

Θεώρηση του Κυκλοφοριακού Θορύβου σε Ανισόπεδους Κόμβους στον Αστικό Χώρο

Μ. ΚΑΡΑΛΥΤΗΣ

Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Γ. ΜΙΚΡΟΥΔΗΣ

Πολιτικός Μηχανικός

Περίληψη

Στην εργασία αυτή επιχειρείται μια πειραματική εξέταση της διαφοράς της στάθμης θορύβου μεταξύ άνω και κάτω διαβάσεων, καθώς και μία εξέταση και συσχέτιση των μετρήσεων στάθμης θορύβου με ταυτόχρονες μετρήσεις κυκλοφορίας. Βάσει ηχομετρήσεων και μετρήσεων κυκλοφοριακών φόρτων και σύνθεσης κυκλοφορίας σε έξι κόμβους στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο θόρυβος σε όλες τις κάτω διαβάσεις είναι χαμηλότερος από τις άνω διαβάσεις. Οι δείκτες κυκλοφοριακού θορύβου βρέθηκαν στις κάτω διαβάσεις, κατά μέσο όρο, 6 dB(A) χαμηλότεροι. Επίσης, βρέθηκε ότι υψηλοί συντελεστές συσχέτισης παρουσιάζονται μεταξύ των δεικτών θορύβου και του % ποσοστού βαρέων οχημάτων στη συνολική κυκλοφορία.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο θόρυβος, που συχνά ορίζεται ως ανεπιθύμητος ή υπερβολικός ήχος, είναι μια ανεπιθύμητη συνέπεια του σύγχρονου τρόπου ζωής. Μπορεί να είναι ενοχλητικός, να επηρεάσει τον ύπνο, την εργασία ή την αναψυχή και σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να προκαλέσει σωματική ή ψυχολογική βλάβη [1]. Ενώ ο θόρυβος προέρχεται από πολλές διαφορετικές πηγές, ο κυκλοφοριακός θόρυβος είναι ίσως η πλέον διεισδυτική και δύσκολη να αποφευχθεί πηγή δημιουργίας θορύβου στη σημερινή κοινωνία [1], [2]. Απαιτείται λοιπόν μια μεγάλη προσπάθεια για τον έλεγχο του κυκλοφοριακού θορύβου. Η προσπάθεια πρέπει να επιτύχει τους στόχους της προσωπικής γαλήνης και της περιβαλλοντικής ποιότητας ταυτόχρονα με τη διατήρηση των απαιτούμενων μεταφορικών υπηρεσιών, σε μια κοινωνία με υψηλή ποιότητα ζωής.

Έχει γίνει εκτεταμένη έρευνα, σε όλο τον κόσμο, για την κατανόηση των αιτιών και των αποτελεσμάτων του κυκλοφοριακού θορύβου, με την ελπίδα τελικού ελέγχου του. Για τη διερεύνηση της έκτασης του προβλήματος του κυκλοφοριακού προβλήματος ο Hede και άλλοι [3], σε μια από τις πλέον σημαντικές εργασίες, εξέτασαν τις επιπτώσεις του κυκλοφοριακού θορύβου σε όλη την Αυστραλία. Από τις πηγές του περιβαλλοντικού θορύβου η πλέον σημαντική ήταν ο κυκλοφοριακός θόρυβος. Το 17% του πληθυσμού τον

περιέγραψαν ως τον θόρυβο που περισσότερο θα επιθυμούσαν να απαλλαγούν από αυτόν. Η έρευνα διαπίστωσε ότι το 27% των Αυστραλών ενοχλείται από τον κυκλοφοριακό θόρυβο, με το 13% ισχυριζόμενο ότι αντιμετώπισε ακουστικά προβλήματα και 12% ισχυριζόμενο ότι αντιμετώπισε ενοχλήσεις στον ύπνο του. Πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει την επίδραση του κυκλοφοριακού θορύβου στον ύπνο, καθώς επίσης ποιοι δείκτες θορύβου έχουν μεγαλύτερη σχέση με την αφύπνιση [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11]. Πολλοί ερευνητές έχουν, επίσης, μελετήσει τη σχέση μεταξύ του οδικού κυκλοφοριακού θορύβου και του ποσοστού των ανθρώπων που αισθάνονται μεγάλη ενόχληση [12], [13], [14], [15], [16]. Τέλος, άλλοι ερευνητές έχουν μελετήσει την ανταπόκριση του ανθρώπινου οργανισμού σε μια αλλαγή στη στάθμη θορύβου [17].

Οι μελέτες αυτές, σχεδόν ομόφωνα, συμφωνούν ότι η στάθμη του οδικού κυκλοφοριακού θορύβου εξαρτάται από τρεις κυρίως παραμέτρους (υπάρχουν και άλλοι παράγοντες, όπως η τοπογραφία, η κλίση του εδάφους κλπ.): i. Τον κυκλοφοριακό φόρτο, ii. Την ταχύτητα κυκλοφορίας, iii. Τον αριθμό βαρέων οχημάτων στην κυκλοφοριακή ροή. Γενικώς, η ένταση του κυκλοφοριακού θορύβου αυξάνεται με μεγαλύτερους κυκλοφοριακούς φόρτους, μεγαλύτερες ταχύτητες και μεγαλύτερο αριθμό βαρέων οχημάτων. Όλες οι μελέτες φαίνεται να συμφωνούν ότι ο θόρυβος των οχημάτων είναι ένας συνδυασμός θορύβων που παράγονται από τον κινητήρα, την εξάτμιση και τα ελαστικά επίσωτρα. Η ένταση του κυκλοφοριακού θορύβου μπορεί, επίσης, να αυξηθεί από ελαττωματικούς σιγαστήρες ή άλλα ελαττωματικά εξαρτήματα των αυτοκινήτων. Οποιαδήποτε συνθήκη (όπως ισχυρή κατά μήκος κλίση), που προκαλεί έντονη λειτουργία των κινητήρων των οχημάτων, θα αυξήσει επίσης τα επίπεδα κυκλοφοριακού θορύβου [18]. Υπό το φως των ευρημάτων των μελετών αυτών, η Αμερικανική Κρατική Επιτροπή Ελέγχου της Ρύπανσης ενσωμάτωσε, για πρώτη φορά, μια κατευθυντήρια οδηγία στο Εγχειρίδιο Ελέγχου του Θορύβου του Περιβάλλοντος (το 1985) που στοχεύει στον περιορισμό

του επιπέδου ενόχλησης που οφείλεται στον κυκλοφοριακό θόρυβο. Μεταγενέστερες εργασίες εστιάστηκαν σε μέτρα μείωσης του θορύβου και εξέτασαν τον μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεων του κυκλοφοριακού θορύβου [1].

Στον ελληνικό χώρο θα πρέπει να αναφερθούμε στη σημαντική εργασία που έχει επιτελέσει το Τμήμα Θορύβου του ΥΠΕΧΩΔΕ. Ενδεικτικά αναφέρονται η Ψυχοκοινωνική Έρευνα στην πόλη της Ρόδου και οι Χάρτες Θορύβου Ελληνικών Αστικών Κέντρων [29, 31, 32]. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα από τις ψυχοκοινωνικές έρευνες, όπου στη Ρόδο ο χαρακτηρισμός του ακουστικού περιβάλλοντος από μόνιμους κατοίκους - τουρίστες ήταν αντιστοίχως: “πολύ θορυβώδες” 26% - 21%, “θορυβώδες” 39% - 39%, “ήσυχο” 31% - 35% και “πολύ ήσυχο” 4% - 5%. Παρά το γεγονός της διαφορετικής προέλευσης των ερωτηθέντων, η αντίληψη για τη στάθμη ηχορρύπανσης ήταν παρεμφερής. Παρόμοια, αναφέρεται ότι σε διάφορους περιφερειακούς δήμους της Αθήνας, επί 1.200 ερωτηματολογίων, ο χαρακτηρισμός του ακουστικού περιβάλλοντος ήταν: “ήσυχο” 16,9%, “θορυβώδες” 49%, “πολύ θορυβώδες” 33,4%, δηλαδή περίπου ένα 80% των ερωτηθέντων θεωρεί το ακουστικό περιβάλλον θορυβώδες, άρα και σημαντικό το ζήτημα της καταπολέμησης του θορύβου για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής.

Ενώ μεγάλη ερευνητική προσπάθεια έχει γίνει στην κατεύθυνση μέτρησης, εκτίμησης των επιπτώσεων και μετριασμού του οδικού κυκλοφοριακού θορύβου, η έρευνα αυτή έχει εστιαστεί, σχεδόν αποκλειστικά, στις αστικές οδούς και τους αυτοκινητοδρόμους. Λίγη έρευνα έχει γίνει στον προσδιορισμό προβλημάτων θορύβου σχετιζόμενων με ανισόπεδους κόμβους σε αστικές περιοχές. Ακόμη σημαντικότερο, καμία σχεδόν εργασία δεν έχει γίνει που να συγκρίνει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα, από πλευράς κυκλοφοριακού θορύβου, των κάτω και άνω διαβάσεων. Αυτό είναι ένα θέμα σημαντικού ενδιαφέροντος για τους μηχανικούς και τους τεχνικούς λειτουργικού σχεδιασμού που εμπλέκονται με μελέτες ανισόπεδων κόμβων σε αστικές περιοχές.

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται μια πειραματική εξέταση της διαφοράς της στάθμης θορύβου μεταξύ άνω και κάτω διαβάσεων, καθώς και μια εξέταση και συσχέτιση των μετρήσεων στάθμης θορύβου με ταυτόχρονες μετρήσεις κυκλοφορίας. Στη δεύτερη ενότητα της εργασίας εξετάζεται η φύση του προβλήματος του θορύβου στους ανισόπεδους κόμβους σε αστικούς χώρους. Στην τρίτη ενότητα περιγράφεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις οδικού κυκλοφοριακού θορύβου. Στην τέταρτη ενότητα παρατίθενται και αναλύονται τα αποτελέσματα των ηχομετρήσεων. Στην πέμπτη ενότητα παρατίθενται οι κυκλοφοριακές μετρήσεις στις άνω και κάτω διαβάσεις και εξετάζεται η

στατιστική συσχέτιση των μετρήσεων κυκλοφοριακών φόρτων και σύνθεσης κυκλοφορίας με τις ταυτόχρονες μετρήσεις οδικού θορύβου. Τέλος, στην έκτη ενότητα συνοψίζονται τα συμπεράσματα της μελέτης.

2. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

- Leq Ισοδύναμη συνεχής στάθμη θορύβου.
 Ln Στάθμη θορύβου η οποία υπερβαίνεται κατά το n% της περιόδου μέτρησης. Στην παρούσα μελέτη n = 10, 50, 95.
 MinL Ελάχιστη ηχοστάθμη από την αρχή της μέτρησης.
 MaxL Μέγιστη ηχοστάθμη από την αρχή της μέτρησης.
 dB(A) Α-σταθμισμένη στάθμη θορύβου, σε ντεσιμπέλ.

3. Η ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η διαχρονική αύξηση των κυκλοφοριακών φόρτων στο οδικό δίκτυο των πόλεων έχει προκαλέσει προοδευτική επιδείνωση των κυκλοφοριακών συνθηκών, με συνεπακόλουθη μείωση της μέσης ταχύτητας κυκλοφορίας και αύξηση του χρόνου μετακίνησης, της στάθμης θορύβου και της εκπομπής αερίων ρύπων. Ιδιαίτερα στο πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας, οι κυκλοφοριακές συνθήκες με τα συνεπακόλουθα προβλήματα συνετέλεσαν σε ραγδαία επιδείνωση της ποιότητας ζωής και του αστικού περιβάλλοντος.

Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του 1960 και 1970 η αλματώδης αύξηση του δείκτη ιδιοκτησίας των επιβατηγών αυτοκινήτων συνετέλεσε σε αντίστοιχη μεγάλη αύξηση της χρήσης των ιδιωτικών αυτοκινήτων, κατά τις μετακινήσεις, με αποτέλεσμα τη δραστική μεταβολή της κατανομής κατά μέσον της κυκλοφορίας (modal split) εις βάρος των μέσων μαζικής μεταφοράς. Η μεγάλη αύξηση της χρήσης των ιδιωτικών μέσων μεταφοράς συνετέλεσε στη ραγδαία επιδείνωση των κυκλοφοριακών συνθηκών. Έτσι, τα επιφανειακά δημόσια μέσα μεταφοράς ενεπλάκησαν σε ένα φαύλο κύκλο δραστηρικής μείωσης της εμπορικής ταχύτητας (ταχύτητας εκμετάλλευσης), μεγάλης αύξησης του χρόνου εκτέλεσης των δρομολογίων, αναξιοπιστίας στην τήρηση των δρομολογίων, μείωσης της επιβατικής κίνησης και συσσωρευμένων χρεών.

Δευτερογενώς, η μεγάλη αύξηση του δείκτη ιδιοκτησίας των επιβατηγών αυτοκινήτων, σε συσχετισμό με την ανεπάρκεια χώρων στάθμευσης εκτός οδού, συνετέλεσε στην έκρηξη της παράνομης στάθμευσης και επομένως στην κατάληψη κυκλοφοριακού χώρου από σταθμευμένα ή πραγματοποιούντα ολιγόλεπτη στάση οχήματα, ακόμα και σε κεντρικές οδικές αρτηρίες, με αποτέλεσμα τη συνεχή επιδείνωση των κυκλοφοριακών συνθηκών. Η κυκλοφοριακή αυτή αναρχία υποβάθμισε τη θέση των πεζών στο κέντρο της πόλης, καθώς σε πολλές αστικές οδούς αυξήθηκε το πλάτος

των οδοστρωμάτων σε βάρος των πεζοδρομίων και η στάθμευση των επιβατηγών αυτοκινήτων γίνεται και επί των πεζοδρομίων.

Στις δεκαετίες αυτές η φωτεινή σηματοδότηση εξάντλησε τις δυνατότητές της. Η σηματοδότηση εκσυγχρονίστηκε κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980, με την εφαρμογή νέων τεχνολογιών τόσο στους ρυθμιστές της σηματοδότησης όσο και στα σηματοδοτικά κέντρα (ρυθμιστές εξοπλισμένοι με μικροεπεξεργαστή, τροποποίηση σηματοδοτικών προγραμμάτων με επενέργεια της κυκλοφορίας επί του ρυθμιστή - Actuated Signal Plan Modification/ASMO) και με την ανίχνευση μήκους συσσώρευσης οχημάτων, ώστε να παραμένει ελεύθερη η διασταύρωση κατάντη της κυκλοφοριακής ροής. Επίσης, έγιναν προσπάθειες για την εφαρμογή επιφανειακού και όχι αρτηριακού συντονισμού βάσει πληροφοριών στρατηγικών φωρατών (detectors) σε πραγματικό χρόνο (real time). Αυτά τα μέτρα, όσο και αν βελτίωσαν την κυκλοφοριακή ροή, δεν ήταν δυνατόν να λύσουν το μεγάλο πρόβλημα της μειωμένης κυκλοφοριακής ικανότητας του οδικού δικτύου για την εξυπηρέτηση της ζήτησης.

Για την αντιστροφή της εικόνας αυτής είναι επιβεβλημένη η κατασκευή νέων σημαντικών συγκοινωνιακών έργων, όπως εκτεταμένο δίκτυο μητροπολιτικού σιδηροδρόμου, αστικοί περιφερειακοί αυτοκινητόδρομοι, ανισόπεδοι κόμβοι, ανισόπεδες διαβάσεις, καθώς και η αποτελεσματικότερη διαχείριση της συγκοινωνιακής υποδομής και άλλα μέτρα πολιτικής. Η κατασκευή διαβάσεων σε κρίσιμους κυκλοφοριακούς κόμβους είναι εκ των αναγκαίων μέτρων για την αντιμετώπιση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Στις αστικές περιοχές, στις περισσότερες των περιπτώσεων, οι κατασκευές αυτές εξασφαλίζουν ανεμπόδιση ροή σε δύο κυκλοφοριακά ρεύματα – τις δύο κατευθύνσεις της οδού με τους υψηλότερους φόρτους – και τα υπόλοιπα κυκλοφοριακά ρεύματα εξυπηρετούνται μέσω της λειτουργίας φωτεινής σηματοδότησης.

Στην περιοχή των Αθηνών, κατά τις τελευταίες δεκαετίες, έχει κατασκευασθεί ένας αριθμός ανισόπεδων κόμβων. Ορισμένες είναι κάτω διαβάσεις (Μεσογείων – Κατεχάκη, Κηφισίας – Κατεχάκη, Αθηνών – Θηβών κ.λπ.), ενώ άλλες είναι άνω διαβάσεις (Θησέως – Χαμοστέρνας, Κύμης – Καποδιστρίου κ.λπ.). Η επιλογή του είδους της ανισόπεδης διάβασης εξαρτάται από έναν αριθμό τεχνικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Πρώτον, σε αστικές περιοχές και ιδιαίτερα στην κεντρική περιοχή της Αθήνας με την ιδιαίτερη ιστορική και πολιτισμική σημασία της, είναι προφανή τα πλεονεκτήματα των κάτω διαβάσεων από πλευράς οπτικής όχλησης (visual intrusion), εκπομπής καυσαερίων και ακουστικής επιβάρυνσης. Δεύτερον, είναι αυταπόδεικτη η σημαντικά μεγαλύτερη εκπομπή αερίων ρύπων στις περιοχές των άνω διαβάσεων σε σχέση με

εκπεμπόμενους ρύπους στις περιοχές των κάτω διαβάσεων, για τους ίδιους κυκλοφοριακούς φόρτους. Τρίτον, μια άλλη παράμετρος είναι η γειτνίαση της κατασκευής προς τις κατοικίες. Στο υψηλότερο σημείο τους οι άνω διαβάσεις υψώνονται περίπου μέχρι το ύψος του δευτέρου ορόφου των κατοικιών και, σε ορισμένες περιπτώσεις, η κατασκευή γειτνιάζει άμεσα με τις προσόψεις των κατοικιών, σε αντίθεση με τις κάτω διαβάσεις. Τέταρτον, από πλευράς ρύθμισης της κυκλοφορίας των λοιπών, μη εξυπηρετούμενων από την ανισόπεδη διάβαση κυκλοφοριακών ρευμάτων, στην περίπτωση των κάτω διαβάσεων υπάρχει ανεμπόδιση κυκλοφοριακή εξυπηρέτηση των διαφόρων ρευμάτων σε συνθήκες πλήρους ορατότητας. Πέμπτον, οι άνω διαβάσεις πλεονεκτούν έναντι των κάτω διαβάσεων από πλευράς δαπάνης και χρόνου κατασκευής, καθόσον στις κάτω διαβάσεις απαιτείται, στις περισσότερες των περιπτώσεων, η μετατόπιση των υφισταμένων αγωγών των Οργανισμών Κοινής Ωφελείας, η οποία αυξάνει τόσο τη δαπάνη όσο και τον χρόνο κατασκευής. Έκτον, μία τελευταία και πολύ σημαντική παράμετρος, που συνηγορεί υπέρ της επιλογής της κατασκευής κάτω διαβάσεων, είναι η αναφερόμενη στη στάθμη θορύβου της κυκλοφορίας. Λόγω του ότι οι τοίχοι αντιστηρίξεως των κάτω διαβάσεων λειτουργούν και ως αντιθορυβικά πετάσματα, είναι αναμενόμενη η χαμηλότερη στάθμη θορύβου μιας κάτω διαβάσεως έναντι μιας άνω διαβάσεως, για τον ίδιο κυκλοφοριακό φόρτο.

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΗΧΟΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

4.1. Ακουστικές μετρήσεις Οδικού Κυκλοφοριακού Θορύβου (ΟΚΘ)

Η ισχύουσα νομοθεσία για τον κυκλοφοριακό θόρυβο περιλαμβάνεται στην υπουργική απόφαση υπ' αριθ. 17252/20.5.92 (Καθορισμός δεικτών και ανωτάτων επιτρεπομένων ορίων θορύβου που προέρχεται από την κυκλοφορία σε οδικά και συγκοινωνιακά έργα) [19]. Στην απόφαση αυτή ως δείκτης κυκλοφοριακού θορύβου για την ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση του θορύβου, που προέρχεται από οδικά έργα, καθορίζεται είτε

- α) η ισοδύναμη συνεχής στάθμη θορύβου Leq που εκφράζει τη σταθερή 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 χρονική περίοδο, που για τους σκοπούς της Υ.Α. ορίζεται από 08:00-20:00h και, κατά συνέπεια, ο δείκτης καθορίζεται ως Leq_{8-20h} , είτε
- β) ο δείκτης $L10_{18h}$ που είναι η αριθμητική μέση τιμή των 18 ξεχωριστών ωριαίων τιμών του $L10$ (από 06:00-24:00), δηλαδή της στάθμης, η οποία υπερβαίνεται κατά το 10% της αντίστοιχης χρονικής περιόδου μέτρησης.

Και στις δύο ανωτέρω περιπτώσεις, το μετρούμενο μέγεθος είναι Α-σταθμισμένη στάθμη ηχητικής πίεσης, η οποία εκφράζεται σε Decibel A ή, εν συντομία, dB(A). Ως ανώτατα επιτρεπόμενα όρια των ανωτέρω περιγραφόμενων δεικτών κυκλοφοριακού θορύβου καθορίζονται τα ακόλουθα (μετρούμενα σε απόσταση 2,0 μέτρων από την πρόσοψη των πλησιέστερων προς το οδικό έργο κτιρίων): για τον δείκτη Leq_{8-20h} τα 67 dB(A), ενώ για τον δείκτη $L10_{18h}$ τα 70 dB(A).

Γενικότερα, να σημειωθεί ότι ο ήχος ποσοτικοποιείται με ένα μετρητή που μετρά μονάδες που ονομάζονται ντεσιμπέλ (dB). Για τον οδικό κυκλοφοριακό θόρυβο γίνεται μια ρύθμιση ή στάθμιση των ήχων υψηλής και χαμηλής έντασης για να προσεγγιστεί ο τρόπος, με τον οποίο ο μέσος άνθρωπος ακούει τους ήχους. Η Α-σταθμισμένη κλίμακα, σε ντεσιμπέλ, αρχίζει από το μηδέν. Αυτό αντιπροσωπεύει τον αμυδρότερο ήχο που μπορεί να ακουστεί από ανθρώπους με πολύ καλή ακοή. Η ένταση των ήχων (δηλαδή πόσο ηχηροί φαίνονται στους ανθρώπους) ποικίλλει από άνθρωπο σε άνθρωπο και έτσι δεν υπάρχει ακριβής ορισμός της έντασης. Εν τούτοις, με βάση πολλές δοκιμές σε πολλούς ανθρώπους, μια στάθμη ήχου 70 ακούγεται δύο φορές ηχηρότερο από έναν ακροατή από ό,τι μια στάθμη 60.

Εκτός από τους δύο βασικούς δείκτες κυκλοφοριακού θορύβου Leq (ισοδύναμη συνεχής στάθμη) και $L10$ (στάθμη θορύβου 10%) σε dB(A), μετρήθηκαν επιπλέον και οι εξής ποσοστομοριακοί δείκτες που είναι απαραίτητοι για μια πληρέστερη αξιολόγηση του επιπέδου θορύβου: $L50$ και $L95$ (δίνει μια εκτίμηση του θορύβου βάθους στην περιοχή της μέτρησης, Ελληνικό Πρότυπο ΕΛΟΤ 360 [2]). Επίσης, καταγράφηκαν και οι εξής δείκτες θορύβου που είναι απλά υποβοηθητικοί στην αξιολόγηση: $MinL$ και $MaxL$.

4.2. Η μέθοδος μέτρησης και πρόβλεψης ΟΚΘ

Η μεθοδολογία πρόβλεψης θορύβου, που ακολουθείται στην παρούσα μελέτη, είναι η βρετανική μέθοδος “Υπολογισμού Οδικού Κυκλοφοριακού Θορύβου” (ΟΚΘ), την οποία αποδέχονται η Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος του ΥΠΕΧΩΔΕ και η ισχύουσα νομοθεσία [21], [22], [23]. Η μέθοδος Calculation of Road Traffic Noise (CRTN) θεωρεί ότι επικρατούν τυπικές συνθήκες κυκλοφορίας και μετάδοσης θορύβου, που συμβαδίζουν με μέτριες ταχύτητες αντίθετου ανέμου, κατά τις εξεταζόμενες περιόδους.

Η μέθοδος πρόβλεψης, σε ένα σημείο δέκτη, του θορύβου, που προέρχεται από ένα μελετώμενο δρόμο, ακολουθεί πέντε στάδια:

1. Ο δρόμος διαιρείται σε ένα ή περισσότερα τμήματα έτσι, ώστε σε κάθε τμήμα να υπάρχει μικρή μόνο διαφορά ποίηση θορύβου.

2. Υπολογίζεται η Βασική Στάθμη Θορύβου [Basic Noise Level - BNL (ΒΣΘ)] σε μία απόσταση αναφοράς 10 μέτρων από το κοντινό άκρο της οδού, για κάθε τμήμα.
3. Για κάθε τμήμα θεωρείται η στάθμη θορύβου στη θέση του δέκτη, λαμβάνοντας υπόψη την εξασθένηση λόγω απόστασης και τα τυχόν εμπόδια που παρεμβάλλονται μεταξύ του δέκτη και της γραμμικής πηγής.
4. Η στάθμη θορύβου στο σημείο, όπου λαμβάνεται ο θόρυβος, διορθώνεται, ώστε να ληφθούν υπόψη η μορφή της περιοχής, οι ανακλάσεις λόγω κτιρίων και το μέγεθος του τμήματος της πηγής.
5. Συνδυάζονται τα αποτελέσματα που βρέθηκαν για κάθε τμήμα, ώστε να προβλεφθεί η τελική στάθμη θορύβου στον δέκτη, από όλο τον δρόμο.

Στον υπολογισμό κατά CRTN, σε συνήθεις οδούς, ο κυκλοφοριακός φόρτος λαμβάνεται συνολικά και για τις δύο κατευθύνσεις. Σε περίπτωση, όμως, όπου τα δύο οδοστρώματα απέχουν περισσότερο από πέντε (5) m ή όπου υψομετρικά διαφέρουν περισσότερο από ένα (1) m, το κάθε ρεύμα κυκλοφορίας λαμβάνεται υπόψη χωριστά και οι τελικές στάθμες θορύβου συνδυάζονται [24]. Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης, οι διάφοροι δρόμοι, που συμβάλλουν στον κόμβο (π.χ. Μεσογείων-Κατεχάκη), θεωρούνται ως χωριστές πηγές. Για τον ίδιο, όμως, δρόμο τα δύο κύρια ρεύματα κυκλοφορίας δεν εμπίπτουν στους παραπάνω περιορισμούς και λαμβάνονται ως μια γραμμική πηγή στον υπολογισμό. Οι παράπλευρες οδοί, των οποίων ο φόρτος είναι χαμηλός συγκριτικά με τα κύρια ρεύματα, μπορούν να αγνοηθούν σε ένα προσεγγιστικό υπολογισμό [24].

Οι υπολογισμοί οδικού θορύβου στην παρούσα εργασία γίνονται με τη βοήθεια του προγράμματος dBroad, το οποίο υποστηρίζει πλήρως τη μέθοδο CRTN για πρόβλεψη οδικού θορύβου με δυνατότητες τριδιάστατης προσομοίωσης των κλάδων των κόμβων, χάραξης ισοθροβικών καμπυλών και παραμετρικής μελέτης του ηχητικού πεδίου [25]. Το λογισμικό dBroad έχει εφαρμοστεί από τον δεύτερο των συγγραφέων σε δεκάδες μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, που έχουν εγκριθεί από το ΥΠΕΧΩΔΕ και άλλες δημόσιες υπηρεσίες. Στην απλούστερη πινακοποιημένη μορφή εξόδου του προγράμματος, κατά το πρότυπο CRTN, τα αποτελέσματα ταυτίζονται με εκείνα του βρετανικού λογισμικού dBel, που είναι αποδεκτά από το ΥΠΕΧΩΔΕ, για διευκόλυνση του άμεσου ελέγχου τους από τις υπηρεσίες. Για τις εν λόγω διαβάσεις έχουν γίνει αναλυτικοί υπολογισμοί και σχέδια, τα οποία όμως δεν παρουσιάζονται στην παρούσα δημοσίευση, γιατί δεν αποτελούν ιδιαίτερη ερευνητική εργασία αλλά απλή μελέτη. Έτσι, αποφύγαμε την αναφορά στα αποτελέσματα του λογισμικού, ενώ δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα στην παρουσίαση και ανάλυση των επί τόπου μετρήσεων.

Για την ηχομέτρηση η θέση του μικροφώνου πρέπει να επιλέγεται, ώστε να έχει ανεμπόδιση θέα του δρόμου (γωνία $> 160^\circ$), και να τοποθετείται σε απόσταση 4 έως 15 m από την πλησιέστερη πλευρά του οδοστρώματος. Το ύψος του μικροφώνου θα πρέπει να είναι 1,2 m πάνω από την επιφάνεια του δρόμου. Πρέπει, επίσης, κατά το δυνατόν να ισχύουν συνθήκες ελεύθερου πεδίου. Όπου υπάρχει αμφιβολία περί αυτού, ιδιαίτερα για την αξιολόγηση της ηχοπροστασίας κτιρίων, τοποθετείται προσωρινό διάφραγμα 1 m^2 , σε απόσταση 1 m πίσω από το μικρόφωνο, ενώ κατά την αξιολόγηση της στάθμης θορύβου αφαιρείται η διόρθωση ανάκλασης από τη μετρηθείσα στάθμη [26]. Στην παρούσα εργασία ο στόχος ήταν η αξιολόγηση της ηχοστάθμης ελεύθερου πεδίου και, συνεπώς, το ηχόμετρο τοποθετήθηκε μακριά από κτίρια και ανακλαστικές επιφάνειες. Όμως, λόγω στενότητας των πεζοδρομίων δεν ήταν δυνατό να εφαρμοστεί παντού η ελάχιστη απόσταση των 4 m.

Η ελάχιστη διάρκεια $t_{\min}$, που απαιτείται για την έγκυρη μέτρηση των δεικτών ΟΚΘ, εξαρτάται από τον ρυθμό δειγματοληψίας του οργάνου ανά λεπτό (r) και από τον ωριαίο κυκλοφοριακό φόρτο (q), ώστε να εξασφαλιστεί ότι η μέτρηση περιλαμβάνει επαρκές δείγμα οχημάτων. Για τους κυκλοφοριακούς φόρτους που παρατηρήθηκαν αρκεί ένας χρόνος μέτρησης περίπου 3 λεπτά [21]. Όμως, σύμφωνα με τη συνήθη πρακτική της Διεύθυνσης ΕΑΡΘ του ΥΠΕΧΩΔΕ, η τυπική διάρκεια των ηχομετρήσεων είναι 15 λεπτά. Έτσι, η πρώτη και συγχρονισμένη με τις κυκλοφοριακές μετρήσεις ηχομέτρηση είχε διάρκεια 15 λεπτά και οι δύο επόμενες είχαν μικρότερη διάρκεια, 5 λεπτά (η κάθε μία). Όπως προαναφέρθηκε, όλες οι ηχομετρήσεις έγιναν καθημερινές ημέρες της εβδομάδας, μεταξύ των ωρών 11:00 και 16:00, σύμφωνα με τις οδηγίες της προδιαγραφής CRTN και λαμβάνοντας υπόψη και τις ελληνικές συνθήκες οδικής κυκλοφορίας.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΗΧΟΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

5.1. Γενικά

Όπως προαναφέρθηκε, στην εργασία αυτή καταγράφονται τα αποτελέσματα μιας διερεύνησης του ακουστικού περιβάλλοντος στην άμεση περιοχή έξι ανισόπεδων διαβάσεων, στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Στόχος της διερεύνησης ήταν η σύγκριση των άνω και κάτω διαβάσεων με βάση τα αποτελέσματα ταυτόχρονων μετρήσεων κυκλοφορίας και θορύβου. Προς τον σκοπό αυτό επελέγησαν τρεις άνω και τρεις κάτω διαβάσεις με συγκρίσιμα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά. Οι κάτω διαβάσεις: Κ/Δ Μεσογείων-Κατεχάκη, Κ/Δ Κηφισίας-Κατεχάκη, Κ/Δ Μαγούλας στην Ε.Ο. Αθηνών-Κορίνθου. Οι άνω διαβάσεις: Α/Δ Κύμης-Καποδιστρίου, Α/Δ Ασπροπύργου στην Ε.Ο. Αθηνών-Κορίνθου,

Α/Δ Θησέως-Χαμοστέρνας. Στα σχήματα 1, 2 και 3 παρουσιάζονται οι Κ/Δ Μεσογείων-Κατεχάκη, Κ/Δ Κηφισίας-Κατεχάκη και η Α/Δ Θησέως-Χαμοστέρνας αντίστοιχα. Σε κάθε σχήμα εμφανίζεται η τοποθεσία του ηχομέτρου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων (σημεία μέτρησης θορύβου).

5.2. Αποτελέσματα των ηχομετρήσεων

Θα πρέπει να τονιστεί ότι ένα χαρακτηριστικό της παρούσας εργασίας είναι ότι **ταυτόχρονα** με τις ακουστικές μετρήσεις έγιναν και συγχρονισμένες κυκλοφοριακές μετρήσεις, από συνεργείο επτά ατόμων, σε όλους τους κλάδους των ισόπεδων ή ανισόπεδων διαβάσεων.

Σε κάθε κόμβο υπήρχαν τρία σημεία μέτρησης θορύβου: Ακραίο (κοντά στην αρχή του κλάδου ανόδου, για την άνω διάβαση, ή καθόδου, για την κάτω), Ενδιάμεσο (ενδιάμεσο σημείο) και Κεντρικό (κοντά στο κέντρο). Η ανάλυση των ηχομετρήσεων στα τρία σημεία (Α-Ε-Κ) επιτρέπει τον διαχωρισμό ορισμένων από τις παραμέτρους, που διαμορφώνουν τα πολύπλοκα χαρακτηριστικά του ακουστικού πεδίου στα σημεία μέτρησης, και την εξαγωγή σαφέστερων συμπερασμάτων για τα πλεονεκτήματα του κάθε κόμβου. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ακραία σημεία είναι χαρακτηριστικά του θορύβου που επικρατεί πριν ή μετά τον κόμβο. Στα κεντρικά σημεία, θεωρητικά, αναμένεται ο περισσότερος θόρυβος, αφού είναι τα σημεία που συμβάλλουν οι δύο κάθετοι κλάδοι του κόμβου. Στα ενδιάμεσα σημεία των κάτω διαβάσεων, θεωρητικά, αναμένεται μείωση των επιπέδων θορύβου, αφού υπάρχει ηχομείωση από τα τοιχώματα της διαβάσεως αλλά και κάποια απόσταση από το θόρυβο του κάθετου κλάδου.

Στις παραγράφους που ακολουθούν δίνονται, για κάθε κόμβο, μια σύντομη περιγραφή της γενικής κατάστασης που επικρατεί και ένας πρώτος χαρακτηρισμός του ακουστικού περιβάλλοντος στην άμεση περιοχή του κόμβου. Στον πίνακα 1 δίνονται οι μέσες τιμές για τους δείκτες θορύβου που μετρήθηκαν, ενώ στον πίνακα 2 γίνεται μια σύγκριση της στάθμης θορύβου ανάμεσα στα ακραία, ενδιάμεσα και κεντρικά σημεία των κόμβων.

5.2.1. Κ/Δ Μεσογείων – Κατεχάκη

Οι μετρήσεις έγιναν στον κλάδο Κ/Δ της Μεσογείων προς Αγ. Παρασκευή, μπροστά στην ΕΡΤ. Οι μετρήσεις έγιναν στην αρχή του κλάδου, ώστε να μην υπάρχει επίδραση στις ηχομετρήσεις από το εργοτάξιο του Μετρό, που λειτουργεί στο τέλος της διάβασης. Το σημείο μεγαλύτερης ηχοπροστασίας, με τον λιγότερο θόρυβο, είναι στο μέσον περίπου της Κ/Δ. Στο κέντρο του κόμβου εμφανίζονται οι υψηλότερες στάθμες λόγω της επίδρασης του κάθετου κλάδου της οδού Κατεχάκη-Κανελλοπούλου. Το μέγεθος του θορύβου στα τρία σημεία είναι κατά σειρά: υψηλότερος στο

Ακραίο (Α) από το Κεντρικό (Κ), και υψηλότερο στο Κεντρικό από το Ενδιάμεσο (Ε), με διαδοχική *μείωση* (από το Α στο Ε) και *αύξηση* (από το Ε στο Κ). Παρατηρείται δηλαδή μια μείωση του θορύβου, χάρη στην ηχοπροστατευτική λειτουργία της Κ/Δ, της τάξης των 5-6 dB(A). Η διαφορά αυτή σημειώνεται τόσο στους δείκτες ΟΚΘ όσο και στους υπόλοιπους δείκτες που καταγράφηκαν (MinL, L95, L50, MaxL). Μολονότι στην Κ/Δ υπάρχει ένας κάθετος δρόμος με σημαντική κυκλοφορία (Κατεχάκη-Κανελλοπούλου), η παραπάνω μετρηθείσα ευεργετική επίδραση θεωρείται σημαντική και εκτιμάται ότι έγινε άμεσα αντιληπτή στους παρόντες δέκτες αμέσως μετά την κατασκευή του κόμβου.

5.2.2. Κ/Δ Κηφισίας-Κατεχάκη

Οι μετρήσεις έγιναν στον κλάδο Κ/Δ της Λ. Κηφισίας προς Αθήνα, μπροστά από την πλατεία Ρώμης. Οι μεγαλύτερες στάθμες θορύβου, με βάση τους δείκτες ΟΚΘ (Leq, L10), εμφανίζονται στην αρχή της Κ/Δ, όπου η δυνατότητα ηχοπροστασίας από τα τοιχώματα της διάβασης είναι περιορισμένη, αλλά και στο μέσον αυτής λόγω της συνεχούς διέλευσης λεωφορείων. Το σημείο μεγαλύτερης ηχομείωσης εμφανίζεται στο μέσον του κόμβου. Λόγω των συνθηκών κυκλοφορίας στους γύρω δρόμους δεν κατέστη δυνατό να καταγραφεί σημαντική μείωση του θορύβου από το άκρο έως το κέντρο του κόμβου. Η διαφορά στις στάθμες θορύβου είναι περίπου 2-3 dB(A). Η διαφορά αυτή, αν και δεν γίνεται ιδιαίτερα αισθητή στους περιοίκους, αντιστοιχεί περίπου σε υποδιπλασιασμό του κυκλοφοριακού φόρτου στο ρεύμα της Κηφισίας. Αν και τα τοιχώματα της Κ/Δ υπολογίζεται ότι μειώνουν τη στάθμη θορύβου από τα υπόγεια ρεύματα κυκλοφορίας κατά 7-10 dB(A), η επίδραση αυτή δεν αντικατοπτρίζεται στις τελικές στάθμες, γιατί εξακολουθεί να υπάρχει σημαντική κυκλοφορία στους παράδρομους.

5.2.3. Κ/Δ Μαγούλας

Οι μετρήσεις έγιναν στον κλάδο Κ/Δ της Ε.Ο. προς Αθήνα, 1 m περίπου από τη ρυμοτομική γραμμή. Το σημείο μεγαλύτερης ηχοπροστασίας, με τον λιγότερο θόρυβο, είναι στο μέσον περίπου της Κ/Δ, όπου εμφανίζονται χαμηλότερες στάθμες θορύβου κατά 6 dB(A) περίπου. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, γιατί έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της στάθμης θορύβου, που στο ύψος της οικοδομικής γραμμής των κτισμάτων δεν υπερβαίνει τα θεσμοθετημένα όρια. Παρατηρείται ότι, χάρη στην ηχοπροστατευτική λειτουργία της Κ/Δ, επέρχεται μια ηχομείωση του θορύβου, της τάξης των 6 dB(A).

5.2.4. Α/Δ Κύμης – Καποδιστρίου

Οι μετρήσεις έγιναν στον κλάδο Α/Δ της Λ. Κύμης προς Ν. Ιωνία, επί της Α/Δ και μπροστά στην πλατεία Αδριανείου.

Οι μεγαλύτερες στάθμες θορύβου, με βάση τους δείκτες ΟΚΘ (Leq, L10), εμφανίζονται στο μέσον της Α/Δ. Συγκεκριμένα σημειώνεται μια σχετική αύξηση της στάθμης θορύβου, για όλους τους δείκτες θορύβου, στο κέντρο της Α/Δ, περίπου, κατά 2 dB(A). Το ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στις στάθμες θορύβου, από το μέσον έως την άκρη της Α/Δ, οφείλεται στην έλλειψη σημαντικής ηχομείωσης, ακριβώς λόγω της φύσης της Α/Δ. Συνολικά, το μέγεθος του θορύβου στα τρία σημεία είναι κατά σειρά: Κεντρικό υψηλότερο από Ενδιάμεσο και Ενδιάμεσο υψηλότερο από Ακραίο, με διαδοχική *αύξηση* (από το Α στο Ε) και *αύξηση* (από το Ε στο Κ).

5.2.5. Α/Δ Ασπροπύργου

Οι μετρήσεις έγιναν στον κλάδο Α/Δ της Ε.Ο. προς Κόρινθο, κοντά στη διασταύρωση προς Ασπρόπυργο. Οι μεγαλύτερες στάθμες θορύβου, με βάση τους δείκτες ΟΚΘ, εμφανίζονται στο μέσον και στην αρχή της Α/Δ. Σημειώνεται μια σχετική αύξηση της στάθμης θορύβου, στο μέσον της διάβασης, κατά 3-4 dB(A), παρά το ότι οι μετρήσεις ελήφθησαν στο επίπεδο του εδάφους. Ο λόγος είναι η σημαντική κυκλοφορία, ιδίως βαρέων οχημάτων, στον κάθετο κλάδο από/προς Ασπρόπυργο. Αυξημένες είναι οι στάθμες θορύβου και στην αρχή της διάβασης, λόγω του ότι τα οχήματα κινούνται σε ανωφέρεια και με μεγαλύτερες ταχύτητες, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι εκπομπές θορύβου. Η διαφορά αυτή μετρήθηκε περίπου 3 dB(A), για όλους τους δείκτες θορύβου.

5.2.6. Α/Δ Θησέως – Χαμοστέρνας

Οι μετρήσεις έγιναν στον κλάδο Α/Δ της Θησέως προς Καλλιθέα, μπροστά στην παιδική χαρά. Οι μεγαλύτερες στάθμες θορύβου, με βάση τους δείκτες ΟΚΘ, εμφανίζονται στο μέσον της Α/Δ. Σημειώνεται μια αύξηση της στάθμης θορύβου για όλους τους δείκτες θορύβου, στο μέσον της Α/Δ, σε σχέση με τα άκρα, κατά 2-4 dB(A) περίπου. Ο θόρυβος στον ανερχόμενο κλάδο είναι κατά 1-1,5 dB(A) υψηλότερος απ' ό,τι στην αρχή της Α/Δ, λόγω της μεγαλύτερης κλίσης του οδοστρώματος. Οι στάθμες θορύβου, γενικώς, αυξάνονται προς το κέντρο της διάβασης.

5.3. Ανάλυση των ηχομετρήσεων

Όπως φαίνεται καθαρά στον πίνακα 1, οι δείκτες ΟΚΘ σε όλες τις κάτω διαβάσεις είναι χαμηλότεροι από εκείνους των άνω διαβάσεων. Η ίδια τάση παρατηρείται σχεδόν και για όλους τους υπόλοιπους δείκτες θορύβου, με μόνη εξαίρεση στην Α/Δ Κύμης-Καποδιστρίου, την ελάχιστη ηχοστάθμη (MinL) και τον θόρυβο βάθους (L95). Κατά μέσο όρο, οι δείκτες κυκλοφοριακού θορύβου βρέθηκαν κατά 4 dB(A) χαμηλότεροι στις Κ/Δ. Η διαφορά στις ηχοστάθμες, για τους δείκτες ΟΚΘ, κυμάνθηκε από 2-9 dB(A).

Είναι αξιοσημείωτη, όμως, η σύγκριση των τιμών θορύβου μεταξύ διαφορετικών θέσεων μέτρησης στον ίδιο κόμβο, που συνοψίζεται στον πίνακα 2. Στις Κ/Δ παρατηρείται *μείωση* της στάθμης θορύβου κατά 2,5-7 dB(A), από το άκρο προς το μέσον της διάβασης, που οφείλεται στην αντιθορυβική προστασία από τα ρεύματα κυκλοφορίας, που διέρχονται κάτω από τη γέφυρα. Αντίθετα στις Α/Δ παρατηρήθηκε *αύξηση* της στάθμης θορύβου, μέχρι 3 dB(A), από το άκρο προς το κέντρο της διάβασης, που οφείλεται στις αυξημένες εκπομπές θορύβου των οχημάτων λόγω ανωφέρειας.

Τέλος, σχεδόν σε όλους τους κόμβους η υψηλότερη στάθμη θορύβου εμφανίζεται στο κέντρο της διάβασης, ενώ στις Κ/Δ η χαμηλότερη στάθμη θορύβου εμφανίζεται στην ενδιάμεση θέση μεταξύ άκρου και κέντρου της διάβασης.

Τα παραπάνω επαληθεύονται και με έναν υπολογισμό της στάθμης θορύβου, με τα κυκλοφοριακά δεδομένα που μετρήθηκαν στους ανισόπεδους κόμβους. Όπως προαναφέρθηκε, στόχος της παρούσας εργασίας δεν ήταν η αναλυτική διερεύνηση, με τη βοήθεια κάποιου μοντέλου, του ηχητικού πεδίου γύρω από τις ανισόπεδες διαβάσεις, αλλά η με βάση μετρήσεις διαπίστωση των πλεονεκτημάτων των άνω ή κάτω διαβάσεων. Για την επαλήθευση των μετρήσεων επακολούθησε μια ενδεικτική εκτίμηση της στάθμης θορύβου με τη μέθοδο CRTN σε δύο κόμβους, με συγκρίσιμα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά: την Α/Δ Ασπροπύργου και την Κ/Δ Μαγούλας, στην Ε.Ο. Αθηνών-Κορίνθου. Ο θόρυβος στο κέντρο της Α/Δ Ασπροπύργου υπολογίζεται σε 82 dB(A) και σε ένα ενδιάμεσο σημείο 80,5 dB(A). Στην Κ/Δ Μαγούλας ο θόρυβος υπολογίζεται σε 76,2 και 72,5 dB(A) αντίστοιχα. Παρατηρείται δηλαδή μεγαλύτερη μείωση του θορύβου, από το κέντρο προς το μέσον, στην περίπτωση της Κ/Δ. Τέλος, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει και ένας υποθετικός υπολογισμός της (υποθετικής) στάθμης θορύβου για ένα ενδιάμεσο σημείο του κόμβου Μαγούλας, στην περίπτωση που είχε κατασκευαστεί ως Α/Δ αντί για Κ/Δ. Η στάθμη θορύβου για μια Α/Δ θα ήταν 82,6 dB(A), δηλαδή κατά 6,4 dB(A) μεγαλύτερη απ' ό,τι είναι σήμερα στην Κ/Δ.

6. ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ

6.1. Μετρήσεις κυκλοφοριακών φόρτων

Σε κάθε κόμβο ταυτόχρονα με τις ακουστικές μετρήσεις έγιναν και κυκλοφοριακές μετρήσεις, καθώς και μετρήσεις σύνθεσης της κυκλοφορίας. Μετρήθηκαν, δηλαδή, οι κυκλοφοριακοί φόρτοι και το ποσοστό των βαρέων οχημάτων σε όλους τους κλάδους των κόμβων. Ως βαρέα οχήματα θεωρήθηκαν φορτηγά και οχήματα μικτού βάρους άνω των 1,5 τόνων, ώστε να είναι δυνατή η ανάλυση των ακουστικών μετρήσεων. Οι κυκλοφοριακές μετρήσεις ήταν συγχρονισμένες με την πρώτη ακουστική μέτρηση και είχαν διάρκεια 20

λεπτά. Ενδεικτικά και χάριν συντομίας, παρουσιάζονται εδώ οι κυκλοφοριακές μετρήσεις (πίνακας 3) και η αρίθμηση κλάδων (σχήμα 4) για την Κ/Δ Κηφισίας – Κατεχάκη. Παρόμοιες μετρήσεις έγιναν και για όλους τους υπόλοιπους κόμβους. (Οι μετρήσεις για τους υπόλοιπους κόμβους είναι διαθέσιμες από τους συγγραφείς του παρόντος άρθρου).

6.2. Συσχέτιση μετρήσεων κυκλοφορίας

Μία παράμετρος με μεγάλο, πρακτικό και θεωρητικό, ενδιαφέρον είναι η στατιστική συσχέτιση των κυκλοφοριακών φόρτων και της σύνθεσης της κυκλοφορίας με τις ηχομετρήσεις. Από θεωρητική άποψη, η συσχέτιση μπορεί να αποκαλύψει τον βαθμό της ποιοτικής και ποσοτικής αλληλεξάρτησης του επιπέδου οδικού θορύβου, σε άνω και κάτω διαβάσεις, με τον κυκλοφοριακό φόρτο και τη σύνθεση κυκλοφορίας. Από πρακτική άποψη, η συσχέτιση αυτών των μετρήσεων μπορεί να προσφέρει ένα γρήγορο και, σχετικά, ακριβή τρόπο, με τον οποίο διάφοροι ενδιαφερόμενοι (μηχανικοί, αρχιτέκτονες, περιβαλλοντολόγοι) να μπορούν να προβλέψουν τη στάθμη οδικού θορύβου, κοντά σε άνω και κάτω διαβάσεις, λαμβάνοντας υπόψη μόνο κυκλοφοριακές μετρήσεις.

Δυστυχώς, και απ' όσο είναι δυνατό να γνωρίζουμε, παρόμοιες προσπάθειες δεν έχουν γίνει στο παρελθόν, διότι η συλλογή κατάλληλων στοιχείων είναι μία αρκετά σύνθετη και δύσκολη διαδικασία. Για να είναι αξιόπιστα τα συμπεράσματα, πρέπει οι μετρήσεις ΟΚΘ, οι κυκλοφοριακές μετρήσεις και οι μετρήσεις σύνθεσης να είναι ταυτόχρονες. Αυτό, προφανώς, απαιτεί τον συντονισμό των συνεργειών μέτρησης θορύβου και του πολυάριθμου συνεργείου κυκλοφοριακών μετρήσεων, πράγμα εξαιρετικά σύνθετο. Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας έγιναν οι κατάλληλες *ταυτόχρονες* μετρήσεις θορύβου και κυκλοφορίας, ώστε να είναι δυνατή μια διερεύνηση της συσχέτισης των διαφόρων μετρήσεων.

Στην πράξη, για να διερευνηθεί αν υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών, χρησιμοποιούμε τον συντελεστή συσχέτισης ποσοτικών μεταβλητών [27]. Ο συντελεστής συσχέτισης, r , παίρνει τιμές μεταξύ -1 και $+1$. Λέμε ότι μεταξύ των μεταβλητών υπάρχει μία γραμμική σχέση της μορφής $y = a + bx$, όταν ο συντελεστής $r = +1$ ή -1 . Μπορούμε να πούμε ότι οι μεταβλητές είναι γραμμικώς ασυσχέτιστες, όταν $r = 0$ (είναι, βέβαια, δυνατόν να υπάρχει κάποια συναρτησιακή εξάρτηση άλλης μορφής μεταξύ των μεταβλητών). Για τα δεδομένα των μετρήσεων κυκλοφορίας και ΟΚΘ, οι συντελεστές συσχέτισης παρουσιάζονται στον πίνακα 4. Όσον αφορά στους δείκτες θορύβου Leq και $L10$ που χρησιμοποιούνται από το ΥΠΕΧΩΔΕ και αναφέρονται στην Υ.Α. 17252/92, στον πίνακα 4, με έντονους χαρακτήρες εμφανίζονται οι συντελεστές συσχέτισης και με υπογράμμιση εμφανίζονται οι υψηλότεροι συντελεστές συσχέτισης για κάθε δείκτη θορύβου.

Η γενική διαπίστωση ύπαρξης υψηλής γραμμικής συσχέτισης γραμμικής μορφής μεταξύ κυκλοφοριακών δεδομένων και των δεικτών θορύβου Leq και $L10$ είναι γνωστή εδώ και πολλά χρόνια σε διεθνές και ελληνικό επίπεδο. Οι συσχετίσεις αυτές αφορούν κυρίως σε μετρήσεις κοντά στο άκρο οδικών τμημάτων ή και ισόπεδων διαβάσεων. Συντελεστές συσχέτισης, όμως, για κυκλοφοριακές συνθήκες σε **ανισόπεδους κόμβους** δεν αναφέρονται στην ελληνική ή τη διεθνή βιβλιογραφία, απ' όσο γνωρίζουμε, και για τον λόγο αυτό μια αναλυτική αναφορά στα αποτελέσματα αυτά είναι απαραίτητη.

Αυτό, που είναι, μάλλον, προφανές από μια πρώτη ματιά στον πίνακα 4, είναι ότι οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των διαφόρων δεικτών θορύβου και των χαρακτηριστικών της κυκλοφορίας είναι πολύ υψηλοί. Με ελάχιστες εξαιρέσεις, οι συντελεστές συσχέτισης είναι άνω του 0,9 και για τις άνω και για τις κάτω διαβάσεις. Με την εξαίρεση του $Max L$ και $Min L$, οι υψηλότεροι συντελεστές συσχέτισης παρουσιάζονται μεταξύ των δεικτών θορύβου και του % ποσοστού βαρέων οχημάτων στη συνολική κυκλοφορία. Δηλαδή, βλέπουμε ότι η στάθμη ΟΚΘ συσχετίζεται, σε πολύ υψηλό βαθμό, με τη σύνθεση κυκλοφορίας. Βασίζόμενοι σε αυτή την ένδειξη, μπορούμε, σχετικά άμεσα, να έχουμε ένα γρήγορο και σχετικά ακριβή υπολογισμό του ΟΚΘ, σε άνω και κάτω διαβάσεις, έχοντας ως μόνο δεδομένο εισαγωγής τη σύνθεση κυκλοφορίας.

Τα παραπάνω δεν αποτελούν στοιχεία κάποιου αναλυτικού μοντέλου παρόμοιου με αυτό της μεθόδου CRTN, προσαρμοσμένου στα ελληνικά δεδομένα, αφού αυτός δεν είναι ο στόχος της παρούσας εργασίας, αλλά ούτε αυτή είναι η μεθοδολογία που ακολουθείται για την ανάπτυξη ενός παρόμοιου μοντέλου, αφού μάλιστα το CRTN έχει αποδειχθεί επαρκές στην πράξη (π.χ. σε μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, σχεδιασμό ηχοπετασμάτων κλπ.). Όμως, τα παραπάνω αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα, γιατί η περίπτωση των ανισόπεδων κόμβων δεν είναι εύκολο να προσομοιωθεί με ακρίβεια με τη μέθοδο αυτή.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος αυτής της εργασίας ήταν αφ' ενός η διερεύνηση του ακουστικού περιβάλλοντος στην άμεση περιοχή άνω και κάτω διαβάσεων, αφ' ετέρου η στατιστική διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ των διαφόρων δεικτών ΟΚΘ και των χαρακτηριστικών της κυκλοφορίας (κυκλοφοριακοί φόρτοι και σύνθεση κυκλοφορίας). Η διερεύνηση στηρίχτηκε σε ταυτόχρονες μετρήσεις κυκλοφορίας και θορύβου σε έξι άνω και κάτω διαβάσεις. Στόχος της διερεύνησης ήταν η σύγκριση των χαρακτηριστικών των κάτω και άνω διαβάσεων από πλευράς θορύβου.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι ακουστικές μετρήσεις έγιναν κοντά στα άκρα των οδικών τμημάτων των κόμβων και σε

αποστάσεις 4-10 μέτρων, όπως απαιτεί η μεθοδολογία μέτρησης CRTN. Η αναγωγή των μετρήσεων αυτών σε μεγαλύτερες αποστάσεις, στην πρόσοψη κτηρίων ή σε υψηλότερους ορόφους πολυκατοικιών κ.λπ., γίνεται είτε με απλή εφαρμογή των διορθώσεων της μεθόδου CRTN είτε με τη βοήθεια ενός αναλυτικού λογισμικού μοντέλου, όπως το dBroad. Έτσι, για αποστάσεις πέρα των 30 μέτρων από κάτω ή/και άνω οδικές διαβάσεις, οι μειώσεις θορύβου τείνουν να ταυτιστούν, γεγονός που υποδηλώνει την απόσβεση της θετικής επίπτωσης της κάτω διάβασης. Όμως, τα ευεργετικά αποτελέσματα της κάτω διάβασης σε κοντινές αποστάσεις απ' αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την ελληνική πραγματικότητα, όπου τα παρόδια κτήρια, λόγω των μικρών πεζοδρομίων, δεν απέχουν πολύ από τα άκρα του κύριου οδικού τμήματος.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και τις αναλύσεις των προηγούμενων κεφαλαίων, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα: Ο θόρυβος σε όλες τις Κ/Δ βρέθηκε να είναι χαμηλότερος από τις Α/Δ. Η τάση αυτή παρατηρείται σε όλους σχεδόν τους δείκτες θορύβου και ιδιαίτερα στους δείκτες οδικού κυκλοφοριακού θορύβου, Leq και $L10$. Σημειώνεται ότι οι δείκτες κυκλοφοριακού θορύβου βρέθηκαν στις Κ/Δ, κατά μέσο όρο, 6 dB(A) χαμηλότεροι.

Σε όλες τις κάτω και άνω διαβάσεις η μέγιστη στάθμη θορύβου εμφανίζεται στο κέντρο της διάβασης, όπου διασταυρώνονται τα ρεύματα κυκλοφορίας. Βέβαια, στις Κ/Δ η ελάχιστη στάθμη θορύβου εμφανίζεται σε ένα ενδιάμεσο σημείο, μεταξύ κέντρου και άκρου της διάβασης. Γενικότερα, στις Κ/Δ σημειώνεται *μείωση* του θορύβου στο μέσον της διάβασης κατά 2,5 έως 7 dB(A), ενώ στις Α/Δ παρατηρείται *αύξηση* του θορύβου, μέχρι 3 dB(A), από το άκρο προς το κέντρο της διάβασης.

Τέλος, από τον υπολογισμό του θορύβου με τη μέθοδο CRTN προέκυψε ότι το συγκριτικό πλεονέκτημα των κάτω διαβάσεων σε σχέση με τις άνω διαβάσεις, από πλευράς θορύβου, είναι της τάξης των 6 dB(A). Να σημειωθεί ότι μια αύξηση κατά 3 dB(A) ισοδυναμεί με διπλασιασμό της έντασης της πηγής θορύβου, ή, προσεγγιστικά, με διπλασιασμό του κυκλοφοριακού φόρτου. Δηλαδή, εάν σε μια δεδομένη διασταύρωση κατασκευαστεί κάτω διάβαση, οι φόρτοι θα πρέπει να διπλασιαστούν έως και να τετραπλασιαστούν, για να εμφανιστούν οι στάθμες θορύβου που θα προκύψουν, εάν κατασκευαστεί άνω διάβαση. Να σημειωθεί, επίσης, ότι μια μείωση της τάξης των 5 dB(A) ισοδυναμεί με μείωση της ακουστικής ενέργειας κατά 70% [1].

Στο πλαίσιο αυτής της μελέτης διερευνήθηκαν, επίσης, και οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των δεικτών ΟΚΘ και των χαρακτηριστικών της κυκλοφορίας. Με ελάχιστες εξαιρέσεις, τα αποτελέσματα συνιστούν πολύ υψηλή συσχέτιση (άνω του 0,9). Οι υψηλότεροι συντελεστές συσχέτισης

παρουσιάζονται μεταξύ των δεικτών θορύβου και του % ποσοστού βαρέων οχημάτων στη συνολική κυκλοφορία. Βλέπουμε, δηλαδή, ότι η στάθμη ΟΚΘ συσχετίζεται, σε πολύ υψηλό βαθμό, με τη σύνθεση κυκλοφορίας, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε ένα γρήγορο και σχετικά ακριβή υπολογισμό του ΟΚΘ, σε άνω και κάτω διαβάσεις, έχοντας ως μόνο δεδομένο εισαγωγής τη σύνθεση κυκλοφορίας.

Συνοψίζοντας, κατέστη σαφές ότι οι κάτω διαβάσεις πλεονεκτούν έναντι των άνω διαβάσεων, από πλευράς θορύβου, προσφέροντας αντιθορυβική προστασία της τάξης των 4-6 dB(A), ενώ οι μετρήσεις ΟΚΘ σχετίζονται, άμεσα και σε πολύ υψηλό βαθμό, με τη σύνθεση κυκλοφορίας. Η μείωση αυτή των 4-6 dB(A) είναι αξιοσημείωτη, δεδομένου ότι είναι υψηλότερη της μείωσης, που προσφέρουν διάφορα είδη νέων οδοστρωμάτων [24], και πολύ υψηλότερη της μείωσης που επιτυγχάνεται από την τοποθέτηση ηχομονωτικών πετασμάτων [28].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Federal Highway Administration, "Highway Traffic Noise in the United States", US Department of Transportation, Washington, DC, 1997.
2. Environmental Protection Agency, "Environmental Criteria for Road Traffic Noise", NSW, Washington, DC, 1998.
3. Hede, A., Meagher, D. & Watkins, D., "Community Response to Noise in Australia: Results of the 1986 National Noise Survey", **Proceedings of the Community Noise Conference**, Toowoomba, 1-3 October, 1986.
4. Eberhardt, J.L., Strale, L. & Berlin, M., "The Influence of Continuous and Intermittent Traffic Noise on Sleep", **Journal of Sound and Vibration**, vol. **116**(3), 1987.
5. Eberhardt, J. L., "The Influence of Road Traffic Noise on Sleep", **Journal of Sound and Vibration**, vol. **127**(3), 1987.
6. Vallet, M., Gagneux, J., Blanchet, V., Favre, B. & Labiale, G., "Long Term Sleep Disturbance Due to Traffic Noise", **Journal of Sound & Vibration**, vol. **90**(2), 1983.
7. Vernet, M., "Effect of Train Noise on Sleep for People Living in Houses Bordering the Railway Line", **Journal of Sound and Vibration**, vol. **66**(3), 1979.
8. Griefahn, B. & Muzet, A., "Noise Induced Sleep Disturbances and their Effects on Health", **Journal of Sound and Vibration**, vol. **59**(1), 1978.
9. Ohrstrom, E. & Bjorkman, M., "Effects of Noise Disturbed Sleep-A Laboratory Study of Habituation and Subjective Noise Sensitivity", **Journal of Sound and Vibration**, vol. **122**(2), 1978.
10. Ohrstrom, E. & Rylander, R., "Sleep Disturbance by Road Traffic Noise-A Laboratory Study on Number of Noise Events", **Journal of Sound and Vibration**, vol. **143**(1), 1990.
11. Ohrstrom, E. & Rylander, R., "Sleep Disturbance Effects on Traffic Noise-A Laboratory Study on After Effects", **Journal of Sound and Vibration**, vol. **84**(1), 1982.
12. Nemecek, J., Wehrli, B. & Turrian, V., "Effects of the Noise of Street Traffic in Switzerland : A Review of Four Surveys", **Journal of Sound and Vibration**, vol. **78** (3), 1981.
13. Bradely J.S. & Jonah B.A., "A Field Study of Human Responses to Road Traffic Noise and to Aircraft Noise". Report SV-77-2, Faculty of Engineering Science, University of Western Ontario, 1977.
14. Schultz, T. J., "Synthesis of Social Survey on Noise Annoyance", **Journal of the Acoustical Society of America**, vol. **64**, 377-405, 1978.
15. Brown, A.L., "Traffic Noise Annoyance Along Urban Roadways", **A.R.R.B. Report AIR 206-6**, Report on Survey in Brisbane, Sydney and Melbourne, 1978.
16. Hall, F. L., Birnie, S. E., Taylor, S.E. & Palmer, J. E., "Direct Comparison of Community Response to Road Traffic Noise", **Journal of the Acoustical Society of America**, vol. **70**, 1690-1698, 1981.
17. Brown, A.L., "Responses to an Increase in Road Traffic Noise", **Journal of Sound and Vibration**, vol. **117**(1), 69-79, 1987.
18. Washington State Department of Transportation, "Highway Traffic Noise", Seattle, Washington, 1999.
19. Υ.Α. 17252/92, ΦΕΚ 395/Β/19.6.92, "Καθορισμός δεικτών και ανωτάτων επιτρεπομένων ορίων θορύβου που προέρχεται από την κυκλοφορία σε οδικά και συγκοινωνιακά έργα", 1992.
20. ΕΛΟΤ, Ελληνικό Πρότυπο ΕΛΟΤ 360, "Αξιολόγηση του θορύβου σε σχέση με την αντίδραση του κοινού", 1996.
21. HMSO, "Calculation of Road Traffic Noise (CRTN)", Department of Transport, Welsh Office, 1988.
22. Κ.Υ.Α. 69269/5387/25-10/90, "Κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες, περιεχόμενο Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ), καθορισμός περιεχομένου ειδικών περιβαλλοντικών μελετών (ΕΠΜ) και λοιπές συναφείς διατάξεις, σύμφωνα με το Ν. 1650/86", 1990.
23. ΥΠΕΧΩΔΕ-ΠΕΡΠΙΑ, Θόρυβος-Τεχνική Έκθεση, Αθήνα, 1980.
24. Κανελλαΐδης, Γ., Ταϊγανίδης, Ι., "Σημειώσεις Ειδικών Κεφαλαίων Οδοποιίας (9ο εξάμηνο)-Κυκλοφοριακός Θόρυβος", Αθήνα, 1998.
25. Μικρούδης, Γ.Κ., "Ποσοτική εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων οδικών έργων με το πρόγραμμα EMOS", **1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας**, ΤΕΕ, Λάρισα, 4-7 Οκτωβρίου, 1995.
26. Τσινίκας, Ν., "Κτιριοδομική - Πολεοδομική, Ηχοπροστασία", Θεσσαλονίκη, 1988.
27. Τζαφέτας, Γ.Ν., "Εισαγωγικά Μαθήματα Στατιστικής", Εκδόσεις ΕΜΠ, 1991.
28. Herman, L.A., Seshadri, S.R., Pinckney, E.W., "Placement of Sound Absorbing Materials to Control Traffic Noise Reflections at a Highway Underpass", **Transportation Research Board Meeting**, Washington, DC, 1999.
29. ΥΠΕΧΩΔΕ, Τμήμα Θορύβου, "Ψυχοκοινωνική Έρευνα Επιπτώσεων Θορύβου της πόλης Ρόδου, Δ. Ρόδου", Νοέμβριος 1992.
30. Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, Ministère des Transports, "Prevision des Niveaux Sonores. Guide du Bruit des Transportes Terrestres", Novembre 1980.
31. ΥΠΕΧΩΔΕ, Τμήμα Θορύβου "Χάρτες Οδικού Κυκλοφοριακού Θορύβου Ελληνικών Αστικών Κέντρων", 1992.
32. ΥΠΕΧΩΔΕ, Τμήμα Θορύβου "Χάρτες Οδικού Κυκλοφοριακού Θορύβου Δ. Αθήνας", ΑΝΥΣΜΑ, ΕΤ&Τ, 1998.

Μ. Καρλαύτης,

Δρ Πολιτικός Μηχανικός, Εκλεγμένος Λέκτορας, Ε.Μ.Π., Ηρώων Πολυτεχνείου 5, Ζωγράφου 157 73, Αθήνα, e-mail: mgk@central.ntua.gr

Γ. Μικρούδης,

Δρ πολιτικός μηχανικός, Αγ. Φωτεινής 15, Νέα Σμύρνη, 171 21, e-mail: gmikr@tee.gr

Πίνακας 1: Σύγκριση μετρηθείσας ηχοστάθμης άνω και κάτω διαβάσεων.
Table 1: Comparison of measured noise levels in underpasses and fly-overs.

ΚΟΜΒΟΣ	MinL	L95	L50	Leq	L10	MaxL
<i>Κάτω διαβάσεις</i>						
1. Κ/Δ Μεσογείων-Κατεχάκη	65.9	68.5	73.3	76.0	77.7	89.5
2. Κ/Δ Κηφισίας-Κατεχάκη	65.3	67.0	70.7	72.2	74.3	83.1
3. Κ/Δ Μαγούλας	60.1	62.0	66.3	68.8	71.5	82.8
Μέσος Όρος Κ/Δ	63.8	65.8	70.1	72.3	74.5	85.2
<i>Άνω διαβάσεις</i>						
4. Α/Δ Κύμης-Καποδιστρίου	61.5	65.2	73.3	74.7	77.3	84.6
5. Α/Δ Ασπροπύργου	68.3	70.5	74.5	77.8	80.3	95.5
6. Α/Δ Θησέως-Χαμοστέρνας	65.7	67.8	73.2	75.5	77.7	90.2
Μέσος Όρος Α/Δ	65.1	67.8	73.7	76.0	78.4	90.1
Διαφορά (Α/Δ – Κ/Δ) σε dB(A)	1.4	2.0	3.6*	3.6*	3.9*	4.9*

* Η διαφορά είναι στατιστικά σημαντική στο 90% .

Πίνακας 2: Σύγκριση της στάθμης θορύβου σε ακραία-ενδιάμεσα-κεντρικά σημεία των κόμβων.
Table 2: Comparison of noise levels in edge-intermediate-central points of interchanges.

ΚΟΜΒΟΣ	Μέγεθος θορύβου	Α-Ε-Κ: Μείωση \ Αύξηση /	Κ/Δ: Μείωση Ε-Α Ε-Κ Α/Δ: Αύξηση Κ-Α Κ-Ε
<i>Κάτω διαβάσεις</i>			
Κ/Δ Μεσογείων-Κατεχάκη	A > K > E	\ /	-7,0 .. -2,5
Κ/Δ Κηφισίας-Κατεχάκη	K > A > E	\ /	-1,5 .. -2,5
Κ/Δ Μαγούλας	K > A > E	\ /	-1.5 .. -6,0
<i>Άνω διαβάσεις</i>			
Α/Δ Κύμης-Καποδιστρίου	K > E > A	/ /	0,5 .. 1,5
Α/Δ Ασπροπύργου	K > A > E	\ /	0,0 .. 3,5
Α/Δ Θησέως-Χαμοστέρνας	K > E > A	/ /	3,5 .. 2,0

Πίνακας 3: Ωριαίοι κυκλοφοριακοί φόρτοι στον ανισόπεδο κόμβο Κηφισίας – Κατεχάκη.
Table 3: Hourly traffic volumes for the Kifisias-Katehaki interchange.

No	ΚΟΜΒΟΣ – ΚΛΑΔΟΣ	Βαρέα	Ελαφρά	Σύνολο	Βαρέα %
2.1	Κηφισίας-Κατεχάκη Κλάδος 1	63	1014	1077	5.8%
2.2	Κηφισίας-Κατεχάκη Κλάδος 2	81	2430	2511	3.2%
2.3	Κηφισίας-Κατεχάκη Κλάδος 3	36	2433	2469	1.5%
2.4	Κηφισίας-Κατεχάκη Κλάδος 4	48	1413	1461	3.3%
2.5	Κηφισίας-Κατεχάκη Κλάδος 5	21	1050	1071	2.0%
2.6	Κηφισίας-Κατεχάκη Κλάδος 6	51	1023	1074	4.7%

Πίνακας 4: Συντελεστής συσχέτισης μετρήσεων και σύνθεσης κυκλοφορίας και ηχομετρήσεων.
Table 4: Correlation coefficient between traffic volumes and mix and noise levels.

Δείκτης θορύβου	Μετρήσεις Κυκλοφορίας			
	Ελαφρά οχήματα	Βαρέα οχήματα	Σύνολο οχημάτων	% Βαρέα οχήματα
<i>Άνω διαβάσεις</i>				
Leq	0,84	0,96	0,82	0,98
L10	0,82	0,95	0,84	0,98
Max L	0,58	0,47	0,60	0,57
Min L	0,98	0,93	0,97	0,89
L ₅₀	0,71	0,92	0,66	0,95
L ₉₅	0,97	0,98	0,94	0,96
<i>Κάτω διαβάσεις</i>				
Leq	0,50	0,83	0,65	0,94
L10	0,58	0,70	0,72	0,92
Max L	0,71	0,68	0,59	0,58
Min L	0,90	0,87	0,76	0,75
L ₅₀	0,55	0,80	0,70	0,90
L ₉₅	0,72	0,79	0,78	0,84



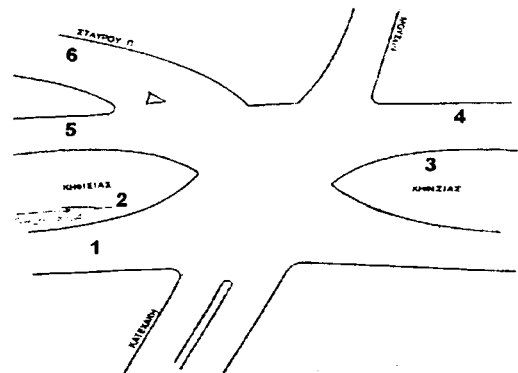
Σχήμα 1: Οριζοντιογραφία Κ/Δ Μεσογίων-Κατεχάκη και σημεία μέτρησης θορύβου.
Figure 1: Horizontal layout of the Mesogion-Katehaki underpass and sound measurement points.



Σχήμα 2: Οριζοντιογραφία Κ/Δ Κηφισίας-Κατεχάκη και σημεία μέτρησης θορύβου.
Figure 2: Horizontal layout of the Kifisias-Katehaki and sound measurement points.



Σχήμα 3: Οριζοντιογραφία Α/Δ Θησέως-Χαμοστέρνας και σημεία μέτρησης θορύβου.
Figure 3: Horizontal layout of the Thiseos-Hamosternas fly-over and sound measurement points.



Σχήμα 4: Αρίθμηση κλάδων για την Κ/Δ Κηφισίας-Κατεχάκη.
Figure 4: Numbering for the Kifisias-Katehaki underpass.

Extended summary

Traffic Noise Considerations in Urban Interchanges

M. KARLAFTIS
Civil Engineer

G. MIKROUDIS
Civil Engineer

Abstract

This paper empirically investigates the difference in noise levels between underpass and fly-over interchanges, as well as the relationship between traffic volumes, traffic composition and noise levels. Based on noise level measurements and traffic volume and composition measurements from six interchanges in the greater Athens area, the results show that the noise levels in all underpasses are lower than the fly-overs. All traffic noise indicators were found to be, on average, 6 dB(A) lower in underpasses. Further, the results indicate that the correlation coefficients between the noise indicators and the % of trucks in the traffic volume are very high.

1. INTRODUCTION

Noise, defined as unwanted or excessive sound, is an undesirable by-product of our modern way of life. It can be annoying, can interfere with sleep, work, or recreation, and in extremes may cause physical and psychological damage [1]. While noise emanates from many different sources, transportation noise is perhaps the most pervasive and difficult source to avoid in society today [1], [2]. Highway traffic noise is a major contributor to overall transportation noise. A broad-based effort is needed to control transportation noise. This effort must achieve the goals of personal privacy and environmental quality keeping at the same time the supply of appropriate transportation services for a quality society.

Much work has been done, around the world, to understand the causes and effects of traffic noise, with the hope of eventually controlling it. To investigate the extent of the traffic noise problem, Hede [3] examined the traffic noise impacts throughout Australia. Of the sources of environmental noise, the most important was traffic noise, with 17% of the population describing it as the noise they would most like to get rid of. The survey found that 27% of Australians are annoyed by traffic noise, with 13% claiming disturbance of listening activities, and 12% claiming disturbance of sleep. Many authors have studied the effects of traffic noise on sleep disturbance, as well as what measures of sound levels have a higher relation to awakenings [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11]. Many authors have also studied the relationship between road traffic noise and the percentage of people highly

annoyed [12], [13], [14], [15], [16]. Others have studied the response to a change in noise level [17].

These studies have, almost unanimously, agreed that the level of highway traffic noise depends on three basic parameters: i. The volume of traffic, ii. The speed of traffic, iii. The number of trucks in the traffic volume. Generally, the loudness of traffic noise is increased by heavier traffic volumes, higher speeds, and a greater number of trucks. All studies seem to agree that vehicle noise is a combination of the noises produced by the engine, exhaust and tires. The loudness of traffic noise can also be increased by defective mufflers or other faulty equipment on vehicles. Any condition (such as a steep incline) that causes heavy laboring of motor vehicle engines will also increase traffic noise levels [18]. In light of the findings of these studies, the State Pollution Control Commission incorporated, for the first time, a guideline in its *Environmental Noise Control Manual* (in 1985) aimed at limiting the level of sleep disturbance due to traffic noise. Subsequent work focused on noise abatement measures, considered to mitigate the adverse impacts of traffic noise [1].

While much work has been done in the direction of measuring, assessing the impacts, and mitigating road traffic noise, this work has almost exclusively focused on streets and highways. Little, if any, work has been done in identifying noise problems related to interchanges in urban areas. More importantly, almost no work has been done comparing the advantages and disadvantages, from a traffic noise perspective, of underpasses and fly-overs. This is a topic of significant interest to engineers and planners involved with interchange related work in urban areas.

The present paper empirically investigates the relationship in noise levels between underpasses and fly-overs. Further, this study also investigates the relationship between noise levels in interchanges in urban areas and the traffic composition and volumes.

2. METHODOLOGICAL APPROACH

The existing legal requirements for traffic noise measurements are set forth in the ministerial decision 17252/20.5.92

[19]. This decision mandates that for traffic noise measurement, two indicators may be used:

- a) L_{eq} which expresses the constant, average sound level, which over a period of time contains the same amount of sound energy as the varying levels of the traffic noise.
- b) L_{10} which is the noise level exceeded 10% of the time.

In both cases, the measurement noise level is the A-weighted measure of sound pressure, expressed in Decibel A or, for short, dB(A). The upper limits for these two indicators (measured at a distance of 2.0 m from the closest building) were set as follows: for the indicator L_{eq} at 67dB(A), for the indicator L_{10} at 70 dB(A).

The methodology used to determine traffic noise level in this paper is the British method, known as Calculation of Road Traffic Noise (CRTN). CRTN assumes that, during measurement, usual traffic and noise transfer conditions (mild opposite wind) exist.

3. ANALYSIS OF SOUND MEASUREMENTS

As can be easily seen from table 1, all noise level indicators in underpasses are lower than those in fly-overs. On average, indicators are lower by 4 dB(A) in underpasses. The range of measurements for L_{eq} and L_{10} between underpasses and fly-overs is between 2 and 9 dB(A).

Of significant interest is a calculation of the hypothetical noise level in a central point of the Magoula interchange, for the case where, instead of an underpass, it had been constructed as a fly-over. The noise level for a fly-over would be 82.6 dB(A), that is 6.4 dB(A) higher than what it is currently in the underpass.

4. TRAFFIC CONSIDERATIONS

In each interchange, simultaneously with the noise level measurements, traffic volume and composition measurements were taken. As an example, traffic volume and mix measurements for the Kifisias-Katehaki underpass are presented in table 3. Similar measurements were made in all interchanges (the measurements are available, upon request, from the authors).

5. CORRELATION BETWEEN TRAFFIC AND NOISE LEVEL MEASUREMENTS

A parameter with significant interest, both theoretical and empirical, is the statistical correlation between the noise level

measurements and the traffic volume and composition measurements. From a theoretical perspective, this correlation can uncover the degree of quantitative and qualitative inter-dependence of traffic noise levels, at interchanges, with the prevailing traffic composition and volume. From a practical perspective, this correlation can offer a quick, and relatively simple, tool by which engineers and planners can estimate traffic noise levels close to interchanges, using traffic measurements as the only input.

6. CONCLUSIONS

There were two goals in this paper. The first was to examine noise levels in the vicinity of underpasses and fly-overs. The second was the investigation of the relationship between noise level indicators and traffic volume and mix measurements. This was achieved by simultaneously measuring traffic noise levels and traffic characteristics for 6 interchanges in Athens. The goal was to compare underpasses and fly-overs with respect to their noise levels.

Based on the findings stemming from these analyses, the following general results are derived. The noise levels in all underpasses are lower than that on the fly-overs. This is observed for all noise indicators. It should be noted that L_{eq} and L_{10} were, on average, 6 dB(A) lower for underpasses. It should be noted that a noise level increase of 3 dB(A) is caused by a doubling in the intensity of the noise source or, approximately, by a doubling in traffic volumes. That means that if in a given interchange an underpass is constructed, traffic volumes would have to double or even quadruple, for the noise to reach the level that would exist had a fly-over been constructed instead. It should also be noted that a 5 dB(A) reduction in noise level is equal to a 70% reduction in acoustic energy [1].

For this study, the correlation coefficients between the various noise indicators and traffic characteristics were also examined. With very few exceptions, the results suggest a very high correlation (over 0.9). The highest correlation coefficients appear between the noise level indicators and the % of trucks in the total traffic volume.

In summary, it becomes clear that underpasses are more advantageous than fly-overs from a noise level perspective, by offering a 4-6 dB(A) noise protection. This is an important reduction, considering that it is higher than the reduction offered by various new pavement surfacing material [24], and much higher than the reduction obtained by the placement of sound absorbing materials at highway underpasses [28].

M. Karlaftis,

Ph.D., civil engineer, Lecturer of N.T.U.A., 5 Heron Polytechniou str., Zografou 157 73, e-mail: mgk@central.ntua.gr.

G. Mikroudis,

Ph.D., civil engineer, Ag. Fotinis 15, Nea Smyrni, 171 21, e-mail: gmikr@tee.gr.