προς χαμηλή παρουσία) στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής η οποία αποτέλεσε αντικείμενο της παρούσας μελέτης. Σε περιοχές που η συνεισφορά τους είναι μέτρια προς χαμηλή, παρατηρείται το φαινόμενο της επικάλυψης (masking) από τους πιο ισχυρούς «τεχνολογικούς» (λ.χ. Σύνταγμα, βόρειο τμήμα του εμπορικού τριγώνου). Τέλος, παρατηρήθηκε η απουσία «ανθρώπινων» ήχων σε χώρους πρασίνου που βρίσκονται εντός του αστικού ιστού (π.χ. Λόφος του Στρέφη, Εθνικός Κήπος).

Η παρουσία των «φυσικών» ήχων, κατ' αντιστοιχία με τους «ανθρώπινους», δεν ξεπερνά τα μέτρια επίπεδα σε κανένα σημείο. Οι φυσικές πηγές μεγιστοποιούν τη συνεισφορά τους σε χώρους αναψυχής και αστικού πρασίνου (λ.χ. ευρύτερη περιοχή του αρχαιολογικού χώρου της Ακρόπολης, Άλσος Πετραλώνων, Εθνικός Κήπος και Λόφος του Στρέφη). Οι ανωτέρω περιοχές, όπως αναμένεται, εμφανίζουν χαμηλές τιμές στα επίπεδα περιβαλλοντικού θορύβου και στους τρεις δείκτες οι οποίοι μετρήθηκαν. Παρατηρήθηκε επίσης ότι οι ήχοι που παράγονται από την φυσική δραστηριότητα (π.χ. πτηνά, τρεχούμενο νερό) γίνονται περισσότερο αισθητοί όταν βρίσκεται κάποιος σε μεγαλύτερη απόσταση από το κέντρο και τις κύριες οδικές αρτηρίες μιας και οι υψηλότερης έντασης «τεχνολογικοί» ήχοι, επικαλύπτουν τους «φυσικούς» των οποίων η ένταση είναι αρκετά μικρότερη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση του Εθνικού Κήπου όπου στο εσωτερικό τμήμα οι φυσικές πηγές έχουν μεγαλύτερο μερίδο από ότι συμβαίνει στο εξωτερικό το οποίο επηρεάζεται εμφανώς από τις παρακείμενες λεωφόρους.

Αναφορικά με τη σύγκριση των μετρήσεων των επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου με τις καταγραφές αντιληπτικών δεδομένων ηχοτοπίου, αναφέρεται ότι (βάσει των Γεωγραφικά

Σταθμισμένων Παλινδρομήσεων οι οποίες διενεργήθηκαν) η διασπορά και των τριών δεικτών περιβαλλοντικού θορύβου εξηγείται σε σημαντικό βαθμό (σε ποσοστά 73% για τον δείκτη L_{10} , 78% για τον $L_{Aeq, 30s}$ και 80% για τον L_{90}) από τις καταγραφές των αντιληπτικών δεδομένων ηχοτοπίου στοιχείο που υποδηλώνει καλή προσαρμοστικότητα του μοντέλου. Ενώ, ο απαραίτητος έλεγχος χωρικής αυτοσυσχέτισης των υπολοίπων (residuals), έδειξε ότι και στις τρεις περιπτώσεις, τα σφάλματα είναι ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, χαρακτηρίζονται από σταθερή διακύμανση, διανέμονται με ομαλό τρόπο στο χώρο και προκύπτουν ως αποτέλεσμα τυχαίων διαδικασιών. Με αυτόν τον τρόπο ισχυροποιείται ακόμα περισσότερο η προσαρμοστικότητα του μοντέλου το οποίο βασίστηκε στην υπόθεση ότι η χωρική κατανομή των αντιληπτικών καταγραφών ηχοτοπίο εξηγεί την διασπορά των επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου στην περιοχή μελέτης.

Για την οπτικοποίηση του επικρατούντος ηχοτοπίου, χρειάστηκε ληφθεί υπόψη η συνεισφορά της κάθε πιθανής ηχητικής πηγής (τεχνολογικής, ανθρώπινης ή φυσικής) στο ακουστικό περιβάλλον. Τα συμπεράσματα τα οποία εξήχθηκαν από την παραπάνω διαδικασία έχουν ως εξής:

- οι περιοχές στις οποίες επικρατούν υψηλά επίπεδα ηχορύπανσης (βόρειες και βόρειες προς κεντρικές εκτός της συνοικίας των Εξαρχείων) χαρακτηρίζονται από υψηλή έως μέτρια παρουσία «τεχνολογικών» ήχων ενώ παράλληλα απουσιάζουν οι «ανθρώπινι» και οι «φυσικοί»
- στις κεντρικές προς νότιες περιοχές (σημαντικό τμήμα του εμπορικού τριγώνου, Μοναστηράκι, Πλάκα και Κεραμεικός) εντοπίζεται ταυτόχρονη υψηλή-μέτρια παρουσία τεχνολογικών, μέτρια παρουσία ανθρώπινων και χαμηλή παρουσία φυσικών πηγών: η συγκεκριμένη περιοχή χαρακτηρίζεται από μέτρια προς χαμηλά επίπεδα περιβαλλοντικού θορύβου ενώ διακρίνεται για τον εμπορικό της χαρακτήρα
- τοποθεσίες με σχετική απουσία «τεχνολογικών» ήχων στις οποίες «ανθρώπινι», «φυσικοί» ή αμφότεροι παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συνεισφορά εντοπίζονται στα νότια και στα νοτιοδυτικά: τα σημεία αυτά χαρακτηρίζονται από χαμηλές στάθμες περιβαλλοντικού θορύβου και αφορούν χώρους αναψυχής (π.χ. βραχάκια Ακρόπολης, Άλσος Πετραλώνων) οι οποίοι βρίσκονται σε σεβαστή απόσταση από το θορυβώδες κέντρο
- περιοχές οι οποίες χαρακτηρίζονται από μέτρια παρουσία τεχνολογικών και φυσικών ηχητικών πηγών, ενώ από αυτές απουσιάζουν οι ανθρώπινες, αφορούν χώρους αστικού πρασίνου (π.χ. Εθνικός Κήπος, Λόφος του Στρέφη στα Εξάρχεια) οι οποίοι βρίσκονται

πλησίον του κυρίου οδικού δικτύου μιας και ο θόρυβος που παράγεται από αυτό δεν αφήνει ανεπηρέαστο το παρακείμενο ακουστικό περιβάλλον.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι η προσέγγιση της παρούσας μελέτης βασίστηκε στον συγκερασμό των δύο βασικών μεθοδολογιών οι οποίες άπτονται του ακουστικού περιβάλλοντος μίας δεδομένης περιοχής: α) της χαρτογράφησης του θορύβου (noise mapping) και β) της προσέγγισης του ηχοτοπίου (soundscape approach). Ο συνδυασμός των ανωτέρω προσεγγίσεων δίνει τη δυνατότητα απόκτησης μίας συνολικής εικόνας του ακουστικού περιβάλλοντος που επικρατεί σε μία τοποθεσία. Η ολιστική αυτή προσέγγιση λαμβάνει υπόψη τόσο αντικειμενικές (μετρήσεις επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου), όσο και υποκειμενικές (καταγραφές αντιληπτικής συνεισφοράς των ηχητικών πηγών στο ακουστικό περιβάλλον) πληροφορίες. Με τον τρόπο αυτό, αφενός μέσω της χαρτογράφησης του θορύβου προσδιορίζονται οι τοποθεσίες οι οποίες επηρεάζονται από το φαινόμενο της ηχορύπανσης και εκείνες οι οποίες καλούνται ως οι «ήσυχες» περιοχές και αφετέρου, η προσέγγιση του ηχοτοπίου εξετάζει το κατά πόσο οι ήχοι που απαρτίζουν το εκάστοτε ακουστικό περιβάλλον γίνονται αντιληπτοί, σε γενικές γραμμές, ως ελκυστικοί (φυσικοί και ανθρώπινοι) ή μή (τεχνολογικοί).

6.2. Προβλήματα – Περιορισμοί

Σε όλα τα στάδια της διαδικασίας εκπόνησης της παρούσας μελέτης, υπήρξαν ορισμένοι περιορισμοί και προέκυψαν διάφορα ζητήματα τα οποία σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν. Αρχικά, οφείλεται να σημειωθεί το γεγονός ότι ήταν πρακτικά αδύνατο οι μετρήσεις των επιπέδων ηχορύπανσης και οι αντιληπτικές καταγραφές να πραγματοποιηθούν την ίδια ακριβώς χρονική στιγμή και στις 483 επιλεγμένες δειγματοληπτικές θέσεις. Γι αυτόν το λόγο επιλέχθηκε ένα χρονικό «παράθυρο» (16:00 με 19:00 κατά τις εργάσιμες ημέρες) κατά το οποίο οι επικρατούσες συνθήκες του περιβάλλοντος (π.χ. κυκλοφορία οχημάτων, κίνηση ανθρώπων) είχαν, σε γενικές γραμμές, μικρές αυξομειώσεις. Με τον τρόπο αυτόν, τα αποτελέσματα παρέμειναν το λιγότερο δυνατό ανεπηρέαστα από αυτόν τον περιορισμό.

Δεύτερον, το γεγονός ότι δεν υπήρχε δυνατότητα μέτρησης των επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου από κάποια επαγγελματική συσκευή (π.χ. ηχώμετρο, ντεσιμελόμετρο κλπ), επηρέασε, σε κάποιο βαθμό, την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Ο τρόπος με τον οποίο επιχειρήθηκε να υπερκεραστεί (όσο είναι εφικτό) το συγκεκριμένο εμπόδιο, ήταν η αύξηση των τοποθεσιών

δειγματοληψίας με αποτέλεσμα η (οριζόντια και κάθετη) απόσταση μεταξύ των σημείων να είναι ίση με 100 μ. (ενώ η ανάλογη απόσταση στην μελέτη η οποία αποτέλεσε οδηγό για την παρούσα εργασία ανέρχεται στα 200 μ. (βλ. Margaritis & Kang, 2017).

Τέλος, όπως έχει προαναφερθεί, το γεγονός ότι οι καταγραφές της συνεισφοράς των ηχητικών πηγών στο ακουστικό περιβάλλον έγινε μονάχα από τον γράφοντα, ενέχει στα αποτελέσματα το υποκειμενικό στοιχείο σε σημαντικό βαθμό. Χαρακτηριστικά, σημειώνεται ότι ο τρόπος με τον οποίο αντιλαμβάνεται κάθε άνθρωπος τη συνεισφορά του κάθε μεμονωμένου ήχου στο συνολικό περιβάλλον δύναται να επηρεαστεί από διάφορους παράγοντες όπως είναι η ευαισθησία στον θόρυβο, η αλληλεπίδραση μεταξύ οπτικού και ακουστικού περιβάλλοντος, οι προσωπικές απόψεις που αφορούν τα περιβαλλοντικά ζητήματα και οι ανθρώπινες αξίες οι οποίες σχετίζονται με συγκεκριμένους ήχους (βλ. ενότητα 4.3.1.3.2.). Δεδομένης της ανωτέρω παραδοχής, κάθε άνθρωπος που θα κληθεί να εκτιμήσει την συνεισφορά των ανα κατηγορία ηχητικών στο ακουστικό περιβάλλον μίας ορισμένης περιοχής κατά μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο, θα παράγει διαφορετικά αποτελέσματα.

6.3. Μελλοντική Έρευνα

Η παρούσα μελέτη καταπιάστηκε με το ζήτημα της χωρικής κατανομής της ηχορύπανσης και της σύνθεσης του ευρύτερου ακουστικού περιβάλλοντος σε μία περιοχή, όπως εκείνη του κέντρου της Αθήνας, η οποία βιώνει σε γενικές γραμμές υψηλές στάθμες περιβαλλοντικού θορύβου. Ωστόσο, είναι γεγονός ότι η έρευνα αποτελεί μία αέναη διαδικασία και κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν πιθανοί τρόποι με τους οποίους τα παρόντα αποτελέσματα είναι δυνατό να εμπλουτιστούν, να επιβεβαιωθούν και ακόμη να ανατραπούν. Επίσης, μπορεί να ειπωθεί με ασφάλεια ότι η περιοχή χρήζει περαιτέρω μελέτης, η οποία ενδέχεται να εξάγει ιδιαιτέρως χρήσιμα συμπεράσματα. Για το λόγο αυτόν, προτείνονται ορισμένοι πιθανοί τρόποι με τους οποίους δύναται να ερευνηθεί η περιοχή από την πλευρά της χαρτογράφησης του περιβαλλοντικού θορύβου και της προσέγγισης του ηχοτοπίου. Πρώτον, η προσέγγιση η οποία υιοθετήθηκε κατά την παρούσα μελέτη θα ήταν ήταν επωφελές να ακολουθηθεί για να ερευνηθεί χωροχρονικά μοτίβα (λ.χ. μετρήσεις επιπέδων ηχορύπανσης και καταγραφές αντιληπτικών δεδομένων ηχοτοπίου σε διάφορες χρονικές στιγμές μίας ημέρας, δειγματοληψίες σε μή εργάσιμες μέρες κλπ) που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή. Δεύτερον, θα ήταν ιδιαιτέρως χρήσιμο από επιστημονικής σκοπιάς να γίνει γνωστός ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζει ο θόρυβος τη ζωή των ανθρώπων (π.χ. κάτοικοι, εργαζόμενοι, τουρίστες, κλπ) και

ο τρόπος με τον οποίο αντιλαμβάνονται τους ήχους που απαρτίζουν το ακουστικό περιβάλλον της περιοχής. Το παραπάνω είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί με την διενέργεια έρευνας η οποία θα έχει ως βάση την χρήση ερωτηματολογίων ή συνεντεύξεων. Τέλος, θα μπορούσε να διεξαχθεί έρευνα η οποία θα έκανε χρήση επαγγελματικών συσκευών (π.χ. ηχόμετρα, ντεσιμπελόμετρα) οι οποίες χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό ακρίβειας, έτσι ώστε οι μετρήσεις των επιπέδων ηχορύπανσης (και άρα τα αποτελέσματα που εξάγονται κατά τη διαδικασία χαρτογράφησης) να είναι πιο ακριβή και να προσεγγίζουν το μέγιστο δυνατό την πραγματικότητα.

Βιβλιογραφία

Ελληνική

Γκούντρα Α., 2008. *Χρήσεις Γης στο Εμπορικό Τρίγωνο της Αθήνας*. Προσεγγίσεις του Πολεοδομικού Σχεδιασμού στην Ελλάδα, σσ. 49-63, ΔΠΜΣ Πολεοδομία Χωροταξία, ΕΜΠ

Δημητροπούλου Σ., Κάπαρη Μ., Πλεμμένος Β. Χατζηλάκου Δ., Καλλία Α., Αραβαντινού Μ., Τασόγλου Σ., Καραμέρος Ν., Μπάρα Μ., Νικηταρά Ι., Ράλλης Κ., Στουραΐτη Σ., Παπαβασιλόπουλος Λ., Δημοπούλου Α., Μήτση Λ., 2008. *Ελλάδα – Η Κατάσταση του Περιβάλλοντος 2008*. Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης, Αθήνα

Καλογήρου, Σ., 2015. *Γεωγραφικά Σταθμισμένη Παλινδρόμηση*. [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. Στο Καλογήρου, Σ. 2015. *Χωρική ανάλυση*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. κεφ 5. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/5034>

Καλογήρου, Σ., 2015. *Χωρική Αυτοσυσχέτιση*. [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. Στο Καλογήρου, Σ. 2015. *Χωρική ανάλυση*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. κεφ 3. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/5034>

Παπαγιάννης Θ. και Συνεργάτες, 2011. *Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων του Νέου Ρυθμιστικού Σχεδίου Αθήνας - Αττικής 2021*. Οργανισμός Ρυθμιστικού Σχεδίου και Προστασίας Περιβάλλοντος Αθήνας, Αθήνα

Τσουκνίδα Ε., 2018. *Εργασία με θέμα την «Προστασία του Περιβάλλοντος, της Ζωής και της Υγείας από τον Θορυβο υπό το Πρίσμα του Ευρωπαϊκού και του Εθνικού Θεσμικού Πλαισίου»*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Νομική Σχολή - ΠΜΣ Δημοσίου Δικαίου και Πολιτικής Επιστήμης, Θεσσαλονίκη

Φύλλο Εφημερίδας Κυβερνήσεως, Αριθμός Φύλλου 1367, Τεύχος Β', 27 Απριλίου 2012

Φύλλο Εφημερίδας Κυβερνήσεως, Αριθμός Φύλλου 384, Τεύχος Β', 28 Μαρτίου 2006

Ξενόγλωσση

- Aalto, J., Pirinen, P., Heikkinen, J. and Venäläinen, A., 2013. *Spatial interpolation of monthly climate data for Finland: comparing the performance of kriging and generalized additive models*. Theoretical and applied climatology, 112(1-2), pp.99-111.
- Adams, M.D., Davies, W.J. and Bruce, N.S., 2009. *Soundscapes: an urban planning process map*.
- Aletta, F. and Kang, J., 2015. *Soundscape approach integrating noise mapping techniques: a case study in Brighton, UK*. Noise Mapping, 1(open-issue).
- Blanes N., Fons J., Houthuijs D., Swart W., Sáinz de la Maza M., Ramos M.J., Castell N., Van Kempen E., 2016. *Noise in Europe 2017: updated assessment - ETC/ACM Technical Paper 2016/13*, European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation, Bilthoven
- Blotter J., Sommerfeldt S. and Gee K.L., 2009. *Acoustics*. Eshbach's Handbook of Engineering Fundamentals, pp.1151-1199
- Brown, A.L., Kang, J. and Gjestland, T., 2011. *Towards standardization in soundscape preference assessment*. Applied Acoustics, 72(6), pp.387-392.
- Childs, C., 2004. *Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst*. ArcUser, July-September, 3235, p.569.
- D'Hondt, E., Stevens, M. and Jacobs, A., 2013. *Participatory noise mapping works! An evaluation of participatory sensing as an alternative to standard techniques for environmental monitoring*. Pervasive and Mobile Computing, 9(5), pp.681-694.
- Fiedler, P.E.K. and Zannin, P.H.T., 2015. *Evaluation of noise pollution in urban traffic hubs—Noise maps and measurements*. Environmental Impact Assessment Review, 51, pp.1-9.
- Filiciotto, F., Vazzana, M., Celi, M., Maccarrone, V., Ceraulo, M., Buffa, G., Di Stefano, V., Mazzola, S. and Buscaino, G., 2014. *Behavioural and biochemical stress responses of *Palinurus elephas* after exposure to boat noise pollution in tank*. Marine Pollution Bulletin, 84(1-2), pp.104-114.
- Francis C.D., Ortega C.P. and Cruz A., 2009. *Noise pollution changes avian communities and species interactions*, Current biology, 19(16), pp.1415-1419.
- Francis, C.D., Kleist, N.J., Ortega, C.P. and Cruz, A., 2012. *Noise pollution alters ecological services: enhanced pollination and disrupted seed dispersal*. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 279(1739), pp.2727-2735.

- Freedman, N.S., Gazendam, J., Levan, L., Pack, A.I. and Schwab, R.J., 2001. *Abnormal sleep/wake cycles and the effect of environmental noise on sleep disruption in the intensive care unit*. American journal of respiratory and critical care medicine, 163(2), pp.451-457.
- Geravandi S., Takdastan A., Zallaghi E., Niri M.V., Mohammadi M.J., Saki H. and Naiemabadi A., 2015. *Noise pollution and health effects*, Jundishapur Journal of Health Sciences, 7(1).
- Goines L. and Hagler L., 2007. *Noise pollution: a modern plague*, South Med J, 100(3), pp.287-94.
- Gokhale, S., 2018. *Environmental Noise Pollution*. Handbook of Environmental Engineering, pp.565-582.
- Guillaume, G., Can, A., Petit, G., Fortin, N., Palominos, S., Gauvreau, B., Bocher, E. and Picaut, J., 2016. *Noise mapping based on participative measurements*. Noise Mapping, 3(1).
- Halperin, D., 2014. *Environmental noise and sleep disturbances: A threat to health?*. Sleep science, 7(4), pp.209-212.
- Hammer, M.S., Swinburn, T.K. and Neitzel, R.L., 2014. *Environmental noise pollution in the United States: developing an effective public health response*. Environmental health perspectives, 122(2), pp.115-119.
- Hansell, A.L., Blangiardo, M., Fortunato, L., Floud, S., de Hoogh, K., Fecht, D., Ghosh, R.E., Laszlo, H.E., Pearson, C., Beale, L. and Beevers, S., 2013. *Aircraft noise and cardiovascular disease near Heathrow airport in London: small area study*. Bmj, 347, p.f5432.
- Harrison, M., 2004. *Vehicle refinement: controlling noise and vibration in road vehicles*. Elsevier.
- Hong, J.Y. and Jeon, J.Y., 2017. *Exploring spatial relationships among soundscape variables in urban areas: A spatial statistical modelling approach*. Landscape and Urban Planning, 157, pp.352-364.
- International Organization for Standardization, 1996. *ISO 1996-1:2016 Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 1: Basic quantities and assessment procedures*, Geneva, Switzerland: ISO
- International Organization for Standardization, 2014. *ISO 12913-1:2014 Acoustics - Soundscape - Part 1: Definition and conceptual framework*, Geneva, Switzerland: ISO
- Karl, J.W. and Maurer, B.A., 2010. *Spatial dependence of predictions from image segmentation: A variogram-based method to determine appropriate scales for producing land-management information*. Ecological Informatics, 5(3), pp.194-202.

- Kim K., 2015. *Sources, Effects, and Control of Noise in Indoor/Outdoor Living Environments*, Journal of the Ergonomics Society of Korea, 34(3), pp.265-278.
- Latinopoulou, M., Pigaki, M. and Photis, Y.N., *City sounds: Investigating the relationship between functional and syntactic structure of urban space and the urban acoustic environment*.
- Lefèvre, B., Agarwal, R., Issarny, V. and Mallet, V., 2019. *Mobile crowd-sensing as a resource for contextualized urban public policies: a study using three use cases on noise and soundscape monitoring*. Cities & Health, pp.1-19.
- Liu, J., Kang, J., Luo, T., Behm, H. and Coppack, T., 2013. *Spatiotemporal variability of soundscapes in a multiple functional urban area*. Landscape and urban planning, 115, pp.1-9.
- Ma, J., Li, C., Kwan, M.P. and Chai, Y., 2018. *A multilevel analysis of perceived noise pollution, geographic contexts and mental health in Beijing*. International journal of environmental research and public health, 15(7), p.1479.
- Margaritis, E. and Kang, J., 2017. *Soundscape mapping in environmental noise management and urban planning: case studies in two UK cities*. Noise mapping, 4(1), pp.87-103.
- Margaritis, E., Kang, J., Filipan, K. and Botteldooren, D., 2018. *The influence of vegetation and surrounding traffic noise parameters on the sound environment of urban parks*. Applied geography, 94, pp.199-212.
- Mehdi, M.R., Kim, M., Seong, J.C. and Arsalan, M.H., 2011. *Spatio-temporal patterns of road traffic noise pollution in Karachi, Pakistan*. Environment international, 37(1), pp.97-104.
- Mioduszewski, P., Ejsmont, J.A., Grabowski, J. and Karpiński, D., 2011. *Noise map validation by continuous noise monitoring*. Applied Acoustics, 72(8), pp.582-589.
- Morillas, J.B. and Gajardo, C.P., 2014. *Uncertainty evaluation of continuous noise sampling*. Applied acoustics, 75, pp.27-36.
- Münzel T., Gori T., Babisch W. and Basner M., 2014. *Cardiovascular effects of environmental noise exposure*, European heart journal, 35(13), pp.829-836.
- Murphy, E. and King, E., 2014. *Environmental noise pollution: Noise mapping, public health, and policy*. Newnes.
- Photis, Y.N. and Manetos, P., 2007. *Geographic information analysis and health infrastructure*.
- Pijanowski, B.C., Farina, A., Gage, S.H., Dumyahn, S.L. and Krause, B.L., 2011. *What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science*. Landscape ecology, 26(9), pp.1213-1232.

- Profillidis, V., Botzoris, G. and Galanis, A., 2018. *Traffic Noise Reduction and Sustainable Transportation: A Case Survey in the Cities of Athens and Thessaloniki, Greece*. In The 4th Conference on Sustainable Urban Mobility (pp. 402-409). Springer, Cham.
- Rodríguez-Manzo, F.E., Garay-Vargas, E., García-Martínez, S., Lancón-Rivera, L. and Ponce-Patrón, D., 2015. *Moving towards the visualisation of the urban sonic space through soundscape mapping*. Proceedings of the ICSV, pp.12-16.
- Schafer R.M., 1993. *The soundscape: our sonic environment and the tuning of the world*, Rochester, VT: Destiny Books.
- Schulte-Fortkamp, B. and Jordan, P., 2016. *When soundscape meets architecture*. Noise mapping, 1(open-issue).
- Shannon, G., McKenna, M.F., Angeloni, L.M., Crooks, K.R., Fristrup, K.M., Brown, E., Warner, K.A., Nelson, M.D., White, C., Briggs, J. and McFarland, S., 2016. *A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife*. Biological Reviews, 91(4), pp.982-1005.
- Singh N. and Davar, S.C., 2004. *Noise pollution-sources, effects and control*, Journal of Human Ecology, 16(3), pp.181-187.
- Stansfeld S.A. and Matheson M.P., 2003. *Noise pollution: non-auditory effects on health*, British medical bulletin, 68(1), pp.243-257.
- Swinburn, T.K., Hammer, M.S. and Neitzel, R.L., 2015. *Valuing quiet: an economic assessment of US environmental noise as a cardiovascular health hazard*. American journal of preventive medicine, 49(3), pp.345-353.
- Tzivian, L., Winkler, A., Dlugaj, M., Schikowski, T., Vossoughi, M., Fuks, K., Weinmayr, G. and Hoffmann, B., 2015. *Effect of long-term outdoor air pollution and noise on cognitive and psychological functions in adults*. International journal of hygiene and environmental health, 218(1), pp.1-11.
- Vogiatzis, K. and Remy, N., 2017. *Soundscape design guidelines through noise mapping methodologies: An application to medium urban agglomerations*. Noise Mapping, 4(1), pp.1-19.
- Vogiatzis, K., 2012. *Airport environmental noise mapping and land use management as an environmental protection action policy tool. The case of the Larnaka International Airport (Cyprus)*. Science of the Total Environment, 424, pp.162-173.
- Wei, W., Van Renterghem, T., De Coensel, B. and Botteldooren, D., 2016. *Dynamic noise mapping: A map-based interpolation between noise measurements with high temporal resolution*. Applied Acoustics, 101, pp.127-140.
- Yong Jeon, J., Young Hong, J. and Jik Lee, P., 2013. *Soundwalk approach to identify urban soundscapes individually*. The Journal of the Acoustical Society of America, 134(1), pp.803-812.

Ιστογραφία

Ελληνική

Βογιατζής Κ., 2011. *Ο Περιβαλλοντικός Συγκοινωνιακός Θορύβος - Το Μεθοδολογικό Πλαίσιο Αξιολόγησης στα Πλαίσια της 2002/49/EK και του Προγράμματος “Cnossos-EU”*. Νόμος και Φύση. Εύρεση στις 3 Μαΐου 2020 στην ιστοσελίδα: <https://nomosphysis.org.gr/12331/o-periballontikos-sugkoinoniakos-thorubos-to-methodologiko-plaisio-aksiologisis-sta-plaisia-tis-200249ek-kai-tou-programmatos-cnossos-eu-noembrios-2011/>

Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης, 2018. *Ακουστικό Περιβάλλον*. Εύρεση στις 13 Μαΐου 2020 στην ιστοσελίδα: https://ekpaa.ypeka.gr/wp-content/uploads/2019/09/Soer_2018_GR_Environmental-Noise.pdf

Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης, 2019. *Ακουστικό Περιβάλλον*. Εύρεση στις 3 Μαΐου 2020 στην ιστοσελίδα: https://ekpaa.ypeka.gr/wp-content/uploads/2019/09/Soer_2018_GR_Environmental-Noise.pdf

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2002. *Οδηγία 2002/49/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 25ης Ιουνίου 2002 σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου*, Εύρεση στις 1 Απριλίου 2020 στην ιστοσελίδα: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049&from=EN>

Μίντσης Γ., Οδοποιία II - Ενότητα 11: Θόρυβος και οδός, , Ανοιχτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Εύρεση στις 1 Μαΐου 2020 στην ιστοσελίδα:

<https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS372/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82/11%20%CE%98%CF%8C%CF%81%CF%85%CE%B2%CE%BF%CF%82%20%CE%BA%CE%B1%CE%B9%20%CE%BF%CE%B4%CF%8C%CF%82.pdf>

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020. *Χαρτογράφηση του Περιβαλλοντικού Θορύβου στα Πολεοδομικά Συγκροτήματα της Χώρας*, Εύρεση στις 16 Απριλίου 2020 στην ιστοσελίδα:

<http://www.ypeka.gr/el-gr/%CE%A0%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%AC%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CE%BD/%CE%98%CF%8C%CF%81%CF%85%CE%B2%CE%BF%CF%82-%CE%91%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%AF%CE%B5%CF%82/%CE%A7%CE%B1%CF%81%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%AC%CF%86%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CE%98%CE%BF%CF%81%CF%8D%CE%B2%CE%BF%CF%85-%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%B5%CE%BF%CE%B4%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CF%8E%CE%BD-%CE%A3%CF%85%CE%B3%CE%BA%CF%81%CE%BF%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD>

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020. *Χαρτογράφηση του Περιβαλλοντικού Θορύβου στα Πολεοδομικά Συγκροτήματα της Χώρας*. Εύρεση στις 10 Μαΐου 2020 στην ιστοσελίδα:

<http://www.ypeka.gr/el-gr/%CE%A0%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%AC%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CE%BD/%CE%98%CF%8C%CF%81%CF%85%CE%B2%CE%BF%CF%82-%CE%91%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%AF%CE%B5%CF%82/%CE%A7%CE%B1%CF%81%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%AC%CF%86%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CE%98%CE%BF%CF%81%CF%8D%CE%B2%CE%BF%CF%85-%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%B5%CE%BF%CE%B4%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CF%8E%CE%BD-%CE%A3%CF%85%CE%B3%CE%BA%CF%81%CE%BF%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD>

Ξενόγλωσση

Berg R.E. and Nathanson J.A., 2013. *Noise Pollution*, Encyclopedia Britannica, Εύρεση στις 20 Μαρτίου 2020 στην ιστοσελίδα: <https://www.britannica.com/science/noise-pollution>

Davis N., 2019. *Noise pollution rules should be tightened to protect wildlife, say scientists*, The Guardian, Εύρεση στις 29 Μαρτίου 2020 στην ιστοσελίδα: <https://www.theguardian.com/environment/2019/nov/20/noise-pollution-wild-life-better-regulation>

European Environmental Agency, 1999. *EU Noise Policy WG4 on Noise Mapping*, Εύρεση στις 3 Μαΐου 2020 στην ιστοσελίδα: <https://www.eea.europa.eu/publications/NOS02>

European Environmental Agency, 2019. *Noise pollution in Europe*, Εύρεση στις 23 Απριλίου 2020 στην ιστοσελίδα: <https://www.eea.europa.eu/media/infographics/noise-pollution-in-europe-1/view>

Geodata.gov.gr, (2015). *Όρια Δήμων (Καλλικράτης)*, Εύρεση στις 14 Φεβρουαρίου 2020 στην ιστοσελίδα: <https://geodata.gov.gr/dataset/oria-demon-kallikrates>

Geofabrik.de, (2018). *Download OpenStreetMap data for this region: Greece*, Εύρεση στις 14 Φεβρουαρίου 2020 στην ιστοσελίδα: <https://download.geofabrik.de/europe/greece.html>

Pro.arcgis.com. *What is a z-score? What is a p-value?*, Εύρεση στις 28 Οκτωβρίου 2020 στην ιστοσελίδα: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/what-is-a-z-score-what-is-a-p-value.htm>

World Health Organization – Regional Office for Europe, 2020. *Noise*, Εύρεση στις 26 Μαρτίου 2020 στην ιστοσελίδα: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/noise>

World Health Organization, 2018. *Environmental Noise Guidelines for the European Region*, Εύρεση στις 24 Μαρτίου 2020 στην ιστοσελίδα: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf?ua=1